

**Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych**

**Cel ćwiczenia:** Zapoznanie z podstawowymi zasadami pomiarów napięć i prądów stałych, podstawowymi parametrami typowych woltomierzy i amperomierzy prądu stałego oraz warunkami użytkowania narzędzi pomiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem doboru zakresu pomiarowego, prawidłowym odczytem i zapisem wyniku pomiaru.

**1. Program ćwiczenia****1.1. Zmierzyć napięcie stałe (przy rezystancji wewnętrznej źródła  $R_w = 0$  i nastawie skokowej napięcia) za pomocą przyrządów analogowych i cyfrowych na kilku wybranych zakresach pomiarowych**

- Wynik pomiaru napięcia przyrządem analogowym odczytać ze skali z rozdzielczością do  $0,1 \div 0,2$  działki (uwzględnić w zapisie); z przyrządu cyfrowego odczytać i **zapisać** wszystkie cyfry,
- obliczyć niepewności pomiaru: względną i bezwzględną,
- prawidłowo zapisać wynik i niepewność pomiaru,
- zaznaczyć na osi liczbowej wartość mierzonego napięcia i przedziały niepewności, porównać wielkości przedziałów i sprawdzić zgodność wyników (tzn. czy istnieje wspólny przedział) dla wszystkich pomiarów tego samego napięcia,
- sprawdzić, czy ze zmianą zakresu pomiarowego nie zmieniają się parametry przyrządu (błędy podstawowe, rezystancja wewnętrzna),
- zwrócić uwagę na zmianę rozdzielczości przyrządu wraz ze zmianą zakresu pomiarowego

*Wniosek* : jak dobierać zakres pomiarowy do mierzonej wartości w przyrządzie, aby zmierzyć możliwie najdokładniej, tzn. uzyskać minimalną niepewność pomiaru

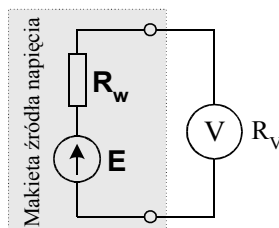
**1.2. Wzorzec rezystancji**

- zmierzyć omomierzem cyfrowym wartość rezystancji nastawionej na dekadzie, obliczyć niepewność ustawienia danej wartości rezystancji i porównać z niepewnością pomiaru
- określić, czy przedziały wartości utworzone przez odpowiednie niepewności wokół wartości wzorca: nastawionej i zmierzonej, mają część wspólną.

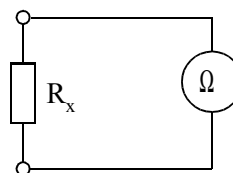
**1.3. Określić wpływ rezystancji wewnętrznych woltomierza i źródła na wynik pomiaru napięcia**

- nastawić napięcie około 1,4 V, dobrać zakres zapewniający największą dokładność pomiaru i wykonać pomiary sem źródła przy kilku wartościach rezystancji wewnętrznej  $R_w$  (w tym przy  $R_w = 0$ ), woltomierzem:
  - a) analogowym,
  - b) cyfrowym,
- powtórzyć wszystkie pomiary przy nastawionym napięciu źródła około 12 V,
- obliczyć błąd metody, wartość poprawną sem E oraz niepewność pomiaru,
- prawidłowo zapisać wynik pomiaru - wartość poprawną i niepewność wyniku pomiaru ( $E \pm \Delta E$ ),
- porównać otrzymane wyniki.

*Wniosek*: jak wpływa rezystancja woltomierza i rezystancja źródła (obwodu) na wynik pomiaru napięcia?

