

Wykaz ważniejszych oznaczeń 13

1. Pojęcia podstawowe 15

1.1.	Objekt fizyczny, wielkość fizyczna (mierzalna)	15
1.2.	Proces pomiarowy	16
1.3.	Jednostka miary, układy wielkości i układy jednostek miar	17
1.4.	Narzędzia pomiarowe	17
1.4.1.	Wprowadzenie	17
1.4.2.	Wzorce	18
1.4.3.	Przyrządy pomiarowe	18
1.4.4.	Przetworniki pomiarowe	19
1.4.5.	Układy pomiarowe	20
1.4.6.	Systemy pomiarowe	20
1.5.	Metody pomiarowe	20
1.5.1.	Pojęcie metody pomiarowej i klasyfikacja metod	20
1.5.2.	Metody analogowe i cyfrowe	21
1.5.3.	Metody bezpośrednie, pośrednie i złożone	21
1.5.4.	Metoda podstawowa	22
1.5.5.	Metody porównawcze	22
1.6.	Metody przetwarzania	24
1.6.1.	Metoda przekształcenia	24
1.6.2.	Metoda bezpośredniego porównania	24

2. Podstawy rachunku błędów 25

2.1.	Klasyfikacja błędów pomiarów	25
2.2.	Błędy systematyczne	28
2.3.	Błędy przypadkowe	29
2.3.1.	Parametry rozkładu zmiennej losowej	29
2.3.2.	Rozkłady prawdopodobieństwa zmiennej losowej	32
2.3.3.	Obliczanie wyników pomiarów o niejednakowej dokładności	37
2.4.	Obliczanie błędów przy pomiarach pośrednich	38
2.5.	Opracowanie wyników pomiarów	42
2.6.	Wyznaczanie charakterystyk przetwarzania na podstawie wyników pomiarów	43

3.	Ogólne wiadomości o narzędziach pomiarowych . . .	46
3.1.	Zasady podziału, schematy funkcjonalne i strukturalne narzędzi pomiarowych .	46
3.2.	Podział przyrządów i przetworników pomiarowych według spełnianych funkcji .	47
3.3.	Podział przyrządów i przetworników pomiarowych ze względu na charakter wyjściowej informacji pomiarowej	48
3.4.	Struktury przyrządów i przetworników pomiarowych	50
3.5.	Właściwości statyczne przyrządów i przetworników pomiarowych	51
3.5.1.	Charakterystyki i parametry opisujące właściwości statyczne analogowych przyrządów i przetworników pomiarowych	51
3.5.2.	Parametry statyczne cyfrowych przyrządów pomiarowych i przetworników analogowo-cyfrowych	56
3.6.	Właściwości dynamiczne przyrządów i przetworników pomiarowych	59
3.6.1.	Charakterystyki i parametry opisujące właściwości dynamiczne analogowych przyrządów i przetworników pomiarowych	59
3.6.2.	Parametry dynamiczne cyfrowych przyrządów pomiarowych i przetworników analogowo-cyfrowych	69
3.7.	Zasady doboru narzędzi pomiarowych w procesie pomiarowym	71
4.	Wzorce jednostek elektrycznych i źródła sygnałów wzorcowych	73
4.1.	Hierarchia wzorców	73
4.2.	Wzorcowe źródła prądu stałego	74
4.2.1.	Waga prądowa	74
4.2.2.	Kalibratory prądu	75
4.3.	Źródła wzorcowych napięć stałych	76
4.3.1.	Ogniwa Westona	76
4.3.2.	Źródła oparte na zjawisku Josephsona	78
4.3.3.	Źródła z diodami Zenera	80
4.3.4.	Kalibratory napięcia	83
4.4.	Wzorce rezystancji	84
4.4.1.	Wzorzec odniesienia	84
4.4.2.	Oporniki wzorcowe	84
4.4.3.	Oporniki dekadowe	87
4.5.	Wzorce pojemności	88
4.6.	Wzorce indukcyjności	91
4.6.1.	Wzorce indukcyjności własnej	91
4.6.2.	Wzorce indukcyjności wzajemnej	92
4.7.	Źródła częstotliwości wzorcowych	93
4.7.1.	Podział wzorców	93
4.7.2.	Cezowy wzorzec częstotliwości	93
4.7.3.	Generatory pomiarowe	96
4.7.3.1.	Podział i wymagania	96
4.7.3.2.	Generatory małej częstotliwości	97
4.7.3.3.	Generatory wielkiej częstotliwości	101
5.	Przetworniki pomiarowe wielkości elektrycznych . . .	103
5.1.	Wprowadzenie	103
5.2.	Boczniki	104

