

## 1. BŁĘDY POMIAROWE, PODSTAWOWE DEFINICJE

Każdy wynik pomiaru bez określenia dokładności pomiaru jest bezwartościowy. Dlatego też zwykle obok wyniku pomiaru podaje się wielkość błędu pomiarowego, wyrażoną w jednostkach wielkości mierzonej.

**Błędem pomiarowym** nazywamy niezgodność wyniku pomiaru z rzeczywistą wartością wielkości mierzonej. Wszystkie błędy pomiarowe możemy podzielić na *systematyczne*, *przypadkowe* i *grube*.

**Błąd systematyczny** pozostaje stały co do wartości bezwzględnej i znaku w czasie wykonywania wielu pomiarów tej samej wielkości w tych samych warunkach pomiarowych. Błąd ten zmienia się wraz ze zmianą warunków pomiaru, np. zmianą ciśnienia, temperatury otoczenia, wilgotności, itp. Częstymi przyczynami występowania błędów systematycznego są błędy wzorcowania miary i/lub błędy kalibracji przyrządu (toru) pomiarowego, błąd paralaksy, błąd związany z zastosowaniem niewłaściwej metody pomiarowej, itd.

Większość błędów systematycznych można wyeliminować stosując coraz dokładniejsze przyrządy pomiarowe, stosując się do zaleceń producenta oraz wprowadzając automatyzację pomiarów.

Przyczyny powstawania **błędów przypadkowych** nie są zazwyczaj znane i możliwe do ustalenia. Mierząc wielokrotnie tą samą wielkość pomiarową nawet najdokładniejszym przyrządem za każdym razem otrzymamy nieco inny wynik, ponieważ każdy z takich pomiarów obarczony jest błędem przypadkowym. Błędów tych nie można zazwyczaj wyeliminować, ale można określić ich wpływ na ostateczny wynik wielkości mierzonej.

**Błędy grube** wynikają głównie z niestaranności lub niedostatecznej wiedzy osoby wykonującej pomiar. Są one stosunkowo łatwe do zauważenia i wyeliminowania. Ich przyczynami najczęściej są: błędy odczytu wyniku, pomyłki w zapisie (przestawienie kropki dziesiętnej), zamiana jednostek, przyjęcie złego zakresu pomiarowego, itp.

Ze względu na sposób zapisu wielkości błędu rozróżnia się błędy bezwzględne i względne.

**Błąd bezwzględny** oznacza odchylenie wyniku pomiaru od wartości rzeczywistej i podawany jest w jednostkach wielkości mierzonej, np.  $t \pm \Delta t = (2,56 \pm 0,08) \text{ s}$ .

**Błąd względny** wyrażany jest stosunkiem błędu bezwzględnego do wielkości mierzonej

$$\delta = \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \quad (1)$$

Zwykle oprócz wyniku pomiaru podaje się błąd procentowy, czyli błąd względny ważony w procentach, np.  $a = (26,3 \pm 0,4) \text{ ms}^{-2}$ ,  $\delta = 1,5\%$

Z pomiarem **wielkości prostej** mamy do czynienia wówczas, gdy miarę wielkości fizycznej otrzymujemy poprzez bezpośredni pomiar jednym przyrządem, np. pomiar napięcia za pomocą woltomierza lub oporu za pomocą omomierza. Z kolei pomiary **wielkości złożonych** wymagają pomiarów wielu wielkości prostych np. obliczenie oporu na podstawie pomiarów napięcia i natężenia prądu płynącego przez odbiornik.

## 2. BŁĄD POMIARU WIELKOŚCI PROSTEJ

Dokładność przyrządu pomiarowego określa minimalną wartość błędu systematycznego, który popełniamy wykonując pomiary tym przyrządem. Dlatego też dla większości przyrządów pomiarowych wprowadzono pojęcie tzw. klasy, a przyrządy są konstruowane w taki sposób, by wyniki pomiarów nie różniły się od wartości rzeczywistej o więcej niż o wartość odpowiadającą klasie przyrządu. Zatem **klasa miernika** to błąd procentowy odpowiadający maksymalnemu wskazaniu miernika na danym zakresie (maksymalnej wartości stosowanego zakresu pomiarowego). Inaczej mówiąc jest to maksymalny błąd względny dla danego zakresu.