**2. Schematy układów pomiarowych****2.1. Bezpośredni pomiar napięcia źródła woltomierzem i pomiar rezystancji omomierzem.**

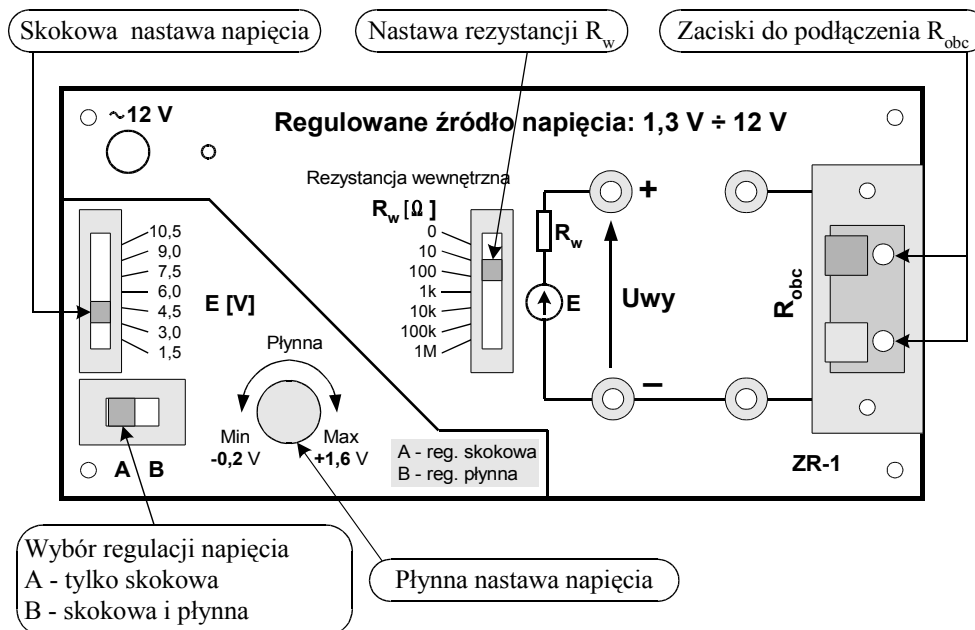
Rys. 1. Układ połączeń do pomiaru napięcia



Rys. 2. Układ połączeń do pomiaru rezystancji

## Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych

## 2.2. Widok płyty czołowej źródła napięcia



## 3. Wprowadzenie

Na podstawie obserwacji można ustalić jakościowy obraz obiektu (subiektywny, niejednoznaczny). Poznanie ilościowe umożliwia dopiero pomiar tj. obiektywne odwzorowanie właściwości fizycznych obiektów w dziedzinie liczb. Każdy pomiar jest doświadczeniem fizycznym. Ograniczona dokładność narzędzi pomiarowych powoduje, że wartość wyniku pomiaru różni się od wartości wielkości mierzonej. Ta różnica nazywa się błędem pomiaru.

Błąd (bezwzględny)  $\Delta X$  pomiaru jest różnicą między wynikiem pomiaru  $X$ , a wartością rzeczywistą (prawdziwą)  $R$  mierzonej wielkości:

$$\Delta X = X - R$$

Wyraża się go w jednostkach miary wielkości mierzonej, ma konkretny znak: "+" lub "-".

Błąd (bezwzględny)  $\Delta X$  wyraża się w jednostkach mierzonej wielkości, np.  $\Delta I = 1,5 \text{ mA}$

*Uwaga:* Błąd pomiaru, bywa nazywany błędem bezwzględnym (nie mylić z wartością bezwzględną błędu, która jest modulem błędu).

W praktyce wartość rzeczywista  $R$  jest nieznaną. W pomiarach zastępuje się ją względnie dokładnym przybliżeniem w postaci wartości poprawnej  $X_p$ . Wartość poprawną  $X_p$  można otrzymać za pomocą wzorcowego narzędzia pomiarowego.

Błąd  $\Delta X$  ze znakiem przeciwnym nazywa się *poprawką*  $p$ ,  $p = -\Delta X$

Dodając algebraicznie poprawkę  $p$  do wyniku pomiaru  $X$ , uzyskuje się wartość poprawną  $X_p$

$$X_p = X + p$$

Praktyczną miarą niedokładności pomiaru są *graniczne błędy pomiaru* (używa się również terminu *niepewność pomiaru* - zgodnie z Międzynarodowym Słownikiem Metrologii, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, 1984 Geneva, stosuje się określenie *niepewność odtwarzania jednostki miary, niepewność wskazań narzędzia pomiarowego, niepewność wyniku pomiaru*).

Niepewność pomiaru jest nie większa niż graniczny dopuszczalny błąd wynikający z klasy zastosowanego przyrządu. Określa się ją jako najmniejszy przedział wokół zmierzonej wartości  $X$ , wewnątrz którego znajduje się wartość rzeczywista  $R$ .

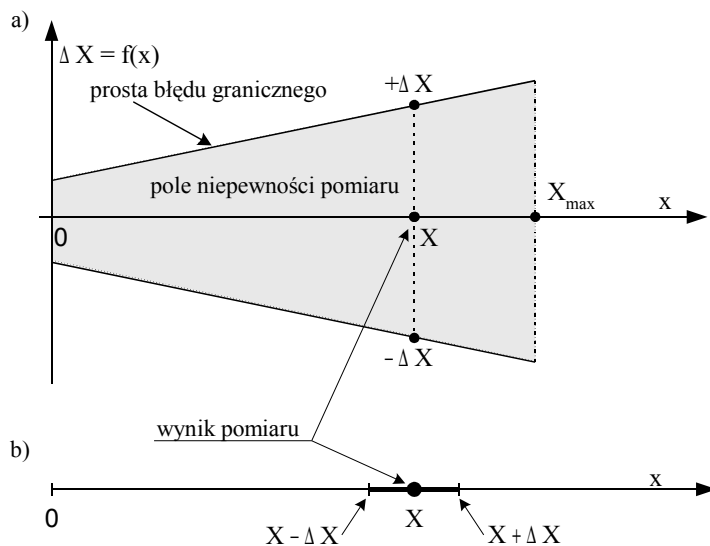
$$X - \Delta X_g \leq R \leq X + \Delta X_g$$

Wynikiem pomiaru są dwie liczby:  $X$  - wartość zmierzona,  $\Delta X_g$  - błąd graniczny.

Wynik pomiaru, bez oceny jego niepewności, nie zawiera całkowitej informacji o pomiarze i często jest bezwartościowy.

**Rys. 3** ilustruje pojęcia: błędu granicznego i niepewności pomiaru przyrządu cyfrowego, którego błąd graniczny jest opisany wzorem:  $\Delta X = \delta_p \cdot X + \Delta_z$ .

## Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych



Rys. 3. Ilustracja pojęć błędów granicznych i niepewności pomiaru w przypadku przyrządu cyfrowego

- zmiana wartości błędów granicznych i niepewności pomiaru w funkcji wartości mierzonej w zakresie od 0 do  $X_{\max}$ ,
- niepewność pomiaru jako symetryczny przedział wokół wartości wyniku pomiaru  $X$  ograniczony przez błąd graniczny.

W celu porównania dokładności przyrządów pomiarowych o różnych zakresach określa się *błąd względny pomiaru*  $\delta X$ . Jest to stosunek błęd pomiaru  $\Delta X$  do wartości rzeczywistej  $R$  mierzonej wielkości - w praktyce najczęściej wartość rzeczywistą  $R$  zastępuje się wartością zmierzoną  $X$ .

$$\delta X = \frac{\Delta X}{R} \cong \frac{\Delta X}{X_p} \cong \frac{\Delta X}{X}$$

Błąd względny  $\delta X$  jest liczbą bezwymiarową, najczęściej wyraża się go w %, np.  $\delta U = 0,01 = 1\%$

### 3.1. Obliczanie niepewności pomiarów w pomiarach bezpośrednich przyrządami analogowymi i cyfrowymi

#### a.) Przyrząd analogowy

Zgodnie z Polską Normą PN-92/E-06501 *dokładność* przyrządu pomiarowego określa zdolność dawania wskazań bliskich wartości rzeczywistej. Miarą dokładności przyrządu pomiarowego są granice jego błęd podstawowego i błędów dodatkowych.

*Błąd podstawowy* - jest to błąd przyrządu pomiarowego znajdującego się w warunkach odniesienia (znamionowych), określonych przez normy tj.: temperatura otoczenia:  $(23^\circ \pm 1^\circ)\text{C}$ , wilgotność względna:  $(40 \div 60)\%$ , brak zewnętrznego pola elektrycznego i magnetycznego.

*Błąd dodatkowy* - występuje w warunkach różniących się od warunków znamionowych, określa się go dla każdej wpływającej wielkości osobno i nazywa w zależności od przyczyn powstawania np. błąd temperaturowy, błąd częstotliwościowy.

