Ćwiczenie nr 1. Pomiary 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÷0,2 działki (uwzględnić w zapisie); z przyrządu cyfrowego odczytać **i zapisać** wszystkie cyfry,
- zwrócić uwagę na zmianę rozdzielczości przyrządu wraz ze zmianą zakresu pomiarowego,
- sprawdzić, czy ze zmianą zakresu pomiarowego nie zmieniają się parametry przyrządu (błędy podstawowe, rezystancja wewnętrzna),
- 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.

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,

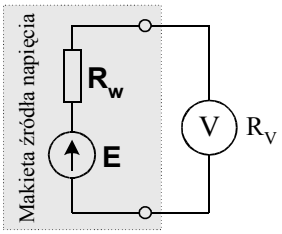
Powtórzyć wszystkie pomiary przy nastawionym napięciu źródła około 12 V,

- 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.

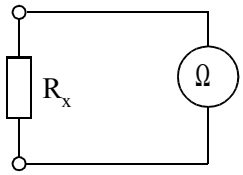
Wniosek: jak wpływa rezystancja woltomierza i rezystancja źródła (obwodu) na wynik pomiaru napięcia?

2. Schematy układów pomiarowych

2.1. Bezpośredni pomiar napięcia źródła woltomierzem i pomiar rezystancji omomierzem.

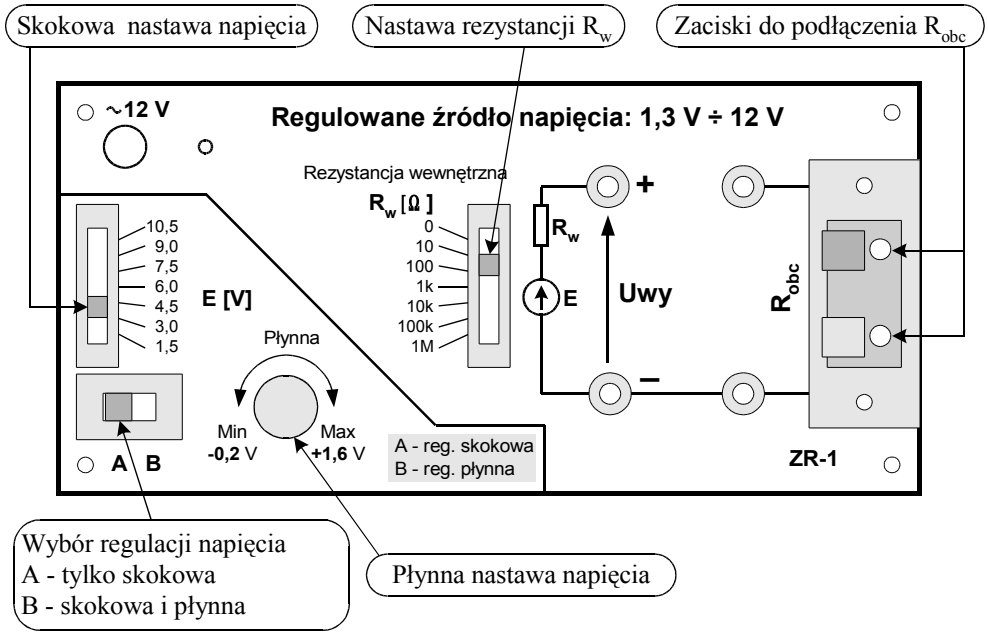


Rys. 1. Układ połączeń do pomiaru napięcia



Rys. 2. Układ połączeń do pomiaru rezystancji

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) ΔX 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) ΔX wyraża się w jednostkach mierzonej wielkości, np. ΔI = 1,5 mA

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

W praktyce wartość rzeczywista R jest nieznana. 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 ΔX 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 <u>nie większa</u> 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.