Dokładność skali (podziałki) miernika jest uzależniona od klasy przyrządu. Najmniejsza wartość pojedynczej działki na skali przyrządu nazywa się dokładnością odczytu lub rozdzielczością. W pewnych przypadkach dopuszcza się stosowanie dokładności odczytu większej niż dokładność podziałki, np. wtedy

gdy interesuje nas różnica wskazań jednego przyrządu, a podziałki skali są wystarczająco odległe. Wówczas za błąd pomiaru przyjmuje się wartość  $\frac{1}{2}$  lub  $\frac{1}{4}$  wartości podziałki.

## 2.1. ANALOGOWE MIERNIKI ELEKTRYCZNE

Dokładność mierników analogowych określana jest przez błąd procentowy odpowiadający maksymalnemu wychyleniu wskazówki (górnjej granicy zakresu). Zatem błąd bezwzględny pomiaru określa się następująco:

$$\Delta X = \frac{\textit{klasa} \cdot \textit{zakres}}{100} \quad (2)$$

Błąd bezwzględny nie zależy więc od wartości wielkości mierzonej, natomiast błąd względny będzie zwiększał się przy spadku wielkości mierzonej. Błąd względny określony jest wzorem:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{\textit{wychylenie}} = \frac{\textit{klasa} \cdot \textit{zakres}}{\textit{wychylenie}} [\%] \quad (3)$$

### Przykład 1

Watomierzem klasy 1 dla zakresu prądowego 0,5 A i napięciowego 100 V zmierzono moc żarówki  $P = 45,3$  W. Obliczyć błędy pomiaru.

Błąd bezwzględny pomiaru wynosi

$$\Delta P = \frac{1 \cdot (0,5 \cdot 100)}{100} = 0,5 \text{ W} ,$$

natomiast błąd względny wynosi

$$\delta = \frac{1 \cdot (0,5 \cdot 100)}{45,3} = 1,1 \% .$$

Zatem ostatecznie można zapisać:  $P = (45,3 \pm 0,5)$  W,  $\delta=1,1$  %

## 2.2. MIERNIKI ELEKTRONICZNE CYFROWE

Klasa większości mierników cyfrowych wynosi 0,5, a więc błąd bezwzględny wielkości mierzonej wynosi:

$$\Delta X = \pm \left( \frac{0,5 \cdot \textit{wskazanie}}{100} + \textit{waga ostatniej cyfry} \right) \quad (4)$$

Waga ostatniej cyfry zależy od stosowanego zakresu i wynosi np. 1; 0,1; 0,01; 0,001 jednostek wielkości mierzonej. Jednak w przypadku większości mierników uniwersalnych wyniki pomiarów obarczone są zdecydowanie większym błędem niż to wynika ze wzoru, dlatego też w celu obliczenia błędu pomiarowego zawsze należy korzystać ze wskazówek zawartych w instrukcji obsługi miernika.

### Przykład 2

Miernikiem cyfrowym typu AVIDSEN 107150 zmierzono napięcie stałe  $U = 12,47$  V (na zakresie 20 V) oraz natężenie prądu płynącego przez odbiornik  $I = 15,1$  mA (na zakresie 20 mA). Określić błąd bezwzględny i względny obu pomiarów.

**- Podstawy metrologii -***Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

Korzystając z instrukcji obsługi określamy dokładność pomiarów dla użytych zakresów pomiarowych:

1) błąd pomiaru:  $\pm 0,5\% \pm 2D$ , rozdzielczość = 10 mV

2) błąd pomiaru:  $\pm 1\% \pm 2D$ , rozdzielczość = 10  $\mu$ A

następnie określamy błędy bezwzględne wykonanych pomiarów

$$1) \Delta X = \pm \left( \frac{0,5 \cdot 12,47}{100} + 0,02 \right) = \pm 0,08235 \text{ V} \cong \pm 0,08 \text{ V}$$

$$2) \Delta X = \pm \left( \frac{1 \cdot 15,1}{100} + 0,02 \right) = \pm 0,171 \text{ mA} \cong \pm 0,2 \text{ mA}$$

oraz błędy względne

$$1) \delta = \frac{0,08}{12,47} = 0,64\%$$

$$2) \delta = \frac{0,2}{15,1} = 1,3\%$$

i zapisujemy wyniki pomiarów

1)  $U = (12,47 \pm 0,08) \text{ V}$ ,  $\delta = 0,64\%$

2)  $I = (15,1 \pm 0,2) \text{ mA}$ ,  $\delta = 1,3\%$ .

### 3. UŚREDNIANIE WARTOŚCI POMIAROWYCH

#### 3.1. WARTOŚĆ ŚREDNIA, JEJ BŁĄD ORAZ ODCHYLENIE STANDARDOWE

W wielu przypadkach wykonuje się kilkukrotne pomiary tej samej wielkości fizycznej, w celu uzyskania jak najdokładniejszego wyniku pomiaru. Błąd pojedynczego pomiaru nie jest miarą dokładności danej metody pomiarowej. Jeśli wykonujemy serię pomiarów  $x_i$ , to każdy z tych pomiarów obarczony jest innym błędem  $\Delta x_i$ .

Wartość średnia serii pomiarowej zdefiniowana jest jako:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

natomiast odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru:

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

W przypadku skończonej, niezbyt dużej liczby pomiarów dobre oszacowanie odchylenia standardowego daje następujący wzór:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

W warunkach rzeczywistych mamy do czynienia zarówno z błędami przypadkowymi  $\sigma$  jak i systematycznymi  $\Delta x_o$ . Błąd całkowity definiuje się jako średnią geometryczną ww. błędów:

$$\Delta x = \sqrt{\sigma^2 + \Delta x_o^2} \quad (8)$$

**- Podstawy metrologii -**  
*Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

---

Obliczając odchylenie standardowe średniej należy uwzględnić częściowe kompensowanie się odchylek ujemnych i dodatnich. Stąd *błąd średni kwadratowy* obliczamy wg wzoru:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (9)$$

skąd po podstawieniu wyrażenia opisującego średnią arytmetyczną otrzymamy:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

**Przykład 3**

Pomiar czasu realizacji dowolnego zdarzenia wykonano 10-krotnie, a wyniki pomiaru zestawiono poniżej. Obliczyć czas średni zdarzenia oraz średni błąd kwadratowy.

Lp.	$t_i$	$t_i^2$
1	15,2	231,04
2	14,5	210,25
3	14,8	219,04
4	15,0	225
5	15,3	234,09
6	14,9	222,01
7	15,1	228,01
8	15,2	231,04
9	15,0	225
10	14,8	219,04
$\Sigma$	149,8	2244,52

Wartość średnia wynosi  $t = 14,98 \text{ s} \cong 15,0$

Błąd średni kwadratowy wartości średniej obliczony wg wzoru (10) wynosi

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{2244,52 - \frac{1}{10} \cdot (149,8)^2}{10(10-1)}} = 0,75718 \cong 0,1 \text{ s}$$

Zatem czas średni wynosi  $t = (15 \pm 0,1) \text{ s}$

**- Podstawy metrologii -**

*Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

### 3.2. ŚREDNIA WAŻONA

Metodę średniej ważonej stosujemy wówczas, gdy chcemy obliczyć wartość średnią kilku niezależnych pomiarów tej samej wielkości fizycznej wykonanych z różną dokładnością. Oczywiście jest, że pomiar dokładniejszy jest lepszy od pomiaru mniej dokładnego, zatem różne pomiary będą miały różny wpływ na wynik obliczeń.

W celu wykonania obliczeń metodą średniej ważonej należy wprowadzić pojęcie *wagi* - określonej wzorem (11), przy czym stałą *a* należy dobrać w taki sposób by wartości wagi *w<sub>i</sub>* były dogodne dla dalszych obliczeń.

$$w_i = \frac{a}{(\Delta x_i)^2} \quad (11)$$

Średnia ważona wyrażona jest wzorem:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (12)$$

a błąd maksymalny średniej:

$$\Delta \bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n |w_i \Delta x_i|}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (13)$$

Gdy wszystkie pomiary obarczone są takim samym błędem lub prawie takim samym to wzór (12) staje się wyrażeniem opisującym średnią arytmetyczną.