5.3.	Oporniki dodatkowe (posobniki)	105
5.4.	Dzielniki napięć	106
5.4.1.	Dzielniki rezystancyjne	107
5.4.2.	Dzielniki pojemnościowe	108
5.4.3.	Dzielniki indukcyjnościowe	109
5.5.	Tłumiki	110
5.6.	Przekładniki prądu przemiennego	112
5.6.1.	Wprowadzenie	112
5.6.2.	Przekładniki prądowe	113
5.6.3.	Przekładniki napięciowe	116
5.7.	Przekładniki prądu stałego	121
5.8.	Wzmacniacze pomiarowe	122
5.8.1.	Ogólne właściwości wzmacniaczy pomiarowych	122
5.8.2.	Rola ujemnego sprzężenia zwrotnego we wzmacniaczu pomiarowym	123
5.8.3.	Wzmacniacze pomiarowe prądu przemiennego	126
5.8.4.	Wzmacniacze pomiarowe prądu stałego	128
5.8.5.	Wzmacniacze izolujące	131
5.8.6.	Przetworniki I/U i U/I	132
5.8.7.	Przetworniki standaryzujące	133
5.8.8.	Przetworniki całkujące i różniczkujące	133
5.9.	Przetworniki prostownikowe	135
5.9.1.	Wiadomości wstępne	135
5.9.2.	Prostowniki wartości średniej	136
5.9.3.	Fazoczułe prostowniki wartości średniej	138
5.9.4.	Prostowniki wartości skutecznej	142
5.9.5.	Prostowniki wartości szczytowej	143
5.10.	Przetworniki próbkująco-pamiętające	147
5.11.	Przetworniki termoelektryczne wartości skutecznej	148
5.12.	Przetworniki mnożące	149
5.12.1.	Wprowadzenie	149
5.12.2.	Przetworniki hallotronowe	150
5.12.3.	Przetwornik gaussotronowy	153
5.12.4.	Półprzewodnikowe scalone układy mnożące	154
5.13.	Przetworniki mocy prądu przemiennego	155
5.13.1.	Wprowadzenie	155
5.13.2.	Prostownikowy przetwornik mocy	156
5.13.3.	Termoelektryczny przetwornik mocy	157
5.13.4.	Hallotronowy przetwornik mocy	158
5.14.	Przetworniki cyfrowo-cyfrowe (C/C)	160
5.14.1.	Pojęcia sygnału cyfrowego i przetworników C/C układów logicznych	160
5.14.2.	Bramki logiczne	162
5.14.3.	Przerzutniki bistabilne	164
5.14.4.	Zegar taktujący	167
5.14.5.	Rejestry	168
5.14.6.	Liczniki	169
5.14.7.	Dekodery i wskaźniki stanu liczników	174
5.14.8.	Komutatory elektroniczne	176
5.14.9.	Zasady budowy mikroprocesorów	176
5.14.10.	Zasady interfejsu IEC-625	179
5.15.	Przetworniki cyfrowo-analogowe (C/A)	180
5.16.	Przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C)	184
5.16.1.	Wprowadzenie	184

5.16.2.	Bloki pomocnicze przetworników analogowo-cyfrowych	185
5.16.3.	Przetworniki A/C bezpośrednie	187
5.16.4.	Przetworniki A/C pośrednie	191

