

METROLOGIA

SKRYPT DO LABORATORIUM
dla studentów kierunku elektrotechnika

pod redakcją
Leona Swędrowskiego

Gdańsk 2011



PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
Romuald Szymkiewicz

RECENZENT
Wiesław Kiciński

PROJEKT OKŁADKI
Katarzyna Olszonowicz

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://www.pg.gda.pl/WydawnictwoPG>

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

ISBN 978–83–7348–385-9

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 8,6 ark. druku 10,25, 973/657

Spis treści

Wprowadzenie – *Anna Golijanek-Jędrzejczyk*

Zasady sporządzania protokołu pomiarowego i sprawozdania	9
Zasady sporządzania protokołu pomiarowego	9
Zasady sporządzania sprawozdania	10
Liczbowy zapis dokładności, zaokrąglanie	12
Estymacja parametryczna (regresja)	12
Podsumowanie	14

Ćwiczenie 1 – *Anna Golijanek-Jędrzejczyk*

Ocena jakości pomiarów i wzorcowanie przyrządów pomiarowych	15
1.1. Wstęp	15
1.2. Klasyfikacja błędów pomiarowych	15
1.3. Pojęcia i terminy statystyczne	18
1.4. Niepewność pomiaru	21
1.5. Wzorcowanie	22
1.5.1. Mierniki analogowe – sprawdzenie ostateczne	23
1.5.2. Mierniki cyfrowe	23
1.6. Przebieg ćwiczenia	25
1.6.1. Sprawdzanie zakresów napięcia stałego multimetru	25
1.6.2. Sprawdzanie zakresów prądu stałego multimetru	26
1.6.3. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej wybranych elementów	26
1.7. Dyskusja wyników	26
1.8. Pytania kontrolne	27
Literatura	27

Ćwiczenie 2 – *Leon Swędrowski*

Pomiary parametrów elementów RLC	29
2.1. Wprowadzenie teoretyczne	29
2.1.1. Elementy bierne obwodów elektrycznych	29
2.1.2. Mostki prądu stałego	30
2.1.3. Mostki prądu przemiennego	34
2.2. Przebieg ćwiczenia	36
2.2.1. Pomiary mostkiem Wheatstone’a	36
2.2.2. Pomiary mostkiem Thomsona	36
2.2.3. Pomiary mostkiem prądu przemiennego	37
2.2.4. Dyskusja wyników	37
2.3. Pytania kontrolne	37
Literatura	37

Ćwiczenie 3 – *Michał Ziółko, Ryszard Wepa*

Pomiary z wykorzystaniem oscyloskopu	39
3.1. Wstęp	39
3.2. Oscyloskop analogowy	39
3.3. Oscyloskop cyfrowy	44
3.4. Przebieg ćwiczenia	47
3.4.1. Pomiar wybranych parametrów i obserwacja przebiegów	47
3.4.2. Pomiar częstotliwości	48
3.4.3. Pomiar fazy	48
3.4.4. Zjawisko aliasingu w oscyloskopie cyfrowym	48
3.5. Dyskusja wyników	48
3.6. Pytania kontrolne	49
Literatura	49

Ćwiczenie 4 – *Leon Swędrowski, Ryszard Roskosz*

Pomiar mocy w układzie jednofazowym	51
4.1. Wprowadzenie teoretyczne	51
4.1.1. Watomierze elektrodynamiczne (ED)	51
4.1.2. Wpływ czynników zakłócających	54
4.1.3. Rozszerzenie zakresu pomiarowego	54
4.1.4. Układy połączeń woltomierza i amperomierza w metodzie technicznej pomiaru rezystancji	55
4.1.5. Włączanie watomierza	56
4.2. Przebieg ćwiczenia	57
4.2.1. Sposób przeprowadzenia pomiarów	57
4.2.2. Pomiar mocy przy obciążeniu indukcyjnym	58
4.2.3. Pomiar mocy przy obciążeniu pojemnościowym	59
4.3. Dyskusja wyników	59
4.4. Pytania kontrolne	59
Literatura	59