W przypadku, gdy wagi są odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odchyłeń standardowych wartości średnich z serii pomiarowych, należy obliczyć błąd średni kwadratowy (odchylenie standardowe) średniej ważonej wg wzoru:

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \varepsilon_i^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n w_i}} \quad (15)$$

gdzie

$$\varepsilon_i = x_i - \bar{x}_w \quad (16)$$

#### **Przykład 4**

Obliczyć średnią ważoną i jej błąd z następujących trzech niezależnych wyników pomiarów:

- 1)  $M = (2,52 \pm 0,12) \text{ A}$
- 2)  $M = (2,68 \pm 0,18) \text{ A}$
- 3)  $M = (2,48 \pm 0,16) \text{ A}$

Przyjmujemy wartość stałej  $a=1$ . Średnią ważoną i jej błąd maksymalny obliczamy ze wzorów (12) i (13). Schemat obliczeń przedstawiono w tabelce.

i	$x_i$	$\Delta x_i$	$w_i$	$w_i \cdot x_i$	$w_i \cdot \Delta x_i$
1	2,52	0,12	69,4	174,9	8,33
2	2,68	0,18	30,9	82,8	5,56
3	2,48	0,16	39,0	96,7	6,24
$\Sigma$	---	---	139,3	354,4	20,13

**- Podstawy metrologii -***Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

Średnia ważona wynosi

$$\bar{M}_w = \frac{354,4}{139,3} = 2,54$$

Błąd maksymalny średniej ważonej

$$\Delta \bar{M}_w = \frac{20,13}{139,3} = 0,14$$

Zatem ostateczny wynik wynosi

$$M = (2,54 \pm 0,14) \text{ A}$$

#### 4. WYZNACZANIE BŁĘDÓW WELKOŚCI ZŁOŻONEJ

W praktyce pomiarowej bardzo często mamy do czynienia z koniecznością wyznaczenia wartości wielkości fizycznej, która jest funkcją wielu zmiennych. Wartości tych zmiennych wyznacza się np. w czasie pojedynczych lub kilkukrotnych pomiarów laboratoryjnych, a następnie wyniki podstawia się do wyrażenia ogólnego. Jednak każdy z pomiarów prostych obarczony jest pewnym błędem, uzależnionym od dokładności użytego przyrządu pomiarowego. Naszym zadaniem jest określenie błędu obliczonej wielkości złożonej.

##### 4.1. METODA POCHODNEJ LOGARYTMICZNEJ

Metodę pochodnej logarytmicznej stosuje się wówczas, gdy analizowane złożone wyrażenie jest iloczynem wielkości prostych  $x_i$  wyrażonych w dowolnych potęgach  $a_i$ :

$$y = A \prod_{i=1}^n x_i^{a_i} \quad (16)$$

Po zlogarytmowaniu oraz zróżniczkowaniu równania (16) otrzymamy:

$$\begin{aligned} \ln y &= \ln A + \sum_{i=1}^n a_i \cdot \ln x_i \\ \frac{dy}{y} &= \sum_{i=1}^n a_i \frac{dx_i}{x_i} \end{aligned} \quad (17)$$

Jeżeli poszczególne różniczki w równaniu (17) potraktować jako błędy maksymalne oraz uwzględnimy najbardziej niekorzystną sytuację tzn. zsumujemy wszystkie błędy biorąc ich bezwzględne wartości to błąd względny wyznaczenia wielkości złożonej można obliczyć w sposób następujący:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n \left| a_i \frac{\Delta x_i}{x_i} \right| \quad (18)$$

Jeżeli zaś poszczególne wielkości proste mierzyliśmy wielokrotnie i obliczaliśmy odchylenia standardowe od wartości średniej to błąd względny należy obliczyć ze wzoru (19):

$$\frac{S_{\bar{y}}}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( a_i \frac{S_{\bar{x}_i}}{x_i} \right)^2} \quad (19)$$

**- Podstawy metrologii -***Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych***Przykład 5**

Pomiar rezystancji opornika węglowego przeprowadzono metodą techniczną przy zastosowaniu miernika cyfrowego MASTECH MY 67. Miliamperomierzem dokonano pomiarów natężenia prądu (DC) na zakresie 400 mA, którego wartość wyniosła 250 mA, z kolei pomiar napięcia wykazał 6,81 V na zakresie 40 V. Stosując prawo Ohma wyznaczyć rezystancję opornika oraz obliczyć błąd wyznaczenia tej wielkości.

Z prawa Ohma obliczamy rezystancję

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6,8}{250 \cdot 10^{-3}} = 27,2 \Omega$$

Korzystając z instrukcji obsługi miernika obliczamy błędy bezwzględne wielkości mierzonych prostych.