6. Mierniki analogowe 200

6.1.	Wprowadzenie	200
6.1.1.	Określenia	200
6.1.2.	Odczyt analogowy	201
6.1.3.	Oznaczenia i symbole na miernikach	202
6.2.	Mierniki magnetoelektryczne	202
6.2.1.	Zasada działania i budowa ustroju	202
6.2.2.	Amperomierze	207
6.2.3.	Woltomierze	211
6.2.4.	Omomierze	213
6.2.5.	Megaomomierze	216
6.3.	Mierniki magnetoelektryczne z przetwornikami	218
6.3.1.	Wprowadzenie	218
6.3.2.	Woltomierze elektroniczne napięcia stałego	218
6.3.3.	Amperomierze elektroniczne prądu stałego	220
6.3.4.	Woltomierze elektroniczne napięcia przemiennego z przetwornikami prostownikowymi	221
6.3.5.	Amperomierze elektroniczne prądu przemiennego z przetwornikami prostownikowymi	224
6.3.6.	Multimetry analogowe	225
6.3.7.	Amperomierze i woltomierze z przetwornikami termoelektrycznymi	226
6.3.8.	Omomierze elektroniczne	228
6.3.9.	Częstościomierze elektroniczne	229
6.3.10.	Fazomierze elektroniczne	230
6.4.	Galwanometry	233
6.4.1.	Galwanometry statyczne	233
6.4.2.	Galwanometry balistyczne	235
6.4.3.	Strumieniomierze	236
6.5.	Mierniki elektromagnetyczne	237
6.5.1.	Zasada działania i budowa ustroju	237
6.5.2.	Amperomierze	239
6.5.3.	Woltomierze	241
6.5.4.	Fazomierze	242
6.6.	Mierniki elektrodynamiczne i ferrodynamiczne	244
6.6.1.	Zasada działania i budowa ustroju	244
6.6.2.	Watomierze	246
6.6.3.	Waromierze	248
6.7.	Mierniki elektrostatyczne	249

7. Mierniki cyfrowe 251

7.1.	Wprowadzenie	251
7.2.	Częstościomierze i czasomierze cyfrowe	251
7.2.1.	Częstościomierz	251
7.2.2.	Czasomierz	255

7.2.3.	Mikroprocesorowe częstotściomierze-czasomierze	257
7.3.	Fazomierze cyfrowe	259
7.4.	Woltomierze cyfrowe	263
7.4.1.	Wprowadzenie	263
7.4.2.	Woltomierze cyfrowe napięć stałych	263
7.4.3.	Woltomierze cyfrowe napięć przemiennych	268
7.4.4.	Mikroprocesorowe woltomierze cyfrowe	269
7.5.	Cyfrowe mierniki rezystancji, pojemności i indukcyjności	270
7.5.1.	Wprowadzenie	270
7.5.2.	Omomierze z przetwarzaniem rezystancji na napięcie	271
7.5.3.	Mierniki cyfrowe z przetwarzaniem rezystancji, pojemności i indukcyjności w przedział czasu	272
7.6.	Multimetry cyfrowe	273
8.	Liczniki energii elektrycznej	275
8.1.	Wprowadzenie	275
8.2.	Elektromechaniczne liczniki energii elektrycznej prądu przemiennego	275
8.2.1.	Zasada pomiaru energii	275
8.2.2.	Liczniki indukcyjne jednofazowe	277
8.2.3.	Liczniki indukcyjne trójfazowe i specjalne	282
8.3.	Elektroniczne liczniki energii prądu przemiennego	285
8.3.1.	Zasada działania	285
8.3.2.	Właściwości metrologiczne elektronicznych liczników energii	289
8.4.	Liczniki prądu stałego	289
8.4.1.	Liczniki energii elektrycznej prądu stałego	289
8.4.2.	Liczniki magnetoelektryczne ładunku elektrycznego (liczniki amperogodzin)	290
8.4.3.	Liczniki elektrochemiczne ładunku elektrycznego	290
8.4.4.	Liczniki elektroniczne ładunku elektrycznego	291
9.	Przyrządy rejestrujące	292
9.1.	Wprowadzenie	292
9.1.1.	Podział	292
9.1.2.	Jednostki funkcjonalne rejestratorów	293
9.1.3.	Rodzaje zapisu i metody rejestracji	294
9.2.	Rejestratory o przetwarzaniu bezpośrednim	297
9.3.	Rejestratory o przetwarzaniu pośrednim	299
9.3.1.	Układy strukturalne	299
9.3.2.	Układ równoważenia	300
9.3.3.	Układy regulacji dynamiki	301
9.4.	Rejestratory XY	302
9.5.	Rejestratory z taśmą magnetyczną	303
9.6.	Oscyloskopy analogowe	307
9.6.1.	Zasada działania	307
9.6.2.	Rodzaje i parametry lamp oscyloskopowych	309
9.6.3.	Rodzaje rozciągów i układów podstawy czasu	313
9.6.4.	Wzmacniacze w kanałach oscyloskopu	320
9.6.5.	Kalibratory napięcia i czasu	321

