

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Istota mechatroniki</b>	<b>9</b>
1.1	Synergia różnych zasad działania urządzeń zintegrowanych w systemie mechatronicznym . . . . .	12
1.2	Systemowe podejście przy projektowaniu urządzeń i systemów mechatronicznych . . . . .	17
1.3	Przykłady urządzeń i systemów mechatronicznych . . . . .	21
1.4	Znaczenie mechatroniki dla rozwoju gospodarczego kraju . . . . .	27
<b>2</b>	<b>Bezpieczeństwo i higiena pracy</b>	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>Człowiek jest miarą</b> . . . . .	<b>31</b>
2.1.1	Ergonomia . . . . .	31
2.1.1.1	Ergonomiczne stanowisko pracy . . . . .	32
2.1.1.2	Ergonomiczne urządzenie mechatroniczne . . . . .	33
2.1.2	Obciążenia wywołane pracą . . . . .	34
2.1.2.1	Obciążenia spowodowane rodzajem pracy . . . . .	34
2.1.2.2	Obciążenia wywołane organizacją pracy . . . . .	35
<b>2.2</b>	<b>Warunki bezpiecznej pracy</b> . . . . .	<b>36</b>
2.2.1	Obowiązujące przepisy i dyrektywy . . . . .	37
2.2.1.1	Ustawa o ogólnym bezpieczeństwie produktów . . . . .	37
2.2.1.2	Przepisy, dyrektywy, normy . . . . .	37
2.2.1.3	Przepisy o zapobieganiu wypadkom . . . . .	37
2.2.2	Oznakowania dotyczące bezpieczeństwa pracy . . . . .	38
2.2.2.1	Oznakowanie materiałów niebezpiecznych . . . . .	38
2.2.2.2	Znaki bezpieczeństwa . . . . .	38
2.2.3	Bezpieczne użytkowanie narzędzi i przyrządów . . . . .	40
2.2.4	Odzież i środki ochrony indywidualnej . . . . .	40
<b>2.3</b>	<b>Praca z urządzeniami elektrycznymi</b> . . . . .	<b>41</b>
2.3.1	Ogólne warunki zasilania elektrycznego . . . . .	41
2.3.2	Podstawowe pojęcia . . . . .	41
2.3.3	Zagrożenia spowodowane pracą z urządzeniami elektrycznymi . . . . .	42
2.3.3.1	Działanie prądu elektrycznego na organizm człowieka . . . . .	43
2.3.3.2	Kompatybilność elektromagnetyczna . . . . .	44
2.3.4	Bezpieczna praca z urządzeniami elektrycznymi . . . . .	45
2.3.4.1	Pięć reguł bezpiecznej pracy z urządzeniami elektrycznymi . . . . .	46
2.3.4.2	Bezpieczna praca w pobliżu instalacji znajdujących się pod napięciem . . . . .	46
2.3.4.3	Bezpieczna praca przy wykonywaniu robót na instalacji znajdującej się pod napięciem . . . . .	47
2.3.5	Ochrona przeciwporażeniowa . . . . .	47
2.3.5.1	Ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim . . . . .	48
2.3.5.2	Ochrona przez bardzo niskie napięcie . . . . .	48
2.3.5.3	Ochrona przez ograniczenie energii rozładowania . . . . .	49
2.3.5.4	Ochrona przeciwporażeniowa w warunkach normalnych (ochrona przed dotykiem bezpośrednim lub ochrona podstawowa) . . . . .	49
2.3.5.5	Ochrona przeciwporażeniowa w warunkach awaryjnych (ochrona przed dotykiem pośrednim lub ochrona w warunkach zagrożenia) . . . . .	50
2.3.5.6	Izolacje ochronne . . . . .	51
2.3.5.7	Ochrona przez izolację pomieszczeń . . . . .	52
2.3.5.8	Ochrona przez galwaniczne oddzielenie obwodów . . . . .	52
2.3.5.9	Ochrona przez nieziemione, lokalne połączenia wyrównawcze . . . . .	52