Odczytujemy sposób wyznaczenia błędu dla miliamperomierza:  $\pm 1,2\% W \pm 2D$ ;  $D = 0,1 \text{ mA}$  i obliczamy błąd pomiaru natężenia:

$$\Delta I = \pm \left( \frac{1,2 \cdot 250}{100} + 0,2 \right) = \pm 3,2 \text{ mA}$$

Odczytujemy sposób wyznaczenia błędu dla woltomierza:  $\pm 0,5\% W \pm 2D$ ;  $D = 10 \text{ mV}$  i obliczamy błąd pomiaru napięcia:

$$\Delta U = \pm \left( \frac{0,5 \cdot 6,81}{100} + 0,02 \right) = \pm 0,054 \text{ V} \cong \pm 0,06 \text{ V}$$

Stosując wzór (18) obliczamy wartość błędu względnego:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0,06}{6,81} + \frac{3,2}{250} = 0,0088 + 0,0128 = 0,0216 (\sim 2,16\%)$$

oraz błędu bezwzględnego

$$\Delta R = 27,2 \cdot 0,0216 = 0,58752 \cong 0,6 \Omega$$

i zapisujemy wynik końcowy:

$$R = (27,2 \pm 0,6) \Omega$$

**4.2. METODA RÓŻNICZKI ZUPEŁNEJ**

Metodę różniczki zupełnej można stosować praktycznie w każdym przypadku wyznaczania błędu maksymalnego (lub odchylenia standardowego) wielkości złożonej. Jeśli przyjąć, że szukana wielkość jest funkcją kilku zmiennych:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (20)$$

to różniczka zupełna tej funkcji przyjmie postać:

$$dy = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n \quad (21)$$

a po zastąpieniu różniczek przyrostami skończonymi otrzymamy:

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (22)$$

**- Podstawy metrologii -***Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

Przyrostom skończonym (podobnie jak poprzednio) należy przypisać sens fizyczny błędów. Uwzględniając regułę dodawania błędów otrzymamy ostatecznie:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \cdot |\Delta x_1| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \cdot |\Delta x_2| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \right| \cdot |\Delta x_n| \quad (23)$$

lub inaczej

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \Delta x_i \right| \quad (24)$$

Jeżeli zaś poszczególne wielkości proste wchodzące w skład naszej funkcji złożonej mierzyliśmy wielokrotnie i obliczaliśmy odchylenia standardowe od wartości średniej to odchylenie standardowe średniej arytmetycznej wielkości złożonej należy obliczyć ze wzoru:

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right)^2 S_{\bar{x}_i}^2} \quad (25)$$

**Przykład 6**

Dla danych jak w przykładzie 5 obliczyć rezystancję opornika oraz wyznaczyć jej błąd metodą różniczki zupełnej.

Rezystancja opornika oraz błędy pomiarów wielkości prostych (patrz przykład 5) wynoszą:

$$R = \frac{U}{I} = 27,2 \, \Omega; \quad \Delta I = \pm 3,2 \, mA; \quad \Delta U = \pm 0,06 \, V$$

Korzystając ze wzoru (23) lub (24) wyznaczamy różniczkę zupełną:

$$\Delta R = \left| \frac{d}{dU} \left( \frac{U}{I} \right) \right| \cdot |\Delta U| + \left| \frac{d}{dI} \left( \frac{U}{I} \right) \right| \cdot |\Delta I|$$

$$\Delta R = \left| \frac{1}{I} \right| \cdot |\Delta U| + \left| -\frac{U}{I^2} \right| \cdot |\Delta I|$$

$$\Delta R = \frac{0,06}{0,25} + \frac{6,81 \cdot 0,0032}{(0,25)^2} = 0,588 \approx 0,6 \, \Omega$$

i zapisujemy wynik końcowy:

$$R = (27,2 \pm 0,6) \, \Omega$$

**LITERATURA**

- [1]. Respondowski R.: Laboratorium z fizyki. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1834. Gliwice 1994.
- [2]. Poprawski R., Salejda W.: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Część 1. Zasady opracowania wyników pomiarów.* Oficyna wydawnicza PWR, Wrocław 1999.



**- Podstawy metrologii -**

*Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

**DODATKI**

**Tablica 1.** Uchyby pomiarowe miernika cyfrowego typu MASTECH model MY67

Funkcja	Zakres	Rozdz.	Błąd pomiaru	Uwagi
Pomiar napięcia stałego DC, V	400 mV	0,1 mV	$\pm 0,8\% W \pm 2D$	max. 1000 V
	4 V	1 mV	$\pm 0,5\% W \pm 2D$	
	40 V	10 mV	$\pm 0,5\% W \pm 2D$	
	400 V	0,1 V	$\pm 0,5\% W \pm 2D$	
	1000 V	1 V	$\pm 0,8\% W \pm 2D$	
Pomiar napięcia przemiennego AC, V	400 mV	0,1 mV	-----	max. 750 V rms
	4 V	1 mV	$\pm 0,6\% W \pm 0,2\% Z \pm 3D$	
	40 V	10 mV	$\pm 0,6\% W \pm 0,2\% Z \pm 3D$	
	400 V	0,1 V	$\pm 0,6\% W \pm 0,2\% Z \pm 3D$	
	750 V	1 V	$\pm 1,2\% W \pm 3D$	
użyteczny zakres częstotliwości pomiarowej od 40 Hz do 400 Hz				
Pomiar natężenia prądu DC, A	400 $\mu$ A	0,1 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 2D$	max. 500 mA
	4 mA	1 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 2D$	
	40 mA	10 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 2D$	maks. 10 A
	400 mA	0,1 mA	$\pm 1,2\% W \pm 2D$	
	10 A	10 mA	$\pm 2,0\% W \pm 5D$	
Pomiar natężenia prądu AC, A	400 (0-200) $\mu$ A	0,1 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	max. 500 mA rms
	400 (201-300) $\mu$ A	0,1 $\mu$ A	$\pm 2,5\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	
	400 (301-400) $\mu$ A	0,1 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	
	4 mA	1 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	max. 10 A rms
	40 mA	10 $\mu$ A	$\pm 0,8\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	
	400 mA	0,1 mA	$\pm 1,2\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	
	10 A	10 mA	$\pm 3,0\% W \pm 0,4\% Z \pm 3D$	
Pomiar rezystancji R, $\Omega$	400 $\Omega$	0,1 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 3D$	
	4 k $\Omega$	1 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 1D$	
	40 k $\Omega$	10 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 1D$	
	400 k $\Omega$	100 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 1D$	
	4 M $\Omega$	1 k $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 1D$	
	40 M $\Omega$	10 k $\Omega$	$\pm 1,2\% W \pm 2D$	

W – wskazanie miernika

D – waga ostatniej cyfry wyświetlacza (rozdzielczość)

Z – zakres

**- Podstawy metrologii -**

*Ćwiczenie 2 i 3. Dokładność pomiarów, wyznaczanie błędów pomiarowych*

**Tablica 2.** Uchyby pomiarowe miernika cyfrowego typu AVIDSEN model 107150

Funkcja	Zakres	Rozdz.	Błąd pomiaru	Uwagi
Pomiar napięcia stałego DC, V	0,2 V	0,1 mV	$\pm 0,25\% W \pm 2D$	max. 220 V
	2 V	1 mV	$\pm 0,5\% W \pm 2 D$	max. 750 V
	20 V	0,01 V	$\pm 0,5\% W \pm 2 D$	max. 750 V
	200 V	0,1 V	$\pm 0,5\% W \pm 2 D$	max. 750 V
	1000 V	1 V	$\pm 0,5\% W \pm 2 D$	max. 220 V
Pomiar napięcia przemiennego AC, V	200 V	100 mV	$\pm 1,2\% W \pm 10 D$	max. 750 V rms
	750 V	1 V	$\pm 1,2\% W \pm 10 D$	max. 750 V rms
użyteczny zakres częstotliwości pomiarowej od 45 Hz do 450 Hz				
Pomiar natężenia prądu DC, A	0,2 mA	0,1 $\mu$ A	$\pm 1\% W \pm 2 D$	max. 200 mA
	2 mA	1 $\mu$ A	$\pm 1\% W \pm 2 D$	max. 200 mA
	20 mA	10 $\mu$ A	$\pm 1\% W \pm 2 D$	max. 200 mA
	200 mA	100 $\mu$ A	$\pm 1,2\% W \pm 2 D$	max. 200 mA
	10 A	100 mA	$\pm 2\% W \pm 2D$	brak bezpiecznika
Pomiar rezystancji R, $\Omega$	200 $\Omega$	0,1 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 2 D$	
	2000 $\Omega$	1 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 2 D$	
	20 k $\Omega$	10 $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 2 D$	
	200 k $\Omega$	0,1 k $\Omega$	$\pm 0,8\% W \pm 2 D$	
	2000 k $\Omega$	1 k $\Omega$	$\pm 1\% W \pm 2 D$	

W – wskazanie miernika

D – waga ostatniej cyfry wyświetlacza (rozdzielczość)