Zdarzają się również *błędy nadmierne*. Wynikają one np. z nieprawidłowego wykonania pomiarów, użycia uszkodzonego przyrządu, omyłkowego odczytu wyniku pomiaru. Wyniki obciążone błędami nadmiernymi nie są na ogół uwzględniane przy obliczaniu końcowego wyniku pomiaru.

Dokładność przyrządu analogowego jest określona liczbą nazywaną *wskaźnikiem klasy* (popularnie: *klasa*). Określa on graniczną wartość błęd podstawowego wyrażonego w % zakresu pomiarowego lub innej wartości umownej. Wartości tego wskaźnika są znormalizowane i przyjmuje się je z szeregu: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5, 5. Norma dopuszcza także wskaźniki 0,3 i 3.

Klasa  $kl$  wyrażona jest w [%] tzn.  $kl\ 0,5$  oznacza 0,5 %

Wartość niepewności bezwzględnej przyrządu analogowego o określonej klasie  $kl$  i zakresie  $X_{zakr}$  wyraża się wzorem:

$$\Delta X = kl \cdot \frac{X_{zakr}}{100}$$

Niepewność bezwzględna  $\Delta X$  w przyrządzie analogowym ma stałą wartość na danym zakresie pomiarowym - nie zależy od mierzonej wartości danej wielkości

**Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych**

Wartość *niepewności względnej*  $\delta X$  zależy od wartości mierzonej  $X$  i wyraża się wzorem:

$$\delta X [\%] = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100 \% = kl \cdot \frac{X_{zagr}}{X}$$

W przyrządzie *analogowym*, aby zmniejszyć względną niepewność pomiaru zaleca się mierzyć powyżej 2/3 (lub 1/2) zakresu pomiarowego

**Przykład 1.** Wynik pomiaru napięcia za pomocą woltomierza analogowego klasy 0,5 o zakresie pomiarowym  $U_{zagr} = 15 \text{ V}$ ,  $\alpha_{max} = 75$  działek, wyniósł  $\alpha_X = 62,5$  dz. Wyznaczyć wartość zmierzonego napięcia oraz niepewność pomiaru (względną i bezwzględną).

Rozwiązanie:  $U_X = c_V \cdot \alpha_X$ ,  $c_V = \frac{U_{zagr}}{\alpha_{max}}$ ,  $c_V = \frac{15 \text{ V}}{75 \text{ dz}} = 0,2 \left[ \frac{\text{V}}{\text{dz}} \right]$ ,  $U_X = 0,2 \left[ \frac{\text{V}}{\text{dz}} \right] \cdot 62,5 [\text{dz}] = 12,50 [\text{V}]$

Niepewność bezwzględna pomiaru napięcia:

$$\Delta U_X = kl \cdot \frac{U_{zagr}}{100} = 0,5 \cdot \frac{15 \text{ V}}{100} = 0,075 \text{ V} \leq 0,08 \text{ V}$$

Wynik pomiaru wraz z przedziałem niepewności zapisuje się w postaci:

$$U_X = (12,50 \pm 0,08) [\text{V}] \quad \text{lub} \quad U_X = 12,50 \text{ V} \pm 0,08 \text{ V}$$

Niepewność względna pomiaru napięcia (wyrażona w %):

$$\delta U_X = \frac{\Delta U_X}{U_X} \cdot 100 \% = \frac{0,075 [\text{V}]}{12,50 [\text{V}]} \cdot 100 \% = 0,6 \% = 0,006$$

$$\text{lub: } \delta U_X = kl \cdot \frac{\alpha_{max}}{\alpha_X} = 0,5 \cdot \frac{75 [\text{dz}]}{62,5 [\text{dz}]} = 0,6 \%$$

**b.) Przyrząd cyfrowy**

Błąd  $\Delta X$  pomiaru przyrządem cyfrowym jest sumą dwóch składników:

- błędu *multiplikatywnego*  $\delta_p$ , podawanego zwykle w %, stanowi on ułamek wartości mierzonej  $X$  (ang. % of reading - % *rdg*)
- błędu *addytywnego*  $\Delta z$  - zależnego od zakresu przyrządu, na którym wykonuje się pomiar, wyrażonego w jednostkach wartości mierzonej

Niepewność bezwzględną wyraża się wzorem<sup>1</sup>:

$$\Delta X = (\delta_p \cdot X + \Delta z),$$

gdzie:  $\delta_p$  - błąd względny podstawowy przyrządu (zwany również błędem przetwarzania lub składową analogową błędem),

$\Delta z$  - błąd addytywny (w jednostkach mierzonej wielkości), minimalna wartość jest równa 1 ziarnu (rozdzielczości przyrządu)

Wartość składnika addytywnego jest podawana:

- często jako wielokrotność ziarna - n cyfr (znaków, ziaren), np. 3 dgt oznacza 3 ziarna
- czasem jako ułamek (%) zakresu<sup>2</sup>:  $\Delta z = \delta_z \cdot X_{zagr}$ ,

Niepewność względną  $\delta X$  przyrządu cyfrowego oblicza się ze wzoru<sup>3</sup>:

$$\delta X = \left( \delta_p + \frac{\Delta z}{X} \right) \quad \text{lub} \quad \delta X = \left( \delta_p + \delta_z \frac{X_{zagr}}{X} \right)$$

**Przykład 2.** Obliczyć i wykreślić zależność niepewności bezwzględnej i względnej pomiaru natężenia prądu w funkcji mierzonej wartości  $I_X$  dla amperomierza cyfrowego o zakresie:  $I_{zagr} = 200,0 \text{ mA}$  i błędzie przyrządu równym:  $0,1 \% \text{ rdg} + 3 \text{ dgt}$ .

<sup>1</sup> Gdy wartość  $\delta_p$  jest wyrażona w %, wówczas należy zmodyfikować wzór do postaci:  $\Delta X = \frac{\delta_p \cdot X}{100} + \Delta z$

<sup>2</sup> Jeśli wartość  $\delta_z$  jest wyrażona w %, wówczas należy zmodyfikować wzór do postaci:  $\Delta z = \frac{\delta_z \cdot X_{zagr}}{100}$

<sup>3</sup> Jeśli wartość  $\delta_z$  ma być wyrażona w % i  $\delta_p$ ,  $\delta_z$  są podane w %, wygodnie jest stosować wzory:

$$\delta X [\%] = \delta_p [\%] + \frac{\Delta z}{X} \cdot 100 \% \quad \text{lub} \quad \delta X [\%] = \delta_p [\%] + \delta_z [\%] \frac{X_{zagr}}{X}$$

**Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych**

Rozwiązanie:

0,1 % wartości mierzonej - to składnik multiplikatywny, a 3 ziarna - składnik addytywny błędu; ziarno ma tutaj wartość 0,1 mA - wynika to ze sposobu zapisu zakresu pomiaru

a) błąd bezwzględny

$$\Delta I_X [\text{mA}] = \frac{0,1\%}{100\%} \cdot I_X [\text{mA}] + 3 \cdot 0,1 \text{ mA}$$

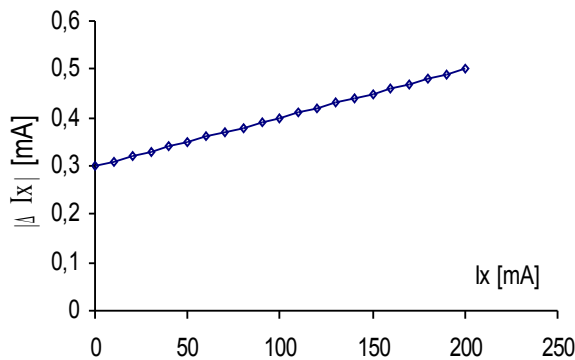
$I_X$	mA	0	50	100	200
$\Delta I_X$	mA	0,3	0,35	0,4	0,5

b) błąd względny [%]

