Spis treści

Wykaz oznaczeń VIII
Wykaz używanych skrótów XIV

1. Wstęp 1

2. Maszyny elektryczne stosowane układach napędowych 5
2.1. Podstawowe konstrukcje i właściwości maszyn elektrycznych prądu stałego 5
2.2. Podstawowe konstrukcje i właściwości maszyn elektrycznych prądu przemiennego 6

3. Przekształtniki energoelektroniczne z łącznikami w pełni sterowalnymi dla napędów elektrycznych 8
3.1. Wprowadzenie 8
3.2. Podstawowe topologie przekształtników silnikowych i metody modulacji szerokości impulsów 14
3.2.1. Przekształtniki DC/DC dla napędów z silnikami komutatorowymi prądu stałego 16
3.2.2. Trójfazowy dwupoziomowy przekształtnik napięcia DC/AC dla silników prądu przemiennego 28
3.2.3. Trójfazowy trójpoziomowy przekształtnik napięcia DC/AC dla silników prądu przemiennego 41

4. Modele matematyczne przekształtnikowych napędów prądu stałego 52
4.1. Model matematyczny bezszczotkowego silnika prądu stałego (BLDC) 52
4.2. Modele matematyczne maszyn prądu stałego w przestrzeni stanu 53
4.3. Model silnika prądu stałego w dziedzinie operatorowej 56
4.4. Model matematyczny przekształtnika energoelektronicznego 57
4.5. Model matematyczny napędu z silnikiem prądu stałego i przekształtnikiem energoelektronicznym – opis w dziedzinie czasu 57
4.6. Model matematyczny silnika prądu stałego z przekształtnikiem energoelektronicznym – opis dziedzinie operatorowej 59

5. Sterowanie napędów prądu stałego z kaskadowo połączonymi regulatorami położenia, prędkości i prądu 61

5.1. Wprowadzenie 61
5.2. Projektowanie regulatora prądu 65
5.3. Projektowanie regulatora prędkości 69
5.4. Projektowanie regulatora położenia 75

6. Dobór nastaw regulatorów metodą roju cząstek na przykładzie regulatorów prędkości i położenia 80

6.1. Optymalizacja a metoda prób i błędów 81
6.2. Wskaźniki jakości 82
6.3. Optymalizacja metodą roju cząstek 86
6.4. Optymalizacja nastaw regulatorów prędkości i położenia w układzie napędowym 88
6.5. Optymalizatory stochastyczne w praktyce inżynierskiej 95

7. Strojenie regulatorów przy użyciu SYSTUNE w napędzie prądu stałego 96

7.1. Normy *p*-te wektora 97
7.2. Tłumienie, pulsacja graniczna, pulsacja naturalna, pulsacja odcięcia, czas narastania, pasmo przenoszenia 98
7.3. Określanie celów sterowania dla SYSTUNE 102
7.4. SYSTUNE a kryteria Kesslera lub metoda Zieglera–Nicholsa 111

8. Napędy prądu stałego z regulatorem stanu 112

8.1. Sterowanie prędkością ze sprzężeniem od wektora stanu 112
8.1.1. Opis obiektu sterowania 112
8.1.2. Struktura sterowania z wykorzystaniem sprzężenia od wektora stanu i model wejścia 114
8.1.3. Wyznaczenie modelu wejścia dla pobudzenia sygnałem skokowym 116
8.1.4. Struktura sterowania z wykorzystaniem sprzężenia od wektora stanu oraz wewnętrznego modelu wejścia zapewniającego równość sygnału zadanego i rzeczywistego w przypadku wystąpienia zakłóceń 120
8.1.5. Struktura sterowania z wykorzystaniem sprzężenia od wektora stanu oraz wewnętrznego modelu wejścia zapewniającego likwidację uchybu ustalonego dla liniowo zmieniającego się sygnału prędkości zadanej 123
8.2. Sterowanie położeniem ze sprzężeniem od wektora stanu 126
8.2.1. Opis obiektu sterowania dla układu pozycyjnego 126
8.2.2. Struktura sterowania serwonapędu z wykorzystaniem sprzężenia od wektora stanu oraz wewnętrznego modelu wejścia zapewniającego niewrażliwość na zmiany momentu obciążenia 132

9. Model matematyczny maszyny asynchronicznej 136

9.1. Model wykorzystujący wektory przestrzenne 137
9.2. Model w układzie wirującym 142

10. Sterowanie polowo zorientowane silnikiem indukcyjnym 146

10.1. Sterowanie z bezpośrednią orientacją wektora pola stojana 147
10.2. Strojenie regulatorów w układzie DSFOC przy wykorzystaniu kryteriów Kesslera 150
10.3. Sterowanie z bezpośrednią orientacją wektora pola wirnika 156
10.4. Porównanie napędu z orientacją stojanową i wirnikową 161

11. Napęd DTC z silnikiem indukcyjnym klatkowym 163

11.1. Wprowadzenie 163
11.2. Model symulacyjny napędu DTC z silnikiem indukcyjnym klatkowym 166

12. Estymatory składowych wektora strumienia stojana maszyny indukcyjnej 176

12.1. Wybrane struktury estymatorów bazujących na modelu maszyny 177
12.2. Neuroestymator strumieni magnetycznych silnika asynchronicznego 185

13. Przestrajany siecią neuronową regulator stanu maszyny indukcyjnej 192

13.1. Linearyzacja modelu silnika indukcyjnego 193
13.2. Rozszerzony model obiektu regulacji z silnikiem indukcyjnym 196
13.3. LQR przestarajany siecią neuronową 199
13.4. LQR a praktyka inżynierska 204

14. Odtwarzanie prędkości kątowej silnika indukcyjnego przy użyciu sztucznych sieci neuronowych 206

14.1. Wstępne przetwarzanie sygnałów 207
14.2. Wybór typu sieci neuronowej estymującej prędkość kątową wirnika 211
14.3. Uczenie jednokierunkowej sieci neuronowej realizującej zadanie odtwarzania prędkości kątowej wirnika 214
14.4. Napęd bezczujnikowy z neuroestymatorem prędkości kątowej wirnika 217
14.5. Neuroestymacja a praktyka inżynierska 223

15. Napędy z silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych 225

15.1. Modele matematyczne obiektów regulacji 226
15.1.1. Opis matematyczny maszyny PMSM 226
15.1.2. Opis matematyczny zespołu napędowego z silnikiem PMSM zasilanym poprzez przekształtnik energoelektroniczny 233
15.1.3. Linearyzacja modelu zespołu napędowego z silnikiem PMSM 234
15.2. Sterowanie metodą orientacji wektora pola (RFOC) 236
15.2.1. Sterowanie prędkością kątową z kaskadową strukturą regulatorów 236
15.2.2. Sterowanie położeniem kątowym z kaskadową strukturą regulatorów ... 244
15.3. Sterowanie silnikiem PMSM z wykorzystaniem regulatora stanu 247
15.3.1. Sterowanie prędkością kątową z regulatorem stanu 247
15.3.2. Sterowanie położeniem kątowym z regulatorem stanu 254

Bibliografia 259