<b>2.4</b>	<b>Praca z urządzeniami pneumatycznymi</b> . . . . .	<b>53</b>
2.4.1	Zagrożenia spowodowane pracą z urządzeniami pneumatycznymi . . . . .	53
2.4.2	Przepisy dotyczące bezpiecznego użytkowania instalacji i zbiorników ciśnieniowych . . . . .	54
2.4.3	Bezpieczna praca z urządzeniami pneumatycznymi . . . . .	55

<b>2.5</b>	<b>Praca z urządzeniami hydraulicznymi</b> .....	55
2.5.1	Zagrożenia spowodowane pracą z urządzeniami hydraulicznymi .....	56
2.5.2	Działanie cieczy hydraulicznych na organizm człowieka i jego środowisko .....	56
2.5.3	Bezpieczna praca z urządzeniami hydraulicznymi .....	56
<b>2.6</b>	<b>Bezpieczna praca z urządzeniami i systemami mechatronicznymi</b> .....	57
2.6.1	Przedsięwzięcia usuwające główne zagrożenia .....	58
2.6.2	Postępowanie powypadkowe .....	58
2.6.3	Ochrona przeciwpożarowa i postępowanie w przypadku pożaru .....	59
2.6.4	Postępowanie z materiałami niebezpiecznymi .....	60
2.6.5	Wytyczne UE dla zapewnienia bezpiecznej pracy urządzeń i systemów .....	60
<b>3</b>	<b>Obwody elektryczne</b> .....	<b>62</b>
<b>3.1</b>	<b>Wprowadzenie do elektrotechniki</b> .....	62
3.1.1	Podstawowe wielkości elektryczne i ich jednostki .....	62
3.1.2	Ładunek elektryczny .....	63
3.1.3	Napięcie elektryczne .....	63
3.1.3.1	Wytwarzanie napięcia elektrycznego .....	64
3.1.3.2	Rodzaje napięcia elektrycznego .....	65
3.1.4	Prąd elektryczny .....	66
3.1.5	Pole elektryczne .....	67
3.1.6	Pole magnetyczne .....	68
3.1.6.1	Wielkości charakteryzujące pole magnetyczne .....	69
3.1.6.2	Materiały magnetyczne .....	70
3.1.6.3	Obwody magnetyczne .....	71
3.1.6.4	Prąd elektryczny w polu magnetycznym .....	73
3.1.7	Indukcja elektromagnetyczna .....	74
<b>3.2</b>	<b>Obwody prądu stałego</b> .....	76
3.2.1	Elementy i budowa obwodu prądu stałego .....	77
3.2.2	Rezystor w obwodzie prądu stałego .....	78
3.2.2.1	Budowa rezystorów, ich właściwości i oznaczenia .....	78
3.2.2.2	Łączenie szeregowe rezystorów .....	81
3.2.2.3	Łączenie równoległe rezystorów .....	82
3.2.2.4	Szeregowe i równoległe łączenie rezystorów .....	83
3.2.3	Kondensator w obwodzie prądu stałego .....	84
3.2.3.1	Budowa kondensatorów, ich właściwości i oznaczenia .....	85
3.2.3.2	Łączenie szeregowe i równoległe kondensatorów .....	88
3.2.4	Cewka w obwodzie prądu stałego .....	89
3.2.5	Obliczanie parametrów obwodów prądu stałego z jednym i kilkoma źródłami napięcia ..	90
3.2.6	Stany nieustalone w obwodach prądu stałego .....	93
<b>3.3</b>	<b>Obwody prądu przemiennego</b> .....	96
3.3.1	Wytwarzanie napięcia przemiennego .....	96
3.3.2	Podstawowe zjawiska, wielkości i parametry obwodów prądu przemiennego .....	97
3.3.2.1	Przebiegi sinusoidalne .....	98
3.3.2.2	Przebiegi niesinusoidalne .....	100
3.3.2.3	Moce obwodów prądu przemiennego .....	102
3.3.3	Kondensator w obwodzie prądu przemiennego .....	105
3.3.4	Cewka w obwodzie prądu przemiennego .....	106
3.3.4.1	Budowa cewek i ich właściwości .....	106
3.3.4.2	Reaktancja indukcyjna cewki .....	107
3.3.4.3	Łączenie szeregowe i równoległe cewek .....	109
3.3.5	Obliczanie parametrów obwodów prądu przemiennego z rezystorami, kondensatorami i cewkami (obwody RLC) .....	109
3.3.5.1	Obwody szeregowe RC i RL .....	110
3.3.5.2	Obwody równoległe RC i RL .....	112
3.3.5.3	Straty w kondensatorze .....	113
3.3.5.4	Straty w cewce .....	114

3.3.5.5	Filtry RC i RL .....	115
3.3.6	Obwody rezonansowe .....	118
<b>3.4</b>	<b>Obwody trójfazowe</b> .....	<b>124</b>
3.4.1	Wytwarzanie napięcia trójfazowego .....	124
3.4.2	Podstawowe połączenia w obwodach prądu trójfazowego .....	125
3.4.2.1	Układ gwiazdy .....	125
3.4.2.2	Układ trójkąta .....	126
3.4.2.3	Zastosowania układu gwiazdy i trójkąta .....	126
3.4.3	Układy kompensacji mocy biernej .....	127
<b>4 Układy elektroniczne</b>		<b>129</b>
<b>4.1</b>	<b>Podstawowe pojęcia z zakresu budowy układów elektronicznych</b> .....	<b>129</b>
4.1.1	Element i układ elektroniczny .....	129
4.1.2	Elementy bierne i czynne układów elektronicznych .....	131
4.1.3	Układy analogowe, binarne i cyfrowe .....	132
4.1.4	Układy kombinacyjne i sekwencyjne .....	134
4.1.5	Układy o stałym programie oraz układy programowalne .....	135
<b>4.2</b>	<b>Półprzewodnikowe elementy i układy elektroniczne</b> .....	<b>136</b>
4.2.1	Półprzewodniki .....	136
4.2.1.1	Przepływy prądu w metalach i półprzewodnikach .....	137
4.2.1.2	Właściwości półprzewodników typu P i N .....	139
4.2.1.3	Właściwości złącza PN .....	140
4.2.2	Diody półprzewodnikowe .....	142
4.2.2.1	Budowa diod półprzewodnikowych i ich oznaczenia .....	145
4.2.2.2	Diody Zenera i Schottky'ego .....	146
4.2.2.3	Lasery półprzewodnikowe .....	149
4.2.3	Tranzystory .....	152
4.2.3.1	Tranzystory bipolarne typu NPN i PNP .....	152
4.2.3.2	Tranzystory unipolarne .....	159
4.2.3.3	Obudowy tranzystorów i ich oznaczenia .....	166
4.2.3.4	Tranzystor jako łącznik elektroniczny .....	166
4.2.3.5	Tranzystor jako wzmacniacz niskich częstotliwości .....	168
4.2.4	Tyrystory .....	170
4.2.5	Triaki .....	172
4.2.6	Diaki .....	173
4.2.7	Elementy optoelektroniczne .....	174
4.2.8	Chłodzenie elementów półprzewodnikowych .....	179
4.2.9	Układy scalone .....	180
4.2.10	Układy prostownikowe .....	182
4.2.11	Układy stabilizacji napięć i prądów .....	185
4.2.12	Układy wzmacniające .....	188
4.2.12.1	Wzmacniacze z tranzystorami bipolarnymi .....	191
4.2.12.2	Wzmacniacze z tranzystorami unipolarnymi .....	198
4.2.12.3	Wzmacniacze operacyjne .....	201
4.2.12.4	Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych .....	204
<b>4.3</b>	<b>Układy logiczne</b> .....	<b>211</b>
4.3.1	Sygnały i kody .....	211
4.3.2	Elementy układów logicznych .....	212
4.3.2.1	Bramka I (AND) .....	213
4.3.2.2	Bramka LUB (OR) .....	214
4.3.2.3	Bramka NIE (NOT) .....	214
4.3.2.4	Bramka NIE-I (NAND) .....	215
4.3.2.5	Bramka NIE-LUB (NOR) .....	216
4.3.2.6	Realizacje i podstawowe parametry bramek w technice scalonej .....	217
4.3.3	Układy kombinacyjne .....	218