9.7.	Analogowe oscyloskopy próbkujące	322
9.8.	Oscyloskopy cyfrowe	324
10.	Mostki pomiarowe	327
10.1.	Mostki prądu stałego	327
10.1.1.	Wiadomości wstępne	327
10.1.2.	Techniczny mostek Wheatstone'a	328
10.1.3.	Laboratoryjny mostek Wheatstone'a	329
10.1.4.	Błędy przy pomiarach mostkiem Wheatstone'a	331
10.1.5.	Nieźrównoważony mostek Wheatstone'a	334
10.1.6.	Mostek Thomsona	336
10.2.	Mostki prądu przemiennego	339
10.2.1.	Wiadomości wstępne	339
10.2.2.	Mostek Maxwella	341
10.2.3.	Mostek Wiena	343
10.2.4.	Mostek Scheringa	344
10.2.5.	Mostek rezonansowy	346
10.2.6.	Mostki transformatorowe	346
10.2.7.	Mostki półautomatyczne RLC	349
10.2.8.	Mostki automatyczne RLC-cyfrowe	353
10.2.9.	Błędy przy pomiarach mostkami prądu przemiennego	355
11.	Kompensatory	358
11.1.	Kompensatory napięcia stałego	358
11.1.1.	Wiadomości wstępne	358
11.1.2.	Kompensator Feussnera	359
11.1.3.	Kompensator firmy Tinsley	361
11.1.4.	Kompensator Julie	363
11.1.5.	Kompensator o komparatorze magnetycznym	364
11.1.6.	Analiza błędów pomiarów kompensatorami	366
11.2.	Kompensatory prądu stałego	369
11.3.	Automatyczne kompensatory napięcia stałego	371
11.4.	Kompensatory napięcia przemiennego	374
11.4.1.	Wiadomości wstępne	374
11.4.2.	Układy kompensatorów	374
11.4.3.	Komparatory termoelektryczne	378
12.	Systemy pomiarowe	380
12.1.	Wprowadzenie	380
12.2.	Współczesne systemy pomiarowe	382
12.2.1.	Wprowadzenie	382
12.2.2.	Systemy z kartami pomiarowymi	383
12.2.3.	Systemy z magistralą GPIB	386
12.2.4.	Systemy modułowe VXI	388
12.2.5.	Systemy przemysłowe	389
12.2.6.	Inne techniki — systemy z czujnikami inteligentnymi	390
12.3.	Oprogramowanie systemów pomiarowych	390
12.4.	Zasady kompletacji systemu pomiarowego	395

13.	Pomiary wielkości elektrycznych	397
13.1.	Modele badanych obiektów	397
13.2.	Pomiary rezystancji	399
13.3.	Pomiary indukcyjności, pojemności i rezystancji strat	406
13.4.	Pomiary częstotliwości	409
13.5.	Pomiary mocy czynnej	412
13.6.	Pomiary mocy biernej	418
13.7.	Pomiary przesunięcia fazowego	420
13.8.	Pomiary zniekształceń nieliniowych i analiza widmowa	423
13.9.	Pomiary prądów i napięć przemiennych niesinusoidalnych	427
14.	Pomiary wielkości magnetycznych	429
14.1.	Pomiary pola magnetycznego	429
14.1.1.	Wiadomości wstępne	429
14.1.2.	Pomiary strumienia strumieniomierzem	429
14.1.3.	Pomiary strumienia galwanometrem balistycznym	431
14.1.4.	Pomiar strumienia sinusoidalnego	432
14.1.5.	Pomiar indukcji przy użyciu cewki wirującej	432
14.1.6.	Pomiary indukcji za pomocą hallotronu	433
14.1.7.	Pomiary natężenia pola metodą magnetycznego rezonansu jądrowego	434
14.2.	Pomiary właściwości materiałów magnetycznych	435
14.2.1.	Wiadomości wstępne	435
14.2.2.	Wyznaczanie krzywej magnesowania metodą balistyczną	437
14.2.3.	Wyznaczanie krzywej magnesowania metodą różnicową	441
14.2.4.	Pomiary stratności magnetycznej	443
14.2.5.	Metoda oscyloskopowa badania ferromagnetyków	447
15.	Pomiary wielkości nieelektrycznych	449
15.1.	Wiadomości wstępne	449
15.2.	Pomiary wymiarów geometrycznych	450
15.3.	Pomiary sił i momentów	452
15.4.	Pomiary ciśnienia	453
15.5.	Pomiary parametrów ruchu	454
15.6.	Pomiary temperatury	458
16.	Krajowe służby miar	466
16.1.	Zadania podstawowe	466
16.2.	Organizacja	468
16.3.	Normy	469
17.	Szacowanie wyniku pomiaru z uwzględnieniem jego niepewności	471
	Literatura	475
	Skorowidz	477