



**Wojskowa
Akademia
Techniczna**
im. Jarosława Dąbrowskiego



Miernictwo elektroniczne

Laboratorium

Miernictwo elektroniczne

Laboratorium

Autorzy rozdziałów:

dr hab. inż. Jacek Jakubowski prof. nadzw. WAT (rozdz. 8)

dr hab. inż. Marek Kuchta prof. nadzw. WAT (rozdz. 7)

doc. dr inż. Henryk Król (rozdz. 4)

dr inż. Janusz Wawer (rozdz. 5, 6)

mgr inż. Robert Berczyński (rozdz. 1, 3)

mgr inż. Małgorzata Biaduń (rozdz. 7)

mgr inż. Tomasz Ciechulski (rozdz. 6)

mgr inż. Krzysztof Kocoń (rozdz. 9)

mgr inż. Ireneusz Kołek (rozdz. 3, 5)

mgr inż. Grzegorz Nitecki (rozdz. 1, 2, 10)

mgr inż. Jolanta Pacan (rozdz. 2, 10)

Ćwiczenia, do których wstępy teoretyczne znajdują się w niniejszym zbiorze, zostały zatwierdzone przez Zakład Systemów Informacyjno–Pomiarowych Instytutu Systemów Elektronicznych i zalecone jako podręcznik dla słuchaczy przedmiotu *Miernictwo elektroniczne* – studentów I roku kierunku *Elektronika i telekomunikacja* Wojskowej Akademii Technicznej.

Pełne teksty protokołów pomiarowych używanych na ćwiczeniach laboratoryjnych znajdują się na stronie internetowej Zakładu Systemów Informacyjno–Pomiarowych (<http://zsip.wel.wat.edu.pl>)

Recenzenci:

© Copyright by Zakład Systemów Informacyjno–Pomiarowych, Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2015

ISBN

Projekt okładki: mgr inż. Tomasz Ciechulski
Skład komputerowy: mgr inż. Tomasz Ciechulski

Wydawca: Wojskowa Akademia Techniczna

Druk: P.P.H. Remigraf sp. z o.o.
ul. Ratuszowa 11
03–450 Warszawa

Spis treści

Przedmowa	10
1. Generatory pomiarowe	11
1.1. Wstęp	11
1.2. Ogólna budowa generatorów pomiarowych	11
1.3. Klasyfikacja generatorów pomiarowych	12
1.4. Parametry generatorów	13
1.5. Generatory analogowe	14
1.5.1. Generator napięć harmoniczych	14
1.5.2. Syntezy (syntetyzery) częstotliwości (generatory siatki częstotliwości)	17
1.5.3. Generator funkcji (generator funkcyjny)	19
1.6. Generatory cyfrowe	22
1.7. Badania laboratoryjne	25
1.8. Literatura	29
2. Oscyloskopy analogowe	30
2.1. Wstęp	30
2.2. Budowa i zasada działania oscyloskopów analogowych	30
2.2.1. Lampa oscyloskopowa	31
2.2.2. Tor odchyłania Y	33
2.2.3. Tor odchyłania X	34
2.2.4. Zobrazowanie w trybie Y-T	34
2.2.5. Wyzwalanie i synchronizacja generatora podstawy czasu	37
2.3. Praca wielokanałowa oscyloskopu analogowego	41
2.4. Podstawowe parametry oscyloskopów analogowych	42
2.5. Parametry sygnałów	44
2.6. Pomiar parametów sygnałów	45
2.7. Sondy pomiarowe	47
2.8. Badania laboratoryjne	49
2.9. Literatura	55
3. Bloki elektronicznych mierników analogowych	56
3.1. Informacje wstępne	56

3.2. Budowa elektronicznych mierników analogowych	57
3.3. Przykłady przetworników stosowanych w elektronicznych miernikach analogowych	58
3.3.1. Wzmacniacze	58
3.3.2. Dzielniki napięcia	61
3.3.3. Przetworniki pomiarowe AC/DC (napięcia zmiennego na stałe)	62
3.4. Podsumowanie	68
3.5. Badania laboratoryjne	68
3.6. Literatura	73
4. Pomiary napięcia przemiennego	74
4.1. Parametry napięcia przemiennego	74
4.2. Woltomierze do pomiaru napięć przemiennych	81
4.2.1. Wiadomości ogólne	81
4.2.2. Wymagania stawiane woltomierzom	83
4.2.3. Wpływ charakteru źródła na dokładność pomiaru napięcia	85
4.2.4. Wpływ kształtu mierzonego napięcia na dokładność pomiaru	87
4.2.5. Pomiar napięcia przemiennego ze składową stałą	89
4.2.6. Oscyloskopowe pomiary napięć	89
4.3. Badania laboratoryjne	91
4.4. Literatura	95
5. Metody pomiaru mocy	96
5.1. Wstęp	96
5.2. Klasyfikacja oraz właściwości pomiarów mocy	97
5.3. Metody pomiaru mocy	99
5.3.1. Metody bezpośrednie pomiaru mocy	99
5.3.2. Metody pośrednie pomiaru mocy	104
5.4. Informacje końcowe	106
5.5. Badania laboratoryjne	107
5.6. Literatura	109
6. Pomiary czasu, częstotliwości i przesunięcia fazowego	110
6.1. Podstawy teoretyczne	110
6.1.1. Wstęp	110
6.1.2. Cyfrowy pomiar częstotliwości	110
6.1.3. Pomiar częstotliwości częstotliciemierzem cyfrowym	111
6.1.4. Pomiary okresu częstotliciemierzem–czasomierzem	113