Ćwiczenie 5 – *Ariel Dzwonkowski*

Pomiary mocy w obwodach trójfazowych	61
5.1. Wstęp	61
5.2. Pomiar mocy w układzie trójfazowym czteroprzewodowym	62
5.2.1. Pomiar mocy czynnej	62
5.2.2. Pomiar mocy biernej	63
5.2.3. Diagram prądów i napięć	65
5.3. Pomiar mocy w układzie trójfazowym trzyprzewodowym	66
5.3.1. Pomiar mocy czynnej	66
5.3.2. Pomiar mocy biernej	68
5.3.3. Diagram prądów i napięć	69
5.4. Moc pozorna	70
5.5. Przetworniki pomiarowe mocy	71
5.6. Przebieg ćwiczenia	71
5.6.1. Pomiar mocy w układzie trójfazowym czteroprzewodowym	72
5.6.2. Pomiar mocy w układzie trójfazowym trzyprzewodowym	72

5.6.3. Pomiar mocy w układzie trójfazowym czteroprzewodowym symetrycznym ..	72
5.7. Dyskusja wyników	73
5.8. Pytania kontrolne	73
Literatura	74

Ćwiczenie 6 – Marek Wołoszyk

Pomiary sygnałów przemiennoprądowych sinusoidalnych i odkształconych	75
6.1. Wprowadzenie teoretyczne	75
6.1.1. Mierniki sygnałów przemiennoprądowych	77
6.1.2. Przetworniki sygnałów przemiennie prądowych na napięcie stałe	79
6.2. Program ćwiczenia	85
6.2.1. Wyznaczanie błędów w funkcji częstotliwości	85
6.2.2. Wyznaczanie błędów dla sygnałów odkształconych	85
6.2.3. Wyznaczanie współczynnika THD	86
6.3. Dyskusja wyników	86
6.4. Pytania kontrolne	86
Literatura	86

Ćwiczenie 7 – Dariusz Świsulski

Pomiary częstotliwości i prędkości obrotowej	87
7.1. Wprowadzenie teoretyczne	87
7.1.1. Metody pomiaru częstotliwości	87
7.1.2. Częstościomierze analogowe	87
7.1.3. Częstościomierze cyfrowe	88
7.1.4. Pomiar prędkości obrotowej	91
7.1.5. Prądnica tachometryczna prądu stałego	91
7.1.6. Prądnica tachometryczna prądu przemiennego synchroniczna	92
7.1.7. Prądnica tachometryczna prądu przemiennego asynchroniczna	92
7.1.8. Metody cyfrowe pomiaru prędkości	93
7.1.9. Metoda stroboskopowa	95
7.2. Przebieg ćwiczenia	95
7.2.1. Pomiary częstościomierzem cyfrowym	95
7.2.2. Pomiary prędkości obrotowej	96
7.2.2.1. Wyznaczenie charakterystyk prądnicy tachometrycznej prądu stałego	96
7.2.2.2. Wyznaczenie charakterystyk prądnicy tachometrycznej prądu przemiennego asynchronicznej	97
7.2.2.3. Pomiary przy użyciu tachometru stroboskopowego	97
7.2.2.4. Pomiary przy użyciu tachometru cyfrowego optycznego	98
7.3. Dyskusja wyników	98
7.4. Pytania kontrolne	98
Literatura	

Ćwiczenie 8 – Marek Wołoszyk

Analogowe przetwarzanie sygnałów pomiarowych	99
8.1. Wprowadzenie teoretyczne	99
8.1.1. Wzmacniacze sygnałowe	100
8.1.2. Podstawowe układy ze wzmacniaczami operacyjnymi	102

8.1.3. Filtry analogowe	107
8.1.4. Eliminacja zakłóceń	110
8.2. Przebieg ćwiczenia	111
8.3. Dyskusja wyników	112
8.4. Pytania kontrolne	112
Literatura	112

Ćwiczenie 9 – *Dariusz Świsulski*

Komputerowe przetwarzanie sygnałów pomiarowych	113
9.1. Wprowadzenie teoretyczne	113
9.1.1. Akwizycja sygnałów pomiarowych	113
9.1.2. Częstotliwość próbkowania	114
9.1.3. Analiza Fouriera	115
9.1.4. Okno czasowe i wygładzające	116
9.1.5. Filtracja cyfrowa	117
9.2. Przebieg ćwiczenia	118
9.2.1. Badanie wpływu aliasingu	119
9.2.2. Badanie wpływu okna czasowego	119
9.2.3. Badanie wpływu okna wygładzającego	120
9.2.4. Badanie działania filtrów cyfrowych	120
9.3. Dyskusja wyników	121
9.4. Pytania kontrolne	121
Literatura	121

Ćwiczenie 10 – *Leszek Rafiński*

Pomiary podstawowych wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi – odległość i przemieszczenie, temperatura	123
10.1. Wiadomości wstępne	123
10.2. Pomiar odległości i przemieszczenia	124
10.2.1. Czujniki potencjometryczne	124
10.2.2. Czujniki indukcyjne	124
10.2.3. Czujniki pojemnościowe	126
10.3. Pomiar temperatury	127
10.3.1. Czujniki termorezystancyjne	127
10.3.2. Czujniki termoelektryczne	129
10.3.3. Pomiar zdalny i termografia	131
10.4. Przebieg ćwiczenia	133
10.5. Dyskusja wyników	133
10.6. Pytania kontrolne	134
Literatura	134

Ćwiczenie 11 – *Michał Ziółko*

Pomiary rezystancji uziemienia i impedancji pętli zwarciowej	135
11.1. Wstęp	135
11.2. Pomiary parametrów uziemień	136
11.2.1. Warunki poprawnego pomiaru rezystancji statycznej uziemienia	137

11.2.1.1. Pomiar rezystancji statycznej uziemienia metodą kompensacyjną	139
11.2.1.2. Pomiar rezystancji statycznej uziemienia metodą techniczną	139
11.2.2. Pomiar impedancji (rezystancji) udarowej uziemienia	140
11.3. Pomiar rezystancji właściwej (rezystywności) gruntu	141
11.4. Pomiar impedancji pętli zwarciowej	142
11.4.1. Zasada pomiaru	142
11.4.2. Metody i mierniki impedancji pętli zwarciowej	143
11.4.3. Czynniki wpływające na dokładność pomiaru	143
11.5. Przebieg ćwiczenia	145
11.5.1. Pomiar rezystancji statycznej uziemienia metodą kompensacyjną i techniczną	145
11.5.2. Pomiar impedancji udarowej uziemienia	145
11.5.3. Pomiar impedancji pętli zwarciowej	146
11.6. Dyskusja wyników	146
11.7. Pytania kontrolne	147
Literatura	147

Ćwiczenie 12 – *Piotr Szwangruber, Ryszard Roskosz*

Pomiary wybranych wielkości magnetycznych	149
12.1. Wstęp	149
12.2. Materiały magnetyczne	149
12.2.1. Pętla histerezy i krzywa magnesowania	150
12.2.1.1. Wyznaczanie pętli histerezy metodą oscyloskopową	151
12.2.1.2. Wyznaczanie normalnej krzywej magnesowania metodą techniczną	152
12.2.2. Straty w ferromagnetykach	153
12.2.3. Wyznaczanie stratności magnetycznej blach elektrotechnicznych	153
12.2.3.1. Przygotowanie próbek blachy	154
12.2.3.2. Aparat Epsteina 50 cm – budowa	154
12.2.3.3. Układ pomiarowy	155
12.2.3.4. Rozdział strat	155
12.2.4. Czujniki indukcyjne do pomiarów indukcji magnetycznej	156
12.2.5. Hallotrony	157
12.3. Przebieg ćwiczenia	158
12.3.1. Pomiary stratności magnetycznej blach stalowych aparatem Epsteina 50 cm .	158
12.3.2. Wyznaczanie pętli histerezy metodą oscyloskopową	160
12.3.3. Wyznaczanie normalnej krzywej magnesowania metodą techniczną	160
12.4. Dyskusja wyników	161
12.4.1. Pomiary strat blach ferromagnetycznych aparatem Epsteina 50 cm	161
12.4.2. Pomiar pętli histerezy metoda oscyloskopową	161
12.4.3. Wyznaczenie normalnej pętli magnesowania metoda techniczną	161
12.5. Pytania kontrolne	161
Literatura	162