

---

<b>1. Informacje podstawowe</b>	
1.1. Podział silników elektrycznych.....	8
1.2. Parametry silników.....	10
<b>2. Zasady elektronicznego sterowania silników, elementy wykonawcze</b> .....	<b>13</b>
2.1. Metody załączania i sterowania silników .....	14
2.1.1. Elektroniczne układy załączania silników .....	14
2.1.2. Układy miękkiego rozruchu i hamowania .....	15
2.1.3. Układy regulacji, stabilizacji i pozycjonowania .....	15
2.2. Pojedynczy klucz tranzystorowy.....	16
2.2.1. Stany nieustalone w obciążeniach indukcyjnych .....	16
2.2.2. Zmniejszanie czasu narastania prądu .....	17
2.2.3. Zasady doboru elementów .....	19
2.2.4. Sterowanie tranzystorów mocy z wyjść układów cyfrowych .....	19
2.3. Mostek tranzystorowy typu H.....	22
2.3.1. Zasada działania .....	23
2.3.2. Sterowanie mostka H .....	24
2.3.3. Mostki z tranzystorami komplementarnymi.....	26
2.3.4. Prostownik synchroniczny, szybkie wygaszanie prądu .....	27
2.4. Układy z triakami.....	28
2.4.1. Układy załączane w zerze sieci .....	28
2.4.2. Sterowanie fazowe triaka.....	30
2.5. Zasady łączenia elementów wykonawczych z mikroprocesorami.....	31
2.5.1. Źródła i eliminacja zakłóceń .....	31
2.5.2. Rozprowadzenie zasilania i sygnałów sterujących.....	32
2.5.3. Przykłady praktyczne.....	35
<b>3. Silniki komutatorowe DC</b> .....	<b>37</b>
3.1. Budowa i właściwości silników komutatorowych.....	38
3.1.1. Silniki komutatorowe z magnesem trwałym .....	39
3.1.2. Silniki komutatorowe szeregowo i bocznikowe.....	41
3.2. Sterowanie obrotami silników komutatorowych DC.....	42
3.2.1. Metody sterowania .....	42
3.2.2. Układy praktyczne.....	44
<b>4. Silniki bezszczotkowe z wirującym magnesem (BLDC)</b> .....	<b>49</b>
4.1. Właściwości i zastosowanie silników BLDC .....	50
4.1.1. Silnik 2-fazowy BLDC – zasada działania .....	51
4.1.2. Sterowanie unipolarne i bipolarne uzwojeń .....	52
4.1.3. Silnik 3-fazowy BLDC.....	53
4.1.4. Silniki BLDC z wirnikiem wewnętrznym i zewnętrznym .....	55
4.1.5. Silniki BLDC i krokowe – porównanie .....	55

4.2.	Scalone sterowniki silników BLDC.....	56
4.3.	Regulacja obrotów za pomocą PWM.....	61
<b>5.</b>	<b>Silniki krokowe .....</b>	<b>63</b>
5.1.	Definicja i pojęcia podstawowe .....	64
5.2.	Podział konstrukcyjny silników krokowych .....	65
5.2.1.	Silnik o zmiennej reluktancji .....	65
5.2.2.	Silnik z magnesem trwałym.....	66
5.2.3.	Silnik hybrydowy .....	67
5.3.	Sterowanie silników krokowych.....	68
5.3.1.	Sterowanie falowe .....	68
5.3.2.	Sterowanie pełnokrokowe, półkrokowe, mikrokrokowe .....	69
5.3.3.	Sterowanie unipolarne i bipolarne uzwojeń .....	72
5.3.4.	Kontrola prądu uzwojeń .....	73
5.3.5.	Zalety i wady silników krokowych.....	74
5.4.	Scalone sterowniki silników krokowych .....	76
5.5.	Scalone sterowniki firmy Trinamic.....	79
5.5.1.	Mostkowe stopnie wyjściowe mocy .....	79
5.5.2.	System bezczujnikowego wykrywania przeszkód StallGuard.....	82
5.5.3.	Specjalizowane kontrolery ruchu.....	84
5.5.4.	Kontroler <i>all-in-one</i> typu TMC222.....	89
5.6.	Sterowniki silników krokowych firmy STMicroelectronics.....	91
5.6.1.	Przeгляд rodziny <i>powerSpin</i> .....	92
5.6.2.	Uwagi aplikacyjne .....	99
5.6.3.	Narzędzia uruchomieniowe .....	99
5.7.	Silniki krokowe wielofazowe.....	100
<b>6.</b>	<b>Silniki liniowe .....</b>	<b>101</b>
6.1.	Klasyczne silniki liniowe .....	102
6.1.1.	Indukcyjny silnik liniowy .....	102
6.1.2.	Liniowy silnik krokowy .....	103
6.2.	Silnik liniowy VCM.....	104
6.3.	Silniki liniowe krokowe z przekładnią.....	107
<b>7.</b>	<b>Silniki komutatorowe uniwersalne AC .....</b>	<b>109</b>
7.1.	Budowa i właściwości silników uniwersalnych.....	110
7.2.	Sterowanie obrotami silników uniwersalnych .....	110
7.3.	Regulator obrotów pralki automatycznej.....	112
<b>8.</b>	<b>Silniki asynchroniczne i synchroniczne prądu zmiennego.....</b>	<b>117</b>
8.1.	Opis ogólny, rodzaje silników .....	118
8.2.	Asynchroniczny silnik indukcyjny trójfazowy .....	119

---

8.3.	Silniki indukcyjne jednofazowe .....	122
8.3.1.	Silnik kondensatorowy .....	123
8.3.2.	Silnik ze zwartą fazą rozruchową .....	124
8.3.3.	Silnik z odłączanym uzwojeniem rozruchowym .....	125
8.4.	Silniki synchroniczne .....	126
8.5.	Elektroniczne sterowanie silnikami indukcyjnymi .....	126
8.5.1.	Załączanie, zmiana kierunku obrotów .....	126
8.5.2.	Regulacja prędkości obrotowej .....	128
8.6.	Falowniki .....	130
8.6.1.	Zasada działania .....	130
8.6.2.	Falownik U/f .....	132
8.6.3.	Falownik U/f z falą prostokątną .....	133
8.6.4.	Falownik o stałym poborze mocy .....	135
8.6.5.	Falownik wektorowy .....	135
8.6.6.	Układy praktyczne falowników .....	136
8.6.7.	Mikrokontrolery do sterowania silnikami serii ST7MC .....	139
8.7.	Hamowanie silników indukcyjnych .....	149
8.8.	Pułapki językowe .....	149
<b>9.</b>	<b>Stabilizacja obrotów, układy pozycjonowania .....</b>	<b>151</b>
9.1.	Stabilizacja obrotów .....	152
9.1.1.	Regulacja a stabilizacja obrotów .....	152
9.1.2.	Czujniki obrotów .....	153
9.1.3.	Wykorzystanie mikroprocesora do stabilizacji obrotów .....	155
9.2.	Układy pozycjonowania .....	156
9.2.1.	Układy pozycjonowania z otwartą pętlą .....	157
9.2.2.	Układy pozycjonowania z zamkniętą pętlą, enkoder inkrementalny .....	158
9.2.3.	Enkoder absolutny .....	160
9.2.4.	Realizacje praktyczne enkoderów .....	161
9.2.5.	Enkodery magnetyczne .....	163
9.2.6.	Inne czujniki pozycji .....	165
9.3.	Pozycjonowanie przestrzenne .....	166
9.4.	Trajektorie ruchu .....	168
9.5.	Realizacje praktyczne układów pozycjonowania .....	170
<b>10.</b>	<b>Osprzęt i zabezpieczenia silników .....</b>	<b>171</b>
10.1.	Sprzęgła .....	172
10.1.1.	Parametry katalogowe sprzęgieł .....	173
10.1.2.	Rodzaje sprzęgieł .....	173

---

10.2. Przekładnie .....	177
10.2.1. Właściwości i parametry przekładni .....	177
10.2.2. Przekładnie cierne i pasowe .....	178
10.2.3. Przekładnie zębate .....	179
10.2.4. Przekładnie z paskami zębatymi .....	182
10.2.5. Przekładnie obrotowo-liniowe .....	185
10.3. Zabezpieczenia silników .....	187
10.3.1. Zabezpieczenia termiczne .....	187
10.3.2. Zabezpieczenia prądowe .....	189
10.3.3. Zabezpieczenia napięciowe .....	191
<b>11. Praktyczne realizacje sterowników .....</b>	<b>193</b>
11.1. Narzędzia programowe i sprzęt .....	194
11.2. Sterowanie silnikiem potencjometru obrotowego .....	197
11.3. Regulacja PWM silnika szeregowego DC .....	201
11.4. Układ pozycjonowania z silnikiem krokowym .....	207
11.5. Wnioski końcowe .....	221
<b>Dodatek .....</b>	<b>223</b>
<b>Słownik angielskich terminów i skrótów .....</b>	<b>236</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>238</b>
<b>Strony Internetowe .....</b>	<b>239</b>