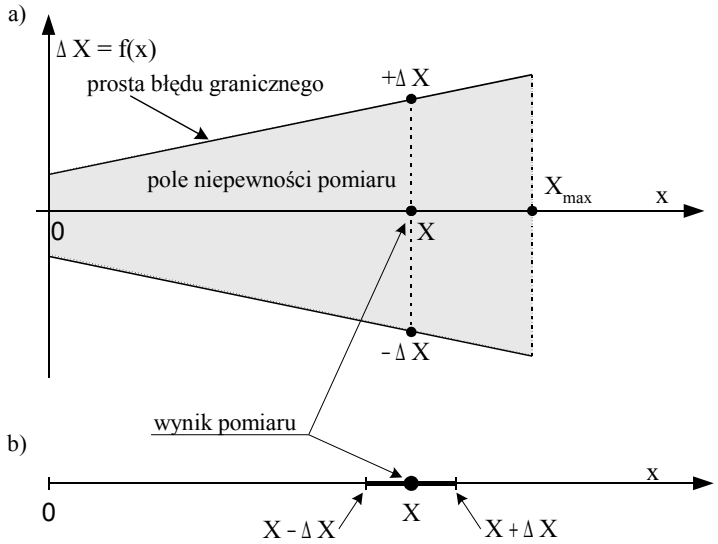
$$X - \Delta X_g \le R \le X + \Delta X_g$$

Wynikiem pomiaru są dwie liczby: X - wartość zmierzona, ΔX_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 1. Pomiary napięć stałych



Rys. 3. Ilustracja pojęć błędu granicznego i niepewności pomiaru w przypadku przyrządu cyfrowego
a) zmiana wartości błędu granicznego i niepewności pomiaru w funkcji wartości mierzonej w zakresie od 0 do X_{max},
b) 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* δX. Jest to stosunek błędu pomiaru ΔX 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 δX 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 błędu podstawowego i błędów dodatkowych.

Błąd podstawowy - jest to błąd przyrządu pomiarowego znajdującego się w warunkach odniesienia (znamionowych), określonych przez normy tj.: temperatura otoczenia: (23° ± 1°)C, wilgotność względna: (40 ÷ 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 obarczone 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 błędu 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 ΔX w przyrządzie analogowym <u>ma stałą wartość</u> na danym zakresie pomiarowym - <u>nie zależy</u> od mierzonej wartości danej wielkości

Ćwiczenie nr 1. Pomiary napięć stałych

Wartość *niepewności względnej* δX zależy od wartości mierzonej X i wyraża się wzorem:

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

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_{zakr} = 15 V, α_{max} = 75 działek, wyniósł α_X = 62,5 dz. Wyznaczyć wartość zmierzonego napięcia oraz niepewność pomiaru (względną i bezwzględną).

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

Niepewność bezwzględna pomiaru napięcia:

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

Wynik pomiaru wraz z przedziałem niepewności zapisuje się w postaci:

U_X = (12,50 ± 0,08) [V] lub U_X = 12,50 V ± 0,08 V

Niepewność względna pomiaru napięcia (wyrażona w %):

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

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 ΔX pomiaru przyrządem cyfrowym jest sumą dwóch składników:

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

Niepewność bezwzględną wyraża się wzorem[1]:

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

gdzie: δ_P - błąd względny podstawowy przyrządu (zwany również błędem przetwarzania lub składową analogową błędu),

Δz - 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[2]: $\Delta z = \delta_Z \cdot X_{zakr}$,

Niepewność względną δX przyrządu cyfrowego oblicza się ze wzoru[3]:

$$\delta X = \left(\delta_P + \frac{\Delta z}{X}\right) \quad \text{lub} \quad \delta X = \left(\delta_P + \delta_Z \frac{X_{zakr}}{X}\right)$$

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_{zakr} = 200,0 mA i błędzie przyrządu równym: *0,1 % rdg + 3 dgt.*

---

[1] Gdy wartość δ_P jest wyrażona w %, wówczas należy zmodyfikować wzór do postaci: $\Delta X = \frac{\delta_P \cdot X}{100} + \Delta z$

