

NARZĘDZIA POMIAROWE

CEL ĆWICZENIA

Poznanie źródeł informacji o parametrach i warunkach eksploatacji narzędzi pomiarowych, zapoznanie ze sposobami użytkowania wybranych analogowych i cyfrowych przyrządów pomiarowych oraz wzorców rezystancji, nabycie umiejętności oceny niepewności wyników pomiarów, wynikającej z wartości błędów granicznych użytkowanego narzędzia pomiarowego.

PROGRAM ĆWICZENIA

1. Przyrząd analogowy

- 1.1. Rozpoznać informacje umieszczone na podzielni przyrządu, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów metrologicznych i sposobem podawania informacji o błędzie podstawowym przyrządu.
- 1.2. Zmierzyć wskazane napięcie woltomierzem magnetoelektrycznym. Pomiar tego samego napięcia wykonać stosując różne zakresy woltomierza. Porównać wyniki pomiarów.
- 1.3. Obliczyć graniczne błędy bezwzględne i względne wskazań woltomierza na dla każdego wyniku.
- 1.4. Podać dla każdego pomiaru przedział wartości w jakim znajduje się napięcie wskazywane przez woltomierz.

2. Przyrząd cyfrowy.

- 2.1. Zapoznać się parametrami metrologicznymi i technicznymi oraz sposobem podawania błędu podstawowego dla przyrządów cyfrowych.
- 2.2. Zmierzyć wskazane napięcie. Pomiar tego samego napięcia wykonać stosując różne zakresy woltomierza. Porównać wyniki pomiarów.
- 2.3. Obliczyć graniczne błędy bezwzględne i względne wskazań woltomierza dla każdego wyniku.
- 2.4. Podać dla każdego pomiaru przedział wartości w jakim znajduje się napięcie wskazywane przez woltomierz.
- 2.5. Zmierzyć prąd płynący we wskazanym obwodzie. Pomiar wykonać stosując różne zakresy amperomierza
- 2.6. Obliczyć graniczne błędy bezwzględne i względne wskazań amperomierza decydujące o niepewności wartości odczytanej z amperomierza

Wzorzec rezystancji.

- 3.1. Zapoznać się z informacją umieszczoną na jednomiarowym wzorcu rezystancji i na dekadzie rezystancyjnej
- 3.2. Obliczyć błąd graniczny bezwzględny wzorca rezystancji i podać przedział wartości, w którym leży rzeczywista wartość wzorca..
- 3.3. Zmierzyć omomierzem cyfrowym wartość rezystora wzorcowego oraz wartość rezystancji R ustawionej na dekadzie.
- 3.4. Określić błąd bezwzględny i względny wyniku pomiaru (niepewność wyniku pomiaru) wynikający z błędu granicznego omomierza i na tej podstawie przedział wartości, w którym znajduje się rzeczywista wartość mierzonej rezystancji.
- 3.5. Sprawdzić czy wyniki obliczeń z punktu 3.2 nie są sprzeczne z wynikami obliczeń w punktach 3.4..

WPROWADZENIE

Do wykonania pomiaru niezbędne są narzędzia pomiarowe i pomocniczy sprzęt pomiarowy. Do narzędzi pomiarowych zaliczane są **przyrządy pomiarowe i wzorce miar**. Wartości błędów narzędzi pomiarowych bardzo rzadko są znane dokładnie. Producenci aparatury podają jedynie **wartości graniczne błędów podstawowych i dodatkowych**, gwarantując tym samym, że przy zachowaniu określonych warunków użytkowania danego narzędzia pomiarowego popełniane nim błędy nie przekroczą określonych wartości. **Błędy podstawowe** narzędzi pomiarowych określają niedokładność wykonanego nimi pomiaru w **warunkach odniesienia**. Warunki odniesienia stanowi odpowiedni, znormalizowany, zbiór określonych wartości wielkości wpływających (temperatury, wilgotności,...). Parametrem metrologicznym charakteryzującym narzędzie pomiarowe jest błąd **podstawowy**. Błędy podstawowe wielu narzędzi pomiarowych podawane są w postaci odpowiedniego wskaźnika **klasy dokładności**.

ANALOGOWE PRYZRZĄDY WSKAZUJĄCE O DZIAŁANIU BEZPOŚREDNIM

W przypadku analogowych przyrządów wskazówkowych błąd podstawowych określa klasa przyrządu.. **Klasa charakteryzuje wartość graniczną błędu wskazań wyrażoną w procentach wartości umownej**. Wartością umowną może być górna granica zakresu pomiarowego, wartość wskazana, długość podziałki, obszar pomiarowy. Informacje o rodzaju wartości umownej podawane są na przyrządzie w formie odpowiedniego symbolu (tab. III-01 PN-92/E-06501/01). **Dla większości magnetoelektrycznych i elektromagnetycznych przyrządów pomiarowych wartością umowną jest górna granica zakresu pomiarowego.**

Liczby, wyrażające graniczną względną niedokładność wskazań przyrządów analogowych w formie klasy, są znormalizowane : 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2.5, 5. Norma dopuszcza także wskaźniki 0.3 i 3

W normie PN-92/E-06501/01 (tabela I-01) jako warunki odniesienia dla analogowych przyrządów wskazujących określono m.in. następujące tolerancje dla wielkości wpływających, takich jak:

- temperatura otoczenia $23^0 \pm 1^0$ dla przyrządów o wskaźniku klasy $\leq 0,3$
 $23^0 \pm 2^0$ dla przyrządów o wskaźniku klasy $\geq 0,5$
- wilgotność względna $40 \div 60\%$
- pozycja pracy oznaczona(pozioma lub pionowa) $\pm 1^0$
- zewnętrzne pole magnetyczne: całkowity brak
- zewnętrzne pole elektryczne: całkowity brak

Niezachowanie wartości wpływających w określonych przez warunki odniesienia granicach powoduje powstawanie **błędów dodatkowych**. Normy definiują dla każdej z możliwych wielkości wpływających granice **nominalnego zakresu użytkowania i dopuszczalny błąd dodatkowy**, wyrażony w procentach wskaźnika klasy. Przykładowo dla temperatury otoczenia w przedziale zmian : temperatura odniesienia $\pm 10^0$ dopuszczalny błąd dodatkowy dla przyrządów analogowych wynosi 100% wskaźnika klasy. Producent musi zatem tak skonstruować przyrząd, aby tych wartości nie przekroczyć. .

Przykład 1: *Woltomierz kl. I i zakresie pomiarowym $U_Z=10 V$ w żadnym punkcie skali nie powinien mierzyć z błędem większym niż graniczna wartość:*

$$\Delta U = \pm \frac{kl \cdot U_Z}{100} = \pm 0,1V,$$

o ile tylko warunki pracy będą zgodne z warunkami odniesienia (np. temperatura otoczenia nie przekroczy zakresu $(23 \pm 2)^0 C$.

Graniczny błąd względny pomiaru napięcia, równy:

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U} 100\% = \frac{kl \cdot U_z}{U},$$

zależy od wykorzystania zakresu pomiarowego.

Przykład 2: Jeśli w czasie pomiaru woltomierz z przykładu 1 wskaże 5.00V to wartość ta obarczona będzie błędem granicznym względnym równym 2%, a więc 2 razy większym niż wskaźnik klasy.

Pomiar jest tym dokładniejszy im wartość mierzona jest bliższa zakresowi przyrządu.

Niepewność wyniku pomiaru przyrządem analogowym jest często większa niż jego graniczny błąd podstawowy na skutek niezbyt starannego odczytu wskazań z podziałki przyrządu. Przyrządy wielozakresowe mają podziałkę opisaną w działkach od 0 do α_{\max} i wynik surowy (ten odczytany z przyrządu) musi być podany z uwzględnieniem pełnych możliwości rozdzielczości podziałki i ludzkiego oka.

Do przeliczenia wychylenia wskazówki przyrządu α na wartość mierzoną, np. napięcia, konieczne jest wyznaczenie stałej tego woltomierza na danym zakresie U_z i obliczenie wartości mierzonej jako:

$$U = c_v \alpha = \frac{U_z}{\alpha_{\max}} \alpha.$$

PRYZRZĄDY CYFROWE

Większość stosowanych w pomiarach przyrządów cyfrowych stanowią **multimetry**.

Multimetr jest wielozakresowym przyrządem przeznaczonym do pomiaru kilku wielkości. Najczęściej multimetry umożliwiają pomiar napięcia i natężenia prądu stałego i zmiennego oraz rezystancji. Bardziej rozbudowane przyrządy pozwalają ponadto mierzyć częstotliwość, temperaturę, pojemność elektryczną, testować układy cyfrowe.

Multimetr cyfrowy składa się z przetwornika A/C oraz wejściowych układów przetwarzających mierzoną wielkość na sygnał napięciowy o wartości dopasowanej do zakresu przetwarzania przetwornika A/C. Często przyrząd umożliwia automatyczną kalibrację i zerowanie, automatyczny dobór zakresu. Zasadniczy blok multimetru cyfrowego stanowi przetwornik A/C - najczęściej jest to przetwornik całkujący przetwarzający napięcie na czas mierzony cyfrowo) Wynik pomiaru wyświetlany jest na cyfrowym polu odczytowym w postaci liczby dziesiętnej ze znakiem, z jednoczesnym wskazaniem jednostki miary i zakresu pomiarowego.

Dostosowanie woltomierza do pomiaru prądu polega na włączeniu równolegle do wejścia woltomierza rezystora, przez który płynie mierzony prąd. Pomiar prądu polega na pomiarze spadku napięcia na tym oporniku.

Pomiar rezystancji jest dokonywany za pośrednictwem przetwornika R/U, którego działanie polega na wytworzeniu napięcia stałego o wartości proporcjonalnej do wartości mierzonej rezystancji. Zazwyczaj jest to przetwornik zawierający dodatkowe źródło prądu stałego I.

Podczas pomiaru parametrów napięć zmiennych w obwód wejściowy multimetru włączany jest dodatkowy przetwornik AC/DC. Najczęściej spotykane są przetworniki wartości średniej wyprostowanego napięcia zmiennego oraz przetworniki wartości skutecznej (tzw. TRUE RMS).

Multimetr może zawierać także układ interfejsu, który umożliwia zdalne sterowanie pracą przyrządu oraz przesyłanie wyników pomiarów i w efekcie pozwala na stosowanie w automatycznych systemach pomiarowych.

Podstawowe parametry typowego multimetru zawarte są w dokumentacji technicznej, dostarczanej przez producenta. Znaleźć w niej można m.in. następujące informacje i parametry:

- warunki pracy i warunki odniesienia
- ilość cyfr pola odczytowego

- wielkości mierzone
- podzakresy pomiarowe i rozdzielczość
- błędy podstawowe pomiaru każdej z mierzonych wielkości
- błędy dodatkowe i czynniki na nie wpływające
- zakres częstotliwości przy pomiarze napięć i prądów zmiennych
- rezystancja wejściowa przy pomiarze napięcia stałego
- impedancja wejściowa przy pomiarze napięcia zmiennego
- spadek napięcia na zaciskach wejściowych przy pomiarze prądu.

W przypadku cyfrowych przyrządów pomiarowych, **bezwzględny błąd podstawowy jest sumą dwóch składników:** $\Delta_c = \Delta_p + \Delta_d$.

$\Delta_p = \pm a\%X$, gdzie X jest wynikiem pomiaru.

$\Delta_d = \pm b\%X_Z$ lub $\pm n\Delta_r$,

gdzie: X_Z – zakres (podzakres) pomiarowy,

n - liczba cyfr (dgt),

Δ_r - rozdzielczość czyli najmniejsza zmiana wielkości mierzonej powodująca zmianę o 1(jeden) ostatniej cyfry wyniku.

Zatem:

$$\Delta_c = \pm(a\%X + b\%X_Z) \text{ lub } \Delta_c = \pm(a\%X + n\Delta_r).$$

W dokumentacji technicznej, informacje o dokładności pomiaru przyrządem cyfrowym podawane są często w postaci uproszczonej: $\pm(a\%+n)$. Na przykład dla multimetru DM-441B: $\pm(0.1\%+4dgt)$.

Taki zapis należy interpretować jako sumę błędu równego a% wartości mierzonej i błędu, odpowiadającego n-krotnej rozdzielczości pola odczytowego. (Jeżeli nie ma informacji o wartości tego błędu, należy przyjąć jego minimalną możliwą wartość, odpowiadającą n=1).

Graniczny błąd względny cyfrowego pomiaru wartości wielkości X wyrażony w %, równy jest

zatem:

$$\delta_c = \frac{\Delta_c}{X} = \pm(a\% + \frac{\Delta_d}{X} 100\%)$$

Pomiar cyfrowy jest tym dokładniejszy im więcej jest cyfr w wyniku pomiaru.

Przykład 3. Woltomierzem cyfrowym o błędzie podstawowym $\pm(0.1\%+2dgt)$, na zakresie pomiarowym 200.0 mV zmierzono napięcie 123,4 mV. Podać przedział niepewności dla wartości mierzonego napięcia.

Przedział niepewności określa suma dwóch składników:

$$\Delta_p = \pm 0.1\% \cdot 123,4 = 0.123 \approx \pm 0.12 \text{ mV}$$

i błędu Δ_d , odpowiadającego wartości dwóch, najmniej znaczących cyfr wskazania, czyli $\Delta_d = \pm 0.2$ mV.

Suma obu składników daje wartość $\Delta U = \pm 0.32 \text{ mV}$, którą przy zapisywaniu wyniku pomiaru i jego niepewności należy zaokrąglić, uwzględniając rozdzielczość przyrządu $\pm 0.1 \text{ mV}$. Ostatecznie zatem wynik pomiaru zapiszemy jako: $U = (123,4 \pm 0.3) \text{ mV}$. Graniczny błąd względny tego pomiaru równy jest $\delta U = \pm 0.24\%$.

Przykład 4: Woltomierzem cyfrowym o parametrach jak w przykładzie 3 zmierzono wartość napięcia $U = 10.2 \text{ mV}$. Obliczyć błąd względny tego pomiaru.

Wartość graniczna błędu względnego jest sumą błędu $\delta_p = \pm 0.1\%$, niezależnego od wskazania i błędu δ_d , równego $\pm(0.2 \text{ mV} / 10.2 \text{ mV}) 100\% = 2\%$. Tak więc ostatecznie $\delta U = \pm 2.1\%$.

WZORCE WIELKOŚCI

Dla użytkowych wzorców wielkości elektrycznych (np. wzorców rezystancji, napięcia, pojemności) **klasa wzorca określa graniczny błąd bezwzględny odniesiony do wartości nominalnej wzorca, wyrażony w procentach.**

Przykład 5: Rezystor o wartości nominalnej $R_n = 1000\Omega$, opisany klasą kl. 0,05 może mieć w warunkach odniesienia wartość R w przedziale niepewności opisanym zależnością:

$$R = R_n \pm \frac{\text{kl.} * R_n}{100\%}. \quad R = 1000,0\Omega \pm 0,5\Omega$$

Wskaźniki **kl** klas wzorców tworzą znormalizowany szereg liczb $(1,2,5)10^k$, gdzie k jest liczbą całkowitą niedodatnią.

W przypadku regulowanego, wielodekadowego, wzorca rezystancji danej klasy każda, dowolnie ustawiona na nim wartość rezystancji jest określona z granicznym błędem względnym równym jego klasie. Jeżeli wielodekadowy wzorzec rezystancji R składa się z k dekad wykonanych w różnej klasie dokładności $kl_1, kl_2, kl_3, \dots, kl_k$, to taki wzorzec rezystancji należy potraktować jako sumę wzorców $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k$, a wypadkowy błąd graniczny bezwzględny policzyć zgodnie z regułami przenoszenia błędów jako sumę błędów granicznych bezwzględnych wynikających z klas zastosowanych rezystorów. Graniczny błąd względny (w %) takiego wzorca opisuje zależność:

$$\delta R_k = \frac{\sum_{i=1}^k kl_i R_i}{\sum_{i=1}^k R_i}.$$

ZADANIA

- Wykreślić, w zależności od wartości mierzonego napięcia, błąd graniczny względny i bezwzględny pomiaru amperomierzem kl.0,5 na zakresie 30mA.
- Poprawność wskazań woltomierza o zakresie 10V, kl 0.5, $\alpha_{\max} = 100$ działek sprawdzono woltomierzem o znacznie większej dokładności. Czy sprawdzany woltomierz zachowuje klasę, gdy w wyniku sprawdzenia uzyskano następujące wyniki :

α [dz]	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
U_w [V]	1,013	2,007	2,980	3,954	4,998	6,002	6,942	8,010	9,015	10,007

a wskazania woltomierza wzorcowego można przyjąć za wartość poprawną mierzonego napięcia ?

- Wykreślić, w zależności od wartości mierzonego napięcia, błąd graniczny względny i bezwzględny woltomierza cyfrowego o błędzie podstawowym 0,05% wartości mierzonej i 0,01% wartości podzakresu, dla zakresu 10V. Czy wskazania tego woltomierza mogłyby być traktowane jako wartości poprawne w badaniu woltomierza z zad.2? (zgodnie z wymaganiami normy błąd graniczny urządzenia kontrolnego nie powinien być większy niż 0,25 wartości granicznego błędu podstawowego przyrządu sprawdzanego).
- Zmierzono napięcie U_x równocześnie woltomierzem analogowym o zakresie 30V, $\alpha_{\max} = 150$ działek, klasy 0,5 i woltomierzem cyfrowym o zakresie 100V i błędzie $\pm 0,05\%$ wartości mierzonej $\pm 0,01\%$ zakresu. Woltomierz analogowy wskazał 125,5 działki a woltomierz cyfrowy 24,92V. Zaznaczyć na osi liczbowej przedziały wartości w jakich mieszczą się wyniki pomiaru

poszczególnymi woltomierzami. Czy wskazania woltomierzy są sprzeczne? Dla jakiej różnicy wskazań można przyjąć, że wyniki nie są sprzeczne?

5. Jak zmieni się graniczny błąd względny pomiaru prądu δI_x jeżeli na zakresie 2 mA odczytano wynik: $I_{x1} = 1.845$ mA, a na zakresie 20 mA: $I_{x2} = 1.86$ mA. Użyty amperomierz ma błąd graniczny określony jako $\pm(0.05\% + 3\text{cyfry})$.
- 6..Na oporniku wielodekadowym (tzw „dekadzie”) $10 \times (100, 10, 1, 0,1)\Omega$ wykonanym z rezystorów 100Ω kl 0,05; 10Ω kl 0,05; 1Ω kl 0,1; $0,1\Omega$ kl 0,5 nastawiono wartości $R_1 = 985,5\Omega$ i $R_2 = 1,5\Omega$. Obliczyć błąd graniczny (bezwzględny i względny) określenia wartości tych rezystancji.