

---

# Spis treści

---

PRZEDMOWA .....	1
1. ZNACZENIE MIERNICTWA PRZEMYSŁOWEGO .....	3
2. CHARAKTERYSTYKA WIELKOŚCI MIERZONYCH .....	5
3. METODY POMIAROWE .....	7
3.1. Pomiar analogowy i dyskretny .....	10
3.2. Analogowe metody pomiarowe .....	12
3.2.1. Metoda wychyłowa .....	12
3.2.2. Metoda różnicowa .....	13
3.2.3. Metoda kompensacyjna .....	14
3.3. Cyfrowe metody pomiarowe .....	14
4. ZESPÓŁ POMIAROWY .....	17
5. SYSTEMY POMIAROWO-REGULACYJNE .....	20
5.1. Analogowy system pneumatyczny .....	22
5.2. Analogowy system elektryczny .....	24
5.3. Systemy dyskretne .....	24
6. UKŁADY SYGNALIZACYJNE .....	32
7. STATYCZNE I DYNAMICZNE WŁAŚCIWOŚCI UKŁADÓW POMIAROWYCH .....	34
7.1. Statyczne błędy pomiaru .....	35
7.1.1. Błąd systematyczny .....	35
7.1.2. Błąd przypadkowy .....	36
7.1.3. Klasa niedokładności przyrządu .....	37
7.1.4. Legalność przyrządu .....	39
7.1.5. Inne statyczne właściwości urządzeń pomiarowych .....	41
7.2. Dynamiczne błędy pomiaru .....	41
8. POMIARY PODSTAWOWYCH WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH .....	44
8.1. Pomiary prądu, napięcia i siły elektromotorycznej .....	44
8.1.1. Rezystancja wewnętrzna przyrządu .....	45

8.1.2. Miernik magnetoelektryczny	46
8.1.3. Kompensator napięcia	48
8.1.4. Woltomierz elektroniczny	49
8.2. Pomiary rezystancji	49
8.2.1. Wpływ rezystancji linii	50
8.2.2. Mostek pomiarowy	51
8.2.3. Elektroniczny przetwornik rezystancji	52
8.3. Pomiary pojemności i indukcyjności	53
8.4. Pomiary częstotliwości i liczby impulsów	54
9. POMIARY CZASU	56
10. POMIARY WIELKOŚCI MECHANICZNYCH	59
10.1. Pomiary przesunięcia liniowego	59
10.1.1. Mechaniczne pomiary przesunięcia	60
10.1.2. Pneumatyczny przetwornik przesunięcia	60
10.1.3. Elektroniczne stykowe przetworniki przesunięcia	62
10.1.4. Elektroniczne rezystancyjne przetworniki przesunięcia	63
10.1.5. Strunowy przetwornik przesunięcia	66
10.1.6. Magnetyczne przetworniki przesunięcia	66
10.1.7. Pojemnościowe przetworniki przesunięcia	70
10.1.8. Fotoelektryczne przetworniki przesunięcia	71
10.2. Pomiary przesunięcia kąтового	72
10.3. Pomiary prędkości liniowej i kątovej	74
10.3.1. Magnetyczne przetworniki prędkości kątovej	75
10.3.2. Fotoelektryczne przetworniki prędkości kątovej	76
10.4. Pomiary liczby sztuk	76
10.5. Pomiary poziomu cieczy	78
10.5.1. Bezpośrednie pomiary poziomu cieczy	78
10.5.2. Przetworniki pływakowe	79
10.5.3. Hydrostatyczne przetworniki manometryczne	81
10.5.4. Elektroniczne przetworniki poziomu cieczy	84
10.5.5. Wagowe przetworniki poziomu cieczy	85
10.5.6. Falowe przetworniki poziomu cieczy	86
10.6. Pomiary poziomu materiałów sypkich	88
10.7. Pomiary siły	89
10.7.1. Sprężyste przetworniki siły	89
10.7.2. Kompensacyjne przetworniki siły	92
10.8. Pomiary masy i strumienia masy	95
10.9. Pomiary ciśnienia i różnicy ciśnień	97
10.9.1. Cieczowe przetworniki ciśnienia	99
10.9.2. Sprężyste przetworniki ciśnienia	100
10.9.3. Kompensacyjne przetworniki ciśnienia	104
10.10. Pomiary przepływu płynów	105
10.10.1. Przepływomierze spiętrzeniowe	106
10.10.2. Wirnikowe przepływomierze i liczniki przepływu	112
10.10.3. Przepływomierze cieplne	114
10.10.4. Przepływomierze indukcyjne	115

---

10.10.5. Przepływomierze wirowe .....	117
10.10.6. Przepływomierze ultradźwiękowe .....	119
<b>11. POMIARY TEMPERATURY .....</b>	<b>121</b>
11.1. Skale termometryczne .....	121
11.2. Warunki pomiarów temperatury .....	124
11.3. Termometry rozszerzalnościowe .....	126
11.3.1. Termometry cieczowe .....	126
11.3.2. Termometry ciśnieniowe .....	128
11.3.3. Termometry dylatacyjne .....	129
11.3.4. Termometry bimetalowe .....	130
11.4. Termometry rezystancyjne .....	131
11.4.1. Termorezystory .....	131
11.4.2. Termistory .....	134
11.5. Termometry termoelektryczne .....	134
11.6. Termometry chemiczne .....	138
11.7. Termometry emisyjne .....	139
11.7.1. Pirometry radiacyjne .....	140
11.7.2. Pirometry monochromatyczne .....	141
11.7.3. Pirometry polichromatyczne .....	142
11.7.4. Termowizja .....	143
11.7.5. Pastylkowe rejestratory temperatury .....	145
<b>12. BEZPOŚREDNIE I POŚREDNIE POMIARY STĘŻENIA SUBSTANCJI .....</b>	<b>147</b>
12.1. Pomiary stężenia suchej masy w roztworach .....	147
12.1.1. Refraktometria .....	148
12.1.2. Wiskozymetria .....	149
12.1.3. Densymetria .....	153
12.1.4. Absorpcja mikrofal .....	164
12.2. Pomiary wilgotności .....	165
12.2.1. Pomiary wilgotności gazów .....	165
12.2.2. Pomiary zawartości wody w cieczach i substancjach stałych .....	173
12.3. Termokonduktometria gazów .....	179
12.4. Pomiary optycznych właściwości substancji .....	181
12.5. Pomiary elektrycznych właściwości substancji .....	186
12.5.1. Pomiary potencjału elektrochemicznego .....	186
12.5.2. Pomiary konduktywności elektrolitów .....	195
12.6. Automatyczne analizatory chemiczne .....	200
12.7. Biosensory .....	201
12.8. Pomiary wielkości nietypowych .....	203
<b>13. POMOCNICZE CZŁONY UKŁADU POMIAROWEGO .....</b>	<b>204</b>
13.1. Wzmacniacze pomiarowe .....	204
13.1.1. Wzmacniacze elektroniczne .....	205
13.1.2. Wzmacniacze pneumatyczne .....	206
13.2. Przetworniki międzysystemowe .....	208
13.3. Separatory sygnałów .....	209
13.4. Urządzenia zasilające .....	210
13.5. Urządzenia wyjściowe .....	210

---

---

14. AUTOMATYZACJA POMIARÓW PRZEMYSŁOWYCH .....	215
14.1. Pomiar z sygnalizacją ekstremalną .....	215
14.2. Zautomatyzowane blokowe systemy pomiarowe .....	216
14.3. Systemy informatyczne .....	217
15. ZADANIA AUTOMATYZACJI PROCESÓW .....	221
15.1. Sterowanie w układzie otwartym .....	223
15.2. Sterowanie w układzie zamkniętym .....	224
15.2.1. Sterowanie ręczne .....	224
15.2.2. Regulacja automatyczna .....	226
16. STATYCZNE I DYNAMICZNE WŁAŚCIWOŚCI UKŁADÓW POMIAROWYCH I REGULACYJNYCH .....	229
16.1. Opis matematyczny układów liniowych .....	229
16.1.1. Właściwości statyczne .....	230
16.1.2. Właściwości dynamiczne .....	231
16.1.3. Rodzaje wymuszeń dynamicznych .....	232
16.2. Podstawowe elementy układów liniowych .....	234
16.2.1. Element proporcjonalny .....	235
16.2.2. Element opóźniający .....	236
16.2.3. Element inercyjny I rzędu .....	238
16.2.4. Element oscylacyjny .....	245
16.2.5. Element różniczkujący .....	246
16.2.6. Element całkujący .....	250
16.3. Złożone układy liniowe .....	253
16.3.1. Rodzaje połączeń elementów .....	253
16.3.2. Właściwości dynamiczne układów złożonych .....	255
16.4. Analiza układów nieliniowych .....	258
17. KLASYFIKACJA UKŁADÓW REGULACJI AUTOMATYCZNEJ .....	260
17.1. Pochodzenie wielkości zadanej .....	261
17.1.1. Regulacja stałowartościowa .....	261
17.1.2. Regulacja programowa .....	262
17.1.3. Regulacja nadążna stosunku .....	262
17.1.4. Regulacja nadążna kaskadowa .....	264
17.1.5. Regulacja nadążna z kompensacją zakłóceń .....	265
17.2. Zasilanie energią .....	265
17.2.1. Regulacja bezpośrednia .....	265
17.2.2. Regulacja pośrednia .....	267
17.3. Charakter sygnału regulującego .....	268
17.3.1. Regulacja dyskretna .....	268
17.3.2. Regulacja cyfrowa .....	268
17.3.3. Regulacja analogowa .....	269
17.4. Stopień złożoności .....	269
18. STATYCZNE I DYNAMICZNE WŁAŚCIWOŚCI REGULATORÓW .....	271
18.1. Regulatory przekaźnikowe .....	271
18.1.1. Regulator dwupołożeniowy .....	272
18.1.2. Regulator trójpołożeniowy .....	274

