

# SPIS TREŚCI

Strona

<b>PRZEDMOWA</b> .....	9
<b>WSTĘP</b> .....	11
<b>1. POJĘCIA PODSTAWOWE I RODZAJE UKŁADÓW AUTOMATYKI</b>	17
1.1. Automatyka, sterowanie i regulacja .....	17
1.2. Obiekt regulacji i proces sterowania .....	17
1.3. Układ otwarty i zamknięty .....	17
1.4. Sygnały .....	19
1.5. Elementy układów automatyki .....	20
1.6. Podział układów ze względu na liniowość elementów .....	21
1.7. Podział układów ze względu na rodzaj sygnałów .....	21
1.8. Podział układów ze względu na zadanie .....	21
1.9. Podział układów ze sztuczną inteligencją .....	23
1.10. Pytania.....	24
<b>2. METODY OPISU UKŁADÓW AUTOMATYKI</b> .....	25
2.1. Równanie różniczkowe .....	25
2.1.1. Zasada Hamiltona i równanie Lagrange'a .....	25
2.1.2. Podstawowe elementy rzeczywistych układów automatyki.....	27
2.1.3. Ogólne równanie różniczkowe .....	28
2.2. Transmitancja .....	30
2.2.1. Przekształcenie Laplace'a .....	30
2.2.2. Transmitancja operatorowa .....	32
2.2.3. Transmitancja widmowa .....	34
2.2.4. Macierz transmitancji .....	35
2.3. Równania stanu i wyjścia .....	36
2.3.1. Postać ogólna .....	36
2.3.2. Równania liniowe .....	37
2.4. Charakterystyki czasowe .....	38
2.4.1. Charakterystyka skokowa .....	38
2.4.2. Charakterystyka impulsowa .....	38
2.4.3. Charakterystyka prędkościowa .....	39
2.4.4. Charakterystyka przyspieszeniowa .....	39
2.5. Charakterystyki częstotliwościowe .....	39
2.5.1. Charakterystyki – amplitudowa i fazowa .....	40
2.5.2. Wykres Nyquista .....	42
2.5.3. Wykres Bode'a .....	43
2.6. Pytania .....	45

	Strona
<b>3. PODSTAWOWE ELEMENTY UKŁADÓW AUTOMATYKI .....</b>	<b>47</b>
3.1. Element bezinercyjny .....	47
3.1.1. Przykłady elementów bezinercyjnych.....	48
3.2. Element inercyjny .....	50
3.2.1. Element inercyjny I rzędu .....	50
3.2.2. Przykłady elementów inercyjnych I rzędu .....	50
3.2.3. Element inercyjny II rzędu .....	53
3.2.4. Przykłady elementów inercyjnych II rzędu.....	53
3.3. Element różniczkujący .....	55
3.3.1. Element różniczkujący idealny .....	55
3.3.2. Przykłady elementów różniczkujących idealnych.....	57
3.3.3. Element różniczkujący rzeczywisty .....	58
3.3.4. Przykłady elementów różniczkujących rzeczywistych .....	59
3.4. Element całkujący .....	61
3.4.1. Element całkujący idealny .....	61
3.4.2. Przykłady elementów całkujących idealnych.....	62
3.4.3. Element całkujący rzeczywisty .....	63
3.4.4. Przykłady elementów całkujących rzeczywistych .....	65
3.5. Element oscylacyjny .....	66
3.5.1. Przykłady elementów oscylacyjnych .....	68
3.6. Element opóźniający .....	70
3.6.1. Przykłady elementów opóźniających .....	71
3.7. Pytania .....	72
<b>4. IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW REGULACJI .....</b>	<b>74</b>
4.1. Identyfikacja czynna .....	74
4.2. Identyfikacja bierna .....	75
4.3. Charakterystyki skokowe typowych obiektów regulacji .....	77
4.3.1. Obiekt statyczny .....	77
4.3.2. Obiekt astatyczny .....	78
4.4. Pytania .....	79
<b>5. SCHEMATY BLOKOWE UKŁADÓW AUTOMATYKI .....</b>	<b>80</b>
5.1. Układanie schematów .....	80
5.2. Zasady przekształcania schematów .....	81
5.2.1. Połączenie szeregowe .....	81
5.2.2. Połączenie równoległe .....	82
5.2.3. Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym.....	82
5.2.4. Połączenie mieszane .....	83
5.3. Pytania .....	90