6.1.5. Pomiar przedziałów czasu	116
6.1.6. Metody oscyloskopowe pomiaru czasu, częstotliwości i fazy	117
6.1.6.1. Pomiar okresu za pomocą oscyloskopu	117
6.1.6.2. Pomiar częstotliwości z wykorzystaniem figur Lissajous	117
6.1.6.3. Pomiar kąta przesunięcia fazowego	118
6.1.6.4. Pomiar przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu z wykorzystaniem rozciagu liniowego	119
6.1.6.5. Pomiar przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu z wykorzystaniem rozciagu X–Y	119
6.1.7. Pomiar przesunięcia fazowego fazomierzem cyfrowym	120
6.2. Badania laboratoryjne	121
6.3. Literatura	125
7. Metody pomiaru rezystancji i impedancji	126
7.1. Wprowadzenie teoretyczne	126
7.1.1. Podstawowe elementy obwodu elektrycznego	126
7.1.1.1. Rezystancja	126
7.1.1.2. Indukcyjność	127
7.1.1.3. Pojemność	127
7.1.1.4. Impedancja	127
7.1.3. Współczynnik dobroci i stratności	130
7.2. Metody pomiarowe	132
7.2.1. Metody pomiarowe przy prądzie stałym	132
7.2.1.1. Metoda techniczna	132
7.2.1.2. Metoda porównawcza	134
7.2.1.3. Metoda z zastosowaniem wzorcowych źródeł prądowych lub napięciowych	135
7.2.1.4. Metoda mostkowa (mostek Wheatstone’a)	136
7.2.2. Metody pomiarowe przy prądzie przemiennym	137
7.2.2.1. Metoda techniczna	137
7.2.2.2. Metoda trzech woltomierzy	139
7.2.2.3. Metoda rezonansowa	140
7.2.2.4. Metoda mostkowa	143
7.3. Badania laboratoryjne	145
7.4. Literatura	148
8. Pomiary zniekształceń nieliniowych i analiza widmowa sygnałów	149
8.1. Wprowadzenie – widmowa reprezentacja sygnałów	149
8.2. Analogowe analizatory widma	151

8.2.1. Podstawy matematyczne	151
8.2.2. Konstrukcje analogowych analizatorów widma	152
8.3. Cyfrowe analizatory widma	160
8.3.1. Podstawy matematyczne	160
8.3.2. Budowa cyfrowego analizatora widma	165
8.4. Mierniki zniekształceń	165
8.4.1. Podstawy teoretyczne pomiaru zniekształceń	165
8.4.2. Pomiar zniekształceń nieliniowych	167
8.5. Badania laboratoryjne	169
8.6. Literatura	172
9. Automatyzacja pomiarów	173
9.1. Wiadomości ogólne o interfejsach szeregowych	173
9.2. Własności łącza szeregowego	173
9.3. Format słowa danych	174
9.4. Parametry transmisji w łączu szeregowym	174
9.5. Programy telekomunikacyjne	176
9.6. Zestaw komend sterujących przyrządami pomiarowymi (SCPI)	176
9.7. Przyrządy pomiarowe wykorzystywane w ćwiczeniu	180
9.8. Podstawowe informacje o systemie interfejsu GPIB	182
9.9. Podstawowe informacje o systemie interfejsu USB	183
9.10. Ogólne właściwości multimetrów Rigol rodziny DM3000	186
9.11. Wiadomości ogólne o programowaniu w środowisku Agilent VEE	188
9.12. Zapoznanie z oknem roboczym programu VEE	188
9.13. Zapoznanie z menu programu	189
9.14. Operacje wykonywane na obiektach	190
9.15. Zaciski obiektu	191
9.16. Inne właściwości użytkowe środowiska programowego Agilent VEE	192
9.17. Obiekty sterujące przyrządami pomiarowymi	195
9.18. Badania laboratoryjne	196
9.19. Literatura	203
10. Oscyloskopy cyfrowe	204
10.1. Wstęp	204
10.2. Budowa i zasada działania oscyloskopów cyfrowych	204
10.2.1. Faza akwizycji	205