---

18.1.3. Regulator impulsowy	275
18.2. Regulatory ciągłe	278
18.2.1. Regulator proporcjonalny	278
18.2.2. Regulator proporcjonalno-całkujący	284
18.2.3. Regulator proporcjonalno-różniczkujący	287
18.2.4. Regulator PID	289
18.3. Regulatory cyfrowe	291
18.4. Programowalne sterowniki logiczne	293
19. URZĄDZENIA PERYFERYJNE UKŁADÓW REGULACJI	294
19.1. Zadajniki	294
19.2. Urządzenia wykonawcze	296
19.2.1. Siłowniki elektryczne	296
19.2.2. Siłowniki pneumatyczne	298
19.2.3. Siłowniki hydrauliczne	301
19.2.4. Nastawniki elektryczne	301
19.2.5. Zawory regulacyjne	306
19.2.6. Urządzenia dozujące	312
19.3. Urządzenia pomocnicze	313
20. UKŁADY STEROWANIA, SYGNALIZACJI I BLOKADY	314
20.1. Elementy logiczne	314
20.1.1. Bramka logiczna OR	315
20.1.2. Bramka logiczna AND	315
20.1.3. Bramka logiczna NOT	316
20.1.4. Logiczne bramki złożone	316
20.1.5. Przerzutniki	317
20.1.6. Liczniki	317
20.2. Układy sterowania	319
20.2.1. Sterowanie ręcznie	319
20.2.2. Sterowanie automatyczne	319
20.2.3. Sterowanie sekwencyjne	319
20.2.4. Sterowanie logiczne	321
20.3. Sygnalizacja	322
20.4. Blokada	323
21. PROGRAMOWALNE STEROWNIKI LOGICZNE	325
22. WSKAŹNIKI JAKOŚCI REGULACJI AUTOMATYCZNEJ	333
22.1. Statyczna dokładność regulacji	333
22.2. Dynamiczna dokładność regulacji	334
22.2.1. Stabilność asymptotyczna	334
22.2.2. Cechy odpowiedzi skokowej	335
22.2.3. Całkowe wskaźniki jakości regulacji	337
23. PROJEKTOWANIE UKŁADÓW REGULACJI	338
23.1. Identyfikacja obiektu regulacji	338
23.1.1. Właściwości statyczne	338
23.1.2. Właściwości dynamiczne	339
23.2. Wybór i optymalizacja regulatora	342

---

23.2.1. Wybór regulatora .....	342
23.2.2. Optymalne nastawy regulatora PID .....	343
23.2.3. Przykład doboru regulatora i jego nastaw z tabel .....	348
23.3. Schematy technologiczne automatyki .....	351
24. UKŁADY STEROWANIA PARAMETRAMI PROCESÓW W PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM .....	354
24.1. Przepływ płynów .....	354
24.2. Poziom cieczy .....	355
24.3. Ciśnienie gazu .....	356
24.4. Temperatura .....	357
24.5. Stężenie jonów wodorowych .....	358
24.6. Proces ekstrakcji .....	359
24.7. Proces suszenia .....	360
24.8. Proces krystalizacji .....	362
24.9. Proces rektyfikacji .....	363
25. PERSPEKTYWY ROZWOJU AUTOMATYKI .....	366
25.1. Wyższe stopnie automatyzacji .....	366
25.1.1. Regulacja nadrzędna .....	367
25.1.2. Bezpośrednie sterowanie cyfrowe .....	368
25.2. Blokowe systemy pomiarowo-regulacyjne i informatyczne .....	369
25.2.1. Warstwowa struktura układu pomiarow-regulacyjnego .....	369
25.2.2. Systemy redundantne .....	372
25.3. Przemysłowe sieci komunikacyjne .....	372
25.3.1. Klasyfikacja sieci komunikacyjnych .....	372
25.3.2. Protokoły transmisji .....	374
25.4. Rozproszone systemy sterowania .....	379
25.5. Mikrokontrolery .....	385
25.5.1. Architektura mikrokontrolerów .....	386
25.5.2. Programowanie mikrokontrolerów .....	387
25.6. Urządzenia mobilne .....	387
25.7. Roboty przemysłowe .....	388
25.7.1. Proces uczenia robota przemysłowego .....	390
25.7.2. Bezpieczeństwo pracy robota .....	391
26. POMIARY NIETYPOWYCH PARAMETRÓW PROCESÓW PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO .....	392
26.1. Miernik zakażenia mikrobiologicznego zawartości ekstraktora cukrowniczego ...	392
26.2. Automatyczny analizator kondensatu z wyparki .....	396
26.3. Alkalimetr konduktometryczny .....	400
26.4. Elektrochemiczny analizator związków wapnia .....	402
26.5. Inne nietypowe przetworniki pomiarowe .....	408
27. LITERATURA .....	409
28. NORMY I PRZEPISY LEGALIZACYJNE .....	413
29. PROSPEKTY I KATALOGI FIRM .....	415
30. WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW .....	416