

Spis treści

	Wstęp	13
1.	Wprowadzenie	15
1.1.	Definicja pomiaru i terminów z nim związanych	15
1.2.	Podstawowe pojęcia	19
1.2.1.	Aparatura pomiarowa	19
1.2.2.	Przyrząd pomiarowy	19
1.2.3.	Systemy pomiarowe	22
1.2.4.	Definicje błędów	23
1.3.	Przetwarzanie wielkości	28
1.3.1.	Czujniki i przetworniki analogowe	28
1.3.2.	Próbkowanie wielkości	29
1.3.3.	Kwantowanie wielkości	31
1.3.4.	Stopień zliczania, przetwornik A/C do pomiaru czasu lub częstotliwości	33
1.3.5.	Przetworniki C/A napięcia	36
1.3.6.	Przetworniki A/C kompensacyjne	38
1.3.7.	Przetworniki A/C całkujące	41
1.3.8.	Przetworniki A/C z pojedynczym całkowaniem	42
1.3.9.	Przetworniki A/C z podwójnym całkowaniem	44
1.4.	Modulacja i przesył sygnałów	46
1.4.1.	Sygnał	46
1.4.2.	Modulacja szerokości impulsów	48
1.4.3.	Sieć pomiarowa	52
1.4.4.	Pętla prądowa	54
1.4.5.	Protokół HART	55
1.4.6.	Inne magistrale obiektowe	57
1.4.7.	Standard IEEE 1451	58

- 1.4.8. Interfejs IEC-625 61
- 1.4.9. Bezprzewodowa transmisja sygnałów pomiarowych 63
- 1.5. Właściwości metrologiczne aparatury pomiarowej 63
- 1.6. Czynności metrologiczne 69
- Literatura 73

2. Pomiary temperatury

75

- 2.1. Skale temperatury 75
 - 2.1.1. Wprowadzenie 75
 - 2.1.2. Termodynamiczna skala temperatury 75
 - 2.1.3. Międzynarodowa Skala Temperatury MST-90 78
- 2.2. Termometry nieelektryczne 81
 - 2.2.1. Wprowadzenie 81
 - 2.2.2. Termometry szklane 81
 - 2.2.3. Termometry dylatacyjne i bimetalowe 85
 - 2.2.4. Termometry ciśnieniowe 86
- 2.3. Termometry rezystancyjne 87
 - 2.3.1. Ogólna charakterystyka 87
 - 2.3.2. Czujniki rezystancyjne metalowe 88
 - 2.3.3. Układy pomiarowe czujników rezystancyjnych metalowych 91
 - 2.3.4. Termistory 97
 - 2.3.5. Rezystancyjne czujniki krzemowe 100
- 2.4. Termometry termoelektryczne 102
 - 2.4.1. Budowa termometru termoelektrycznego 102
 - 2.4.2. Zasada działania termoelementów 102
 - 2.4.3. Budowa termoelementów 104
 - 2.4.4. Rodzaje termoelementów i ich właściwości 106
 - 2.4.5. Termoelementy nieznormalizowane 108
 - 2.4.6. Korekcja błędów od temperatury zimnych końców 109
 - 2.4.7. Automatyczna korekcja błędu temperaturowego 111
- 2.5. Półprzewodnikowe czujniki temperatury 113
 - 2.5.1. Czujniki diodowe 113
 - 2.5.2. Czujniki scalone 114
- 2.6. Pirometry 115
 - 2.6.1. Zasada działania pirometru 115
 - 2.6.2. Obiekt pomiaru 117
 - 2.6.3. Detektory promieniowania 120
 - 2.6.4. Budowa pirometrów 122
 - 2.6.5. Eliminacja błędów metody pirometrów 124
 - 2.6.6. Termografia 129
- 2.7. Inne rodzaje termometrów 130
 - 2.7.1. Termometry szumowe 130
 - 2.7.2. Termometry luminescencyjne 131
 - 2.7.3. Termometr światłowodowy typu „ciało czarne” 132
 - 2.7.4. Termometry ultradźwiękowe 133
- 2.8. Technika pomiarów temperatury i źródła błędów 134
 - 2.8.1. Ogólna charakterystyka technik 134

