

# Błędy spowodowane przyrządami pomiarowymi

**Liczba dostępnych przyrządów pomiarowych gwałtownie wzrasta. Wzrasta również liczba osób mierzących. Czy nasz pomiar jest wiarygodny? Jakim błędem może być obarczony wynik pomiaru? Informacje o błędach wprowadzanych przez przyrząd są podawane w instrukcjach obsługi w różnych postaciach, wygodnych dla producenta.**

## Przyrządy analogowe

Przyrządy analogowe mają na polu odczytowym symbol np. "1.5" (rys. 1a) lub "2.5" (rys. 1b) określający ich dokładność, zwany klasą (kl.). Zamiast liczby 1,5 mogą być inne, np.: 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, itd. W takim przypadku można określić błąd bezwzględny  $\Delta x$  mierzonej wielkości  $x$  obliczając go ze wzoru:

$$\Delta x = \frac{kl}{100} \cdot x_z \quad (1)$$

w którym:

$x_z$  - zakres, na którym jest dokonywany pomiar.

Teraz znany jest pełny wynik pomiaru, który należy zapisać wzorem:

$$x = (x \pm \Delta x) [x] \quad (2)$$

przy czym:

$[x]$  - jednostka wielkości fizycznej  $x$ .

Interpretacja tego zapisu mówi, że wartość rzeczywista znajduje się między wartościami  $x - \Delta x$  i  $x + \Delta x$ .

**P r z y k ł a d**

Zmierzyliśmy woltomierzem analogowym na zakresie  $U_z = 15$  V napięcie stałe, zasilające wzmacniacz operacyjny i otrzymaliśmy wartość  $U_w = 12,2$  V, następnie na tym samym zakresie zmierziliśmy baterię R6 (1,5 V)  $U_b = 1,2$  V. Pomijając wpływ rezystancji wewnętrznej woltomierza na pomiar, obliczmy błąd pomiaru, o którym informuje nas producent, kl = 1,5%.

Korzystając ze wzoru (1) obliczmy błąd bezwzględny obu pomiarów:

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} \cdot 15 = 0,225 \text{ V} \approx 0,23 \text{ V}$$

Błędy przyjęto zawsze zaokrąglić w górę, w tym przypadku do dwóch cyfr znaczących. Wartość błędu dla wszystkich pomiarów wykonanych na tym zakresie jest jednakowa. Wyniki pomiarów, zapisane zgodnie ze wzorem, są następujące:

$$U_w = (12,2 \pm 0,23) \text{ V}$$

$$\text{oraz } U_b = (1,2 \pm 0,23) \text{ V.}$$

Z pomiaru napięcia zasilającego wzmacniacz wynika, że wartość rzeczywista znajduje się między wartościami

$$12,2 - 0,23 = 11,97 \text{ V}$$

$$\text{a } 12,2 + 0,23 = 12,43 \text{ V}$$

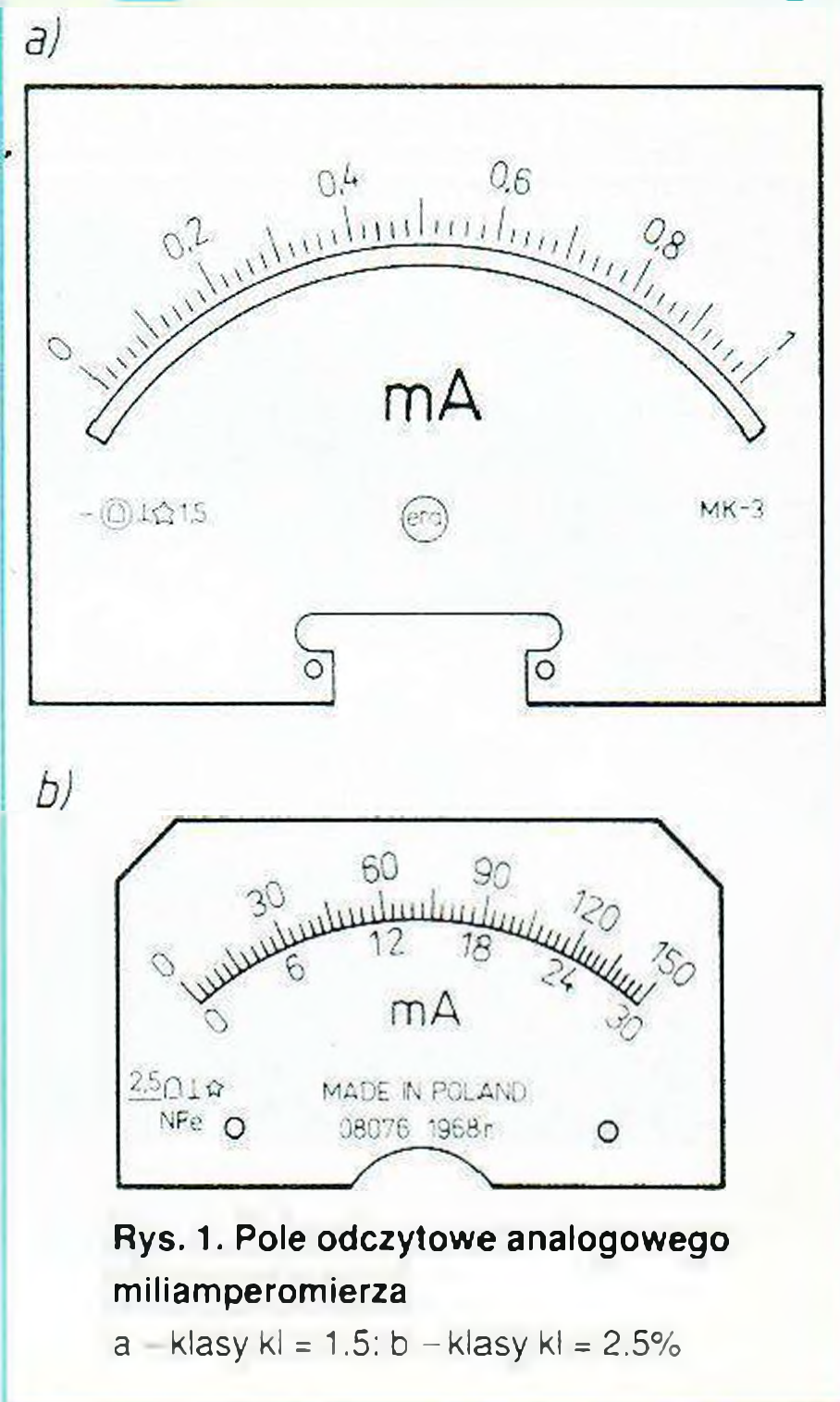
Jeżeli prawidłową wartością jest 12 V, to ten pomiar wskazuje, że zasilanie jest prawidłowe. W przypadku pomiaru baterii R6 wartość rzeczywista znajduje się między 0,97 V, a 1,43 V. Jeżeli wartość rzeczywista jest bliska 0,97 V, bateria jest wyczerpana. W przeciwnym przypadku, gdy jest w pobliżu 1,43 V, bateria jest dobra. Pomiar baterii tym przyrządem na tym zakresie nie wskazał, czy ma ona prawidłową wartość napięcia. W takim przypadku mierzymy w tych samych warunkach baterię nową i zastanawiamy się nad różnicą wartości napięć obu baterii. Ponieważ pomiar odbywa się w pobliżu wychylenia poprzedniego, można spodziewać się prawidłowej interpretacji pomiaru. Może jednak wystąpić właśnie w tym miejscu duża zmiana czułości przyrządu spowodowana niedoskonałością łożysk (w granicach błędu) i interpretacja uzyskanych wyników okaże się błędna. Prawidłowym rozwiązaniem jest zmiana zakresu przyrządu, np.  $U_z = 3$  V. Obliczmy błąd pomiaru ze wzoru (1):

$$\Delta U_b = \frac{1,5}{100} \cdot 3 = 0,045 \text{ V}$$

$$U_b = (1,2 \pm 0,045) \text{ V}$$

Wartość rzeczywista napięcia baterii mieści się między napięciem 1,155 V, a 1,245 V. Teraz interpretacja tego wyniku jest jednoznaczna, bateria jest wyczerpana.

Przedstawiony sposób postępowania jest prawidłowy dla każdego pomiaru przyrządem analogowym: napięć, prądów stałych i zmiennych. Przy pomiarze innych wielkości (rezystancji, pojemności) i przy pomiarach przyrządami cyfrowymi, odpowiedzi na pytania o dokładność pomiaru należy szukać w instrukcji obsługi.



Różne firmy prezentując swoje przyrządy, zwracają uwagę na takie parametry, które zachęcają kupujących. Trzeba tu dodać, że producenci podają też pozostałe, ale w drugiej kolejności. Parametry "handlowe" dla producentów to zakresy pomiarowe, wielkość pola odczytowego, natomiast błędy pomiaru na poszczególnych zakresach są traktowane jako parametr dodatkowy, tak jak informacja o szerokości pasma częstotliwości mierzonych sygnałów zmiennych.

## Przyrządy cyfrowe

Błędy w przyrządach cyfrowych są podawane przez producentów dwoma sposobami. Pierwszy polega na podaniu błędu względnego  $\delta_a$  i błędu dyskretyzacji w postaci błędu bezwzględnego  $\Delta_d$ . Drugi sposób polega na podaniu błędu względnego  $\delta_a$  i względnego błędu dyskretyzacji  $\delta_{dz}$ , który związany jest z błędem  $\Delta_d$  wzorem:

$$\delta_{dz} = \frac{\Delta_d}{x_z} \cdot 100 \quad (3)$$

Rzadko w instrukcjach jest podawany sposób obliczenia błędu bezwzględnego pomiaru, a ten błąd jest dla mierzącego najważniejszy. Producent podał w instrukcji multimetru METEX, że pomiar rezystancji na zakresie  $R_z = 20$  k $\Omega$  jest obarczony błędem:  $\pm 0,15\%$  of rdg +3 dgt, po polsku:  $\pm 0,15\%$  wartości mierzonej ( $\delta_a$ ), oraz +3z ("ziarna" ang. digits)( $\Delta_d$ ). Z obserwacji przyrządu (lub z instrukcji) wynika, że maksymalna liczba "ziaren" wynosi  $N_z = 20000z$ . Wartość mierzonego rezystora odczytana z przyrządu wynosi  $R = 12168 \Omega$ . Wartość błędu bezwzględnego całkowitego oblicza się ze wzoru:

$$\Delta R_c = \frac{\delta_a}{100} \cdot R + \frac{R_z}{N_z} \Delta_d$$

$$\Delta R_c = \frac{\pm 0.15}{100} \cdot 12168 + \frac{20000}{20000} \cdot 3 =$$

$$= \begin{cases} -15.252 \cong -16\Omega \\ +21.252 \cong +22\Omega \end{cases}$$

przy czym:

$$R = (12168, -16, +22) \Omega$$

Czy dokładność pomiaru rezystora jest wystarczająca? W wielu przypadkach tak, są jednak takie przyrządy, jak wzmacniacze pomiarowe, dzielniki, mostki, dla których ta dokładność może nie być wystarczająca.

Producent multimetru V562 MERATRONIK do pomiaru rezystancji na zakresie 20 kΩ podaje następujące parametry: ± 0.5% w.m. (wartości mierzonej) ( $\delta_a$ ), ± 5 cyfr ( $\Delta_d$ ), pole odczytowe  $N_z = 2000z$ .

Odczytano wartość rezystancji:  $R = 12.17 \text{ k}\Omega$ . Ze wzoru (4) można obliczyć wartość błędu bezwzględnego.

Podczas obliczeń należy zwrócić uwagę na stosowanie tych samych jednostek dla poszczególnych wielkości. W poprzednim zadaniu rezystancja  $R$  oraz zakres  $R_z$  były wyrażane w omach, w tym są wyrażane w kiloomach:

$$\Delta R_c = \frac{\pm 0.5}{100} \cdot 12.17 + \frac{20}{2000} \cdot (\pm 5) =$$

$$= \pm 0.11085 \text{ k}\Omega \cong \pm 0.12 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

przy czym:

$$R = (12,17 + 0,12) \text{ k}\Omega$$

Ten sam producent dla multimetru V560 podaje błędy pomiaru rezystancji inaczej: ± 0.5% w.m. ( $\delta_a$ ), ± 0.2% w.z. ( $\delta_{dz}$ ), (wartości zakresu). Przyrząd ten ma inne zakresy pomiarowe. Do pomiaru rezystancji z poprzednich zadań trzeba wykorzystać zakres 100 kΩ, a  $N_z = 100000z$ . Odczytano wartość mierzonej rezystancji  $R = 12.168 \text{ k}\Omega$ . Wartość błędu bezwzględnego można obliczyć ze wzoru (4), po obliczeniu  $\Delta_d$  ze wzoru:

$$\Delta_d = \frac{\delta_z}{100} \cdot N_z$$

$$\Delta_d = \frac{\pm 0.2}{100} \cdot 100000 = \pm 200z$$

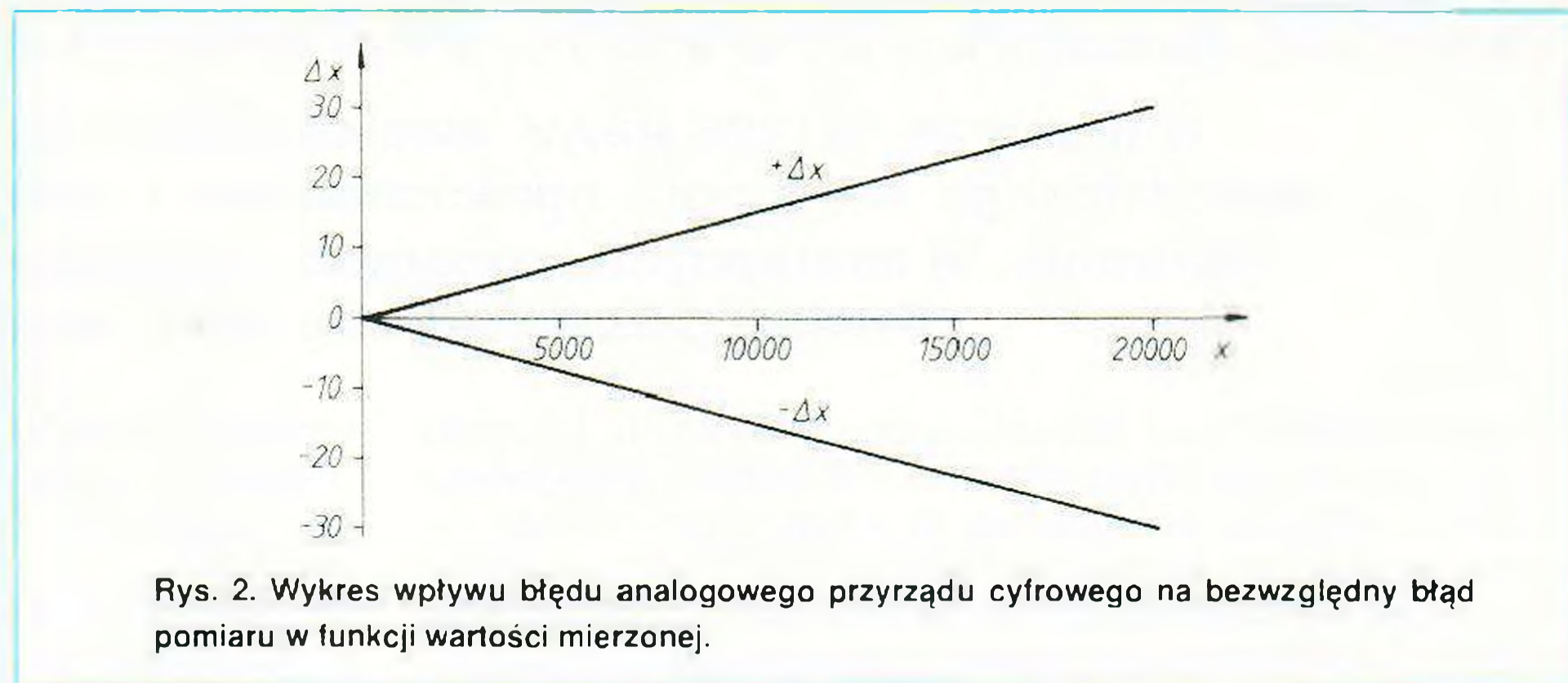
$$\Delta R_c = \frac{\pm 0.5}{100} \cdot 12.168 + \frac{100}{100000} \cdot (\pm 200) =$$

$$= \pm 0.26048 \text{ k}\Omega \cong \pm 0,27 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

przy czym:

$$R = (12,17, +0,27) \text{ k}\Omega$$

We wszystkich przedstawionych przypadkach rozdzielczość pola odczytowego jest większa lub dużo większa od dokładności pomiaru, co często jest przyczyną nieporozumień. Szczególne znaczenie mają pomiary rezystancji, które reprezentują małe liczby na polu odczytowym przyrządu. Do uzyskania dokładniejszego odczytu zawsze ważny jest dobór zakresu, a więc należy dobrać taki zakres, aby odczytywana liczba była jak



Rys. 2. Wykres wpływu błędu analogowego przyrządu cyfrowego na bezwzględny błąd pomiaru w funkcji wartości mierzonej.



Rys. 3. Wykresy wpływu błędu dyskretyzacji oraz błędów składowych przyrządu cyfrowego na bezwzględny błąd pomiaru w funkcji wartości mierzonej.

największa. Często jest to niemożliwe. Wpływ błędu  $\delta_a$  na wynik pomiaru (wzór 4) – na wartość błędu bezwzględnego – jest zawsze proporcjonalny do wartości mierzonej (rys. 2), maleje wraz z maleniem wartości mierzonej. Tę zależność opisuje pierwszy składnik wzoru (4). Błąd ten wynika z właściwości toru analogowego przyrządu i został wyznaczony w procesie wzorcowania. Znacznie gorzej wpływa na dokładność pomiaru małych odczytów drugi składnik wzoru (4), zwany błędem dyskretyzacji. Wartość tego błędu nie zmienia się mimo zmiany wartości mierzonej (rys. 3). Dla małych liczb odczytywanych z przyrządu błąd ten powoduje, że odczyt jest mało wiarygodny. Błąd dyskretyzacji powstał z kilku błędów, z błędu ziarnistości  $\Delta_z = \pm 1z$  wspólnego dla przetwornika analogowo-cyfrowego i pola odczytowego oraz błędów:  $\Delta_l$  linearyzacji charakterystyki przejściowej przyrządu,  $\Delta_s$  stabilności w funkcji czasu,  $\Delta_T$  stabilności w funkcji dopuszczalnych zmian temperatury itp. (rys. 3). Analizując wykresy na rys. 3 zauważamy, że wartość błędu linearyzacji przy zerze wartości mierzonej jest równa zero (tak zwykle bywa), natomiast błędy pochodzące z niestabilności urządzenia w funkcji czasu i temperatury są tylko bliskie zero. W pobliżu zera wartości mierzonej, wartości błędów nie zmieniają się gwałtownie. Przy pomiarach w pobliżu zera należy się liczyć głównie z błędem ziarnistości. Z dużym prawdopodobieństwem

można spodziewać się dokładniejszego wyniku pomiaru niż to wynika z obliczonego błędu ze wzoru (4).

## Zaokrąglenia

W związku z dużą liczbą cyfr na polach odczytowych należy zwrócić uwagę na zapis otrzymanego wyniku zgodny ze wzorem (2), który powinien dawać prawdziwą informację o wartości mierzonej oraz powinien być jak najkrótszy. Łatwy zapis i łatwy odczyt umożliwiają łatwiejsze obliczenia na takiej liczbie. W zapisie otrzymanego wyniku (2) należy stosować zaokrąglenie błędu pomiaru.

Obowiązują pewne reguły zaokrąglenia, których szczegółowe omówienie musimy tu niestety pominąć z powodu braku miejsca. Ogólnie biorąc, sposób zaokrąglenia zależy od znaczenia wartości mierzonych.

Warto podkreślić, że jeżeli wyznaczone wartości mają znaczenie ekonomiczne (np. energia elektryczna, masa towaru), to należy wyznaczyć związek błędu z najmniejszą obowiązującą jednostką monetarną (1 grosz) i z taką dokładnością wyznaczać błędy.

## LITERATURA

Rylski A.: Sensory i przetworniki wielkości nieelektrycznych, zadania. Skrypt Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1994 r.

Andrzej Rylski

Słowa kluczowe: METROLOGIA, BŁĘDY POMIARU