
Spis treści

Wykaz oznaczeń	VIII
Wykaz używanych skrótów	XIV
1. Wstęp	1
2. Maszyny elektryczne stosowane w układach napędowych	5
2.1. Podstawowe konstrukcje i właściwości maszyn elektrycznych prądu stałego	5
2.2. Podstawowe konstrukcje i właściwości maszyn elektrycznych prądu prze- miennego	6
3. Przekształtniki energoelektroniczne z łącznikami w pełni sterowanymi dla napędów elektrycznych	8
3.1. Wprowadzenie	8
3.2. Podstawowe topologie przekształtników silnikowych i metody modulacji szeroko- ści 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 ener- goelektronicznym – opis w dziedzinie czasu	57
4.6. Model matematyczny silnika prądu stałego z przekształtnikiem energoelektro- nicznym – opis w dziedzinie operatorowej	59
	V

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 przestrajany 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