2.8.2.	Odprowadzanie ciepła przez czujnik pomiarowy	134
2.8.3.	Wpływ promieniowania na temperaturę czujnika	136
2.8.4.	Pomiar temperatury ciał w ruchu	137
2.9.	Błędy dynamiczne	138
2.9.1.	Model matematyczny czujnika temperatury	138
2.9.2.	Wyznaczanie właściwości dynamicznych termometrów	141
2.10.	Wzorcowanie termometrów	144
2.10.1.	Zasady wzorcowania termometrów	144
2.10.2.	Podstawowe wyposażenie laboratorium wzorcowania termometrów	145
2.10.3.	Układy pomiarowe stanowisk wzorcowania	149
2.10.4.	Wzorcowanie pirometrów	151
2.10.5.	Ocena niedokładności wzorcowania	151
	Literatura	160

3. Pomiary ciśnienia 162

3.1.	Zagadnienia ogólne	162
3.1.1.	Wstęp	162
3.1.2.	Definicje	163
3.1.3.	Jednostki ciśnienia	164
3.1.4.	Rodzaje mierzonego ciśnienia	165
3.1.5.	Zakresy mierzonych ciśnień	167
3.1.6.	Różne metody pomiaru ciśnienia – podział ciśnieniomierzy	168
3.2.	Czujniki sprężyste	171
3.2.1.	Elementy sprężyste ciśnieniomierzy	171
3.2.2.	Czujniki piezorezystancyjne	174
3.2.3.	Korekcja błędów piezorezystancyjnych czujników ciśnienia	181
3.2.4.	Czujniki pojemnościowe	192
3.2.5.	Czujniki indukcyjnościowe	194
3.3.	Czujniki z przetwarzaniem ciśnienia na siłę	196
3.3.1.	Czujniki piezoelektryczne	196
3.3.2.	Czujniki rezonansowe	199
3.4.	Czujniki optyczne	206
3.5.	Procesowe przetworniki ciśnienia i instalacje pomiarowe	209
3.5.1.	Funkcje i właściwości przetworników klasycznych i inteligentnych	209
3.5.2.	Charakterystyki metrologiczne	214
3.5.3.	Charakterystyki funkcjonalne i użytkowe ważne przy doborze przetworników	217
3.5.4.	Przetworniki wieloparametrowe	221
3.6.	Kalibratory ciśnienia i kalibracja	223
3.6.1.	Wprowadzenie	223
3.6.2.	Manometry hydrostatyczne	224
3.6.3.	Manometry obciążnikowo-tłokowe	227
	Literatura	235

4.	Pomiary poziomu	237
4.1.	Wprowadzenie	237
4.2.	Podział metod pomiaru poziomu	237
4.3.	Ręczne pomiary poziomu	238
4.3.1.	Poziomomierz wziernikowy	238
4.3.2.	Poziomomierz prętowy	239
4.3.3.	Poziomomierz sondujący	240
4.4.	Pomiary ciągłe poziomu	240
4.4.1.	Poziomomierz pływakowy	240
4.4.2.	Poziomomierz wyporowy	242
4.4.3.	Poziomomierz hydrostatyczny	243
4.4.4.	Poziomomierz piezometryczny	245
4.4.5.	Poziomomierz wagowy	246
4.4.6.	Poziomomierz oporowy	246
4.4.7.	Poziomomierz pojemnościowy	247
4.4.8.	Poziomomierz z tłumieniem promieniowania	249
4.4.9.	Poziomomierze akustyczne i ultradźwiękowe	251
4.4.10.	Poziomomierze radarowe	253
4.5.	Sygnalizatory poziomu	254
4.5.1.	Wprowadzenie	254
4.5.2.	Sygnalizator wibracyjny	255
4.5.3.	Sygnalizator z ruchomym elementem	255
4.5.4.	Sygnalizator izotopowy	255
4.6.	Dobór i eksploatacja poziromierzy	256
	Literatura	257
5.	Pomiary prędkości i przepływu płynów	258
5.1.	Wprowadzenie	258
5.2.	Pomiary prędkości płynów	263
5.2.1.	Rurki spiętrzające	263
5.2.2.	Anemometry elektryczne	268
5.2.3.	Prędkościomierze turbinowe	273
5.2.4.	Pomiary prędkości na zasadzie Dopplera	274
5.3.	Przepływomierze	279
5.3.1.	Wprowadzenie	279
5.3.2.	Przepływomierze zwężkowe	281
5.3.3.	Rotametry	296
5.3.4.	Przepływomierze turbinowe	298
5.3.5.	Przepływomierze wirowe	303
5.3.6.	Przepływomierze na zasadzie zjawiska Coriolisa	305
5.3.7.	Przepływomierze elektromagnetyczne	308
5.3.8.	Przepływomierze ultradźwiękowe	312
5.3.9.	Inne przepływomierze	319
5.4.	Liczniki objętości płynów	322
5.4.1.	Licznik a przepływomierz	322
5.4.2.	Liczniki gazów	322
5.4.3.	Liczniki cieczy	324