	Strona
<b>6. WYMAGANIA DLA UKŁADÓW AUTOMATYKI .....</b>	<b>91</b>
6.1. Zapas stabilności .....	91
6.1.1. Stabilność asymptotyczna .....	91
6.1.2. Kryterium Hurwitza .....	92
6.1.3. Kryterium Nyquista .....	95
6.1.4. Kryterium logarytmiczne .....	97
6.2. Jakość regulacji .....	99
6.2.1. Kryteria czasowe .....	99
6.2.2. Wskaźnik jakości regulacji .....	100
6.2.3. Kryteria całkowite .....	101
6.2.4. Linie pierwiastkowe .....	102
6.3. Uchyb ustalony .....	107
6.3.1. Uchyb nadążania .....	108
6.3.2. Uchyb zakłócenia .....	112
6.3.3. Warunki dla zerowego uchybu ustalonego .....	112
6.4. Pytania .....	113
<b>7. REGULACJA CIĄGŁA .....</b>	<b>114</b>
7.1. Rodzaje regulatorów .....	114
7.1.1. Podział regulatorów ze względu na wykorzystanie energii pomocniczej .....	114
7.1.2. Podział regulatorów ze względu na rodzaj nośnika energii ....	114
7.1.3. Podział regulatorów ze względu na rodzaj sygnału wyjściowego .....	114
7.2. Regulatory bezpośredniego działania .....	115
7.3. Dobór typu regulatora do obiektu .....	117
7.4. Regulator P .....	118
7.5. Regulator I .....	119
7.6. Regulator PI .....	120
7.7. Regulator PD .....	121
7.8. Regulator PID .....	122
7.8.1. Struktury realizacyjne regulatorów PID .....	124
7.9. Metody doboru nastaw regulatorów PID .....	127
7.9.1. Metoda Zieglera-Nicholsa .....	127
7.9.2. Metody tabelaryczne .....	128
7.9.3. Metody symulacyjne .....	130
7.10. Przykłady okrętowych regulatorów PID .....	132
7.11. Pytania .....	135
<b>8. REGULACJA STANU OBIEKTU .....</b>	<b>136</b>
8.1. Opis stanu obiektu sterowania .....	136
8.2. Schemat blokowy układu regulacji wykorzystującego zmienne stanu do sterowania .....	136

8.3. Wyznaczanie współczynników regulatora stanu obiektu .....	138
8.4. Pytania .....	139
<b>9. REGULACJA KOREKCYJNA.....</b>	<b>140</b>
9.1. Korekcja szeregową.....	140
9.1.1. Człon korekcyjny różniczkujący .....	141
9.1.2. Człon korekcyjny całkujący .....	141
9.1.3. Człon korekcyjny różniczkująco-całkujący .....	142
9.1.4. Dobór korektora szeregowego do obiektu .....	143
9.1.5. Realizacja elektryczna członów korekcji szeregowej .....	146
9.2. Korekcja równoległa.....	147
9.2.1. Człon korekcyjny całkujący idealny .....	148
9.2.2. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty .....	148
9.2.3. Dobór korektora równoległego do obiektu .....	148
9.2.4. Korekcja równoległa addytywna .....	148
9.3. Korekcja ze sprzężeniem zwrotnym .....	150
9.3.1. Człon korekcyjny inercyjny .....	151
9.3.2. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty .....	151
9.3.3. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty z inercją .....	152
9.3.4. Dobór korektora w sprzężeniu zwrotnym do obiektu .....	152
9.4. Pytania .....	153
<b>10. REGULACJA KASKADOWA .....</b>	<b>154</b>
10.1. Linearyzacja nieliniowej charakterystyki statycznej obiektu .....	154
10.2. Kompensacja dynamiki części obiektu .....	156
10.3. Kompensacja zakłóceń.....	156
10.4. Układ zamknięto-otwarty.....	158
10.5. Pytania.....	159
<b>11. REGULACJA WIELOWYMIAROWA .....</b>	<b>160</b>
11.1. Wielowymiarowy układ regulacji .....	160
11.2. Wielowymiarowy obiekt regulacji .....	161
11.3. Regulator wielowymiarowy .....	162
11.4. Odsprężenie układu regulacji .....	162
11.5. Pytania .....	165
<b>12. REGULACJA CYFROWA .....</b>	<b>166</b>
12.1. Układ dyskretny .....	166
12.1.1. Twierdzenie Kotelnikowa-Shannona .....	168
12.1.2. Opis dyskretny obiektu ciągłego .....	169
12.1.3. Przekształcenie z .....	172
12.1.4. Transmitancja impulsowa .....	178
12.1.5. Stabilność układu .....	179

	Strona
12.2. Bezpośrednie sterowanie cyfrowe .....	181
12.2.1. Algorytm pozycyjny PID .....	182
12.2.2. Algorytm przyrostowy PID .....	183
12.3. Dobór parametrów regulatora metodą Takahashiego .....	183
12.4. Sterowniki programowalne PLC .....	184
12.5. Mikrokontrolery .....	187
12.6. Pytania .....	190
<b>13. REGULACJA NIELINIOWA .....</b>	<b>191</b>
13.1. Charakterystyki statyczne elementów nieliniowych .....	192
13.1.1. Zastępcze charakterystyki statyczne podstawowych połączeń układów nieliniowych.....	193
13.2. Stabilność układów nieliniowych .....	195
13.2.1. I metoda Lapunowa .....	197
13.2.2. II metoda Lapunowa .....	197
13.3. Metody analizy układów nieliniowych .....	198
13.3.1. Płaszczyzna fazowa .....	198
13.3.2. Funkcja opisująca .....	202
13.4. Kryterium stabilności Nyquista .....	206
13.5. Regulacja przekaźnikowa .....	207
13.5.1. Regulacja dwupołożeniowa .....	208
13.5.2. Regulacja trójpołożeniowa .....	210
13.5.3. Regulacja krokowa .....	210
13.5.4. Przemysłowe regulatory przekaźnikowe .....	212
13.6. Pytania .....	214
<b>14. REGULACJA EKSTREMALNA .....</b>	<b>216</b>
14.1. Struktury układów sterowania .....	217
14.2. Metody szukania ekstremum .....	218
14.3. Przebieg procesu regulacji .....	221
14.4. Pytania .....	223
<b>15. STEROWANIE OPTYMALNE .....</b>	<b>224</b>
15.1. Rodzaje zadań i metod optymalizacji .....	225
15.2. Optymalizacja statyczna .....	237
15.2.1. Metody deterministyczne .....	238
15.2.2. Metody stochastyczne .....	263
15.3. Optymalizacja dynamiczna .....	282
15.4. Optymalizacja wielokryterialna .....	301
15.4.1. Optymalizacja wielokryterialna statyczna .....	301
15.4.2. Optymalizacja wielokryterialna dynamiczna .....	309
15.5. Pytania .....	310

	Strona
<b>16. STEROWANIE ADAPTACYJNE .....</b>	<b>311</b>
16.1. Układ z przestrajaniem wzmocnienia .....	312
16.2. Układ z modelem odniesienia .....	312
16.3. Regulator samonastrajalny .....	314
16.4. Okrętowe regulatory adaptacyjne .....	315
16.5. Pytania .....	317
<b>17. STEROWANIE ROZGRYWAJĄCE .....</b>	<b>318</b>
17.1. Klasyfikacja gier .....	319
17.2. Gra różniczkowa procesu sterowania obiektami .....	319
17.3. Rozgrywające sterowanie statkiem .....	321
17.3.1. Rodzaje sterowania ruchem statku .....	323
17.3.2. Gra dynamiczna .....	324
17.3.3. Gra pozycyjna .....	326
17.3.4. Gra macierzowa .....	331
17.4. Wrażliwość sterowania rozgrywającego .....	336
17.5. Pytania .....	340
<b>18. METODY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W AUTOMATYCE .....</b>	<b>341</b>
18.1. Systemy ekspertowe .....	341
18.2. Sterowanie rozmyte .....	354
18.3. Sztuczne sieci neuronowe .....	373
18.4. Algorytmy ewolucyjne .....	385
18.5. Pytania .....	394
<b>19. AUTOMATYZACJA PROCESÓW STEROWANIA STATKIEM ..</b>	<b>395</b>
19.1. Regulacja kursu .....	397
19.2. Stabilizacja trajektorii .....	412
19.3. Sterowanie prędkością .....	415
19.4. Sterowanie precyzyjne .....	418
19.5. Dynamiczne pozycjonowanie .....	425
19.6. Kompensacja przechyłów .....	437
19.7. Sterowanie bezpieczne .....	442
19.8. Optymalizacja drogi .....	448
19.9. Pytania .....	453
<b>LITERATURA .....</b>	<b>455</b>