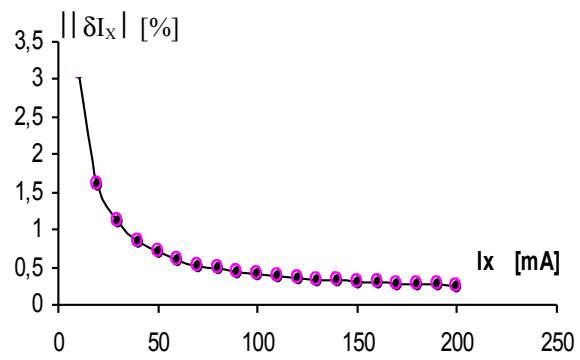
$$\delta I_X = 0,1\% + \frac{3 \cdot 0,1 [\text{mA}]}{I_X [\text{mA}]} \cdot 100\%$$

$I_X$	mA	50	100	150	200
$\delta I_X$	%	0,7	0,4	0,3	0,25

Wykres zależności błędu bezwzględnego  $\Delta I_X$  pomiaru natężenia prądu amperomierzem cyfrowym w funkcji mierzonego prądu  $I_X$  ilustruje rys.4, a błędu względnego  $\delta I_X$  - rys.5.



Rys.4. Wykres zależności błędu bezwzględnego pomiaru natężenia prądu amperomierzem cyfrowym w funkcji mierzonego prądu.



Rys.5. Wykres zależności błędu względnego pomiaru natężenia prądu amperomierzem cyfrowym w funkcji mierzonego prądu.

### 3.2. Błąd metody pomiarowej

W celu pomiaru napięcia lub natężenia prądu płynącego w obwodzie elektrycznym należy odpowiednio włączyć przyrząd pomiarowy (woltomierz - równolegle do obwodu, amperomierz - szeregowo w obwód). Włączenie przyrządu pomiarowego (o określonej rezystancji własnej) powoduje zmianę wartości prądów i napięć w obwodzie, czyli wartość wskazana przez przyrząd będzie inna niż była w obwodzie przed włączeniem przyrządu. W tym wypadku źródłem błędu jest sama metoda pomiaru, stąd błąd ten nazywa się *błędem metody*.<sup>4</sup>

**Przykład 3.** Zmierzyć sem  $E$  źródła o rezystancji wewnętrznej  $R_W$  woltomierzem o rezystancji wejściowej (wewnętrznej)  $R_V$ . Wyznaczyć błąd metody pomiaru sem  $E$ .

Rozwiązanie:

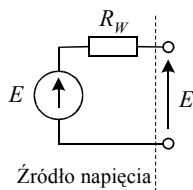
Dołączenie woltomierza o rezystancji wewnętrznej  $R_V$  powoduje pobór prądu  $I_V$  z mierzonego źródła. Przepływający prąd  $I_V$  wywołuje spadek napięcia równy  $I_V \cdot R_W$ , w efekcie woltomierz wskazuje wartość  $U_V$ . Błąd systematyczny metody występujący przy pomiarze napięcia ilustruje rys.6.

Wartość odczytana z woltomierza  $U_V$  jest mniejsza od wartości rzeczywistej  $E$  o spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła. Ta różnica jest bezwzględnym błędem metody pomiaru sem  $E$ .

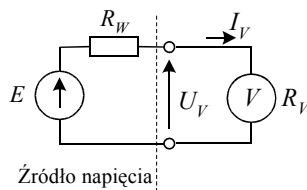
<sup>4</sup> Błąd metody jest błędem systematycznym. Przy znajomości rezystancji wewnętrznej obwodu i rezystancji przyrządu pomiarowego, wartość tego błędu można obliczyć i uwzględnić w wyniku w formie poprawki, uzyskując w ten sposób poprawną wartość wielkości mierzonej. Wartość poprawna  $E$  jest wyznaczona z niepewnością wynikającą z dokładności użytego przyrządu

## Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych

a) bez woltomierza



b) po dołączeniu woltomierza



$$U_V = E - I_V \cdot R_W$$

$$I_V = \frac{E}{R_W + R_V} = \frac{U_V}{R_V}$$

Rys.6. Ilustracja systematycznego błędu metody podczas pomiaru napięcia

Błędy metody pomiaru sem  $E$  wynoszą odpowiednio:

$$a) \text{ bezwzględny} \quad \Delta U_{met} = U_V - E = E \cdot \frac{R_V}{R_W + R_V} - E = -E \cdot \frac{R_W}{R_W + R_V} = -U_V \cdot \frac{R_W}{R_V}$$