10.2.2. Faza rekonstrukcji	205
10.2.3. Charakterystyka konstrukcji	206
10.2.4. Szybkość próbkowania, pasmo oscyloskopów cyfrowych	207
10.2.5. Podstawowe tryby pracy bloku akwizycji sygnału	209
10.2.6. Wyzwalanie w oscyloskopach cyfrowych	212
10.3. Sposoby próbkowania stosowane w oscyloskopach cyfrowych	214
10.3.1. Próbkiowanie w czasie rzeczywistym	214
10.3.2. Próbkiowanie w czasie ekwiwalentnym	215
10.4. Podstawowe parametry oscyloskopów cyfrowych	217
10.5. Pomiary parametrów sygnałów	219
10.6. Badania laboratoryjne	220
10.7. Literatura	223

Przedmowa

Niniejszy podręcznik został napisany dla studentów wojskowych oraz cywilnych I roku Wydziału Elektroniki WAT odbywających zajęcia laboratoryjne z przedmiotów: *Miernictwo elektroniczne 1* i *Miernictwo elektroniczne 2* oraz pomocniczo dla studentów Wydziału Cybernetyki WAT odbywających zajęcia laboratoryjne z przedmiotu *Podstawy elektroniki i miernictwa*.

Zaproponowany przez autorów zestaw 10 ćwiczeń laboratoryjnych, realizowanych w Zakładzie Systemów Informacyjno–Pomiarowych, przedstawia zagadnienia miernictwa elektronicznego, a w nim: zapoznanie słuchaczy z podstawowymi przyrządami pomiarowymi oraz metodami pomiaru wielkości elektrycznych i czasowych stosowanymi w elektronice. Podręcznik składa się z 10 rozdziałów, w których zawarte są wstępy teoretyczne, służące do przygotowania się studentów do danego ćwiczenia laboratoryjnego wraz z programem badań realizowanym podczas zajęć. W rozdziale pierwszym omówiono tematykę generatorów funkcji. Rozdział drugi traktuje o oscyloskopach analogowych. Rozdział trzeci dotyczy budowy elektronicznych mierników analogowych, pozostających na wyposażeniu Laboratorium Miernictwa Elektronicznego. Rozdział czwarty przedstawia zagadnienia pomiarów napięć przemiennych, ponadto został wzbogacony rachunkiem błędu w tej tematyce. Rozdział piąty porusza tematykę pomiarów mocy czynnej, bierniej i pozornej. W rozdziale szóstym przedstawiono metodykę pomiarów czasu, częstotliwości i przesunięcia fazowego, będącymi wielkościami mierzonymi z największą precyzją. Rozdział siódmy przedstawia zagadnienia z zakresu metod pomiaru rezystancji i impedancji. W rozdziale ósmym zostały omówione problemy zniekształceń nieliniowych oraz analizy widmowej sygnałów. Rozdział dziewiąty dotyczy problematyki interfejsów pomiarowych oraz automatyzacji pomiarów we współczesnej metrologii. W rozdziale dziesiątym omówiono oscyloskopy cyfrowe.

Materiał obejmuje 1 rok nauki przedmiotu *Miernictwo elektroniczne* według następującego podziału na semestry:

<i>Miernictwo elektroniczne 1 (sem. zimowy)</i>	<i>Miernictwo elektroniczne 2 (sem. letni)</i>
Generatory pomiarowe	Oscyloskopy cyfrowe
Oscyloskopy analogowe	Pomiary czasu, częstotliwości i przesunięcia fazowego
Bloki elektronicznych mierników analogowych	Metody pomiaru rezystancji i impedancji
Pomiary napięcia przemiennego	Pomiary zniekształceń nieliniowych i analiza widmowa sygnałów
Metody pomiaru mocy	Automatyzacja pomiarów

Protokoły pomiarowe używane na zajęciach nie zostały ujęte w niniejszym podręczniku, z uwagi na systematyczne aktualizowanie przyrządów pomiarowych oraz metod pomiaru konkretnych wielkości w laboratorium. Aktualne protokoły pomiarowe dostępne są dla studentów na stronie internetowej Zakładu Systemów Informacyjno–Pomiarowych (<http://zsip.bel.wat.edu.pl>).

Autorzy