4.3.3.1	Podstawowe prawa algebry dwuwartościowej	219
4.3.3.2	Podstawy syntezy układów kombinacyjnych	221
4.3.3.3	Minimalizacja liczby bramek w układach kombinacyjnych	223
4.3.3.4	Projektowanie układów kombinacyjnych	224
4.3.4	Układy sekwencyjne	226
4.3.4.1	Asynchroniczne przerzutniki RS	226
4.3.4.2	Synchroniczne przerzutniki JK	227
4.3.4.3	Liczniki asynchroniczne i synchroniczne	230
4.3.4.4	Rejestry	231
4.3.4.5	Projektowanie układów sekwencyjnych	231
<b>4.4</b>	<b>Układy cyfrowe</b>	<b>235</b>
4.4.1	Budowa układu cyfrowego	235
4.4.2	Informacja w układzie cyfrowym	237
4.4.2.1	Reprezentacja liczb	239
4.4.2.2	Reprezentacja znaków	242
4.4.2.3	Reprezentacja instrukcji	244
4.4.3	Elementy układów cyfrowych	246
4.4.3.1	Rejestry przesuwne	246
4.4.3.2	Specjalne elementy układów cyfrowych	249
4.4.3.3	Przetworniki kodów cyfrowych	251
4.4.3.4	Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe	254
4.4.3.5	Pamięci stałe (ROM)	257
4.4.3.6	Pamięci zapis/odczyt (RAM)	260
4.4.3.7	Mikroprocesory	262
4.4.4	Budowa mikrokomputera	264
4.4.4.1	Architektura i minimalna konfiguracja	264
4.4.4.2	Magistrale	266
4.4.4.3	Wejścia i wyjścia sygnałowe	269
4.4.4.4	Podstawowe tryby pracy mikrokomputera	272
4.4.5	Programowanie mikrokomputera	274
4.4.5.1	Programy użytkowe	275
4.4.5.2	Języki programowania	276
4.4.5.3	Rodzaje adresowania	281
4.4.5.4	Listy instrukcji	283
4.4.5.5	Przykład realizacji prostego programu	285
4.4.6	Współpraca mikrokomputera z urządzeniami zewnętrznymi	291
4.4.7	Przykłady zastosowań mikrokomputerów w urządzeniach mechatronicznych	300

## **5 Układy pneumatyczne 307**

<b>5.1</b>	<b>Fizyczne podstawy zachowania sprężonego powietrza</b>	<b>308</b>
5.1.1	Powietrze jako medium robocze	308
5.1.2	Podstawowe prawa gazowe	310
5.1.3	Rodzaje i parametry przepływu gazu	310
5.1.4	Parametry charakteryzujące stan powietrza roboczego	312
<b>5.2</b>	<b>Budowa układu pneumatycznego</b>	<b>314</b>
5.2.1	Układ wytwarzania sprężonego powietrza	315
5.2.2	Układ przygotowania powietrza roboczego	319
5.2.3	Pneumatyczny układ napędowy	320
5.2.4	Siłownik pneumatyczny	320
5.2.4.1	Budowa siłownika tłokowego	321
5.2.4.2	Budowa siłownika beztłokowego	322
5.2.4.3	Budowa siłownika beztłokowego (muskul pneumatyczny)	323
5.2.4.4	Dane techniczne i symbolika oznaczeń siłowników pneumatycznych	324
5.2.5	Zawór pneumatyczny	327
5.2.5.1	Budowa zaworu rozdzielającego tulejowo-gniazдового	327

5.2.5.2	Budowa zaworu rozdzielającego suwakowego .....	328
5.2.5.3	Budowa zaworu rozdzielającego talerzowo-gniazdowego .....	329
5.2.5.4	Zawory rozdzielające sterowane bezpośrednio i pośrednio .....	329
5.2.5.5	Przegląd i budowa zaworów specjalnego przeznaczenia .....	330
5.2.5.6	Dane techniczne i symbolika oznaczeń zaworów pneumatycznych .....	332
<b>5.3</b>	<b>Podstawowe układy sterowania siłownikiem pneumatycznym .....</b>	<b>334</b>
5.3.1	Dobór siłownika i zaworu rozdzielającego .....	334
5.3.2	Bezpośrednie sterowanie siłownikiem tłokowym jednostronnego działania .....	335
5.3.3	Pośrednie sterowanie siłownikiem tłokowym jednostronnego działania .....	335
5.3.4	Bezpośrednie sterowanie siłownikiem tłokowym dwustronnego działania .....	336
5.3.5	Pośrednie sterowanie siłownikiem tłokowym dwustronnego działania .....	337
5.3.6	Przykłady zastosowań układów sterowania siłownikiem pneumatycznym .....	338
5.3.6.1	Stanowisko produkcyjne realizujące proces montażu przez zgniatanie tulei ..	338
5.3.6.2	Stanowisko produkcyjne realizujące proces zginania elementów blaszanych ..	338
<b>6</b>	<b>Układy hydrauliczne .....</b>	<b>340</b>
<b>6.1</b>	<b>Fizyczne podstawy zachowania cieczy pod ciśnieniem .....</b>	<b>340</b>
6.1.1	Ciecz stojąca .....	340
6.1.2	Ciecz płynąca .....	341
6.1.3	Wytwarzanie ciśnienia i przepływu w cieczy .....	342
6.1.4	Akumulacja energii w cieczy .....	342
6.1.5	Parametry charakteryzujące stan cieczy .....	343
<b>6.2</b>	<b>Budowa układu hydraulicznego .....</b>	<b>343</b>
6.2.1	Ciecze hydrauliczne .....	344
6.2.2	Zasady budowy układu hydraulicznego .....	345
6.2.2.1	Budowa otwarta układu hydraulicznego (układ dławieniowy) .....	345
6.2.2.2	Budowa zamknięta układu hydraulicznego (układ wyporowy) .....	346
6.2.3	Siłownik hydrauliczny .....	346
6.2.3.1	Budowa siłownika tłokowego .....	347
6.2.3.2	Budowa siłownika nurnikowego i teleskopowego .....	347
6.2.3.3	Budowa siłowników o ruchu wahadłowym .....	348
6.2.3.4	Dane techniczne i symbolika oznaczeń siłowników hydraulicznych .....	348
6.2.4	Silniki hydrauliczne – przegląd rozwiązań .....	349
6.2.5	Zawór hydrauliczny .....	350
6.2.5.1	Zasady budowy zaworów rozdzielających .....	350
6.2.5.2	Budowa zaworu rozdzielającego suwakowego .....	351
6.2.5.3	Budowa zaworu rozdzielającego proporcjonalnego .....	352
6.2.5.4	Budowa serwozaworu rozdzielającego .....	352
6.2.5.5	Przegląd i budowa zaworów specjalnego przeznaczenia .....	353
6.2.5.6	Dane techniczne i symbolika oznaczeń zaworów hydraulicznych .....	354
6.2.6	Osprzęt układu hydraulicznego .....	354
<b>6.3</b>	<b>Podstawowe układy sterowania siłownikowymi i silnikowymi napędami hydraulicznymi ...</b>	<b>355</b>
6.3.1	Układ pompa i silnik hydrauliczny .....	356
6.3.2	Dobór siłownika, silnika i zaworu rozdzielającego .....	356
6.3.3	Sterowanie różnicowe siłownika tłokowego z jednostronnym tłoczyskiem .....	357
6.3.4	Sterowanie siłownikiem o zmiennym obciążeniu .....	358
6.3.5	Zabezpieczenie napędu hydraulicznego przed przeciążeniem .....	358
6.3.6	Przykłady zastosowań układów sterowania siłownikiem hydraulicznym .....	358
6.3.6.1	Hydrauliczna jednostka napędowo-posuwowa .....	359
6.3.6.2	Stanowisko produkcyjne z siłownikiem mocującym przedmiot obrabiany i siłownikiem posuwowym narzędzia .....	359
6.3.6.3	Warianty współpracy dwóch siłowników w stanowisku produkcyjnym: synchronizacja działania i wybór prędkości ruchu .....	359
<b>Skorowidz</b>	.....	<b>361</b>
<b>Wykaz firm i instytucji</b>	.....	<b>371</b>