Błąd (systematyczny) metody przy pomiarze napięcia ma ujemny znak co znaczy, że wartość napięcia  $U_V$  wskazana przez woltomierz jest mniejsza od wartości rzeczywistej  $E$  ( $U_V < E$ )

$$b) \text{ względny} \quad \delta U_{met} = \frac{\Delta U_{met}}{E} = -\frac{R_W}{R_W + R_V}, \text{ lub } \delta U_{met} [\%] = -\frac{R_W}{R_W + R_V} \cdot 100 \%$$

Po uwzględnieniu powyższych zależności wartość poprawna sem  $E$  wyraża się wzorem:

$$E = U_V + p = U_V + U_V \frac{R_W}{R_V} = U_V \left( 1 + \frac{R_W}{R_V} \right)$$

Niepewność  $\Delta E$  poprawnej wartości sem  $E$  wyznaczamy metodą różniczki zupełnej przy założeniu upraszczającym, że  $R_W$  i  $R_V$  są określone bezbłędnie.

$$\Delta E = \Delta U_V \left( 1 + \frac{R_W}{R_V} \right)$$

**Opór woltomierza** podaje się najczęściej w postaci:

- ◆ konkretnej wartości np.  $R_V = 20 \text{ k}\Omega$
- ◆ lub  $R_V^* = 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$  tzn. na 1 V zakresu; opór woltomierza oblicza się wtedy z zależności:  $R_V = R_V^* \cdot U_{zakr}$
- ◆ Czasem podaje się prąd pełnego wychylenia  $I_{zakr}$  woltomierza - wtedy opór woltomierza liczy się z prawa

$$\text{Ohma: } R_V = \frac{U_{zakr}}{I_{zakr}}, \text{ dla dowolnej wartości } U_X \text{ w całym zakresie } U_{zakr}$$

Opór woltomierza na danym zakresie  $U_{zakr}$  ma wartość stałą.

## 4. Przykładowe tabele pomiarowe

4.1. Pomiar napięcia stałego (jednej wartości około 1,4 V) woltomierzem analogowym LM-3, kl 0,5,  $R_V^* = 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$  na trzech sąsiednich zakresach zaczynając od najniższego: 1,5 V, 3 V, 7,5 V.

L.p	$\alpha_X$	$U_{zakr}$	$\alpha_{max}$	$c_V$	$U_X$	$\Delta U_X$	$\delta U_X$	$U_X \pm \Delta U_X$	$R_V$
	dz	V	dz	V/dz	V	V	%	V	k $\Omega$
1									
2									
3									

4.2. Pomiar napięcia stałego (tej samej wartości co w p.4.1) woltomierzem cyfrowym typu Metex 4640,  $R_V = 10 \text{ M}\Omega$ , również na trzech kolejnych zakresach: 2 V, 20 V, 200 V.

L.p	$U_X$	$U_Z$	$\Delta z$	$\Delta U_X$	$\delta U_X$	$U_X \pm \Delta U_X$	Dane techniczne przyrządu
	V	V	V	V	%	V	
1							
2							
3							

**Ćwiczenie nr 2. Pomiar napięć stałych**

4.3. Badanie wpływu rezystancji wewnętrznej woltomierza i źródła na wynik pomiaru napięcia ok. 1,4 V woltomierzem analogowym kl.0.5 o danych:  $U_Z=1,5V$ ,  $R_V=1,5k\Omega$ ,  $c_V=1,5V/75dz.=0,02 V/dz$ ,  $\Delta U_X = \pm 0,008V$

$R_w$	$\alpha_X$	$U_X$	$\Delta U_{MET}$	$p = -\Delta U_{MET}$	$E = U_X + p$	$\Delta E = \Delta U_X (1 + R_w/R_V)$	$E \pm \Delta E$
$\Omega$	dz	V	V	V	V	V	V
0							
10							
...							
1 M $\Omega$							

4.4. Badanie wpływu rezystancji wewnętrznej woltomierza i źródła na wynik pomiaru napięcia ok. 1,4 V woltomierzem cyfrowym Metex 4640 o danych: (0,05 % rdg + 3 dgt),  $R_V=10 M\Omega$ .