- 5.5. Pomiary przepływu w kanałach otwartych 327
 - 5.5.1. Rodzaje kanałów otwartych 327
 - 5.5.2. Przelewy 328
 - 5.5.3. Koryta pomiarowe 331
 - 5.5.4. Inne metody 333
- 5.6. Wzorcowanie przepływomierzy 337
 - 5.6.1. Wprowadzenie 337
 - 5.6.2. Stanowiska wzorcownicze 338
 - 5.6.3. Legalizacja przepływomierzy 342
- Literatura 342

6. Pomiary drgań i wstrząsów 345

- 6.1. Wprowadzenie 345
- 6.2. Model dynamiczny akcelerometru 346
- 6.3. Akcelerometry z kompensacją siły 349
- 6.4. Czułość poprzeczna 351
- 6.5. Akcelerometry piezoelektryczne 352
 - 6.5.1. Zjawisko piezoelektryczne 352
 - 6.5.2. Model elektryczny czujnika piezoelektrycznego 354
 - 6.5.3. Czujniki z wyjściem ładunkowym o dużej impedancji wyjściowej 355
 - 6.5.4. Czujniki z wyjściem napięciowym o małej impedancji wyjściowej 357
 - 6.5.5. Konstrukcja mechaniczna akcelerometrów piezoelektrycznych 358
- 6.6. Akcelerometry pojemnościowe 361
- 6.7. Akcelerometry piezorezystancyjne 363
- 6.8. Akcelerometry termiczne 364
- 6.9. Akcelerometry dwu- i trzyosiowe 366
- 6.10. Montaż akcelerometrów 366
- 6.11. Wzorcowanie czujników przyspieszenia 368
- 6.12. Sejsmometry 370
- 6.13. Wybrane dziedziny zastosowań czujników drgań 374
 - 6.13.1. Diagnostyka wibroakustyczna maszyn 374
 - 6.13.2. Analiza modalna konstrukcji 379
 - 6.13.3. Motoryzacja 382
 - 6.13.4. Sejsmologia górnicza 384
- Literatura 386

7. Pomiary hałasu 387

- 7.1. Wprowadzenie 387
- 7.2. Drgania akustyczne i dźwięk 387
- 7.3. Równanie falowe 388
- 7.4. Pole akustyczne 389

7.4.1.	Charakterystyka ogólna	389
7.4.2.	Płaskie fale akustyczne	390
7.4.3.	Kuliste fale akustyczne	391
7.5.	Wielkości akustyczne	392
7.5.1.	Natężenie dźwięku	392
7.5.2.	Moc akustyczna	393
7.5.3.	Poziom wielkości akustycznych	394
7.5.4.	Głośność dźwięku	394
7.6.	Mikrofony	395
7.6.1.	Klasyfikacja	395
7.6.2.	Mikrofony ciśnieniowe	396
7.6.3.	Mikrofony gradientowe	397
7.6.4.	Mikrofony ciśnieniowo-gradientowe	397
7.6.5.	Charakterystyki mikrofonów	398
7.6.6.	Membrany mikrofonów	399
7.6.7.	Mikrofony stykowe	400
7.6.8.	Mikrofony magnetoelektryczne	401
7.6.9.	Mikrofony elektromagnetyczne	402
7.6.10.	Mikrofony elektrostatyczne	402
7.6.11.	Mikrofony elektretowe	404
7.6.12.	Mikrofony piezoelektryczne	405
7.6.13.	Mikrofony krzemowe	406
7.7.	Kalibracja mikrofonów	407
7.7.1.	Wprowadzenie	407
7.7.2.	Kalibracja z wykorzystaniem pobudników tłokowych	408
7.7.3.	Kalibracja metodą porównawczą	408
7.8.	Pomiary wielkości akustycznych	409
7.8.1.	Mikrofony pomiarowe	409
7.8.2.	Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego	410
7.8.3.	Pomiary poziomu natężenia dźwięku	413
7.9.	Wybrane dziedziny pomiarów hałasu	414
7.9.1.	Wprowadzenie	414
7.9.2.	Pomiary hałasu w środowisku	415
7.9.3.	Pomiary hałasu w pomieszczeniach	416
7.9.4.	Pomiary hałasu maszyn i urządzeń	417
	Literatura	420

8. Pomiary składu chemicznego

422

8.1.	Wprowadzenie	422
8.2.	Pomiary składu chemicznego na podstawie przemiany materii	427
8.2.1.	Chemiczne przemiany materii	427
8.2.2.	Elektrochemiczne przemiany materii	437
8.3.	Pomiary składu z zastosowaniem promieniowania	467
8.3.1.	Wprowadzenie	467
8.3.2.	Spektrometria atomowa: emisyjna i absorpcyjna	468
8.3.3.	Spektrometria rentgenowska	489
8.3.4.	Spektrometria molekularna (cząsteczkowa)	495

8.3.5.	Spektrometria rezonansu paramagnetycznego EPR	506
8.3.6.	Spektrometria rezonansu magnetycznego NMR	509
8.4.	Chromatografia	515
8.4.1.	Wprowadzenie	515
8.4.2.	Chromatografia gazowa	515
8.4.3.	Chromatografia cieczowa	528
8.5.	Zagadnienia wybrane	531
8.5.1.	Pobieranie próbek do analizatorów o działaniu dyskretnym	531
8.5.2.	Analizatory wstrzykowe	536
8.5.3.	Pobieranie próbek do analizatorów o działaniu ciągłym	537
8.5.4.	Analizatory termokonduktometryczne	540
8.5.5.	Przemysłowe analizatory tlenu w gazach	545
8.5.6.	Analizatory gazu na zasadzie absorpcji w podczerwieni	548
8.5.7.	Wzorcowanie analizatorów	551
	Literatura	556

9. Pomiary wilgotności 558

9.1.	Pomiary wilgotności powietrza	558
9.1.1.	Podstawowe definicje i wzory	558
9.1.2.	Higrometr włosowy	562
9.1.3.	Psychrometr Assmana	563
9.1.4.	Higrometr punktu rosy (z chłodzonym lustrem)	564
9.1.5.	Higrometry elektrolityczne z chlorku litu	566
9.1.6.	Impedancyjne czujniki (sensory) higrometryczne	568
9.1.7.	Higrometry spektrometryczne	569
9.1.8.	Higrometry kulometryczne	570
9.1.9.	Wzorcowanie higrometrów i wzorce wilgotności	570
9.2.	Pomiary wilgotności ciał stałych	576
9.2.1.	Podstawowe definicje, pojęcia i wzory	576
9.2.2.	Metoda grawimetryczna	579
9.2.3.	Metoda oparta na zmianie pojemności cieplnej materiału	583
9.2.4.	Metoda oparta na zmianie rezystancji materiału	584
9.2.5.	Pomiar na podstawie właściwości dielektrycznych	586
9.2.6.	Techniki oparte na zastosowaniu promieniowania podczerwonego	591
9.2.7.	Mikrofalowy pomiar zawartości wilgoci	593
9.2.8.	Rozpraszanie jądrowe	595
9.2.9.	Podsumowanie	596

Literatura 598

Skorowidz

600