

miernictwo elektryczne

DLA TECHNIKUM



STEFAN LEBSON JACEK KANIEWSKI

Stefan Lebson i Jacek Kaniewski

Miernictwo elektryczne dla technikum

Warszawa
Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego

Autorzy: JACEK KANIEWSKI opracował rozdziały 8, 9, 12 i 13
STEFAN LEBSON opracował pozostałe rozdziały

Redaktor: mgr inż. JAN SAWICKI

Okładkę projektował: WITOLD GAŚSIOROWSKI

Książka opracowana została w oparciu o wyd. V książki tych samych autorów pt. „Pomiary elektryczne”

Książka zatwierdzona przez Ministerstwo Oświaty i Szkolnictwa Wyższego do użytku uczniów kl. III i IV technikum elektrycznego, wszystkich specjalności

Książka wyjaśnia zasadę budowy elektrycznych i elektro-
nicznych przyrządów pomiarowych oraz podaje proste metody pomiarowe wielkości elektrycznych i magnetycznych. Przeznaczona jest dla uczniów klas III i IV wszystkich specjalności techników grupy elektrycznej.

Wydanie obecne (VIII) nie różni się w treści od wydania VII.

Redaktor techniczny: JULITTA MURASZ

Korektorzy: IRENA KMIOTEK, DANUTA SIUDYŁO

PWSZ 1972. Wydanie VIII. Nakład 25 000 + 100 egz. Ark. wyd. 13,5.
Ark. druk. 17,75 (znorm. 23,6). Papier druk. sat. kl. III 70×100, 70 g
z fabryki w Kostrzynie. Oddano do składania 13. 10. 1971. Podpi-
sano do druku 3. 03. 1972. Druk ukończono w marcu 1972.
Cena zł 22.—

Wrocławska Drukarnia Dziełowa — Zam. 2028/A — F-9

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie do techniki pomiarów	7
1.1. Pomiary i narzędzia pomiarowe	7
1.2. Pomiary bezpośrednie i pomiary pośrednie	7
1.3. Przebieg pomiaru	8
1.4. Uchyby	8
1.5. Przyczyny powstawania uchybów	10
1.6. Klasyfikacja uchybów	12
1.7. Obliczanie uchybów systematycznych	13
1.8. Wartość średnia pomiaru	15
1.9. Uchyb prawdopodobny pomiaru	16
2. Jednostki i wzorce wielkości elektrycznych	18
2.1. Jednostki wielkości elektrycznych	18
2.2. Wzorce jednostek elektrycznych	20
2.2.1. Wiadomości wstępne	20
2.2.2. Wzorce różnicy potencjałów	20
2.2.3. Wzorce oporu	23
2.2.4. Wzorce indukcyjności własnej i wzajemnej	28
2.2.5. Wzorce pojemności	29
3. Elektryczne mierniki wskazówkowe	31
3.1. Wiadomości wprowadzające	31
3.1.1. Definicja	31
3.1.2. Działanie	31
3.1.3. Momenty dodatkowe. Uchyb tarciový	36
3.1.4. Charakter ruchu organu ruchomego. Tłumienie	37
3.1.5. Uchyby mierników. Klasy dokładności	40
3.1.6. Warunki znamionowe. Uchyby dodatkowe	42
3.1.7. Wymagania dodatkowe	43
3.1.8. Oznaczenia na miernikach	45
3.1.9. Rodzaje mierników	45
3.1.10. Czułość i stała	50
3.2. Mierniki magnetoelektryczne	52
3.2.1. Zasada działania	52
3.2.2. Moment napędowy	53
3.2.3. Budowa ustroju	56
3.2.4. Amperomierze bezpośrednie	60
3.2.5. Układy amperomierzy	61
3.2.6. Boczniki	65
3.2.7. Woltomierze	66
3.2.8. Oporniki dodatkowe	67
3.2.9. Omomierze szeregowo	67
3.2.10. Omomierze równoległe	69
3.3. Magnetoelektryczne mierniki ilorazowe	70
3.3.1. Budowa. Zasada działania	70
3.3.2. Omomierze ilorazowe	71
3.4. Mierniki o przetwornikach	73

3.4.1. Wiadomości wprowadzające	73
3.4.2. Własności i budowa prostowników półprzewodnikowych	73
3.4.3. Układy mierników o prostownikach półprzewodnikowych	75
3.4.4. Uchyby mierników prostownikowych	78
3.4.5. Prostowniki elektromechaniczne	79
3.4.6. Układy mierników o prostownikach elektromechanicznych	80
3.4.7. Mierniki termoelektryczne	83
3.5. Mierniki elektromagnetyczne	85
3.5.1. Zasada działania	85
3.5.2. Budowa	86
3.5.3. Moment napędowy. Charakter podziałki	87
3.5.4. Amperomierze i woltomierze	90
3.5.5. Uchyby dodatkowe	91
3.5.6. Elektromagnetyczne mierniki ilorazowe	94
3.6. Mierniki elektrodynamiczne	96
3.6.1. Zasada działania	96
3.6.2. Moment napędowy	97
3.6.3. Amperomierze i woltomierze	99
3.6.4. Wałomierze	101
3.6.5. Waromierze	104
3.6.6. Wałomierze i waromierze wieloustrójowe	105
3.6.7. Uchyby dodatkowe	105
3.6.8. Mierniki elektrodynamiczne ilorazowe	107
3.6.9. Mierniki ferrodynamiczne	109
3.7. Mierniki indukcyjne	110
3.7.1. Zasada działania	110
3.8. Mierniki termobimetalowe	113
3.8.1. Zasada działania	113
3.8.2. Budowa. Zastosowanie	114
3.9. Mierniki elektrostatyczne	115
3.9.1. Zasada działania	115
3.9.2. Budowa. Własności	117
4. Galwanometry	120
4.1. Galwanometry magnetoelektryczne	120
4.1.1. Wiadomości wprowadzające	120
4.1.2. Budowa	126
4.1.3. Czułość i stała galwanometru	122
4.2. Galwanometry dynamiczne	123
4.2.1. Galwanometry balistyczne	123
4.2.2. Galwanometry pełzne	125
4.2.3. Galwanometry wibracyjne	126
5. Liczniki	127
5.1. Liczniki indukcyjne	127
5.1.1. Wiadomości wprowadzające	127
5.1.2. Liczniki indukcyjne jednoustrojowe	129
5.1.3. Liczniki indukcyjne wieloustrójowe i liczniki specjalne	135
5.2. Liczniki magnetoelektryczne ilości elektryczności	136
5.2.1. Działanie i budowa	136
6. Przekładniki	139
6.1. Przekładniki prądu przemiennego	139
6.1.1. Wiadomości wprowadzające	139

6.1.2. Przekładniki prądowe	139
6.1.3. Przekładniki napięciowe	146
6.2. Przekładniki prądu stałego	149
7. Elektryczne przyrządy pomiarowe porównawcze	151
7.1. Mostki prądu stałego	151
7.1.1. Wiadomości wprowadzające	151
7.1.2. Mostki zrównoważone	152
7.1.3. Mostki niezrównoważone	157
7.2. Mostki prądu przemiennego	158
7.2.1. Wiadomości wprowadzające	158
7.2.2. Mostki w układzie Maxwella	159
7.2.3. Mostki w układzie Wiena	161
7.2.4. Mostki w układzie Scheringa	163
7.3. Kompensatory prądu stałego	164
7.3.1. Wiadomości wprowadzające	164
7.3.2. Kompensatory o drucie ślizgowym	165
7.3.3. Kompensatory w układzie Cromptona	168
7.3.4. Kompensatory w układzie Feussnera	169
7.3.5. Poszerzenie zakresu pomiarów	172
7.4. Kompensatory prądu przemiennego	173
7.4.1. Wiadomości wprowadzające	173
7.4.2. Kompensatory w układzie Krukowskiego	173
8. Przyrządy elektroniczne	175
8.1. Wiadomości wprowadzające	175
8.2. Woltomierze elektroniczne	176
8.2.1. Układy prostych woltomierzy lampowych prądu stałego	176
8.2.2. Wzmacniacze napięcia prądu stałego	180
8.2.3. Wpływ sprzężenia zwrotnego na własności wzmacniacza	183
8.2.4. Woltomierze elektroniczne prądu przemiennego	185
8.2.5. Uniwersalny woltomierz elektroniczny	187
8.3. Elektrometry elektroniczne	189
8.3.1. Wzmacniacze elektrometryczne	189
8.4. Oscylograf elektronowy	191
9. Przyrządy rejestrujące	194
9.1. Wiadomości wprowadzające	194
9.2. Rodzaje i sposoby zapisu	197
9.3. Elektromechaniczne przyrządy rejestrujące	199
9.4. Przyrządy rejestrujące kosztem energii pomocniczej	200
9.5. Właściwości dynamiczne przyrządów rejestrujących	203
9.6. Oscylografy elektromechaniczne	204
10. Pomiary wielkości elektrycznych	207
10.1. Pomiary napięć i sił elektromotorycznych	207
10.2. Pomiary prądu	209
10.2.1. Pomiary prądu amperomierzami	209
10.2.2. Pomiary prądu stałego galwanometrami	210
10.2.3. Pomiary prądu stałego kompensatorami	211
10.3. Pomiary oporów prądem stałym	213
10.3.1. Wiadomości wprowadzające	213
10.3.2. Pomiary oporów metodą techniczną	213
10.3.3. Pomiary oporów metodą porównawczą	215
10.4. Pomiary oporów prądu przemiennego metodą techniczną	217
10.4.1. Wiadomości wprowadzające	217
10.4.2. Pomiary oporu pozornego, czynnego i biernego	217
10.4.3. Pomiary oporu pojemnościowego	218

10.4.4. Pomiary oporu indukcyjnego	219
10.5. Pomiary oporu uziemień	220
10.5.1. Wiadomości wprowadzające	220
10.5.2. Pomiary oporu uziemień metodą techniczną	221
10.5.3. Pomiary oporu uziemień metodą kompensacyjną	221
10.6. Pomiary mocy	222
10.6.1. Wiadomości wprowadzające	222
10.6.2. Pomiary mocy prądu stałego	223
10.6.3. Pomiary mocy w obwodach jednofazowych	226
10.6.4. Pomiary mocy czynnej w obwodach trójfazowych czteroprzewodowych	227
10.6.5. Pomiary mocy czynnej w obwodach trójfazowych trójprzewodowych	229
10.6.6. Pomiary mocy biernej w obwodach trójfazowych	231
10.7. Pomiary energii	231
11. Pomiary magnetyczne	232
11.1. Wiadomości wprowadzające	232
11.2. Wyznaczanie krzywej magnesowania i pętli histerezy za pomocą galvanometru balistycznego	232
11.3. Pomiary stratności aparatem Epsteina	237
12. Pomiary wielkości nieelektrycznych	241
12.1. Wiadomości wprowadzające	241
12.2. Własności statyczne i dynamiczne przetworników	242
12.3. Klasyfikacja przetworników	244
12.4. Przetworniki z ujemnym sprzężeniem zwrotnym	245
12.5. Pomiary przesunięć i odkształceń	247
12.6. Pomiary siły i naprężeń mechanicznych	251
12.7. Pomiary temperatury	253
12.8. Pomiary ciśnienia	258
12.9. Pomiary przepływu	261
12.10. Pomiary pH	263
12.11. Pomiary promieniowania jądrowego	266
12.12. Izotopowe metody pomiarów	270
13. Wstęp do cyfrowych metod pomiarów	272
13.1. Wiadomości wprowadzające	272
13.2. Przetwarzanie analogowo-cyfrowe	273
13.3. Dokładność cyfrowych metod pomiaru wielkości ciągłych	276
13.4. Woltomierze cyfrowe prądu stałego	279
Wykaz piśmiennictwa w języku polskim	283

1. WPROWADZENIE DO TECHNIKI POMIARÓW

1.1. POMIARY I NARZĘDZIA POMIAROWE

Pomiar jest doświadczeniem fizycznym, polegającym na porównaniu wielkości fizycznej z pewną jej wartością obraną za jednostkę.

Jednostki wielkości fizycznych odtwarzane są za pomocą wzorców, na przykład jednostkę masy odtwarza wzorzec, którym jest odważnik o masie jednego kilograma.

Porównanie wielkości fizycznej z wzorcem wymaga najczęściej użycia **narzędzi pomiarowych**, na przykład dla określenia masy ciała przez porównanie z masą odważnika używa się jako narzędzia — wagi dwuramiennej.

Pomiaru można dokonać również za pomocą **narzędzia pomiarowego wskazówkowego**, którego podziałka wyskalowana została uprzednio przez porównanie z wzorcami. Waga wskazówkowa przeznaczona do pomiaru masy może służyć jako przykład narzędzia wskazówkowego.

Do pomiarów wielkości elektrycznych narzędzia pomiarowe są niezbędne, nazywamy je **elektrycznymi przyrządami pomiarowymi**. Elektryczne przyrządy pomiarowe służące do porównywania wielkości elektrycznych z wzorcami noszą nazwę **elektrycznych układów pomiarowych**, a elektryczne przyrządy pomiarowe wskazówkowe — **elektrycznych mierników wskazówkowych**.

Elektryczny układ pomiarowy stanowi na przykład mostek Wheatstone'a (czyt. Witstona) umożliwiający porównanie mierzonego oporu elektrycznego z wzorcem oporu. Amperomierz stosowany do pomiaru prądu elektrycznego jest elektrycznym miernikiem wskazówkowym.

Nauka o budowie wzorców jednostek elektrycznych i elektrycznych przyrządów pomiarowych nazywa się **miernictwem elektrycznym**.

1.2. POMIARY BEZPOŚREDNIE I POMIARY POŚREDNIE

Rozróżnia się dwa pojęcia: **wielkość mierzona i wielkość badana**.

Określenie wartości wielkości mierzonej stanowi ostateczny cel pomiaru. Wielkość badana jest wielkością pomocniczą, którą należy zmie-

Stąd liczba obrotów tarczy wynosi

$$n = \frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot P \cdot t = c \cdot P \cdot t$$

przy czym $c = \frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{1}{2\pi}$

Jeżeli w czasie t w obwodzie elektrycznym występuje moc czynna P , to energia czynna jest równa

$$W = P \cdot t$$

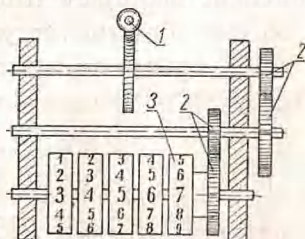
Liczba obrotów tarczy jest więc proporcjonalna do energii czynnej zużywanej w obwodzie elektrycznym, do którego włączono licznik

$$n = c \cdot P \cdot t = c \cdot W$$

Pomiar energii czynnej sprowadza się zatem do zliczania obrotów organu ruchomego licznika, którego moment napędowy zależy jest od mocy czynnej.

Zliczanie obrotów dokonywane jest za pomocą mechanizmu zliczającego, tzw. liczydła (rys. 5-1).

Na osi tarczy licznika znajduje się ślimak przenoszący ruch tarczy poprzez układ kół zębatych na bębny cyfrowe. Liczydło ma zwykle pięć



Rys. 5-1. Liczydło licznika:
1 — ślimak, 2 — koła zębate, 3 — bęben

takich bębnow umieszczonych obok siebie. Na obwodzie każdego bębna naniesione są we właściwej kolejności cyfry od 0 do 9. Przed bębniami znajduje się tabliczka licznika z oknami, przez które widać po jednej cyfrze na każdym bębnie (rys. 5-2). Pełny obrót pierwszego bębna, licząc od strony prawej odpowiada zużyciu jednej kilowatogodziny (1 kWh) energii elektrycznej. Zmiana jednej cyfry widocznej w pierwszym oknie odpowiada więc zużyciu energii 0,1 kWh.

Po dokonaniu pełnego obrotu bęben pierwszy obraca bęben drugi o $1/10$ obrotu. Zmiana jednej cyfry w oknie drugim tabliczki licznika oznacza więc zużycie 1 kWh, a pełen obrót bębna drugiego zużycie 10 kWh.

Bęben drugi po dokonaniu pełnego obrotu obraca z kolei bęben trzeci o $\frac{1}{10}$ obrotu, ten z kolei czwarty itd. Jedna dziesiąta pełnego obrotu ostatniego (piątego) bębna oznacza więc zużycie 1000 kWh.

Przy sprawdzaniu licznika posługujemy się tzw. stałą licznika

$$K = \frac{W}{n} = \frac{1}{c}$$

Wartość stałej licznika zależy od budowy ustroju i od warunków pomiaru. Stałą występującą w warunkach znamionowych pomiaru (w określonej temperaturze, w określonym położeniu, przy znamionowym obciążeniu itp.) nazywa się stałą znamionową licznika K_z .

Jeżeli wskutek nieprawidłowego wycechowania, wad licznika czy też zmian warunków pomiaru wartość stałej licznika odbiega od wartości stałej znamionowej, to wskazania licznika są obarczone uchybem pomiaru

$$\delta = \frac{W_w - W_r}{W_r} = \frac{K_z \cdot n - K \cdot n}{K \cdot n} = \frac{K_z - K}{K}$$

gdzie: W_w — wartość energii wskazana przez licznik,

W_r — wartość rzeczywista energii zużywanej przez obwód elektryczny.

Wskazania liczników energii elektrycznej są podstawą do rozrachunków między dostawcami i użytkownikami energii elektrycznej.

Budowa i eksploatacja liczników podlegają nadzorowi Centralnego Urzędu Jakości i Miar.

5.1.2. LICZNIKI INDUKCYJNE JEDNOUSTROJOWE

Liczniki indukcyjne jednoustrojowe (jednofazowe) służą do pomiaru energii czynnej w obwodach jednofazowych prądu przemiennego, najczęściej w mieszkaniach.

Na rys. 5-2 przedstawiono licznik jednoustrojowy produkcji polskiej, a na rys. 5-3 układ połączeń licznika.

Ustrój licznika indukcyjnego (rys. 5-4) ma dwa uzwojenia: prądowe i napięciowe, nawinięte na wspólnym rdzeniu z blachy transformatorowej. Uzwojenie prądowe stanowią dwie cewki uzwojone grubym miedzianym przewodem i włączone szeregowo. Strumień magnetyczny przemienny o wartości skutecznej Φ_I wytworzony przez cewki prądowe prze-



Rys. 5-2. Licznik indukcyjny polskiej produkcji

Cena zł 22.—