$R_w$	$U_X$	$\Delta U_X$	$\Delta U_{MET}$	$p = -\Delta U_{MET}$	$E = U_X + p$	$\Delta E = \Delta U_X (1 + R_w/R_V)$	$E \pm \Delta E$
$\Omega$	V	V	V	V	V	V	V
0							
10							
...							
1 M $\Omega$							

**5. Zadania kontrolne**

- Jakie wartości prądów  $I_X$  można zmierzyć amperomierzem cyfrowym o zakresie 20,00 mA z niepewnością pomiaru nie przekraczającą 2%? Dokładność przyrządu wynosi: 0,1% rdg + 3 dgt.
- W pomiarze rezystancji omomierzem cyfrowym o zakresie 200,0 k $\Omega$  i dokładności: 0,2% rdg + 1 dgt, otrzymano wynik  $R_X = 175,5 k\Omega$ . Wyznaczyć niepewności pomiaru i prawidłowo zapisać wynik pomiaru.
- Napięcie baterii 4,5 V zmierzono dwoma woltomierzami: a) kl 0,5 i zakresie  $U_{z1} = 30 V$ , b) kl 1 i zakresie  $U_{z2} = 7,5 V$ . Którym przyrządem zmierzono z mniejszą niepewnością?
- Woltomierzem analogowym o danych:  $U_{zakr} = 7,5 V$ ,  $\alpha_{max} = 75$  działek, kl 0,5,  $R_V^* = 1000 \Omega/V$  zmierzono napięcie źródła o danych:  $E \approx 6 V$ ,  $R_W = 100 \Omega$ . Uzyskano wychylenie woltomierza  $\alpha_X = 67,3$  działki. Obliczyć wartość napięcia źródła i niepewność pomiaru tego napięcia.
- Oszacować błąd metody pomiaru napięcia źródła  $E \approx 10 V$  o rezystancji  $R_W \leq 100 \Omega$ , gdy do pomiaru zastosuje się:
  - woltomierz analogowy o danych:  $U_{zakr} = 15 V$ , kl 0,5,  $R_V^* = 1 k\Omega/V$ ,
  - woltomierz cyfrowy o danych:  $U_{zakr} = 19,99 V$ ,  $\delta_p = 0,1 \%$ ,  $R_V = 10 M\Omega$
- Dany jest rezystor wzorcowy o wartości nominalnej  $R_N = 1 k\Omega$  i klasie kl 0,02. Wyznaczyć niepewność ustawienia wartości nominalnej rezystora i zapisać wraz z odpowiednimi jednostkami.

**Odp:** Zad. 5.1. 1,58 mA <  $I_X$  < 20,00 mA,

Zad. 5.2.  $R_X = (175,5 \pm 0,5) k\Omega$ ,  $\delta R_X \approx 0,26 \% \approx 0,3 \%$

Zad. 5.3. drugim,  $\Delta U_1 = 0,15 V$ ,  $\Delta U_2 = 0,075 V \approx 0,08 V$ ,  $\Delta U_2 < \Delta U_1$

Zad. 5.4.  $E = (6,82 \pm 0,04) V$ ,

Zad. 5.5.  $\delta_{met1} \approx 0,7 \%$ ,  $\delta_{met2} = 0,001 \%$ ,

Zad. 5.6.  $\Delta R_N = 0,2 \Omega$ ,  $\delta R_N = 0,02 \%$ .

**6. Literatura**

- Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia Elektryczna, Warszawa, WNT 2003
- Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii, GUM, W-wa 1996
- Czajewski J., Poniński M.: Zbiór zadań z metrologii elektrycznej, Warszawa, WNT 2000
- Miernictwo elektroniczne i elektryczne. Ćwiczenia laboratoryjne, p. red. I. Frankiewicz, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1992
- Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne, Warszawa, WSiP 2006

**7. Zestaw przyrządów** (na jedno stanowisko):

makieta źródła napięcia (biała), woltomierz analogowy i cyfrowy, dekada oporowa.

Opracowała: mgr inż. Beata Krzywaźnia,

Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej