



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08**

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PROCESOWEJ, MATERIAŁOWEJ
I FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



LABORATORIUM Z FIZYKI

ĆWICZENIE NR W-5

POMIARY NAPIĘCIA I NATEŻENIA PRĄDU STAŁEGO PRZY POMOCY MIERNIKÓW ANALOGOWYCH I CYFROWYCH



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa
tel./ fax. +343250324, e-mail: imi@imi.pcz.pl, <http://www.cns.pcz.pl>

I. Zagadnienia do przystudiowania

1. Napięcie i natężenie prądu stałego.
2. Metody pomiaru napięcia i natężenia prądu
3. Voltomierze i amperomierze do pomiaru napięcia i prądu stałego, budowa i zasada działania,
4. Błędy w pomiarach napięcia i natężenia prądu.
5. Błąd bezwzględny, błąd względny, stała miernika, klasa dokładności.
6. Wpływ oporności wewnętrznej źródła oraz oporności przyrządów pomiarowych na błędy pomiaru napięcia oraz natężenia prądu.

II. Wprowadzenie teoretyczne

Pomiary napięcia i natężenia prądu w obwodach prądu stałego należą do najczęściej spotykanych w praktyce pomiarowej. Voltomierze i amperomierze prądu stałego stanowią zatem podstawowe wyposażenie laboratoriów. Zakresy typowych przyrządów pozwalają na pomiary bezpośrednie prądów od pojedynczych miliamperów do kilku amperów oraz napięć od kilkudziesięciu miliwoltów do setek woltów.

Podczas pomiarów występują nieuniknione błędy pomiarowe (niepewności pomiarowe). W przypadku mierników analogowych (wskazówkowych) dzielimy je na trzy rodzaje: aparaturowe, odczytu i tzw. błąd metody. Błędy aparaturowe (miernika) wynikają z klasy dokładności przyrządu. Dla przyrządów elektrycznych wskazówkowych rozróżnia się 5 klas dokładności: 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5.

Jeżeli pomiary wykonywane są w tzw. warunkach odniesienia, tzn. w warunkach zewnętrznych wymienionych w normie lub instrukcji obsługi przyrządu, to dokładność miernika charakteryzuje podstawowy błąd graniczny, dopuszczalny przez jego klasę dokładności. Błąd graniczny dopuszczalny $\Delta_g X$, wynika z definicji klasy dokładności:

$$kl. = \frac{\Delta_g X}{Z} 100\%$$

gdzie Z- zakres pomiarowy przyrządu.

Przekształcając wzór definicyjny, uzyskujemy wzór obliczeniowy na wyznaczenie błędu granicznego, bezwzględnego miernika dla danego zakresu:

$$\Delta_g X = \frac{kl.}{100\%} Z$$

Warto zauważyć, że bezwzględny błąd graniczny przyjmuje stałą wartość, niezależną od mierzonej wartości.

Względny błąd graniczny obliczamy z zależności:

$$\delta_g X = \frac{\Delta_g X}{X} \cdot 100\% \quad \text{lub} \quad \delta_g X = kl \frac{Z}{X} [\%],$$

w których X jest wartością zmierzoną.

Z powyższych zależności wynika, że względny błąd graniczny bardzo szybko rośnie w miarę zmniejszania się odchylenia wskazówki, stąd przy wykonywaniu dokładnych pomiarów nie zaleca pomiarów przy odchyleniach wskazówki poniżej połowy zakresu podziałki.

Przykład: Amperomierzem o zakresie $I_z = 10A$ i kl 1, zmierzono prądy: 1A; 5A; 10A. Jakie błędy graniczne miał miernik w tych pomiarach?

Wartość bezwzględna błędu granicznego dopuszczalnego nie zależy od wartości mierzonej i wynosi:

$$\Delta_g I = \frac{kl \cdot I_z}{100\%} = \frac{1 \cdot 10A}{100\%} = 0,1A$$

Wartości względnych błędów granicznych dopuszczalnych, dla poszczególnych prądów są następujące:

dla $I = 10A$ (pełny zakres pomiarowy): $\delta_g I = 1 \cdot \frac{10A}{10A} = 1\%$

dla $I = 5A$ (połowa zakresu pomiarowego): $\delta_g I = 1 \cdot \frac{10A}{5A} = 2\%$

dla $I = 1A$ (1/10 zakresu pomiarowego): $\delta_g I = 1 \cdot \frac{10A}{1A} = 10\%$

Pomiary przyrządami analogowymi wymagają starannych odczytów położenia wskazówki względem podziałki. Staranność ta polega na umiejętności umyślnego, proporcjonalnego podziału działki elementarnej skali miernika, czyli odległości między jej sąsiednimi kreskami. W zależności od klasy miernika, odczytów odchylenia wskazówki należy dokonać z dokładnością 0,1 lub 0,2 działki elementarnej – dla przyrządów klas laboratoryjnych, i 0,5 działki – dla przyrządów klas technicznych (kl.1 i gorszych).

Aby określić błąd (niepewność pomiarową) odczytu należy uprzednio określić stałą przyrządu, tj. liczbę mierzonych jednostek przypadających na 1 działkę. Obliczamy ją dzieląc zakres przyrządu przez liczbę działek. Np.: jeśli zakres przyrządu wynosi $Z = 10 A$, liczba działek $N = 50$, to stała C wynosi:

$$C = Z / N = 10 A / 50 \text{ działek} = 0.2 A/dz$$

W tym przypadku za błąd odczytu możemy przyjąć połowę działki wynoszącą $\Delta I_{od} = 1/2 dz \cdot C = 0.1 A$.

Tak więc maksymalną niepewność pomiaru przy pomocy miernika analogowego można przyjąć jako równą:

$$\Delta I_{max} = \Delta_g I + \Delta I_{od}$$

a po podstawieniu podanych wyżej wartości niepewności wynikających z klasy dokładności miernika i odczytu ostatecznie otrzymujemy:

$$\Delta I_{max} = \frac{kl \cdot I_z}{100\%} + \frac{1}{2} C$$

Przedstawione powyżej przykłady dotyczą analizy niepewności pomiarowych natężenia prądu, ale w analogiczny sposób można obliczać niepewności pomiarowe napięcia.

Włączenie woltomierza bądź amperomierza w obwód elektryczny wywołuje w nim zmiany napięć i rozptywu prądów. Przyrządy stanowią dla obwodu mniejsze lub większe obciążenie - wynikające z ich oporności wewnętrznych. Skutkiem tego wskazania przyrządów w zauważalny sposób mogą być mniejsze od wartości występujących przed ich włączeniem. W tym przypadku mamy do czynienia z dodatkowym błędem systematycznym, zw. błędem metody. Błąd ten należy obowiązkowo oszacować, a gdy jego wartość jest porównywalna z pozostałymi błędami, to uwzględnić go w niepewności pomiaru, bądź skorygować wynik pomiaru poprawką. To ostatnie postępowanie jest właściwsze, gdyż powoduje znaczne ograniczenie wpływu błędu metody na dokładność wykonanego pomiaru.

Obliczenia błędu metody jednak wymaga znajomości tak rezystancji przyrządu, jak też rezystancji zastępczej obwodu - co nie zawsze jest możliwe. Wtedy do wskazań miernika należy podchodzić z pewną rezerwą i należy je zweryfikować dodatkowymi pomiarami, stosując np. inne przyrządy lub inną metodę pomiarową.

W przypadku cyfrowych przyrządów pomiarowych błąd podstawowy jest sumą dwóch składników, z których jeden jest multiplikatywny (proporcjonalny do wartości wielkości mierzonej X), a drugi addytywny (niezależny od wartości X). Jeżeli X jest wartością zmierzoną a Z wykorzystanym zakresem pomiarowym, to wartość błędu pomiaru podawana jest zazwyczaj w postaci:

$$\Delta X = \pm a[\%] \cdot X \pm n(\text{cyfr, znaków, jednostek, dgt})$$

W dokumentacji technicznej, informacje o dokładności pomiaru przyrządem cyfrowym podawane są często w postaci uproszczonej: $\pm(a\%+n)$, $\pm(\delta_p+\Delta_d)$, np. $\pm(0.1+4\text{dgt})$. Taki zapis należy interpretować jako sumę błędu równego $a[\%]$ wartości mierzonej i błędu odpowiadającego n -krotnej rozdzielczości pola odczytowego.

Przykład Woltomierzem cyfrowym o dokładności $\pm(0.5\%+2\text{dgt})$ zmierzono napięcie 125.3 V. Podaj niepewność pomiarową i względną zmierzonego napięcia.

Bezwzględna niepewność pomiarową napięcia obliczamy ze wzoru:

$$\Delta U = \pm\left(\frac{0.5}{100} U + 2 \cdot \text{dgt}\right)$$

W tym przypadku rozdzielczość miernika wynosi: $\text{dgt}=0.1\text{V}$ stąd po podstawieniu otrzymujemy:

$$\Delta U = \pm\left(\frac{0.5}{100} 125.3 + 2 \cdot 0.1\right) = \pm(0.63 + 0.2) = \pm 0.8\text{V}$$

Zatem wynik pomiaru napięcia zapiszemy w postaci:

$$U = 125.3 \pm 0.8 \text{ V}$$

Niepewność względną wynosi:

$$\frac{\Delta U}{U} = \pm 0.0066 = \pm 0.66\%$$

IV. Przebieg ćwiczenia

a) Uwagi wstępne

Przystępując do wykonania ćwiczenia należy uważnie przeanalizować schemat układu połączeń, a następnie zapoznać się z badanymi elementami i stosowanymi przyrządami pomiarowymi. Odczytujemy ich dane znamionowe i zakresy pomiarowe. Układ połączeń przyrządów elektrycznych niezbędnych do wykonania danych pomiarów, przedstawiony jest w postaci schematu ideowego podanego poniżej.

Schemat montażowy staje się bardzo zbliżony do ideowego, jeśli przyrządy rozmieszczone są tak, aby ustawienie ich było zgodne z ich rozmieszczeniem na schemacie ideowym. Łącząc przyrządy, należy zwracać uwagę, aby zacisk przyrządu „+” był przyłączony do zacisku „+” zasilacza prądu stałego. W trakcie łączenia należy sprawdzać stan przewodów łączeniowych wraz z ich końcówkami. Ewentualne zauważone uszkodzenia przewodów lub innych elementów układu pomiarowego należy zgłaszać prowadzącym zajęcia.

Po wykonaniu połączenia układu i ponownym sprawdzeniu tego połączenia zgłaszamy prowadzącemu zajęcia gotowość do wykonywania pomiarów. Prowadzący po sprawdzeniu poprawności połączeń przyłącza badany obwód do zacisków zasilacza i pozwala wykonywać określone pomiary. Dopiero po akceptacji wyników przez prowadzącego zajęcia przystępujemy do rozłączenia układu i przystąpienia do następnego określonego w instrukcji etapu doświadczenia.

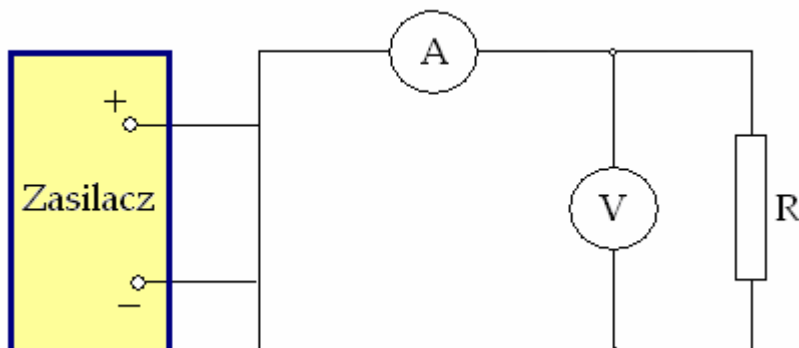
Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów (przed przyłączeniem obwodu do zacisków zasilacza) należy sprawdzić czy wskazówka miernika wskazówkowego lub wyświetlacz miernika cyfrowego wskazuje zero. Jeśli nie, zgłaszamy to prowadzącemu w celu wykonania korekty zerowania mierników.

Następnie należy zapoznać się z podziałką miernika, aby nie mylić się przy odczytywaniu wskazań w czasie pomiaru. Podziałka przyrządu wskazówkowego może być podana w działkach lub od razu w mierzonej wielkości (wołty, ampery). W przypadku podziałki wykonanej w działkach obliczamy stałą przyrządu w sposób opisany wyżej. Dla zanotowania wskazań takiego przyrządu należy odczytać i notować wskazania w działkach oraz zakres miernika (może być zmieniony w czasie wykonywania pomiarów) a po skończonych pomiarach obliczamy mierzone wielkości. Po nabyciu wprawy w wielu przypadkach można odczytywać wskazania mierników od razu w mierzonych jednostkach. Wskazania należy odczytywać z możliwie największą dokładnością. Jeśli wskazówka nie pokrywa się z kreskami podziałki miernika, należy w przybliżeniu odczytać wskazaną wartość przyjmując zasadę, że największa dokładność odczytu to połowa najmniejszej działki.

Znacznie prostsze jest odczytywanie wskazań mierników cyfrowych, gdyż na wyświetlaczu pojawia się wartość wielkości mierzonej, z tym że należy uwzględnić ustawiony zakres pomiarowy.

b) Przebieg pomiarów

1. Łączymy obwód według schematu przedstawionego na rys. 1 stosując mierniki wskazówkowe.
2. Po włączeniu zasilania, nastawiamy podane niżej wartości napięć i odczytujemy natężeń prądów:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego.

- (a) Przy zakresie woltomierza 7.5 V i amperomierza 15 mA, zmieniamy napięcie od 0V do 7 V co 0.5V i odczytujemy odpowiadające im wartości natężeń prądu
 - (b) Przy zakresie woltomierza 15 V i amperomierza 30 mA, zmieniamy napięcie od 0V do 14 V co 1V i odczytujemy odpowiadające im wartości natężeń prądu.
 - (c) Przy zakresie woltomierza 30 V i amperomierza 75 mA, zmieniamy napięcie od 0V do 14 V co 1V i odczytujemy odpowiadające im wartości natężeń prądu.
3. Zmniejszamy wartości napięć zasilających do zera i wyłączamy zasilanie, a mierniki analogowe zamieniamy na cyfrowe.
 4. Mierniki cyfrowe należy podłączyć w następujący sposób: do pomiaru napięcia - jeden przewód łączymy do wejścia miernika „COM” (-), a drugi do „VΩHz” (+), natomiast do pomiaru natężenia - jeden przewód łączymy do wejścia miernika „COM” (-), a drugi do wejścia „mA” (+).
Przełącznikiem obrotowym należy wybrać rodzaj pomiaru: **V** dla napięć prądu stałego lub **A** dla natężenia prądu stałego, a następnie żądany zakres pomiarowy.
 5. Po włączeniu zasilania, ustawiamy podane niżej wartości napięć i odczytujemy natężeń prądów z mierników cyfrowych:
 - (a) Przy zakresie woltomierza 20 V i amperomierza 20 mA, zmieniamy napięcie od 0V do 7 V co 0.5V i odczytujemy odpowiadające im wartości natężeń prądu
 - (b) Przy zakresie woltomierza 200 V i amperomierza 200 mA, zmieniamy napięcie od 0V do 15 V co 1V i odczytujemy odpowiadające im wartości natężeń prądu.
 6. Zmniejszamy wartości napięć zasilających do zera i wyłączamy zasilanie.
 7. W trakcie pomiarów wyniki wpisujemy do odpowiednich tabel pomiarowych.

V. Tabele pomiarowa

Tabela 1 Mierniki analogowe

L.p.	Zakres 1	Zakres 1	Zakres 2	Zakres 2	Zakres 3	Zakres 3
	7.5 V	15 mA	15 V	30 mA	30 V	75 mA
	U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]
1						
2						
3						
4						
5						
.						
.						

Tabela 1a Parametry mierników

	Woltomierz			Amperomierz		
	1	2	3	1	2	3
Klasa miernika						
Zakres pomiarowy						
Wartość najmniejszej działki						
Niepewność pomiarowa						

Tabela 2 Mierniki cyfrowe

L.p.	Zakres 1		Zakres 1		Zakres 2		Zakres 2	
	20 V		20 mA		200 V		200 mA	
	U[V]	$\Delta U[V]$	I[mA]	$\Delta I[mA]$	U[V]	$\Delta U[V]$	I[mA]	$\Delta I[mA]$
1								
2								
3								
4								
5								
.								
.								

VI. Opracowanie wyników

1. Na podstawie wyników pomiarowych wykreślić na papierze milimetrowym charakterystyki prądowo-napięciowe $I=f(U)$.
2. Obliczyć bezwzględne niepewności pomiarowe mierników analogowych i cyfrowych ΔU i ΔI ; umieścić je w tabelach i zaznaczyć na wykresach.

VII. Dyskusja wyników

Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników

VIII. Literatura

1. *T. Dryński* - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN Warszawa
2. *R. Resnick, D. Halliday* – Fizyka, t.2 PWN Warszawa
3. *J. Orear* - Fizyka, tom I
4. *Sz. Szczęniowski* - Fizyka doświadczalna, cz. 3
5. *J. Lech*- Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Czestochowa 2005
6. *R. Fulińska in.* – Opisy i instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki, PWN Warszawa.

VIII. Dodatek. Parametry mierników cyfrowych

A. Pomiar napięcia stałego

ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ
200mV	$\pm(0,5\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
2V	$\pm(0,5\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
20V	$\pm(0,5\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
200V	$\pm(0,5\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
1000V	$\pm(0,8\% \text{ wskazań} + 2 \text{ cyfry})$

B. Pomiar natężenia prądu stałego

ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ
2mA	$\pm(0,8\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
20mA	$\pm(0,8\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
200mA	$\pm(1,5\% \text{ wskazań} + 1 \text{ cyfra})$
20A	$\pm(2\% \text{ wskazań} + 5 \text{ cyfr})$