

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
-----------------------------	----

1. Pojęcia podstawowe	15
-----------------------	----

1.1. Obiekt 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

SPIS TREŚCI

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.	.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

SPIS TREŚCI

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

SPIS TREŚCI

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 starych.	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

SPIS TREŚCI

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.	Niezerównoważony 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

SPIS TREŚCI

13.	Pomiary wielkości elektrycznych	401
13.1.	Modele badanych obiektów	401
13.2.	Pomiary rezystancji	403
13.3.	Pomiary indukcyjności, pojemności i rezystancji strat	410
13.4.	Pomiary częstotliwości	413
13.5.	Pomiary mocy czynnej	416
13.6.	Pomiary mocy biernej	422
13.7.	Pomiary przesunięcia fazowego	424
13.8.	Pomiary zniekształceń nieliniowych i analiza widmowa	427
13.9.	Pomiary prądów i napięć przemiennych niesinusoidalnych	431
14.	Pomiary wielkości magnetycznych	433
14.1.	Pomiary pola magnetycznego	433
14.1.1.	Wiadomości wstępne	433
14.1.2.	Pomiary strumienia strumieniomierzem	433
14.1.3.	Pomiary strumienia galwanometrem balistycznym	435
14.1.4.	Pomiar strumienia sinusoidalnego	436
14.1.5.	Pomiar indukcji przy użyciu cewki wirującej	436
14.1.6.	Pomiary indukcji za pomocą hallotronu	437
14.1.7.	Pomiary natężenia pola metodą magnetycznego rezonansu jądrowego	438
14.2.	Pomiary właściwości materiałów magnetycznych	439
14.2.1.	Wiadomości wstępne	439
14.2.2.	Wyznaczanie krzywej magnesowania metodą balistyczną	441
14.2.3.	Wyznaczanie krzywej magnesowania metodą różnicową	445
14.2.4.	Pomiary stratności magnetycznej	447
14.2.5.	Metoda oscyloskopowa badania ferromagnetyków	451
15.	Pomiary wielkości nieelektrycznych	453
15.1.	Wiadomości wstępne	453
15.2.	Pomiary wymiarów geometrycznych	454
15.3.	Pomiary sił i momentów	456
15.4.	Pomiary ciśnienia	457
15.5.	Pomiary parametrów ruchu	460
15.6.	Pomiary temperatury	462
16.	Krajowa służba miar	470
16.1.	Zadania podstawowe	470
16.2.	Organizacja	471
16.3.	Normy	473
17.	Szacowanie wyniku pomiaru z uwzględnieniem jego niepewności	475
	Literatura	479
	Skorowidz	481