[2] Jeśli wartość δ_Z jest wyrażona w %, wówczas należy zmodyfikować wzór do postaci: $\Delta z = \frac{\delta_Z \cdot X_{zakr}}{100}$

[3] Jeśli wartość δ_Z ma być wyrażona w % i δ_P, δ_Z są podane w %, wygodnie jest stosować wzory:

$$\delta X[\%] = \delta_P[\%] + \frac{\Delta z}{X} \cdot 100\,\% \quad \text{lub} \quad \delta X[\%] = \delta_P[\%] + \delta_Z[\%]\frac{X_{zakr}}{X}$$

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

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

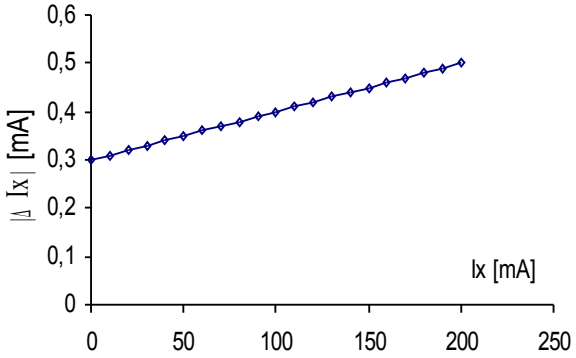
I_X	*mA*	0	50	100	200
ΔI_X	*mA*	0,3	0,35	0,4	0,5

b) błąd względny [%]

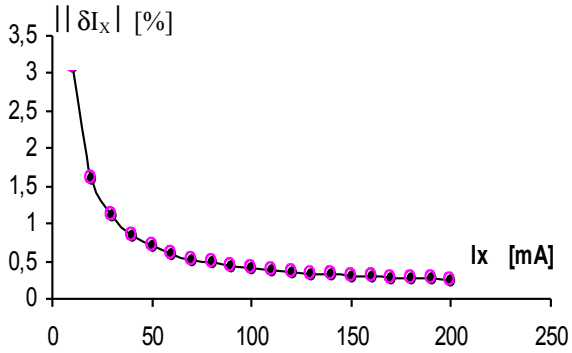
$$\delta I_X = 0{,}1\,\% + \frac{3 \cdot 0{,}1\,[\mathrm{mA}]}{I_X\,[\mathrm{mA}]} \cdot 100\,\%$$

I_X	*mA*	50	100	150	200
δI_X	*%*	0,7	0,4	0,3	0,25

Wykres zależności błędu bezwzględnego ΔI_X pomiaru natężenia prądu amperomierzem cyfrowym w funkcji mierzonego prądu I_X ilustruje rys.4, a błędu względnego δI_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.* [4]

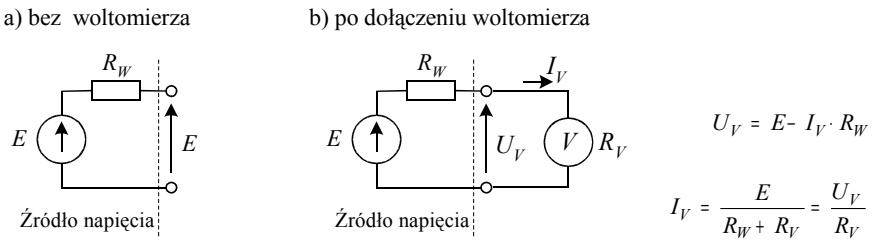
Przykład 3. Zmierzyć sem E źródła o rezystancji wewnętrznej R_W woltomierzem o rezystancji wejściowej (wewnętrznej) R_V. Wyznaczyć błąd metody pomiaru sem E.

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.

[4] 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



Rys.6. Ilustracja systematycznego błędu metody podczas pomiaru napięcia

Błędy metody pomiaru sem E wynoszą odpowiednio:

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

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

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

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 ΔE 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. $R_V = 20$ kΩ
- lub $R_V^* = 1$ kΩ/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 Ohma: $R_V = \frac{U_{zakr}}{I_{zakr}}$, dla dowolnej wartości U_X 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, $R_V^* = 1$ kΩ/V na trzech sąsiednich zakresach zaczynając od najniższego: 1,5 V, 3 V, 7,5 V.

L.p	α_X	U_{zakr}	α_{max}	c_V	U_X	ΔU_X	δU_X	$U_X \pm \Delta U_X$	R_V
	dz	V	dz	V/dz	V	V	%	V	kΩ
1									
2									
3									

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

L.p	U_X	U_Z	Δz	ΔU_X	δU_X	$U_X \pm \Delta U_X$	Dane techniczne przyrządu
	V	V	V	V	%	V	
1							
2							
3							

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 = 1,5kΩ, c_V = 1,5V/ 75dz.= 0,02 V/dz, $\Delta U_X = \pm$ 0,008V

R_w	α_X	U_X	ΔU_{MET}	$p = -\Delta U_{MET}$	$E = U_X + p$	$\Delta E = \Delta U_X (1+ R_W/R_V)$	$E \pm \Delta E$
Ω	dz	V	V	V	V	V	V
0							
10							
....							
1 MΩ							

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 MΩ.

R_w	U_X	ΔU_X	ΔU_{MET}	$p = -\Delta U_{MET}$	$E = U_X + p$	$\Delta E = \Delta U_X (1+ R_W/R_V)$	$E \pm \Delta E$
Ω	V	V	V	V	V	V	V
0							
10							
....							
1 MΩ							

5. Zadania kontrolne

5.1. 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.

5.2. W pomiarze rezystancji omomierzem cyfrowym o zakresie 200,0 kΩ i dokładności: 0,2% rdg + 1 dgt, otrzymano wynik R_X = 175,5 kΩ. Wyznaczyć niepewności pomiaru i prawidłowo zapisać wynik pomiaru.

5.3. 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?

5.4. Woltomierzem analogowym o danych: U_{zakr} = 7,5 V, α_{max} = 75 działek, kl 0.5, R_V^* = 1000 Ω/V zmierzono napięcie źródła o danych: $E \approx 6$ V, R_W = 100 Ω. Uzyskano wychylenie woltomierza α_X = 67,3 działki. Obliczyć wartość napięcia źródła i niepewność pomiaru tego napięcia.

5.5. Oszacować błąd metody pomiaru napięcia źródła $E \cong 10$ V o rezystancji $R_W \leq 100$ Ω, gdy do pomiaru zastosuje się: - woltomierz analogowy o danych: U_{zakr} = 15 V, *kl* 0.5, R_V^* = 1 kΩ/V,
- woltomierz cyfrowy o danych: U_{zakr} = 19,99 V, δ_p = 0,1 %, R_V = 10 MΩ

5.6. Dany jest rezystor wzorcowy o wartości nominalnej R_N = 1 kΩ 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 ± 0,5) kΩ, $\delta R_X \approx$ 0,26 % ≈ 0,3 %
Zad. 5.3. drugim, ΔU_1 = 0,15 V, ΔU_2 = 0,075 V ≅ 0,08 V, $\Delta U_2 < \Delta U_1$
Zad. 5.4. E = (6,82 ± 0,04) V,
Zad. 5.5. $\delta_{met1} \approx$ 0,7 %, δ_{met2} = 0,001 %,
Zad. 5.6. ΔR_N = 0,2 Ω, δR_N = 0,02 %.

6. Literatura

6.1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: *Metrologia Elektryczna,* Warszawa, WNT 2003
6.2. *Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii*, GUM, W-wa 1996
6.3. Czajewski J., Poniński M.: *Zbiór zadań z metrologii elektrycznej*, Warszawa, WNT 2000
6.4. *Miernictwo elektroniczne i elektryczne. Ćwiczenia laboratoryjne*, p. red. I. Frankiewicz, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1992
6.5. 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 Krzyważnia,
Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej