

Prawo autorskie

Niniejsze materiały podlegają ochronie zgodnie z **Ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych** (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83 z późniejszymi zmianami).

Materiał ten udostępniam **do celów dydaktycznych** jako materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Metrologia prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Mogą z nich również korzystać inne osoby zainteresowane metrologią. Do tego celu materiały te można **bez ograniczeń przeglądać, drukować i kopiować wyłącznie w całości**.

Wykorzystywanie tych materiałów bez zgody autora w inny sposób i do innych celów niż te, do których zostały udostępnione, **jest zabronione**.

W szczególności **niedopuszczalne jest**: usuwanie nazwiska autora, edytowanie treści, kopiowanie fragmentów i wykorzystywanie w całości lub w części do własnych publikacji.

Eligiusz Pawłowski

Uwagi dydaktyczne

Niniejsza prezentacja stanowi **tylko i wyłącznie materiały pomocnicze** do wykładu z przedmiotu Metrologia prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Udostępnienie studentom tej prezentacji nie zwalnia ich z konieczności sporządzania **własnych notatek z wykładów** ani też nie zastępuje **samodzielnego studiowania** obowiązujących podręczników.

Tym samym zawartość niniejszej prezentacji w szczególności **nie może być** traktowana jako zakres materiału obowiązujący na egzaminie.

Na egzaminie obowiązujący jest **zakres materiału faktycznie wyłożony podczas wykładu** oraz zawarty w odpowiadających mu fragmentach **podręczników** podanych w wykazie literatury do wykładu.

Eligiusz Pawłowski

Tematyka wykładu

Wartość wielkości zmierzona, prawdziwa, umowna

Dokładność, precyzja, niedokładność, błąd, niepewność

Rodzaje błędów, klasa dokładności

Warunki odniesienia, nominalny zakres użytkowy

Błędy podstawowe i dodatkowe

Oznaczanie klasy mierników analogowych i cyfrowych

O pomiarach – mową potoczną

Wykonując pomiary chcielibyśmy uzyskać ich wysoką **dokładność**. Jednak, zawsze wartość **zmierzona** różni się od wartości **prawdziwej**, gdyż występują **błędy** pomiaru, a więc wyniki pomiarów charakteryzuje pewna **niedokładność**. Po za tym, wyniki kolejnych pomiarów tej samej wielkości różnią się między sobą, a więc również występuje jakaś **niepewność** wyniku. Ważne jest również, aby przyrząd pomiarowy charakteryzowała **precyzja**, wysoka **czułość** i dobra **rozdzielczość**.

Wszystkie te pojęcia są stosowane w mowie potocznej, ale często nie są jednoznacznie rozróżniane, a nawet bywają **mylone** lub stosowane **zamiennie**. W metrologii zaś są one **jednoznacznie** zdefiniowane.

Dokładność, niedokładność, błąd, niepewność ...

Ogólnie rzecz biorąc, wyniki pomiarów i przyrządy pomiarowe możemy opisywać za pomocą pojęć:

- **jakościowych** (dokładność, niedokładność, precyzja) i
- **ilościowych** (błąd, niepewność).

Pojęć jakościowych **nie można wyrazić liczbowo**, można więc tylko ocenić, że jeden przyrząd jest dokładniejszy od drugiego, ale nie można dokładności podać w postaci liczby.

Pojęcia ilościowe **można wyrazić liczbowo**, można więc obliczyć, że niepewność jednego pomiaru wynosi np.: 2mV, a drugiego 5mV, a więc pomiar pierwszy jest dokładniejszy od drugiego.

Wartość wielkości – dodatkowe definicje

Przed wszystkim rozróżnimy pojęcia:

Wartość wielkości zmierzona

Wartość wielkości prawdziwa

Wartość wielkości umowna

Dodatkowo rozróżnimy pojęcia:

Wartość wielkości odniesienia

Wartość wielkości nominalna

Wartość wielkości znamionowa

Podstawowe źródło:

Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane, Przewodnik PKN-ISO/IEC Guide 99, PKN, Warszawa 2010.

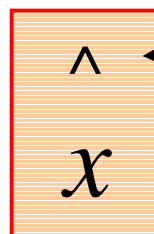
Wartość wielkości zmierzona

Wartość wielkości zmierzona (wartość zmierzona) – wartość wielkości wyrażająca wynik pomiaru, wartość uzyskana z pomiaru.

Uwagi

- Wartość **zmierzona** wraz z **dodatkowymi** uzupełniającymi informacjami dotyczącymi np.: błędów, niepewności, warunków wykonania pomiaru stanowią łącznie **wynik pomiaru**.
- Pojęcia **wynik pomiaru** i **wartość zmierzona** w zasadzie **nie są sobie tożsame**.
- Wartości zmierzone tej samej wielkości uzyskane w kolejnych pomiarach zazwyczaj nie są takie same, ze względu na występujące **błędy przypadkowe**, których skutkiem jest **niepewność pomiaru**.
- Powtarzając wielokrotnie pomiar otrzymamy pewien **zbiór wartości** zmierzonych, rozrzuconych wokół **wartości średniej**, która zazwyczaj jest najbliższa **wartości prawdziwej**.

Przyjęte oznaczenie na wartość zmierzoną



„Daszek” symbolizuje rozrzut wartości w pewnym przedziale

Wartość wielkości prawdziwa

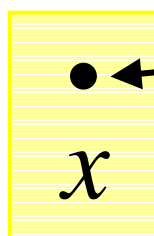
Wartość wielkości prawdziwa (wartość prawdziwa, rzeczywista)

– wartość wielkości logicznie zgodna z definicją wielkości.

Uwagi

- Wartość prawdziwą uzyskalibyśmy jako **wynik bezbłędnego pomiaru**.
- Wartości prawdziwe są ze swej natury **nieznane !!!**
- Wartość prawdziwa jest pojęciem **idealnym**, **hipotetycznym**, niektórzy autorzy są zdania, że **nieistniejącym** lub mającym **wiele wartości**.
- Pojęcie wartości prawdziwej jest **przydatne** w analizie **błędów** i **niepewności** pomiarowych.

Przyjęte oznaczenie na wartość prawdziwą



„Kropka” symbolizuje jedną dokładną konkretną wartość (punkt na osi liczbowej)

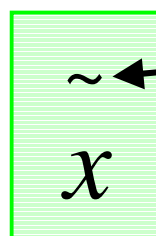
Wartość wielkości umowna

Wartość wielkości umowna (wartość umowna, poprawna, umownie prawdziwa) – wartość wielkości przypisana drogą umowy w określonym celu.

Uwagi

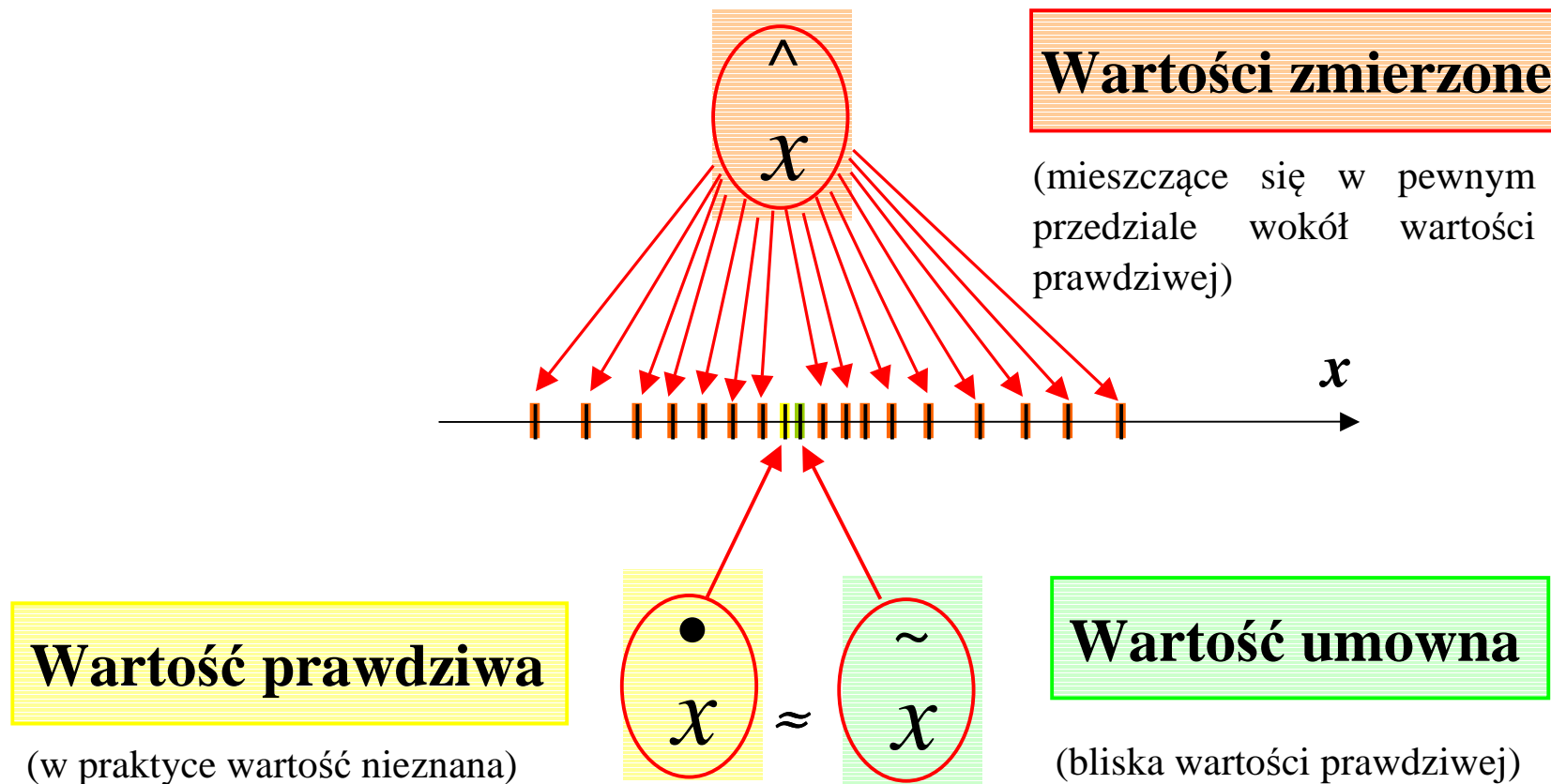
- Wartość umowna (poprawna) jest to taka wartość **zbliżona do wartości prawdziwej**, że różnica pomiędzy nimi jest pomijalnie mała w danym zastosowaniu.
- Wartość umowna (poprawna) może być uzyskana poprzez pomiar wykonany z niepewnością na tyle małą, że może być w danym zastosowaniu akceptowana jako pomijalna.
- Wartość umowna (poprawna) może być wykorzystana do praktycznego wyznaczania błędów, zastępując w obliczeniach wartość prawdziwą.
- Przykład: wartość umowna normalnego przyspieszenia swobodnego spadku $g_n=9,80665 \text{ ms}^{-2}$.

Przyjęte oznaczenie na wartość umowną



„Falka” symbolizuje wartość zbliżoną do prawdziwej

Wartość wielkości – interpretacja geometryczna



Wartość wielkości odniesienia

Wartość wielkości odniesienia (wartość odniesienia, wartość referencyjna) – wartość wielkości służąca jako podstawa do **porównań** z wartościami wielkości tego samego rodzaju.

Uwagi

- Wartość wielkości odniesienia może być wartością wielkości **prawdziwą** (wtedy jest nieznana), albo może być wartością wielkości **umowną** (wtedy jest znana).
- Wartość wielkości odniesienia jest przydatna przy ocenie dokładności pomiarów.
- Wartość odniesienia** używana jest również w drugim, innym znaczeniu, stosowanym przy definiowaniu **warunków użytkowania** przyrządu pomiarowego. Według Polskiej Normy PN/E-06501 (Elektryczne przyrządy pomiarowe ...) **zbiór wartości odniesienia** (lub zakresy odniesienia) **wielkości wpływających** określa warunki odniesienia, tzn. warunki użytkowania dla których są określone wartości dopuszczalnych błędów przyrządu pomiarowego.
- Oba powyższe znaczenie łatwo jest rozróżnić na podstawie kontekstu, w którym zostały użyte.

Wartość wielkości nominalna

Wartość wielkości nominalna (wartość nominalna) – zaokrąglona lub przybliżona wartość wielkości charakterystycznej **przyrządu pomiarowego** lub **układu pomiarowego**, która stanowi wytyczną do właściwego jego użycia.

Uwagi

- Przykładowo, wartość nominalna jest podana na rezystorze wzorcowym, np.: $R_N=100 \Omega$.
- Wartość nominalna dla narzędzia pomiarowego została przyjęta przy jego projektowaniu i produkcji, charakteryzuje ona **założone** (przez projektanta) właściwości narzędzia pomiarowego.
- Wartość **nominalna** przez niektórych autorów bywa utożsamiana z wartością **znamionową**, ale **nie zawsze jest to poprawne i uzasadnione !!!**
- PN/E-06501 (Elektryczne przyrządy pomiarowe ...) definiuje **wartość znamionową** jako wartość ustaloną przez producenta dla wskazania **warunków użytkowania**, np.: rezystor wzorcowy o wartości **nominalnej** $R_N=100 \Omega$ ma podaną przez producenta moc **znamionową** $P_{zn}=1 \text{ W}$.
- Podsumowując: wartość **nominalna** **określa parametry** narzędzia pomiarowego, a wartość **znamionowa** **określa warunki** jego użytkowania.

Wartość nominalna i znamionowa - przykład

Wartość nominalna podana na rezystorze wzorcowym: $R_N=10\text{ k}\Omega$.

Wartość nominalna została przyjęta przy projektowaniu i produkcji rezystora, charakteryzuje ona założone (przez projektanta) właściwości tego rezystora (rzeczywiste właściwości są inne, co ujęto w jego klasie dokładności 0,02).

Ten rezystor wzorcowy ma podaną przez producenta moc znamionową $P_{zn}=1\text{ W}$ (w powietrzu).



Podsumowując: wartość nominalna określa parametry narzędzia pomiarowego: $R_N=10\text{ k}\Omega$, a wartość znamionowa określa warunki jego użytkowania: $P_{zn}=1\text{ W}$.

Dokładność

Dokładność (*ang. accuracy* [’ækjuresi]) – 1. zbieżność zachodząca pomiędzy wartością wielkości zmierzoną, a wartością wielkości prawdziwą (Słownik 2010) , 2. właściwość przyrządu pomiarowego dawania odpowiedzi bliskich wartości prawdziwej (Słownik 1996), 3. właściwość charakteryzująca zdolność narzędzia pomiarowego do wskazywania wartości wielkości bliskich rzeczywistej wartości wielkości mierzonej (PN-71/N-02050).

Uwagi

- Dokładność jest pojęciem **jakościowym** i nie jest wyrażana liczbowo.
- Pojęcia dokładności nie należy mylić z pojęciem **precyzji**.
- Z pojęciem dokładność związane są pojęcia: **klasa dokładności** i **wskaźnik klasy** dokładności, które będą omówione później i których znaczenie jest inne od pojęcia dokładność.

-Pojęcie dokładność (*accuracy*) jest nadużywane przez producentów przyrządów pomiarowych ze względów marketingowych, zamiast pojęć błąd graniczny i niepewność pomiarów.

Dokładność (*ang. accuracy*) – niewłaściwe użycie !!!

34405A Multimeter

5.5 Digit Dual Display, Benchtop DMM
More Capabilities at a Value Price

DC Specifications^[1]

Table 24 DC Accuracy ± (% of reading + % of range)



To jest błąd graniczny !!!

Function	Range ^[2]	Test Current or Burden Voltage	Input Impedance ^[13]	1 Year 23° C ± 5° C	Temperature Coefficient 0° C - 18° C 28° C - 55° C
DC Voltage	100.000mV	-	10MΩ ±2%	0.025+0.008	0.0015+0.0005
	1.00000V	-	10MΩ ±2%	0.025+0.006	0.0010+0.0005
	10.0000V	-	10.1MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0020+0.0005
	100.00V	-	10.1MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0020+0.0005
	1000.0V	-	10MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0015+0.0005

Niedokładność

Niedokładność – przeciwieństwo dokładności, pojęcie **jakościowe** wyrażające fakt występowania różnicy pomiędzy wynikiem pomiaru a wartością prawdziwą.

~~W metrologii zaleca się **nie stosować** pojęcia **niedokładność!**~~

Z tego względu pojęcia niedokładność **nie definiuje się.**

Niedokładność wyraża się ilościowo za pomocą pojęć:

- **błąd pomiaru** lub
- **niepewność pomiaru.**

Precyzja

Precyzja – zbieżność zachodząca pomiędzy wartościami wielkości zmierzonymi otrzymanymi przy powtarzaniu pomiarów na tym samym lub podobnych obiektach w określonych warunkach.

Jeśli warunki pomiaru **nie ulegają zmianie** to mówimy o **powtarzalności** pomiarów.

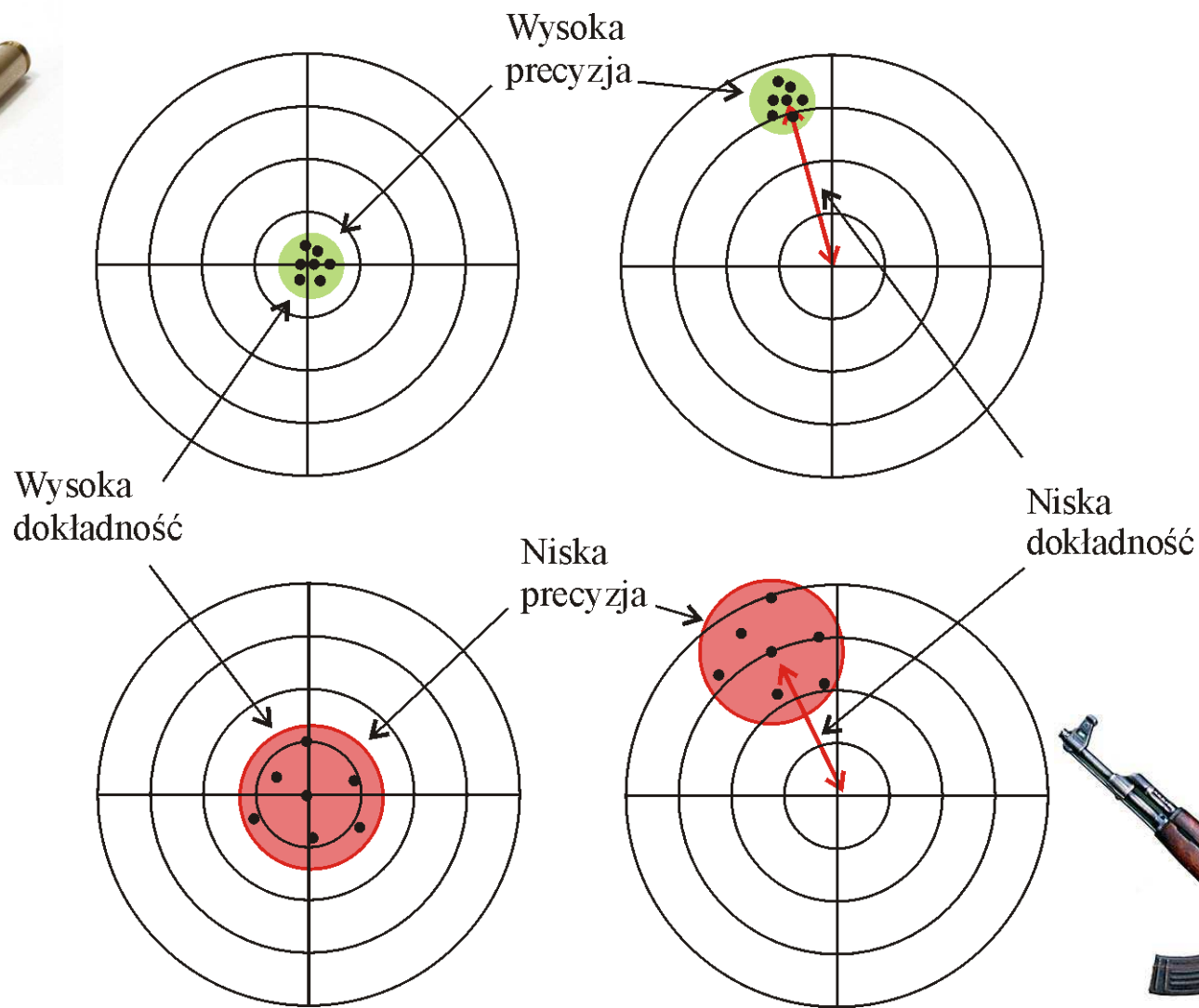
Jeśli warunki **ulegają zmianie**, to mówimy o **odtwarzalności** pomiarów.

Uwagi

- Precyzja (podobnie jak dokładność) jest pojęciem **jakościowym** i nie jest wyrażana liczbowo.
- Pojęcia **precyzji** nie należy mylić z pojęciem **dokładności**.
- Pojęcia **dokładność** i **precyzja** często są ilustrowane za pomocą wyników strzelania do tarczy.



Dokładność i precyzja – ilustracja strzelecka



Dokładność i precyzja – ilustracja strzelecka



Czułość i rozdzielczość

Czułość (*ang. Sensitivity*) – iloraz przyrostu odpowiedzi Δy przyrządu pomiarowego (jego wskazania) przez odpowiadający mu przyrost sygnału wejściowego Δx .

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad y = f(x)$$

Rozdzielczość (*ang. resolution*) – najmniejsza różnica wskazania urządzenia wskazującego, która może być zauważona w wyraźny sposób. Dla przyrządów cyfrowych jest to różnica wskazań odpowiadająca zmianie o **jednostkę najmniej znaczącej cyfry**.

**Dla przyrządów analogowych
przyjmuje się rozdzielczość 1/5 działki.**

Rozdzielczość przyrządu analogowego

Dla przyrządów analogowych
wskazówkowych przyjmuje się
rozdzielczość **1/5 działki.**



Rozdzielczość (*ang. resolution*) przyrządu cyfrowego

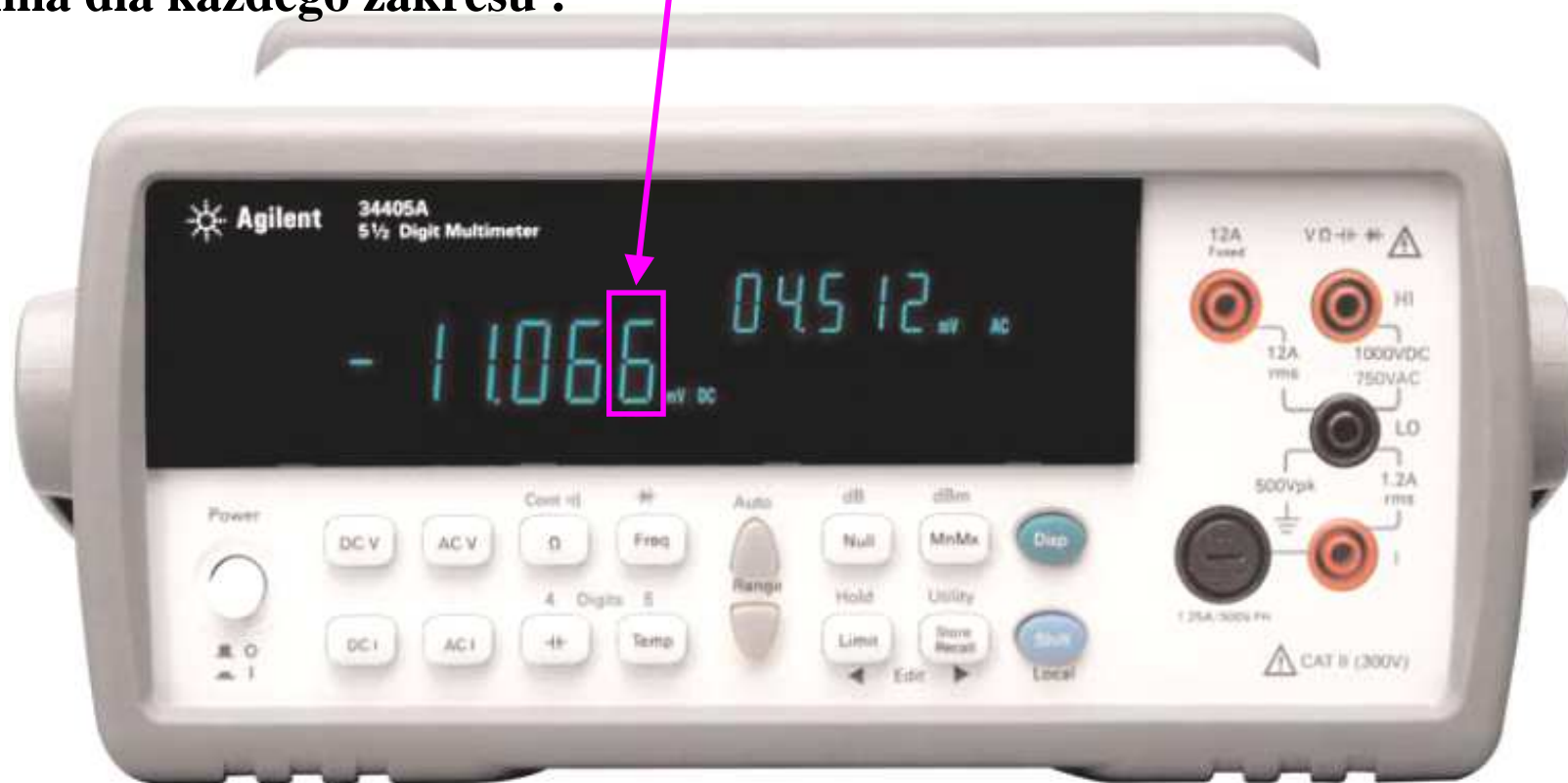
Rozdzielczość dla przyrządów cyfrowych jest to różnica wskazań odpowiadająca zmianie o jednostkę najmniej znaczącej cyfry, tutaj $1\mu\text{V}$ na zakresie 100mV. Tak podana rozdzielczość jest **inna dla każdego zakresu !**



Agilent Technologies

34405A Multimeter

5.5 Digit Dual Display, Benchtop DMM
More Capabilities at a Value Price



Rozdzielczość przyrządu cyfrowego – drugi sposób

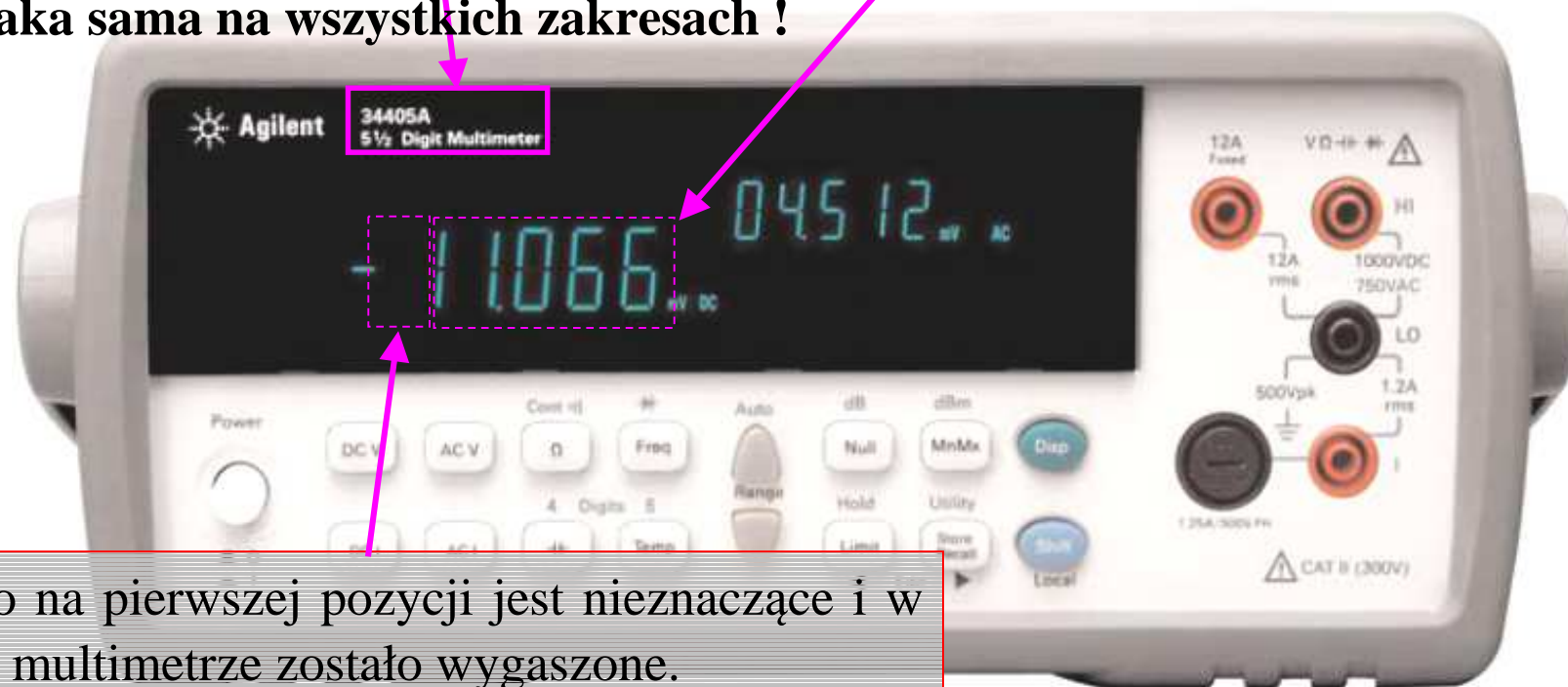
Producent podaje rozdzielczość tego multimetru jako „**pięć i pół cyfry**”. Oznacza to, że wyświetlacz pokazuje 5 „pełnych cyfr” (mogą być one równe od 0 do 9), ale na pierwszej pozycji może być tylko 0 lub 1, to jest tylko tzw. „**pół cyfry**”. Tak podana rozdzielczość jest **taka sama na wszystkich zakresach !**



Agilent Technologies

34405A Multimeter

5.5 Digit Dual Display, Benchtop DMM
More Capabilities at a Value Price



Zero na pierwszej pozycji jest nieznaczące i w tym multimetrze zostało wygaszone.

10 μ V

Rozdzielczość przyrządu cyfrowego – trzeci sposób

BM 857 , BM859CF



Producent podaje rozdzielczość tego multimetru jako:

„**cztery i cztery piąte cyfry**”. Oznacza to, że wyświetlacz pokazuje 4 „pełne cyfry” (mogą być one równe od 0 do 9), ale na pierwszej pozycji może być tylko 0, 1, 2, 3, lub 4, to jest tylko tzw. „**cztery piąte cyfry**”. Tak podana rozdzielczość jest **taka sama na wszystkich zakresach !**

Producent tego multimetru podaje również zamiennie rozdzielczość na trzeci sposób: **50000 jednostek**, tzn. że na wyświetlaczu może być pokazanych 50000 różnych wskazań: od 00000 do 49999. Tak podana rozdzielczość jest **taka sama na wszystkich zakresach !**

Na zakresie 500,00mV rozdzielczość wynosi **10 μ V**.

W tym multimetrze nieznaczące zera nie są wygaszane. Ustawiony tutaj zakres to 500,00mV.

Dokładność, precyzja, czułość i rozdzielczość w praktyce

Dokładność, precyzja, czułość i rozdzielczość opisują **różne** właściwości przyrządu pomiarowego. Dobrze zaprojektowany przyrząd pomiarowy powinien być **dokładny**, posiadać wysoką **rozdzielczość** i **precyzję** oraz dużą **czułość**.

W praktyce jest to trudne do osiągnięcia.

Stosunkowo **łatwo** jest osiągnąć wysoką **rozdzielczość** i dużą **czułość**, a znacznie **trudniej** dobrą **dokładność** i **precyzję**.

Z tego względu w sprzedaży dostępnych jest dużo przyrządów pomiarowych o **wysokiej rozdzielczości** i **dużej czułości**, ale **mało dokładnych** i **nieprecyzyjnych**.

Błąd pomiaru (bezwzględny)

Błąd pomiaru – różnica między wartością wielkości **zmierzona** (czyli wynikiem pomiaru) a wartością **prawdziwą** wielkości mierzonej.

$$\Delta x = \hat{x} - \overset{\bullet}{x}$$

Uwagi

-Tak zdefiniowany błąd nazywamy również błędem **bezwzględnym**, dla odróżnienia go od błędu **względnego**.

-Błąd (bezwzględny) ma tę samą **jednostkę**, co wielkość mierzona.

-Jeśli wynik pomiaru jest **za duży** względem wartości prawdziwej, to znak błędu jest **dodatni.**, jeśli jest **za mały**, to znak błędu jest **ujemny** !

-Ponieważ wartość **prawdziwa** jest **nieznana**, w praktyce wartość **błędu** jest również **nieznana**.

Błąd pomiaru względny

Błąd pomiaru względny – stosunek błędu pomiaru (bezwzględnego) do wartości prawdziwej wielkości mierzonej, zazwyczaj wyrażany w procentach lub w ppm.

$$\delta \hat{x} = \frac{\overset{\wedge}{\Delta x}}{\underset{\bullet}{x}} = \frac{\hat{x} - \overset{\bullet}{x}}{\underset{\bullet}{x}}$$

Uwagi

-Tak zdefiniowany błąd **względny** jest wielkością bezwymiarową, dla wygody bywa wyrażany w **procentach** lub w **ppm** (*parts per million* – części na jeden milion, część jednomilionowa),

np.: $1\% = 10^{-2} = 10^4 \times 10^{-6} = 10\,000 \text{ ppm}$, $1 \text{ ppm} = 0,0001\%$

Błąd (przyrządu pomiarowego) zredukowany

Błąd zredukowany, unormowany, sprowadzony, zakresowy (przyrządu pomiarowego) – stosunek błędu pomiaru (bezwzględnego) przyrządu pomiarowego do wybranej wartości charakterystycznej tego przyrządu, **najczęściej do zakresu**.

$$\delta x_{zak}^{\wedge} = \frac{\Delta x^{\wedge}}{x_{zak}^{\wedge}} = \frac{x - x^{\bullet}}{x_{zak}^{\wedge}}$$

Uwagi

- Tak zdefiniowana wartość charakterystyczna bywa również nazywana **wartością umowną**.
- Wartością charakterystyczną może być górna granica zakresu pomiarowego (zakres), obszar pomiarowy lub inna jednoznacznie określona wartość (więcej na ten temat będzie mówione później).
- Błąd zredukowany, podobnie jak błąd względny, jest wielkością **bezwymiarową** i również dla wygody bywa wyrażany w **procentach %** lub w **ppm**.

Błędy prawdziwe i błędy umowne

Błędy wyznaczone na podstawie wartości prawdziwej x nazywamy **błędami prawdziwymi**. Ponieważ wartość prawdziwa jest nieznana, w praktyce **nie jest możliwe** wyznaczenie błędów prawdziwych.

Zastępując wartość prawdziwą x wartością umowną \tilde{x} możemy zdefiniować analogicznie **błędy umowne**: bezwzględny, względny i zredukowany.

Błędy umowne praktycznie możemy wyznaczyć np.: podczas sprawdzania przyrządu pomiarowego za pomocą przyrządu wzorcowego o wyższej dokładności, którego wskazania możemy uznać za wartości umowne (umownie prawdziwe, poprawne).

Błędy umowne

Błąd umowny bezwzględny

$$\Delta \tilde{x} = \hat{x} - \tilde{x}$$

Błąd umowny względny

$$\delta \tilde{x} = \frac{\Delta \tilde{x}}{\tilde{x}} = \frac{\hat{x} - \tilde{x}}{\tilde{x}}$$

Błąd umowny zakresowy

$$\delta x_{zak}^{\sim} = \frac{\Delta \tilde{x}}{x_{zak}} = \frac{\hat{x} - \tilde{x}}{x_{zak}}$$

Błąd graniczny

Błędy prawdziwe i błędy umowne mają w praktyce ograniczone zastosowanie.

Praktycznie przydatne jest natomiast pojęcie **błędu granicznego**.

Błąd graniczny - jest to **ekstremalna** wartość błędu (dodatnia lub ujemna), taka że prawdopodobieństwo jej przekroczenia przez wartość błędu któregośkolwiek z pomiarów jest znikomo małe.

Mimo więc, że nie znamy wartości prawdziwej i błędu prawdziwego, to możemy zapisać, że:

$$\hat{x} - \Delta_{gr} \hat{x} \leq \overset{\bullet}{x} \leq \hat{x} + \Delta_{gr} \hat{x}$$

Błąd graniczny, c.d.

To samo możemy zapisać w innej postaci:

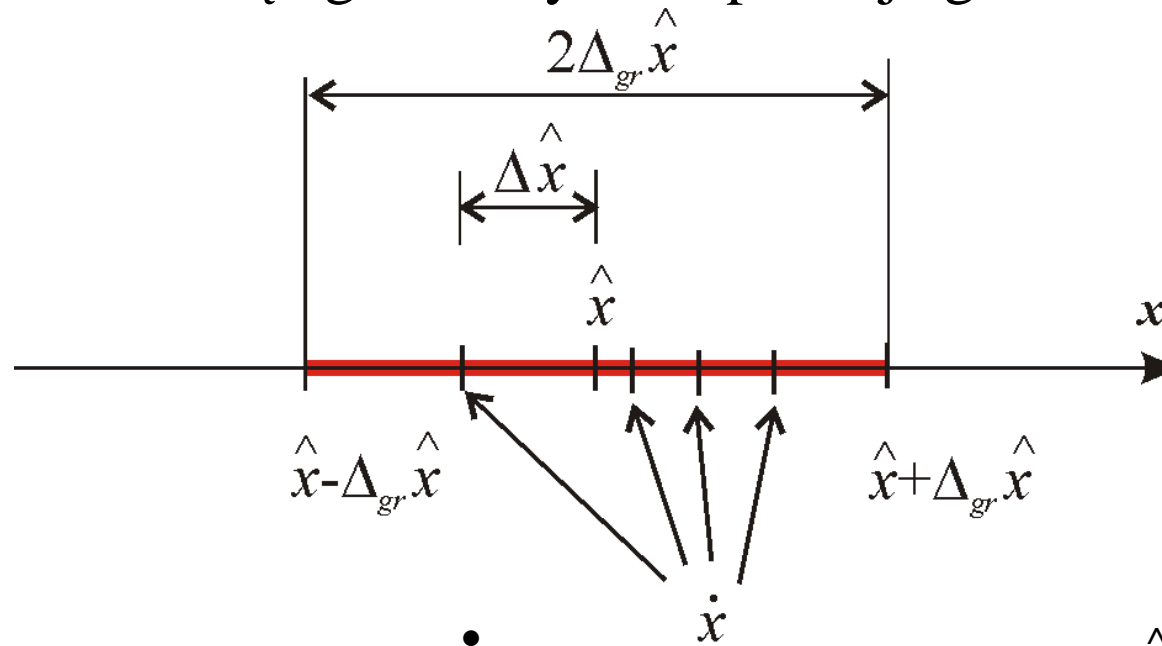
$$\bullet \quad x \in \left[\hat{x} - \Delta_{gr} \hat{x}, \hat{x} + \Delta_{gr} \hat{x} \right]$$

Najczęściej stosuje się najprostszy zapis w postaci:

$$\bullet \quad \hat{x} = \hat{x} \pm \Delta_{gr} \hat{x}$$

tzn. że wartość prawdziwa $\overset{\bullet}{x}$ leży w przedziale $\pm \Delta_{gr} \hat{x}$ wokół wartości zmierzonej \hat{x} .

Błąd graniczny, interpretacja graficzna



wartość prawdziwa x leży w przedziale $\pm \Delta_{gr} \hat{x}$ wokół wartości zmierzonej \hat{x} , ale nie wiemy dokładnie w którym miejscu.

$$\text{Błąd graniczny} \rightarrow \Delta_{gr} \hat{x} \geq |\Delta \hat{x}| \leftarrow \text{Błąd prawdziwy}$$

Błędy graniczne

Błąd graniczny bezwzględny

$$\Delta_{gr} \hat{x} \geq |\Delta \hat{x}|$$

Błąd graniczny względny

$$\delta_{gr} \hat{x} = \frac{\Delta_{gr} \hat{x}}{\hat{x}}$$

Błąd graniczny zakresowy

(najbardziej przydatny w praktyce)

$$\delta_{gr\ zak} \hat{x} = \frac{\Delta_{gr} \hat{x}}{x_{zak}}$$

Możemy wyznaczyć sprawdzając miernik za pomocą miernika wzorcowego

Błędy - zestawienie

Błąd	bezwzględny	względny	zakresowy
prawdziwy	$\Delta \hat{x} = \hat{x} - \overset{\bullet}{x}$	$\delta \hat{x} = \frac{\Delta \hat{x}}{\overset{\bullet}{x}}$	$\delta x_{zak}^{\hat{}} = \frac{\Delta \hat{x}}{x_{zak}}$
umowny	$\Delta \tilde{x} = \hat{x} - \tilde{x}$	$\delta \tilde{x} = \frac{\Delta \tilde{x}}{\tilde{x}}$	$\delta x_{zak}^{\tilde{}} = \frac{\Delta \tilde{x}}{x_{zak}}$
graniczny	$\Delta_{gr} \hat{x} \geq \Delta \hat{x} $	$\delta_{gr} \hat{x} = \frac{\Delta_{gr} \hat{x}}{\hat{x}}$	$\delta_{gr\ zak} \hat{x} = \frac{\Delta_{gr} \hat{x}}{x_{zak}}$

Błąd graniczny unormowany (zakresowy) wykorzystywany jest do określania **klasy dokładności** przyrządów pomiarowych

Klasa dokładności

Klasa dokładności – klasa przyrządów pomiarowych, które spełniają określone wymagania metrologiczne dotyczące utrzymania dopuszczalnych błędów w określonych granicach dla określonych warunków pracy.

Wskaźnik klasy (oznaczenie klasy) – na ogół liczba (lub inny znak przyjęty umownie) określająca klasę dokładności i wyznaczająca graniczne wartości bezwzględnego **błędu podstawowego** wyrażonego w procentach wartości umownej. Wartością umowną może być: **zakres** (górną granicą zakresu pomiarowego), **wartość wskazywana**, **długość łuku podziałki**, **obszar pomiarowy** (różnica algebraiczna pomiędzy wartościami górnej i dolnej granicy zakresu pomiarowego).

Oznaczanie klasy mierników analogowych

PN-92/E-06501 Elektryczne przyrządy pomiarowe ...

1 Wskaźnik klasy (np.: 1) w przypadku, gdy błąd dopuszczalny miernika wyraża się w % **górnej granicy zakresu pomiarowego** (zakresu).

Najczęściej stosowane oznaczenie dla większości mierników analogowych.

① Wskaźnik klasy (np.: 1) w przypadku, gdy błąd dopuszczalny miernika wyraża się w % **wartości wielkości mierzonej.**

Stosowane w przyrządach, dla których nie określa się zakresu, np.: liczniki energii elektrycznej.

∨₁ Wskaźnik klasy (np.: 1) w przypadku, gdy błąd dopuszczalny miernika wyraża się w % **długości łuku podziałki.**

Stosowane w przyrządach posiadających bardzo nieliniową skalę, np.: omomierze.

| 1 | Wskaźnik klasy (np.: 1) w przypadku, gdy błąd dopuszczalny miernika wyraża się w % **obszaru pomiarowego.**

Stosowane w przypadku, gdy zakres pomiarowy nie obejmuje całej podziałki, np.: amperomierze rozruchowe.

Oznaczanie klasy - stosowane wartości

PN-92/E-06501 Elektryczne przyrządy pomiarowe ...

Dla większości przyrządów pomiarowych wskaźniki klas powinny być wybrane z ciągu wartości:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 5 .

Za wyjątkiem omomierzy, nie stosuje się oznaczania przyrządów pomiarowych klasą gorszą niż **5**.

Klasa gorsza niż 5 oznacza, że mamy do czynienia nie z przyrządem pomiarowym, ale ze **wskaźnikiem** (patrz wykład poprzedni)

Oznaczanie klasy - inny znak przyjęty umownie (np.: litera)

Załączniki do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008 r. (poz. 63)

Załącznik nr 1

Źródło: Sejm RP,
<http://isip.sejm.gov.pl/>

BŁĘDY GRANICZNE DOPUSZCZALNE WSKAZAŃ LICZNIKA W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU LICZNIKA ORAZ PUNKTY OBCIĄŻENIA LICZNIKA

1. Błędy graniczne dopuszczalne wskazań oraz punkty obciążenia licznika indukcyjnego określa poniższa tabela.

Rodzaj licznika i obciążenia	Punkt obciążenia		Błędy graniczne dopuszczalne wskazań licznika wyrażone w % dla klas dokładności			
	prąd obciążenia	współczynnik mocy $\cos \varphi$	C	B	A ₂ ¹⁾	2 ²⁾
Liczniki jednofazowe	0,1 I_b	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0
	I_b	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5
	I_b	0,5 (indukcyjny)	± 0,8	± 1,0	± 2,0	± 2,5
	I_{max}	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5
Liczniki trójfazowe obciążone symetrycznie	0,1 I_b	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5
	0,5 I_b ³⁾	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	—
	0,5 I_b ³⁾	0,5 (indukcyjny)	± 0,8	± 1,0	± 2,0	—
	I_b	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5
	I_b	0,5 (indukcyjny)	± 0,8	± 1,0	± 2,0	± 2,5
	I_{max}	1	± 0,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5
Liczniki trójfazowe przy obciążeniu tylko jednej fazy	I_b	1	± 1,5	± 2,0	± 3,0	± 3,5
	I_b	0,5 (indukcyjny)	± 1,5	± 2,0	± 3,0	± 3,5

¹⁾ Dotyczy liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

²⁾ Dotyczy liczników do pomiarów bezpośrednich, o których mowa w § 2 ust. 1 pkt 1 rozporządzenia.

³⁾ Dodatkowy punkt kontrolny do pomiarów dla liczników do pomiarów pośrednich i półpośrednich.

Pozostałe oznaczenia umieszczane na podzielnikach mierników

PN-92/E-06501 Elektryczne przyrządy pomiarowe ...

Wytwórca przyrządu pomiarowego powinien podać następujące informacje:

- Jednostkę (jednostki) wielkości mierzonej.
 - Nazwę lub znak firmowy wytwórcy.
 - Numer fabryczny.
 - Oznaczenie fabryczne typu.
 - Wartości znamionowe.
 - Rodzaj wielkości mierzonej i liczbę ustrojów pomiarowych.
 - Klasę lub klasy dokładności.**
 - Wartości i zakresy odniesienia dla wielkości wpływających (jeśli są inne niż w normie).
 - Nominalne zakresy użytkowania (jeśli są inne niż w normie).
- oraz inne istotne informacje.

Uwaga !!!

Do **egzaminu** należy **samodzielnie** zapoznać się z oznaczeniami i symbolami stosowanymi na miernikach, według rozdziału 6 podręcznika Chwaleba A.: Metrologia elektryczna lub PN-92/E-06501.

Oznaczanie klasy – najczęstszy przypadek

- 1 ← Najczęściej stosowany dla mierników analogowych wskaźnik klasy (tutaj: $kl = 1$) określa dopuszczalny błąd podstawowy miernika (błąd graniczny dopuszczalny, granice błędów dopuszczalnych) wyrażony w % **górnej granicy zakresu pomiarowego** (lub krócej: zakresu).

The diagram shows the formula for class designation: $kl = \frac{\Delta_{gr} x^{\wedge}}{x_{zak}} \cdot 100\%$. Red circles highlight the variables kl , $\Delta_{gr} x^{\wedge}$, x_{zak} , and 100% . Red arrows point from descriptive text to these elements.

Oznaczenie klasy → kl

Dopuszczalny błąd podstawowy graniczny przyrządu pomiarowego → $\Delta_{gr} x^{\wedge}$

Wartość odniesienia, tutaj zakres → x_{zak}

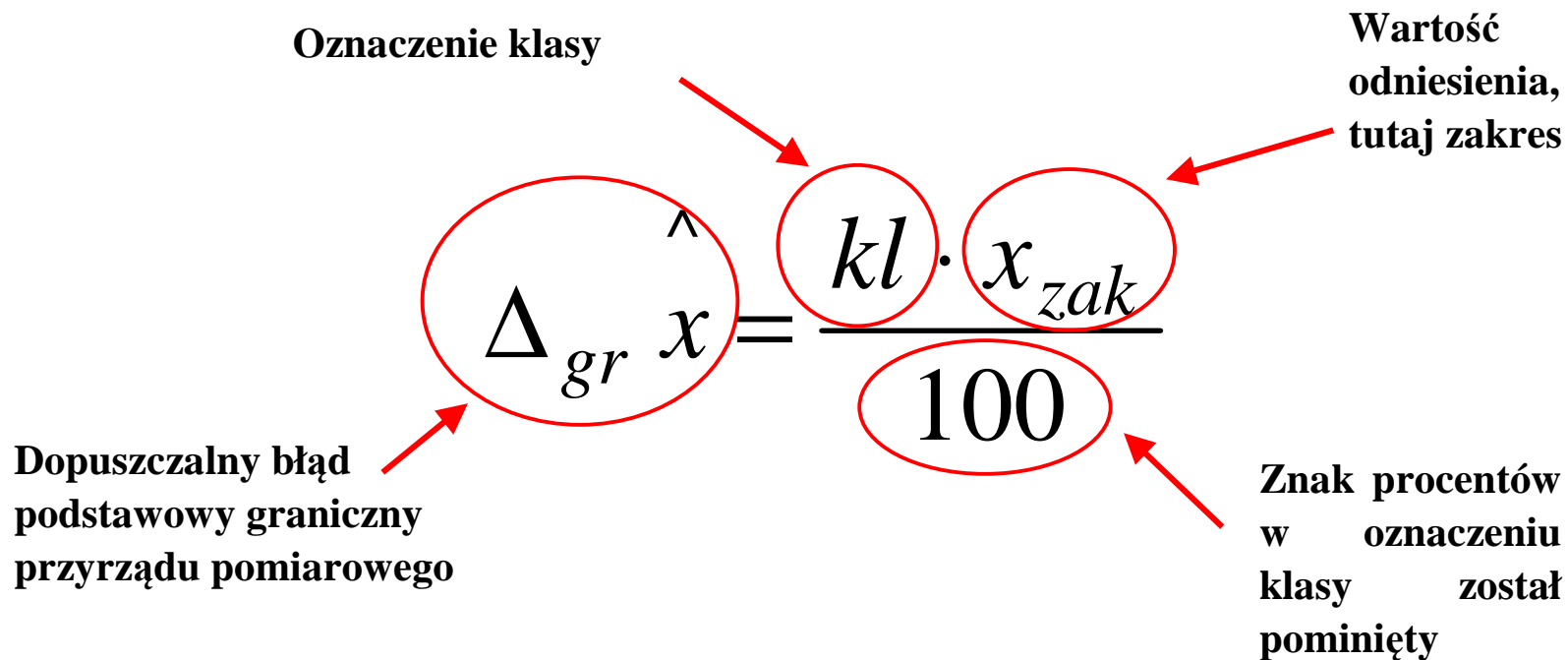
Znak procentów w oznaczeniu klasy pomijamy → 100%

Praktyczne wykorzystanie oznaczenia klasy

W praktyce, na podstawie odczytanego z przyrządu pomiarowego oznaczenia klasy kl obliczamy

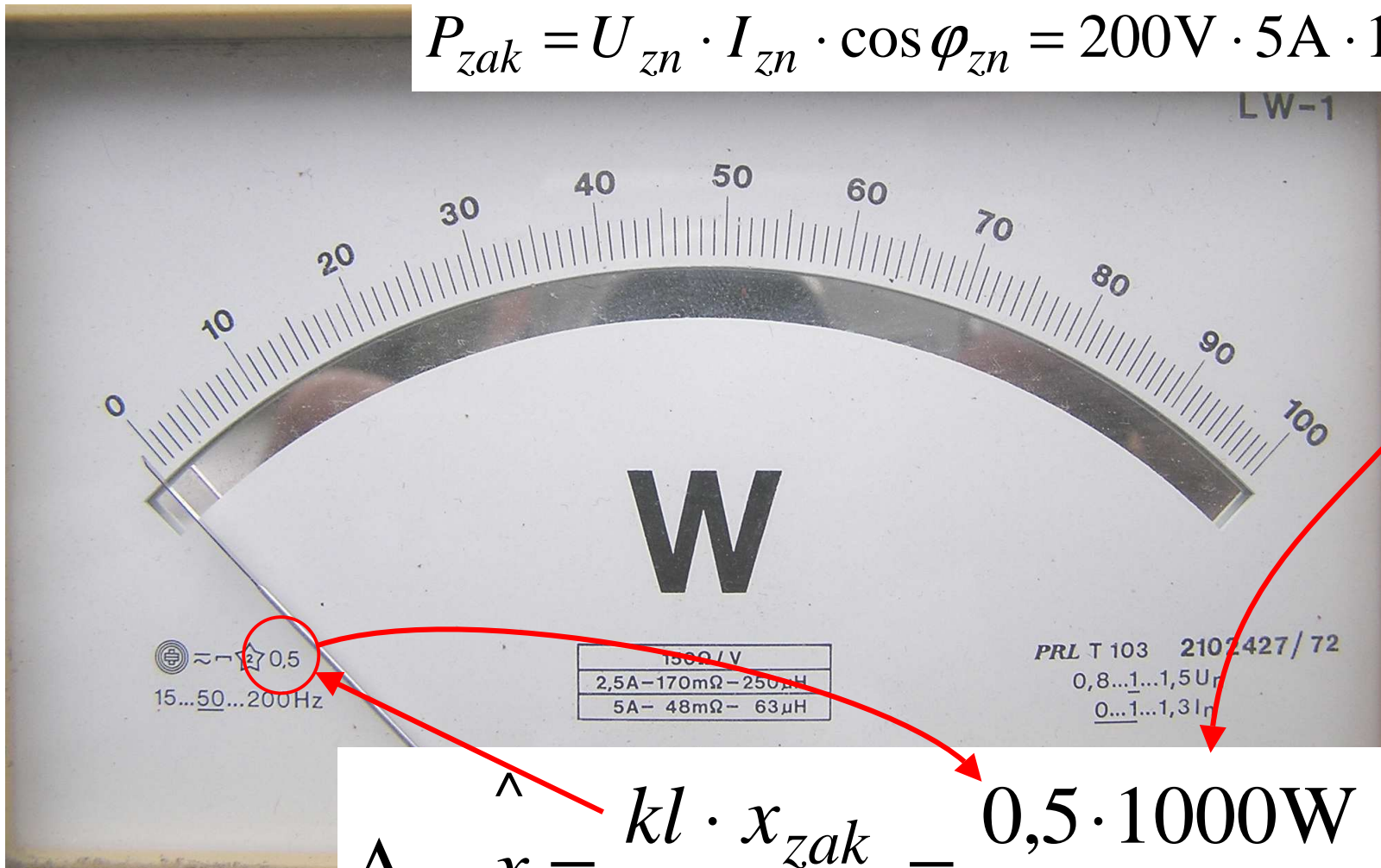
bezwzględny dopuszczalny błąd podstawowy miernika

(błąd graniczny dopuszczalny, granice błędów dopuszczalnych), posiada on tą samą **jednostkę**, co wielkość mierzona.



Klasa – przykład obliczeniowy - watomierz

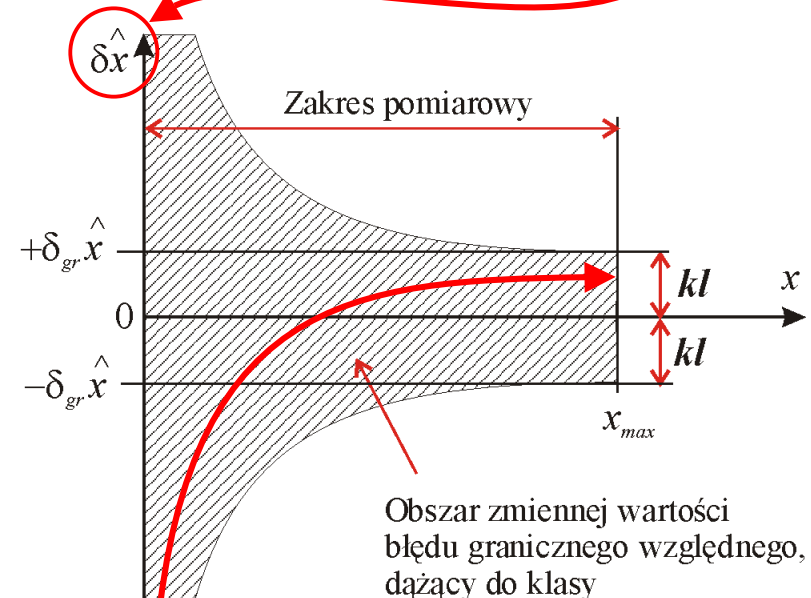
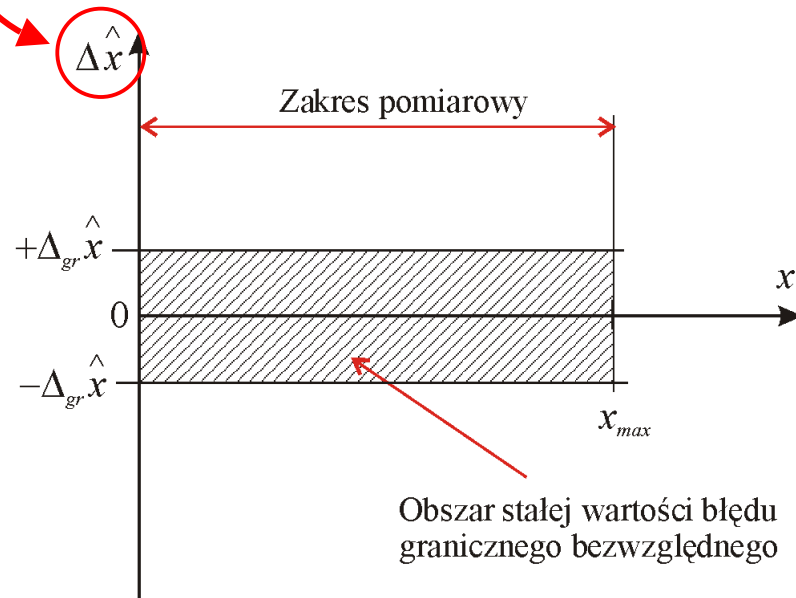
$$P_{zak} = U_{zn} \cdot I_{zn} \cdot \cos \varphi_{zn} = 200V \cdot 5A \cdot 1 = 1000W$$



$$\Delta_{gr} x = \frac{kl \cdot x_{zak}}{100} = \frac{0,5 \cdot 1000W}{100} = 5W$$

Błąd graniczny bezwzględny i względny

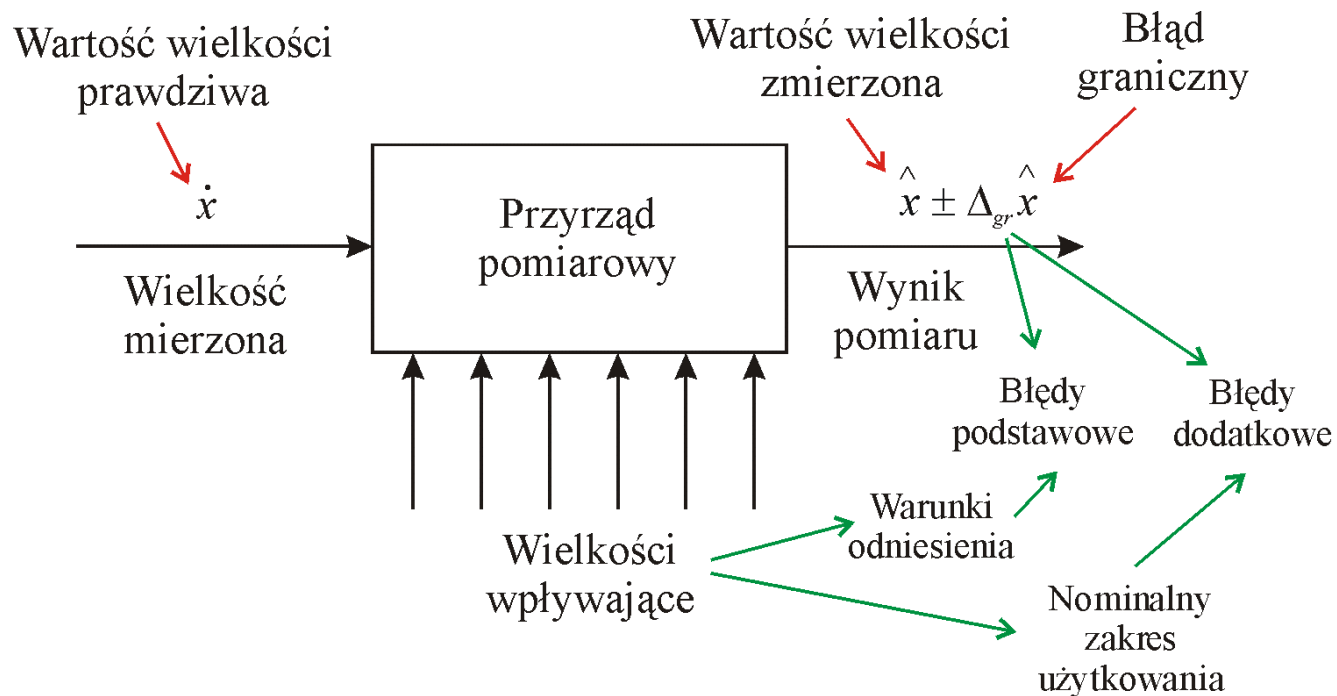
Błąd graniczny bezwzględny dla przyrządu z oznaczeniem klasy kl odniesionym do zakresu jest **stały** w całym zakresie pomiarowym, natomiast błąd graniczny względny zmienia się i **maleje** wraz ze wzrostem wartości mierzonej.



Wniosek:

należy tak dobierać zakres pomiarowy, aby wskazanie na przyrządzie pomiarowym było jak największe, co zapewnia najmniejsze błędy względne wyniku pomiaru.

Wielkości wpływające



Przyrząd pomiarowy wyznacza **wartość wielkości mierzonej**, ale na jego właściwości wpływają **wielkości wpływające**, czego skutkiem są błędy **podstawowe** i **dodatkowe**, zależnie od tego, czy miernik pracuje w **warunkach odniesienia**, czy też w **nominalnym zakresie użytkowym**.

Błędy podstawowe i dodatkowe

Błąd podstawowy – błąd przyrządu pomiarowego (lub jego przyboru) znajdującego się w **warunkach odniesienia**.

Błąd dodatkowy – błąd przyrządu pomiarowego (lub jego przyboru) powstający w wyniku zmiany wartości wielkości wpływającej w **nominalnym zakresie użytkowym**.

Uwagi

- Graniczną wartość **błędu podstawowego** dla miernika znajdującego się w **warunkach odniesienia** określa **klasa** przyrządu pomiarowego.
- Jeśli jedna lub więcej wielkości wpływających nie spełnia warunków odniesienia, ale znajduje się w **nominalnym zakresie użytkowania**, to miernik popełnia oprócz błędów podstawowych również **błędy dodatkowe** od każdej z wielkości wpływających spoza warunków odniesienia.
- Do wielkości wpływających zalicza się między innymi: temperatura, wilgotność, tętnienia sygnału stałego, odkształcenia sygnału przemiennego, pozycja pracy, pole magnetyczne, pole elektryczne ...

Wielkość wpływająca i warunki odniesienia

Wielkość wpływająca – wielkość, na ogół zewnętrzna w stosunku do przyrządu pomiarowego (lub jego przyboru), która może wpływać na jego właściwości.

Warunki odniesienia – odpowiedni zbiór określonych **wartości** lub **zakresów wartości** wielkości wpływających, dla których są określone wartości dopuszczalnych błędów przyrządu pomiarowego (lub jego przyboru).

Nominalny zakres użytkowania – określony zakres wartości przewidziany dla wielkości wpływającej, w którym błąd dodatkowy **nie przekroczy określonych granic** (nie więcej niż 100% wskaźnika klasy, czyli wartości błędów podstawowych).

Znormalizowane warunki odniesienia

Warunki odniesienia, nominalne zakresy użytkowania oraz granice błędów dodatkowych powinny być zgodne z wartościami określonymi w normie PN-92/E-06501 Elektryczne przyrządy pomiarowe ..., przy czym dopuszcza się inne wartości pod warunkiem ich oznakowania na przyrządzie pomiarowym.

Przykład

Dla temperatury otoczenia norma określa (jeśli nie oznakowano inaczej na przyrządzie pomiarowym) :

- warunki odniesienia: **23°C**,
- granice nominalnego zakresu użytkowania: **temperatura odniesienia $\pm 10^\circ\text{C}$** ,
- dopuszczalny błąd dodatkowy: **100% wskaźnika klasy**.

Warunki odniesienia – PN-92/E-06501/01

Tablica I-01. Warunki odniesienia i tolerancje wielkości wpływających obowiązujące w badaniach

Wielkość wpływająca		Warunki odniesienia, jeśli nie oznakowano inaczej		Tolerancje obowiązujące w badaniach dla pojedynczej wartości odniesienia ¹⁾	
				wskaźnik klasy 0,3 lub mniejszy	wskaźnik klasy 0,5 lub większy
Temperatura otoczenia		23°C		±1°C	±2°C
Wilgotność		wilgotność względna 40 ÷ 60%		—	—
Tętnienia wielkości mierzonej prądu stałego		tętnienia równe zeru		współczynnik tętnień 1%	współczynnik tętnień 3%
Odkształcenia prądu przemiennego wielkości mierzonej	Współczynnik zawartości harmonicznych	zero		1. Przyrządy prostownikowe, przyrządy elektroniczne nie mierzące poprawnie wartości skutecznej oraz przyrządy z układami do przesuwania fazy w torach pomiarowych: współczynnik zawartości harmonicznych nie większy niż 50% wskaźnika klasy lub 1%, biorąc mniejszą z tych wartości. 2. Pozostałe przyrządy: współczynnik zawartości harmonicznych nie większy niż 5%.	
	Współczynnik szczytu	$\sqrt{2}$ w przybliżeniu 1,414 (sinusoidea)		±0,05%	
Częstotliwość wielkości mierzonej prądu przemiennego z wyjątkiem watomierzy, waromierzy, częstotłomierników i mierników współczynnika mocy		45 ÷ 65 Hz		±2% wartości odniesienia lub 1/10 znamionowego zakresu odniesienia dla częstotliwości (gdą jest podany), biorąc mniejszą z tych wartości	
Pozycja pracy ²⁾		przyrządy tablicowe: pionowa płaszczyzna tablicy, przyrządy przenośne: pozioma płaszczyzna podłoża		±1°	
Rodzaj i grubość tablicy lub podłoża	Symbol F-37	Rodzaj ferromagnetyczne	Grubość X mm	±0,1 X lub ±0,5 mm, biorąc mniejszą z tych wartości	
	F-38	ferromagnetyczne	dowolna	—	
	F-39 ³⁾ brak symbolu	nieferrromagnetyczne dowolny	dowolna	—	
Zewnętrzne pole magnetyczne		całkowity brak		40 A/m* o częstotliwości od prądu stałego do 65 Hz i o dowolnym kierunku	
Zewnętrzne pole elektryczne		całkowity brak		1 kV/m o częstotliwości od prądu stałego do 65 Hz i o dowolnym kierunku	
Zasilanie pomocnicze	Napięcie	wartość nominalna lub zakres nominalny		±5% wartości nominalnej ⁴⁾	
	Częstotliwość	wartość nominalna lub zakres nominalny		±1% wartości nominalnej ⁴⁾	
<p>* 40 A/m jest w przybliżeniu największą wartością natężenia ziemskiego pola magnetycznego. ¹⁾ Tolerancje dotyczą pojedynczej wartości odniesienia podanej w tablicy lub oznakowanej przez wytwórcę. Dla zakresu odniesienia tolerancje nie są przewidziane. ²⁾ Przyrządy pomiarowe z poziomnicą powinny być podczas badań wypoziomowane za pomocą urządzenia do poziomowania. ³⁾ Symbole wg tabl. III-01 lub ich brak odnoszą się do rodzaju i grubości tablicy lub podłoża, na którym przyrząd pomiarowy jest osadzony. ⁴⁾ Jeżeli wytwórca nie podał innych tolerancji.</p>					

Nominalne zakresy użytkowe – PN-92/E-06501/01

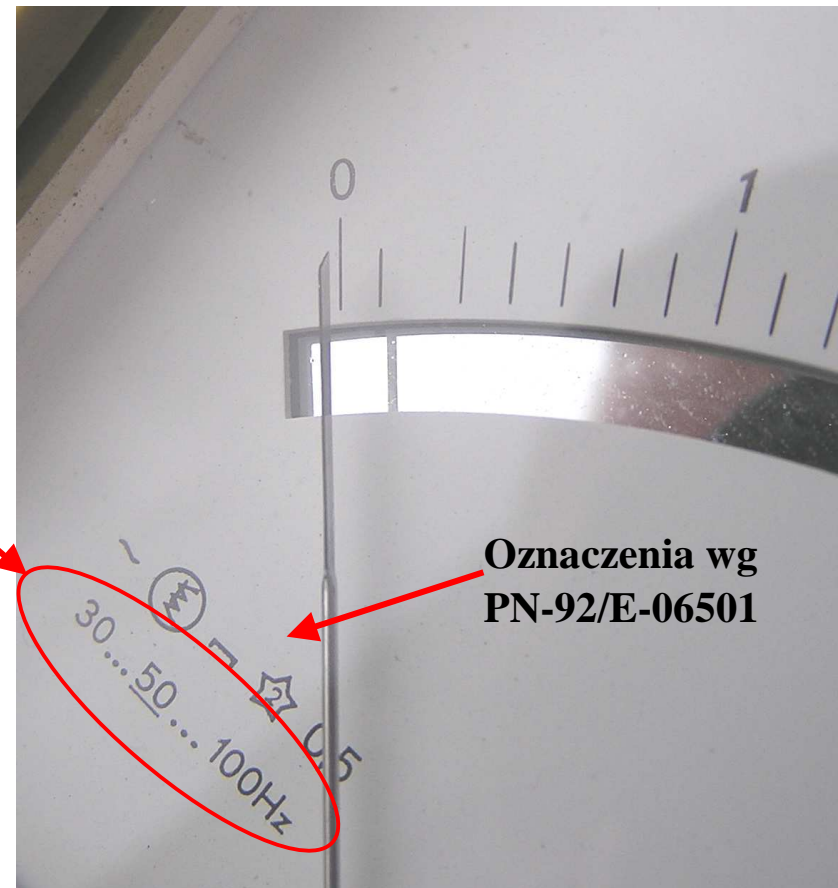
Tablica II-01. Granice nominalnego zakresu użytkowania i dopuszczalne błędy dodatkowe

Wielkość wpływająca	Granice nominalnego zakresu użytkowania, jeśli nie oznakowano inaczej	Dopuszczalny błąd dodatkowy wyrażony w procentach wskaźnika klasy	Zalecane badanie wg ark. 09 punkt
Temperatura otoczenia	temperatura odniesienia $\pm 10^{\circ}\text{C}$ lub granica dolna zakresu odniesienia minus 10°C i górna granica zakresu odniesienia plus 10°C	100%	3.2
Wilgotność	wilgotność względna	100%	3.3
Tętnienia dla wielkości mierzonej prądu stałego	wg odpowiedniego arkusza normy		3.6
Odształcenia prądu przemiennego wielkości mierzonej	współczynnik zawartości harmonicznych wg odpowiedniego arkusza normy		3.7
	współczynnik szczytu wg odpowiedniego arkusza normy		w opracowaniu
Częstotliwość wielkości mierzonej prądu przemiennego	wg odpowiedniego arkusza normy		3.8
Pozycja pracy ¹⁾	pozioma i pionowa, jeśli pozycja odniesienia nie jest oznakowana	100%	3.4
	5% w dowolnym kierunku od pozycji odniesienia	50%	
Zewnętrzne pole magnetyczne	wg 5.2.1 i odpowiedniego arkusza normy		3.5
Zewnętrzne pole elektryczne (tylko dla przyrządów elektrostatycznych)	20 kV/m dla pola stałego i $45 \div 65$ Hz wg 5.2.2	50%	3.14
Zasilanie pomocnicze	Napięcie	wartość odniesienia $\pm 10\%$ lub granica dolna zakresu odniesienia minus 10% i górna granica zakresu odniesienia plus 10%	3.17
	Częstotliwość	wartość odniesienia $\pm 10\%$ lub granica dolna zakresu odniesienia minus 10% i górna granica zakresu odniesienia plus 10%	3.18
¹⁾ Przyrządy pomiarowe z poziomnicą powinny być zawsze wypoziomowane za pomocą urządzenia do poziomowania. Przyrządy te nie podlegają badaniu wpływu pozycji pracy.			

Przykład – błąd częstotliwościowy woltomierza

Sposób oznakowania: **wartość odniesienia 50Hz** (podkreślona), **zakres nominalny użytkowania od 30 do 50Hz i od 50 do 100Hz** (wartości graniczne oddzielone kropkami).

30 .. 50 .. 100 Hz

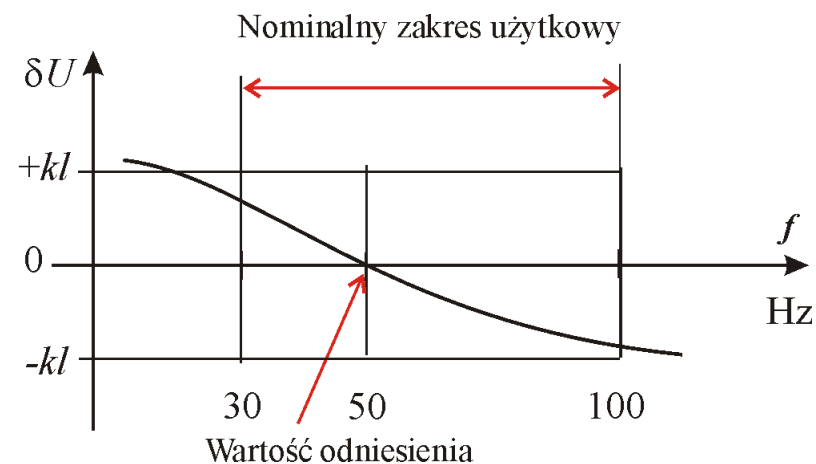
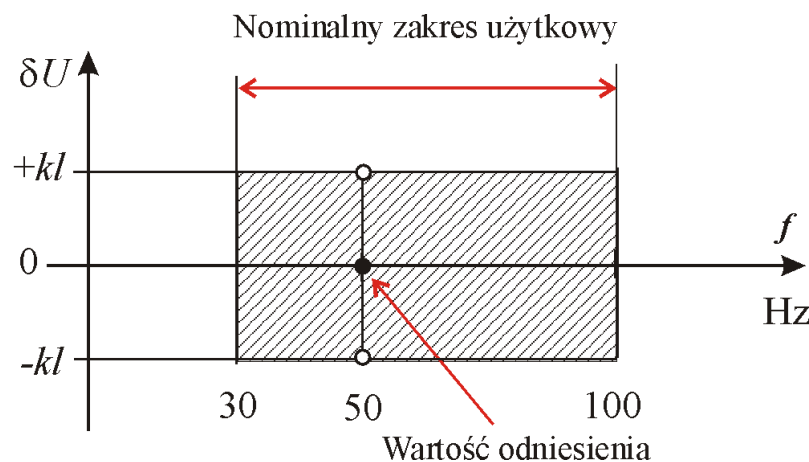


Oznaczenia wg
PN-92/E-06501

Przykład – błąd częstotliwościowy woltomierza

Sposób oznakowania: **wartość odniesienia 50Hz** (podkreślona), **zakres nominalny użytkowania od 30 do 50Hz i od 50 do 100Hz** (wartości graniczne oddzielone kropkami).

30 .. 50 .. 100 Hz



Graniczne wartości błędów dodatkowych

Rzeczywisty przebieg błędów częstotliwościowych
(w praktyce jest on użytkownikowi **nieznany**)

Sumowanie błędów podstawowych i dodatkowych

Błędy podstawowe i błędy dodatkowe od każdej wielkości wpływającej nie spełniającej warunków odniesienia **sumujemy** algebraicznie, np.:

Całkowity błąd graniczny przyrządu pomiarowego

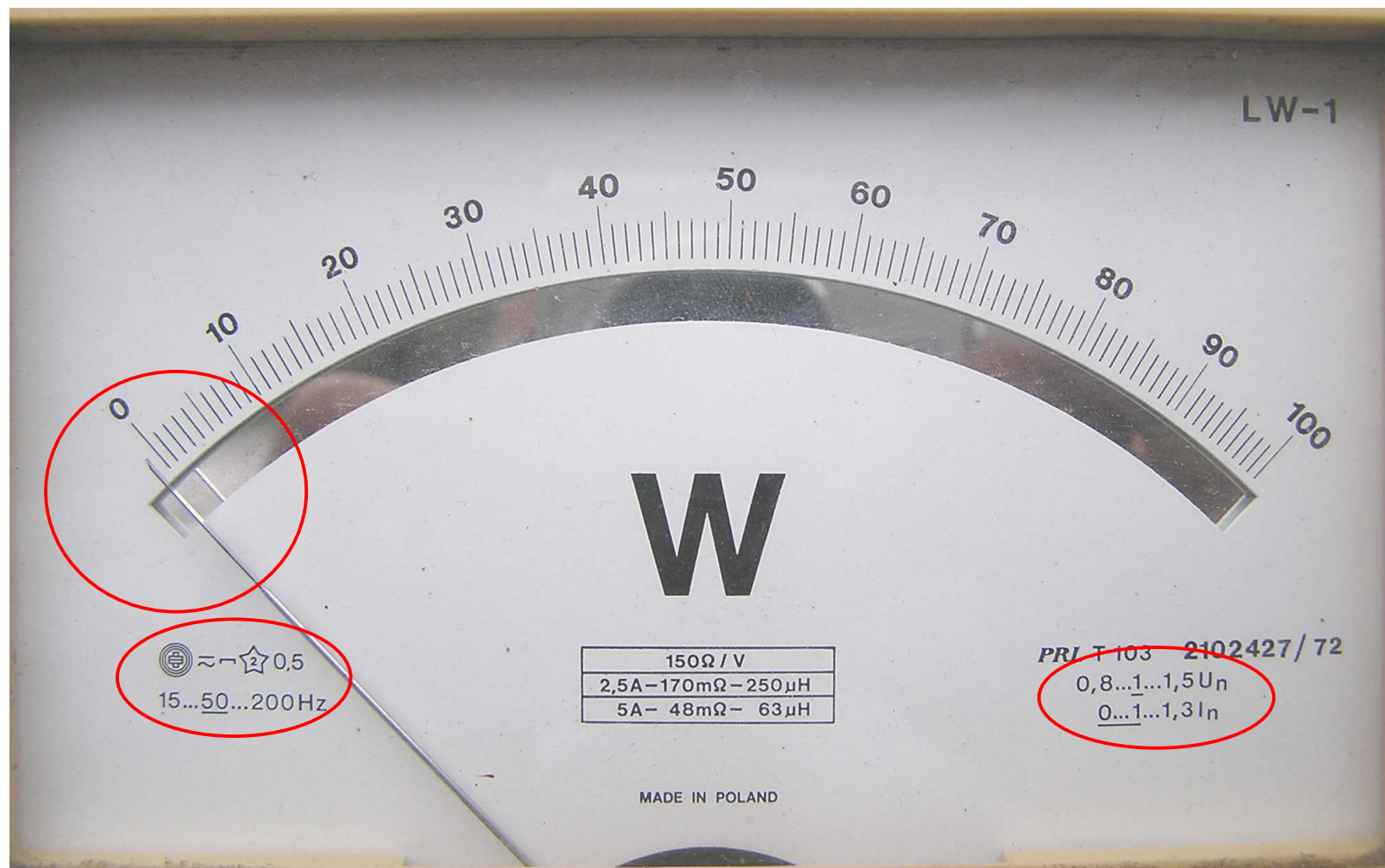
Dopuszczalny błąd dodatkowy graniczny temperaturowy

Dopuszczalny błąd dodatkowy graniczny częstotliwościowy

$$\Delta_{gr}^{\wedge} x = \Delta_{gr}^p x + \Delta_{gr}^t x + \Delta_{gr}^f x$$

Dopuszczalny błąd podstawowy graniczny przyrządu pomiarowego

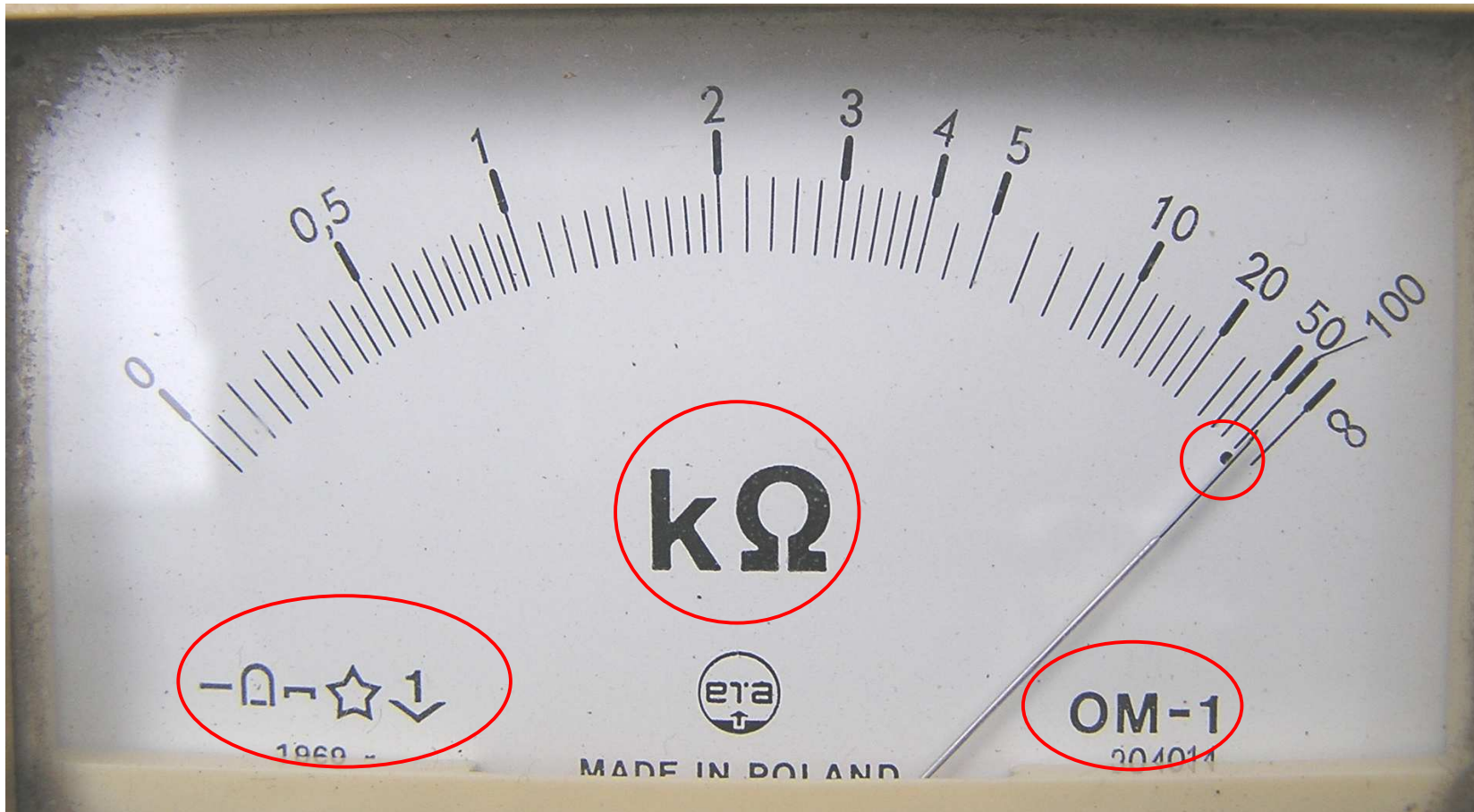
Nominalne zakresy użytkowe – przykład watomierz



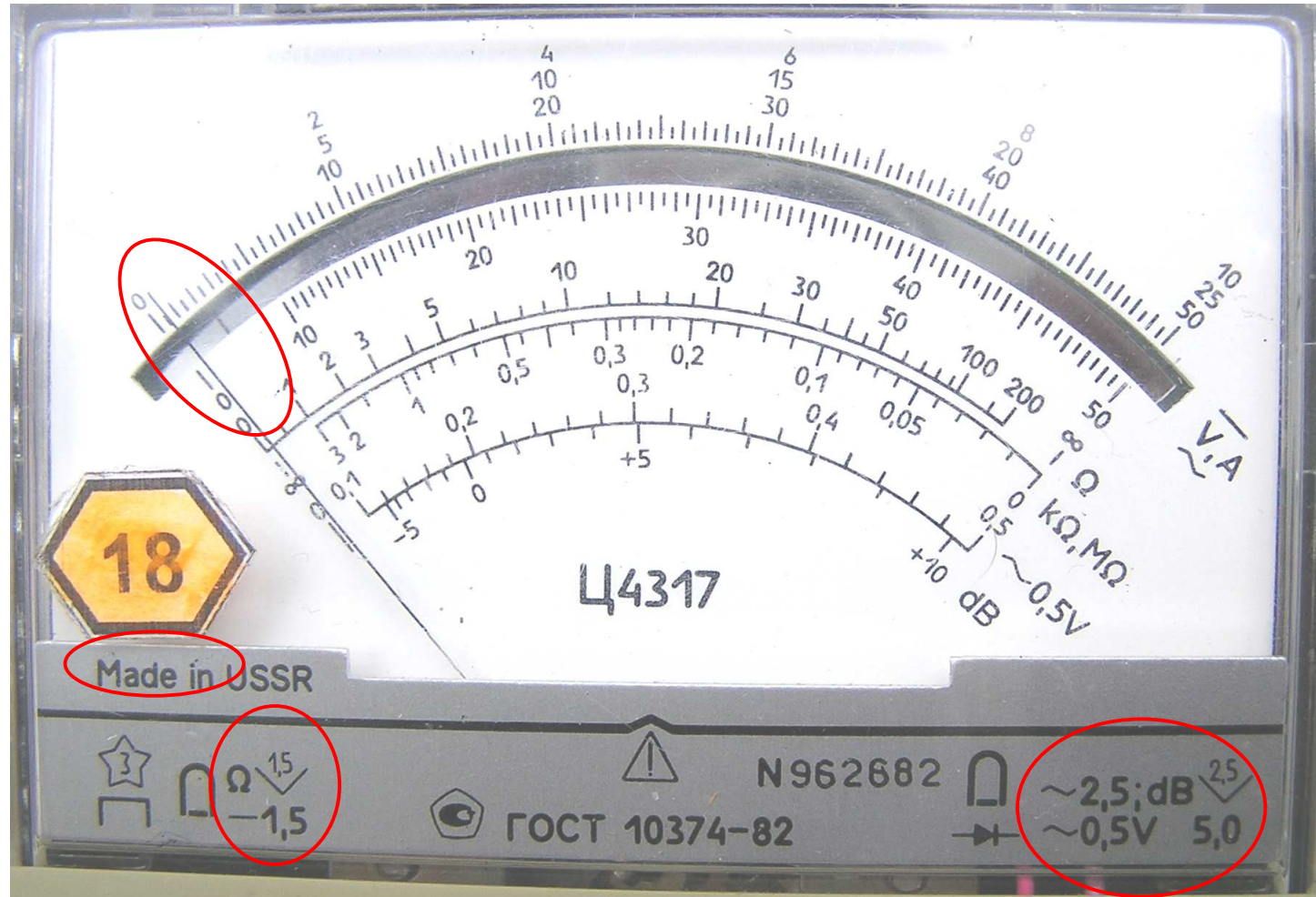
Klasa i wielkości wpływające – przykład licznik EE



Klasa i inne oznaczenia – przykład omomierz



Klasa i inne oznaczenia – przykład UM („uemka”)



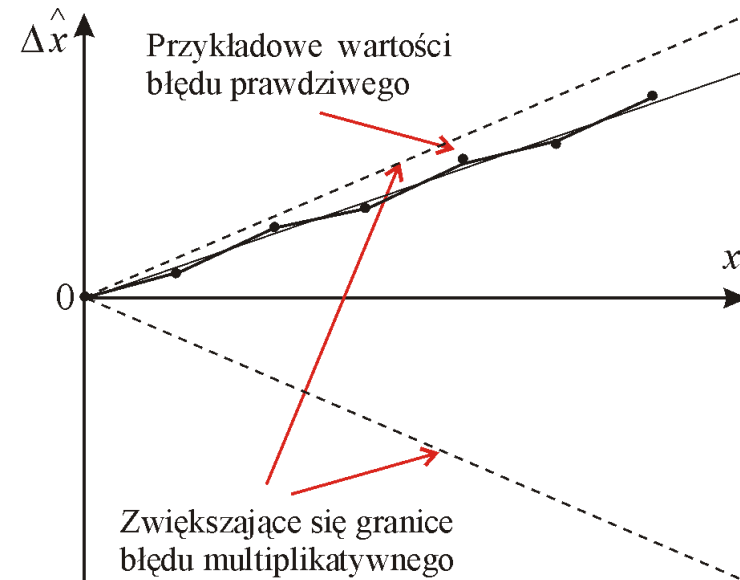
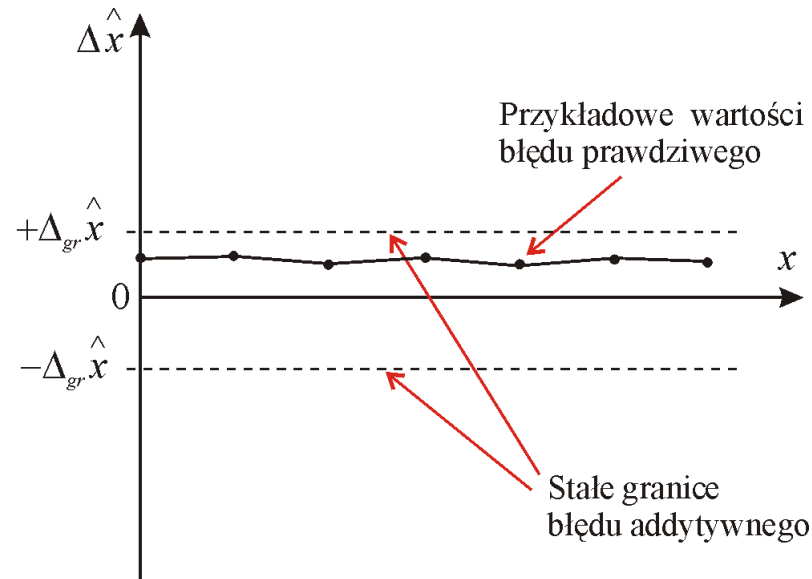
Błędy systematyczne, przypadkowe, grube

Błąd systematyczny – składnik błędu pomiaru, który przy powtarzaniu pomiarów pozostaje stały lub zmienia się w przewidywalny sposób.

Błąd przypadkowy – składnik błędu pomiaru, który przy powtarzaniu pomiarów zmienia się w sposób nieprzewidywalny

Błąd gruby (nadmierny, pomyłka) – błąd wynikający z niepoprawnego wykonania pomiaru, np.: użycie uszkodzonego przyrządu, fałszywe odczytanie wskazania, źle połączony układ pomiarowy, silne zakłócenie itp. Błędy grube nie powinny być brane pod uwagę, należy je usuwać ze zbioru danych.

Błędy addytywne i multiplikatywne



Błędy systematyczne pozostające **stałe** to błędy **addytywne** (sumacyjne, błędy zera), błędy **zmieniające się** proporcjonalnie do wartości zmierzonej to błędy **multiplikatywne** (błąd czułości).

Poprawka

Poprawka jest równa błędowi (umownemu, poprawnemu) ze znakiem minus. Błędy systematyczne powinny być uwzględniane jako poprawki

$$p = -\Delta \tilde{x}$$

Poprawkę należy dodać do wyniku pomiaru aby otrzymać wynik pozbawiony błędu systematycznego

$$\tilde{x} = \hat{x} + p$$

Błąd odczytu (zaokrąglenia i paralaksy)

W prawidłowo zaprojektowanym mierniku analogowym grubość wskazówki i szerokość działki elementarnej są tak dobrane, aby możliwy był odczyt z rozdzielczością **1/5 działki** elementarnej. Większe zaokrąglanie odczytu (np.: do pełnych działek) jest **niewłaściwe**, gdyż zwiększa błędy pomiaru.

Błąd **paralaksy** powstaje podczas odczytu wskazania gdy patrzymy na podzielnę pod kątem innym niż kąt prosty. W celu ułatwienia odczytu montowane jest pod wskazówką lusterko.

Należy podczas odczytu patrzeć w ten sposób (dobierając odpowiednio położenie własnej głowy), aby wskazówka pokryła się ze swoim odbiciem w lusterku.

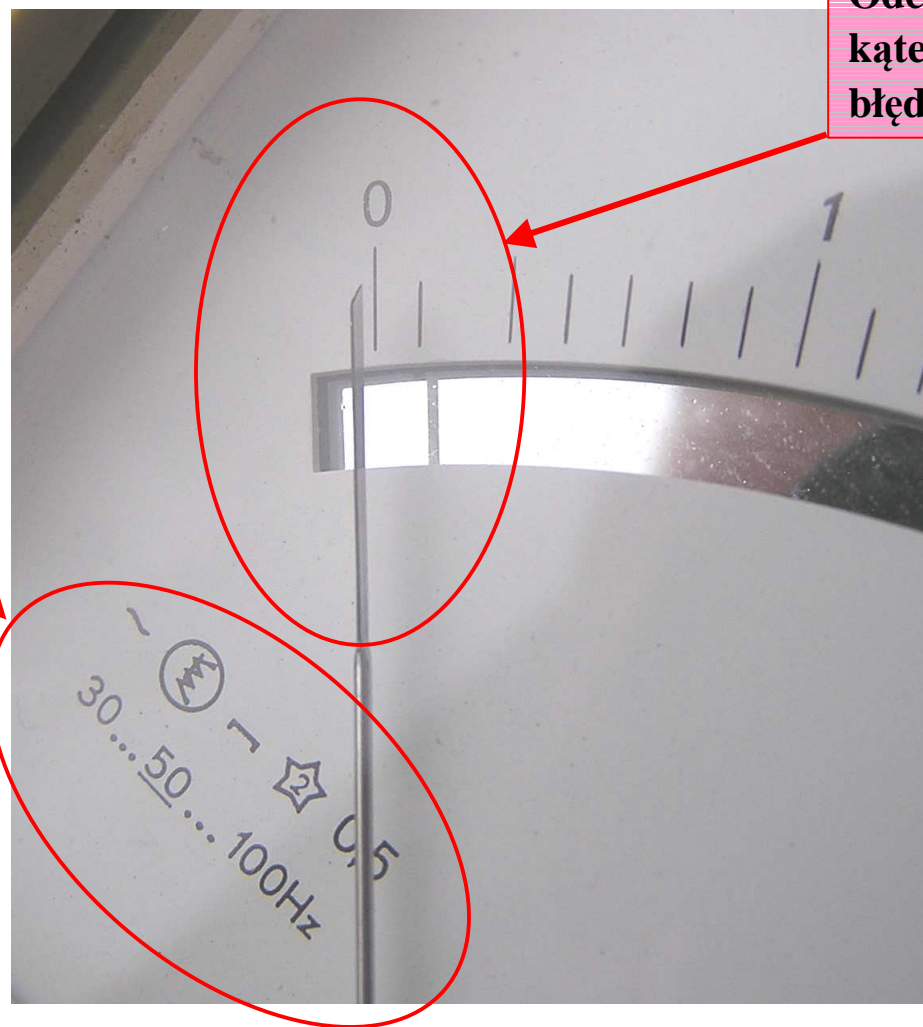
Błąd zaokrąglenia przy odczycie przyrządu analogowego

Podczas odczytu ze skali miernika analogowego należy w pełni wykorzystać jego rozdzielczość, tzn. wynik pomiaru należy zaokrąglić do **1/5 działki**.



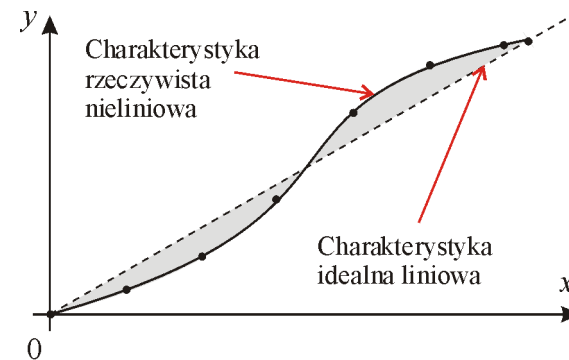
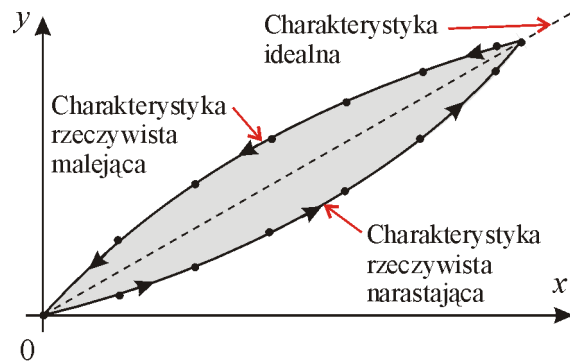
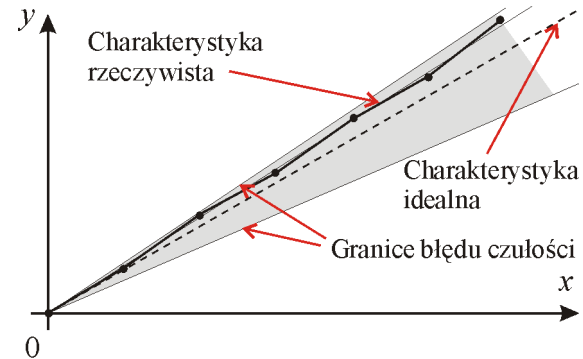
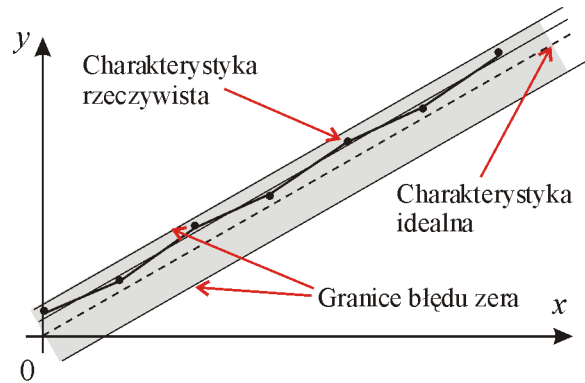
Błąd paralaksy, nominalny zakres użytkowy - przykład

Oznaczenia wg
PN-92/E-06501



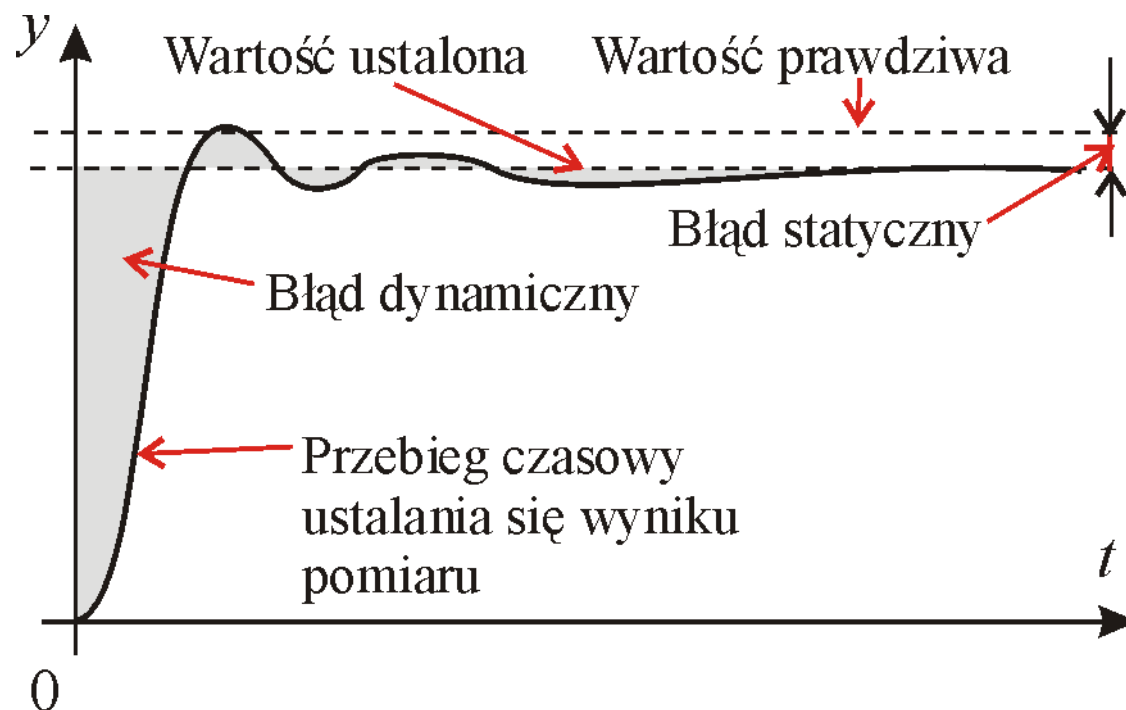
Odczyt pod niewłaściwym
kątem powoduje powstanie
błędu paralaksy

Błąd zera, czułości, histerezy, nieliniowości



Najczęściej spotykane w praktyce błędy charakterystyki przetwarzania przyrządów pomiarowych

Błędy statyczne i dynamiczne



Błąd **dynamiczny** występuje gdy wielkość mierzona zmienia się, a przyrząd pomiarowy nie osiągnął stanu ustalonego.

Błąd **statyczny** występuje gdy wielkość mierzona nie zmienia się, a przyrząd pomiarowy osiągnął **stan ustalony**

Błędy instrumentalne i błędy metody

Błąd instrumentalny jest błędem wynikającym z niedokładności zastosowanych przyrządów pomiarowych, Błąd ten występuje zawsze, można go zmniejszyć stosując dokładniejsze przyrządy.

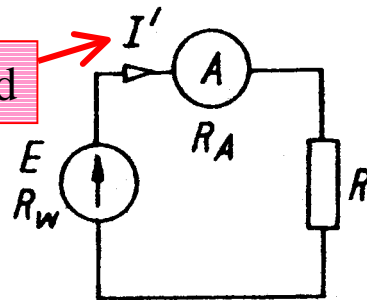
Błąd metody jest błędem systematycznym wynikającym z przyjętej metody pomiarowej, właściwości narzędzia pomiarowego lub sposobu opracowywania wyników pomiaru. Błąd metody można zmniejszyć stosując inną, lepszą metodę pomiarową lub/i stosując inne przyrządy pomiarowe. Błąd metody można też zazwyczaj wyeliminować wprowadzając odpowiednią poprawkę.

Błąd metody - przykład

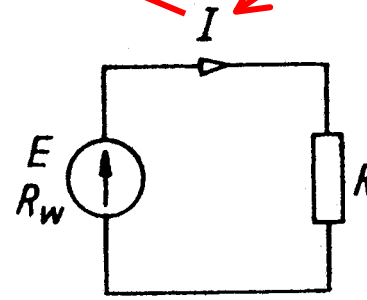
Błąd metody przy pomiarze prądu amperomierzem o niezerowej rezystancji wewnętrznej

$$\Delta I = I' - I = \frac{E}{R_w + R_A + R} - \frac{E}{R_w + R} = -\frac{R_A}{(R_w + R_A + R)(R_w + R)} E$$

Niestety mierzymy ten prąd

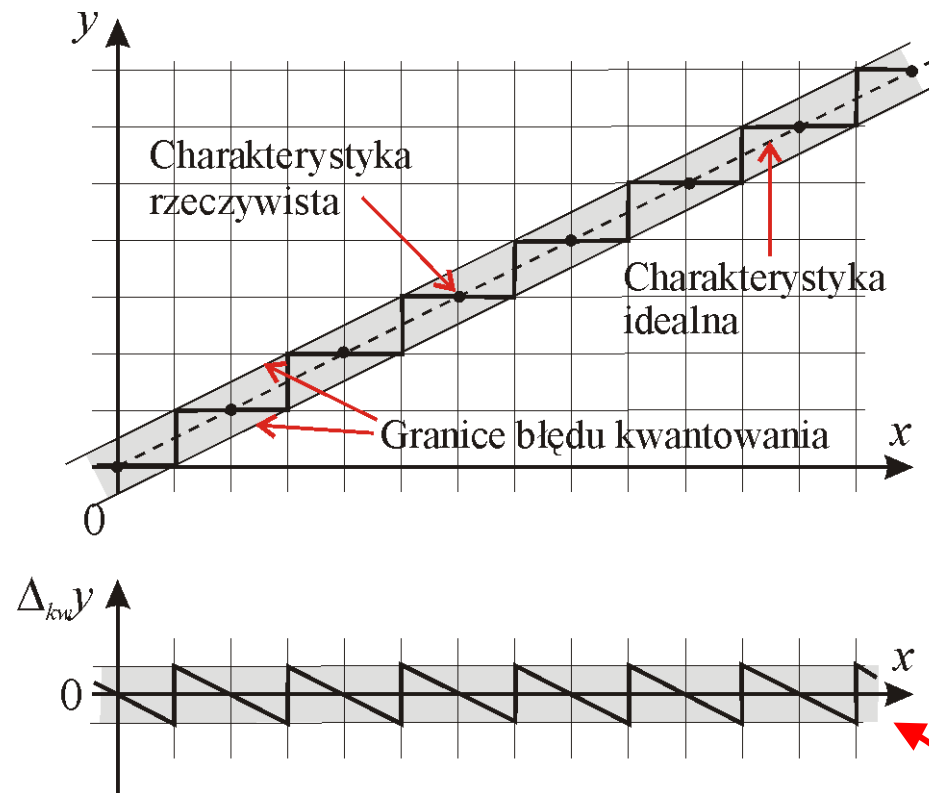


Ten prąd chcemy zmierzyć



Błąd metody jest typowym **błędem systematycznym** (w kolejnych pomiarach jego wartość jest przewidywalna), należy go więc wyznaczyć i zastosować jako poprawkę (odjąć od wyniku pomiaru).

Błąd kwantowania



Błąd kwantowania, występujący we wszystkich miernikach cyfrowych, ma charakter błędu **addytywnego**.

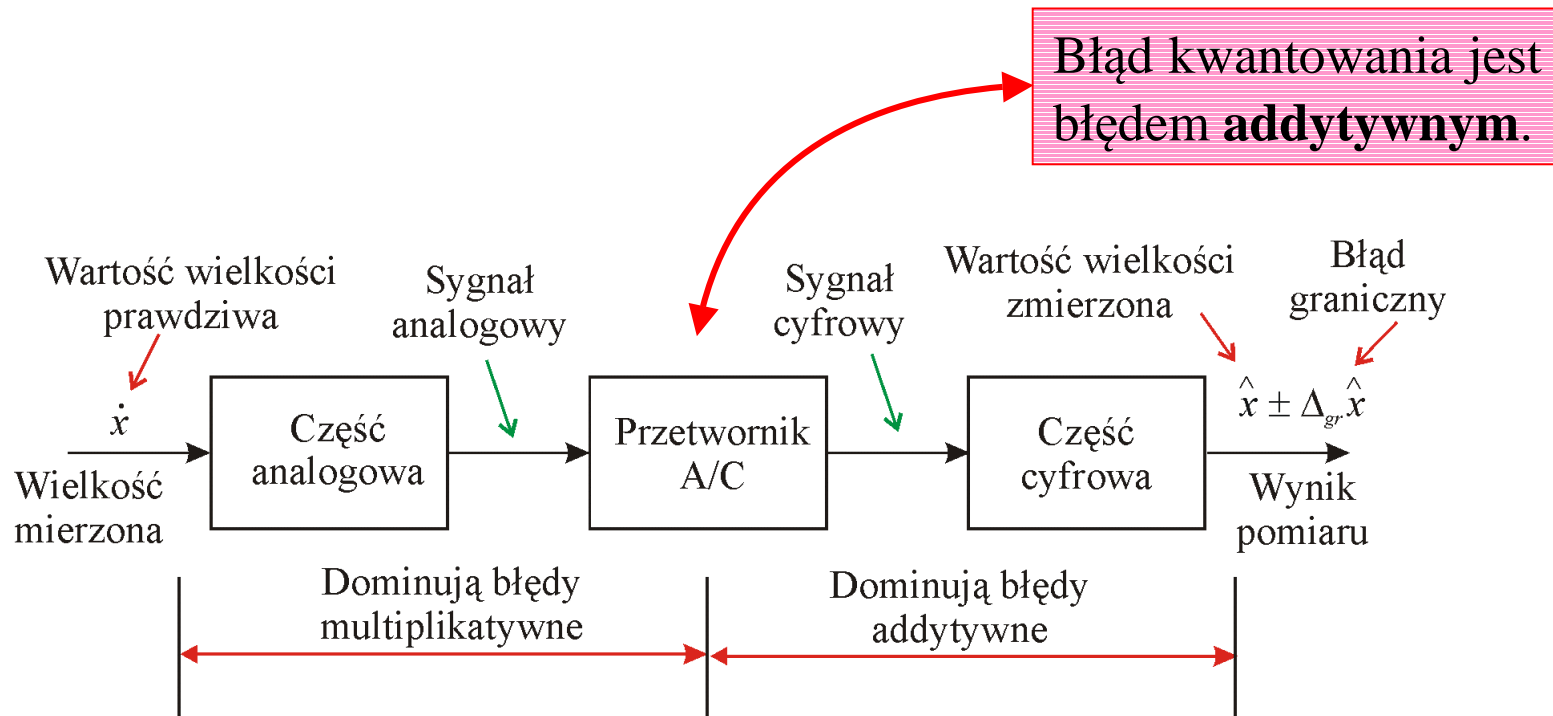
Błędy mierników cyfrowych

W miernikach **analogowych** jeden z błędów (addytywny lub multiplikatywny) jest **znacznie większy od drugiego**, dlatego dla tych mierników klasę definiuje się **albo** względem **zakresu** **albo** względem **wartości zmierzonej**.

W miernikach **cyfrowych** oba te błędy (addytywny oraz multiplikatywny) mają **porównywalne** wartości, dlatego dla tych mierników klasę definiuje się jako **sumę** dwóch składników: jednego odniesionego do wartości **zmierzonej** i drugiego odniesionego do **zakresu**.

Sposób zapisu klasy dla mierników cyfrowych nie został znormalizowany, w praktyce różni producenci stosują własny system zapisu.

Źródła błędów mierników cyfrowych



W miernikach cyfrowych błędy **multiplikatywne** (części analogowej) i błędy **addytywne** (części cyfrowej) są **porównywalnej wartości**.

Definiowanie błędów granicznych mierników cyfrowych

Ponieważ:

w miernikach cyfrowych błędy **multiplikatywne** (części analogowej) i błędy **addytywne** (części cyfrowej) są **porównywalnej wartości**,

dlatego:

w miernikach cyfrowych błąd graniczny definiuje się jako **sumę dwóch oddzielnych składników:**

multiplikatywnego i addytywnego.

W praktyce stosowane są najczęściej dwa sposoby zapisu błędu granicznego dla miernika cyfrowego.



Agilent Technologies

Oznaczanie klasy mierników cyfrowych – przykład 1

34405A Multimeter

5.5 Digit Dual Display, Benchtop DMM
More Capabilities at a Value Price

DC Specifications^[1]

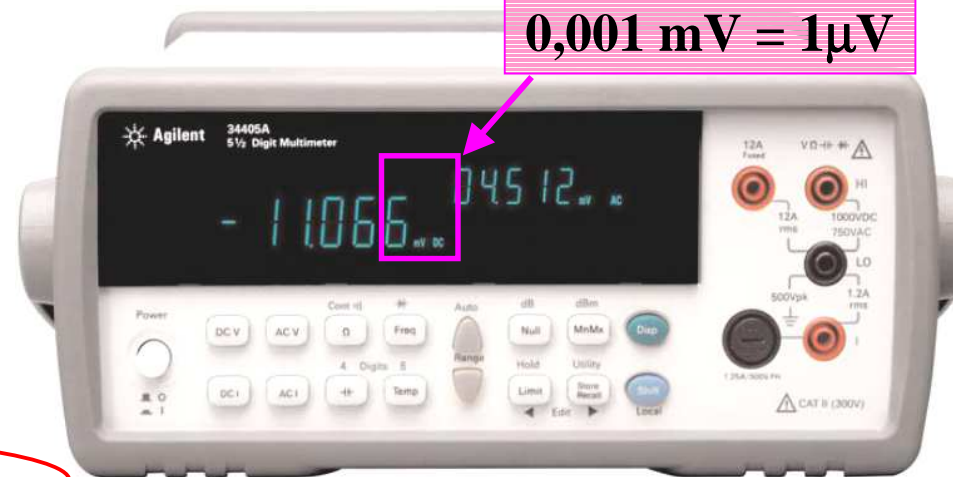


Table 24 DC Accuracy ± (% of reading + % of range)

Function	Range ^[2]	Test Current or Burden Voltage	Input Impedance ^[13]	1 Year 23° C ± 5° C	Temperature Coefficient 0° C - 18° C 28° C - 55° C
DC Voltage	100.000mV	-	10MΩ ±2%	0.025+0.008	0.0015+0.0005
	1.00000V	-	10MΩ ±2%	0.025+0.006	0.0010+0.0005
	10.0000V	-	10.1MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0020+0.0005
	100.00V	-	10.1MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0020+0.0005
	1000.0V	-	10MΩ ±2%	0.025+0.005	0.0015+0.0005

Accuracy !!!
czyli błąd graniczny

warunki odniesienia

granice nominalnego zakresu użytkowania

Oznaczanie klasy mierników cyfrowych – pierwszy sposób



Agilent Technologies

Pierwszy sposób: $a\%$ z odczytu (ang. *rdg* – *reading*) + $b\%$ z zakresu (ang. *FSR* – *Full Scale Range*)

$$\pm (a \% \textit{rdg} + b \% \textit{FSR})$$

część błędu multiplikatywna

część błędu addytywna

Przykład: 0,025% z odczytu napięcia U_x + 0,008% z zakresu 100 mV

$$\pm (0,025 \% \cdot U_x + 0,008 \% \cdot 100 \text{ mV})$$

Jeśli odczytano napięcie $U_x = 100$ mV na zakresie 100 mV, to **błąd graniczny** wynosi $\pm 0,033$ mV, przy czym **rozdzielczość** miernika na tym zakresie wynosi **0,001 mV**, a więc jest znacznie lepsza !!!

Oznaczanie klasy mierników cyfrowych – przykład 2

USER'S MANUAL BM 857 , BM859CF - BRYMEN



d=0,01 mV = 10μV

rozdzielczość

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Accuracy is \pm (% reading digits + number of digits) or otherwise specified, at $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ & less than 75% relative humidity.

True RMS voltage & current accuracies are specified from 5 % to 100 % of range or otherwise specified. Maximum Crest Factor < 5:1 at full scale & < 10:1 at half scale, and with frequency components within the specified frequency bandwidth for non-sinusoidal waveforms.

DC Voltage

RANGE	BM859CF	BM857
	Accuracy	
500.00 mV, 5.0000V, 50.000V	0.02% + 2d	0.03% + 2d
500.00V	0.04%+2d	0.05% + 2d
1000.0V	0.05%+ 2d	0.1%+2d

NMRR: >60dB @ 50/60Hz

CMRR: >120dB @ DC, 50/60Hz, Rs=1kΩ

Input Impedance: 10MΩ, 30pF nominal
(80pF nominal for 500mV range)

Accuracy !!!

Ohms

RANGE	BM859CF	BM857
	Accuracy	
500.00Ω	0.07%+10d	0.1%+6d
5.0000kΩ	0.07%+2d	
50.000kΩ		
500.00kΩ		
5.0000MΩ	0.2%+6d	0.4%+6d
50.000MΩ	2.0%+6d	2.0%+6d

Open Circuit Voltage: < 1.3VDC (< 3VDC for 500Ω range)

warunki odniesienia

Oznaczanie klasy mierników cyfrowych – drugi sposób

Drugi sposób: $a\%$ z odczytu (ang. *rdg* – *reading*) + b najmniej znaczących cyfr d (ang. *d* – *digit*)



$$\pm (a \% \textit{rdg} + b \cdot d)$$

część błędu multiplikatywna

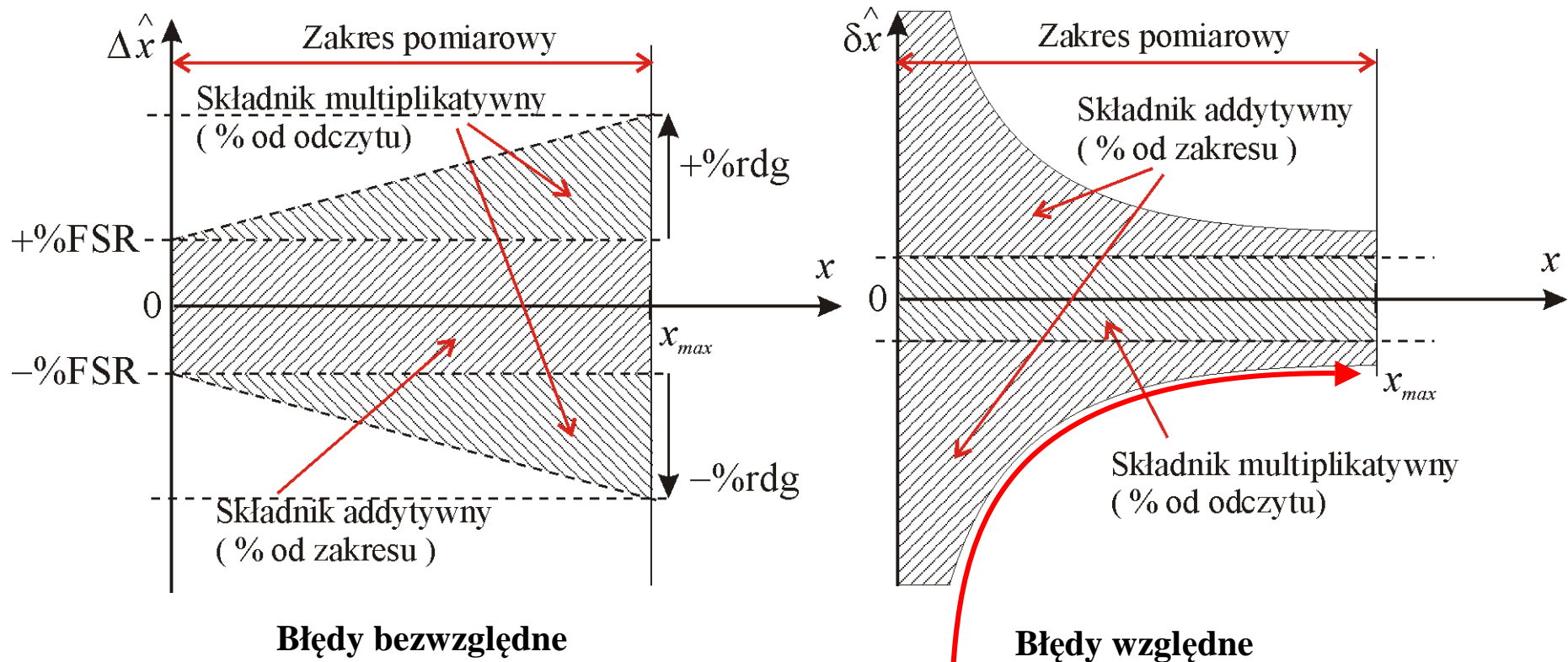
część błędu addytywna

Przykład: 0,03% z odczytu napięcia U_x + 2 najmniej znaczące cyfry o wartości 0,01 mV = 10 μ V

$$\pm (0,03 \% \cdot U_x + 2 \cdot 10 \mu V)$$

Jeśli odczytano napięcie $U_x = 100$ mV na zakresie 500 mV, to **błąd graniczny** wynosi $\pm 0,05$ mV, przy czym **rozdzielczość** miernika na tym zakresie wynosi **0,01 mV**, a więc jest znacznie lepsza !!!

Błąd graniczny bezwzględny i względny mierników cyfrowych












Tak samo jak w miernikach analogowych, również w miernikach cyfrowych **dokładniejszy** pomiar otrzymujemy dla **większego** odczytu !!!

Przykłady oznaczeń – PN-92/E-06501/01

16

PN-92/E-06501/01

cd. tabl. III-01

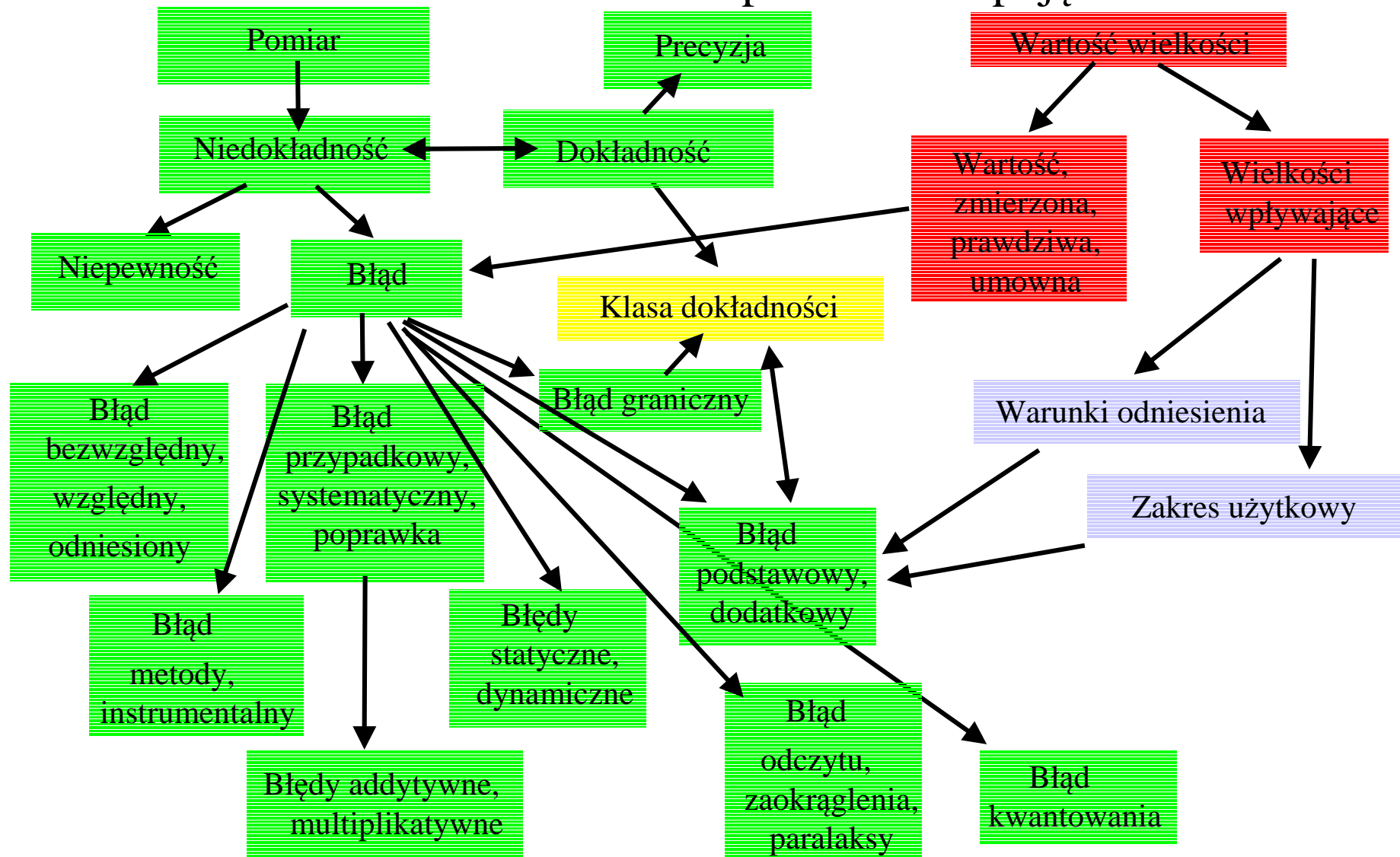
B. Rodzaj wielkości mierzonej i liczba ustrojów pomiarowych				
Lp.	Nazwa	Symbol		
B-1 †	Obwód prądu stałego i/lub ustrój pomiarowy prądu stałego	 (5031)*		
B-2 ‡	Obwód prądu przemiennego i/lub ustrój pomiarowy prądu przemiennego	 (5032)*		
B-3	Obwód prądu stałego i/lub przemiennego i/lub ustrój pomiarowy prądu stałego i przemiennego	 (5033)*		
B-4	Obwód prądu przemiennego trójfazowego (symbol ogólny)	3 ~ †		Symbole w tej kolumnie obowiązują czasowo wg normy IEC 51 ¹⁾ i są podane tylko dla informacji
B-6 ‡	Jeden ustrój pomiarowy (E) dla sieci trójprzewodowej	3 ~ 1E†		
B-7	Jeden ustrój pomiarowy (E) dla sieci cztero-przewodowej	3N ~ 1E†		
B-8	Dwa ustroje pomiarowe (E) dla sieci trójprzewodowej o obciążeniu niesymetrycznym	3 ~ 2E†		
B-9	Dwa ustroje pomiarowe (E) dla sieci cztero-przewodowej o obciążeniu niesymetrycznym	3N ~ 2E†		
B-10	Trzy ustroje pomiarowe (E) dla sieci cztero-przewodowej o obciążeniu niesymetrycznym	3N ~ 3E†		
* Liczba oznaczona „*” podaje numer symbolu wg normy IEC 417 ¹⁾ . Symbole oznaczone „†” są utworzone na bazie symbolu 02-02-04 wg normy IEC 617-2 ²⁾ .				

¹⁾ PN-83/E-01240.

²⁾ PN-87/E-01200.

³⁾ PN-84/E-06501 (norma zastąpiona przez niniejszą normę).

Podsumowanie – wprowadzone pojęcia



Podsumowanie

1. Wynik pomiaru jest zawsze niedokładny.
2. Miarą niedokładności pomiaru jest błąd lub niepewność.
3. Definiuje się bardzo dużo różnych rodzajów błędów .
4. Błąd graniczny pozwala wprowadzić pojęcie klasy przyrządu pomiarowego.
5. Z klasy wynikają błędy graniczne podstawowe i dodatkowe.
6. Błędy podstawowe określone są dla warunków odniesienia
7. Błędy dodatkowe określone są dla nominalnego zakresu użytkowania.
8. Rozróżnienie błędów addytywnych i multiplikatywnych skutkuje różnymi sposobami określania klasy i jej oznaczania.
9. Określenie klasy przyrządów cyfrowych wymaga podania dwóch składników.

