

## Spis treści

<b>5</b>	<b>Sensoryka</b>	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Przetworniki pomiarowe i sensory</b>	<b>9</b>
5.1.1	Przetworniki pomiarowe	9
5.1.2	Sensory	11
5.1.2.1	Sensory analogowe	12
5.1.2.2	Sensory binarne	13
5.1.2.3	Sensory cyfrowe	13
<b>5.2</b>	<b>Zasady przetwarzania wielkości nieelektrycznych w sygnały elektryczne</b>	<b>14</b>
5.2.1	Przetwarzanie taktylno – stykowe	14
5.2.2	Przetwarzanie rezystancyjne	15
5.2.3	Przetwarzanie indukcyjne	18
5.2.4	Przetwarzanie pojemnościowe	20
5.2.5	Przetwarzanie ultradźwiękowe	21
5.2.6	Przetwarzanie optyczne	22
5.2.7	Przetwarzanie piezokrystaliczne	23
5.2.8	Inne zasady przetwarzania	24
<b>5.3</b>	<b>Zasady działania, budowa i zastosowanie sensorów</b>	<b>25</b>
5.3.1	Analogowe i binarne sensory położenia o działaniu rezystancyjnym, indukcyjnym i pojemnościowym	26
5.3.1.1	Sensory potencjometryczne	27
5.3.1.2	Sensory indukcyjne	28
5.3.1.3	Sensory pojemnościowe	31
5.3.2	Optyczne sensory położenia	33
5.3.2.1	Bramki optyczne	33
5.3.2.2	Refleksyjne bramki optyczne	34
5.3.2.3	Refleksyjne sensory zbliżeniowe	35
5.3.2.4	Refleksyjne sensory triangulacyjne	37
5.3.2.5	Sensory optyczne światłowodowe	37
5.3.2.6	Elektronika sensorów optycznych	38
5.3.2.7	Kryteria wyboru sensorów optycznych	39
5.3.3	Ultradźwiękowe sensory położenia	41
5.3.4	Cyfrowe sensory położenia	43
5.3.4.1	Inkrementalne sensory położenia	43
5.3.4.2	Sensory z liniałami i tarczami kodowymi	45
5.3.5	Sensory prędkości	47
5.3.5.1	Prądnicze tachometryczne	48
5.3.5.2	Ultradźwiękowe sensory prędkości przepływu	49
5.3.5.3	Radarowe sensory prędkości	49
5.3.6	Sensory przyspieszenia	50
5.3.7	Tensometryczne sensory wydłużenia, siły, momentu obrotowego i ciśnienia	51
5.3.8	Sensory temperatury	52
5.3.8.1	Termometry termoelektryczne i rezystancyjne	52
5.3.8.2	Półprzewodnikowe sensory temperatury	53
5.3.9	Zasilanie sensorów i ich obciążalność energetyczna	54

## 6 Maszyny manipulacyjne 57

<b>6.1</b>	<b>Rodzaje maszyn manipulacyjnych</b>	<b>58</b>
6.1.1	Serwooperatory	58

6.1.2	Teleoperatory	59
6.1.3	Manipulatory i modułowe systemy manipulacyjne	60
6.1.4	Roboty przemysłowe	61
<b>6.2</b>	<b>Układy napędowe maszyn manipulacyjnych</b>	<b>64</b>
<b>6.3</b>	<b>Chwytyki i narzędzia maszyn manipulacyjnych</b>	<b>65</b>
<b>6.4</b>	<b>Kinematyka mechanizmów maszyn manipulacyjnych</b>	<b>66</b>
6.4.1	Ruchliwość mechanizmu	67
6.4.2	Rodzaje konstrukcji i przestrzenie robocze	68
<b>6.5</b>	<b>Sterowanie robotami przemysłowymi</b>	<b>72</b>
6.5.1	Koordinacja ruchu	73
6.5.2	Interpolacja toru ruchu	75
6.5.3	Poślizg i oscylacje narzędzia	75
6.5.4	Sensoryka robotów	77
<b>6.6</b>	<b>Programowanie robotów</b>	<b>78</b>
6.6.1	Metody programowania	79
6.6.2	Programowanie w językach wyższego rzędu	81
<b>6.7</b>	<b>Bezpieczeństwo pracy z maszynami manipulacyjnymi</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>Technika regulacji</b>	<b>84</b>
<b>7.1</b>	<b>Pojęcia podstawowe</b>	<b>84</b>
<b>7.2</b>	<b>Rodzaje regulacji</b>	<b>85</b>
<b>7.3</b>	<b>Człony układów regulacji</b>	<b>87</b>
7.3.1	Człon proporcjonalny (człon P)	87
7.3.2	Człon inercyjny pierwszego rzędu ( $PT_1$ )	88
7.3.3	Człon inercyjny drugiego rzędu ( $PT_2$ ) i człon oscylacyjny	90
7.3.4	Człon całkujący (I)	93
7.3.5	Człon różniczkujący (D)	94
7.3.6	Człon opóźniający	95
7.3.7	Połączone działanie wielu członów układu regulacji	96
<b>7.4</b>	<b>Regulatory i układy regulacji</b>	<b>99</b>
7.4.1	Regulatory nieciągłe	99
7.4.2	Regulatory ciągłe	100
7.4.3	Regulatory cyfrowe	102
7.4.3.1	Kwantowanie i próbkowanie sygnałów	104
7.4.3.2	Algorytmy regulacji	105
7.4.3.3	Algorytm pozycyjny PID	106
7.4.3.4	Algorytm przyrostowy PID	107
7.4.4	Regulacja obiektów statycznych	107
7.4.5	Regulacja obiektów astatycznych	108
7.4.6	Dobór nastaw regulatora	108
7.4.7	Stabilność układów regulacji	110
<b>7.5</b>	<b>Przykłady zastosowań regulatorów</b>	<b>112</b>
7.5.1	Regulacja stałowartościowa prędkości obrotowej silnika elektrycznego	112
7.5.1.1	Regulacja prędkości obrotowej z wykorzystaniem regulatora proporcjonalnego	112
7.5.1.2	Regulacja prędkości obrotowej z wykorzystaniem regulatora proporcjonalno-całkowego	114
7.5.2	Regulacja położenia w układzie napędowym z silnikiem elektrycznym z wykorzystaniem regulatora proporcjonalnego	115
7.5.3	Regulacja nadążna położenia w układach napędowych maszyn i robotów	117

7.5.3.1.	Regulacja kaskadowa .....	118
7.5.3.2	Forsowanie prędkości w układzie regulacji kaskadowej .....	119
7.5.3.3	Ciągły i cyfrowy układ regulacji kaskadowej położenia .....	119

## **8 Układy komunikacyjne 121**

<b>8.1</b>	<b>Komunikacja informacyjna .....</b>	<b>121</b>
8.1.1	Zadania i rodzaje sieci komunikacyjnych .....	121
8.1.2	Rozległe sieci komunikacyjne .....	122
8.1.3	Sieci lokalne .....	125
<b>8.2</b>	<b>Lokalne układy komunikacyjne urządzeń i systemów mechatronicznych .....</b>	<b>127</b>
8.2.1	Budowa sieci lokalnej .....	132
8.2.2	Struktury sieci lokalnych .....	134
8.2.3	Rodzaje sieci komunikacyjnych .....	137
8.2.4	Rodzaje transmisji informacji .....	139
<b>8.3</b>	<b>Dostęp do sieci .....</b>	<b>141</b>
8.3.1	Procedury dostępu typu Master/Slave .....	142
8.3.2	Procedury dostępu typu token .....	143
8.3.3.	Procedury dostępu typu CSMA/CD i CSMA/CA .....	144
<b>8.4</b>	<b>Sieć komunikacyjna AS-i .....</b>	<b>146</b>
8.4.1	Zasada działania .....	146
8.4.2	Budowa magistrali .....	149
8.4.3	Uruchomienie sieci AS-i .....	150
8.4.4	Przykład zastosowania sieci AS-i w systemie mechatronicznym .....	152
8.4.5	Specyfikacja 2.11 sieci AS-i .....	154
<b>8.5</b>	<b>Sieć komunikacyjna InterBus .....</b>	<b>158</b>
<b>8.6</b>	<b>Sieć komunikacyjna PROFIBUS .....</b>	<b>162</b>
8.6.1	Sieć komunikacyjna PROFIBUS DP .....	163
8.6.2	Sieć komunikacyjna PROFIBUS PA .....	164
<b>8.7</b>	<b>Bezpieczeństwo transmisji informacji w systemach komunikacyjnych .....</b>	<b>169</b>

## **9 Projektowanie, montaż, uruchomienie i eksploatacja urządzeń i systemów mechatronicznych 172**

<b>9.1</b>	<b>Zasady projektowania urządzeń i systemów mechatronicznych .....</b>	<b>172</b>
<b>9.2</b>	<b>Przykłady projektowania urządzeń i systemów mechatronicznych .....</b>	<b>175</b>
9.2.1	Elektrohydrauliczna prasa laboratoryjna .....	175
9.2.1.1	Podsystem mechaniczny .....	177
9.2.1.2	Podsystem elektrohydrauliczny .....	177
9.2.1.3	Podsystem elektropneumatyczny .....	180
9.2.1.4	Podsystem elektryczny .....	180
9.2.1.5	Podsystem elektroniczny .....	188
9.2.2	Miniaturowy robot mobilny .....	191
9.2.2.1	Podsystem mechaniczny .....	192
9.2.2.2	Podsystem elektryczny .....	194
9.2.2.3	Podsystem sensoryczny .....	195
9.2.2.4	Podsystem elektroniczny .....	196
9.2.2.5	Podsystem informatyczny .....	198
9.2.3	Elektropneumatyczny ustawnik pozycyjny .....	199
9.2.3.1	Podsystem mechaniczny .....	202
9.2.3.2	Podsystem elektroniczny i informatyczny .....	204
9.2.3.3	Badania funkcjonalne i testy przemysłowe .....	206

<b>9.3</b>	<b>Montaż urządzeń i systemów mechatronicznych</b>	208
9.3.1	Specyfika montażu urządzeń i systemów mechatronicznych	209
9.3.2	Planowanie i przygotowanie procesów montażu	212
9.3.3	Organizacja procesów montażu	214
9.3.4	Przykłady procesów montażu urządzeń i systemów mechatronicznych	217
9.3.4.1	Montaż bloku zaworów elektropneumatycznych na znormalizowanej szynie nośnej	218
9.3.4.2	Montaż manipulatora portalowego do realizacji zadań obsługowych maszyny odlewniczej	220
<b>9.4</b>	<b>Uruchomienie urządzeń i systemów mechatronicznych</b>	223
9.4.1	Specyfika procesu uruchomienia urządzeń i systemów mechatronicznych	224
9.4.2	Zasady prowadzenia procedur uruchomieniowych	225
9.4.2.1	Uruchamianie urządzeń pneumatycznych i elektropneumatycznych	227
9.4.2.2	Uruchamianie urządzeń hydraulicznych i elektrohydraulicznych	228
9.4.2.3	Uruchamianie maszyn elektrycznych	229
9.4.2.4	Uruchamianie sterowników programowalnych	229
9.4.3	Identyfikacja usterek i wad w uruchamianych urządzeniach i systemach mechatronicznych	229
<b>9.5</b>	<b>Eksploatacja urządzeń i systemów mechatronicznych</b>	232
9.5.1	Przebieg eksploatacji	232
9.5.2	Strategie eksploatacji	234
9.5.3	Utrzymanie urządzeń i systemów mechatronicznych w stanie bezawaryjnym	234
9.5.3.1	Działania obsługowe	234
9.5.3.2	Działania przeglądowe	236
9.5.3.3	Działania diagnostyczne	237
9.5.3.4	Działania naprawcze i regeneracyjne	241
	Skorowidz	242
	Słownik polsko-angielsko-niemiecki wybranych terminów mechatroniki	247
	Wykaz firm i instytucji	273