

Podstawy elektroniki, elektrotechniki i miernictwa

**POMIARY WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH
I NIEELEKTRYCZNYCH**

podstawy

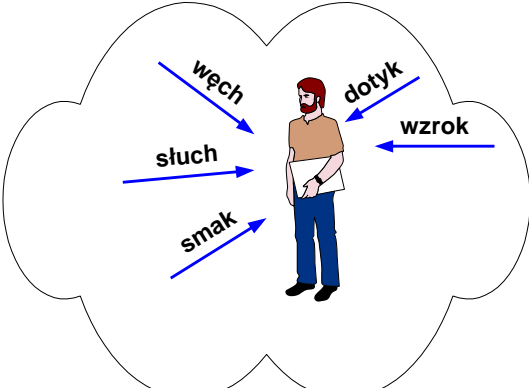
Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

- ***Metrologia***
(od słów greckich metron – mierzyć i logos – nauka)
Metrologia jest dziedziną naukową zajmującą się teorią pomiarów w różnych dyscyplinach w tym sposobami dokonywania pomiarów oraz zasadami interpretacji uzyskanych wyników
- ***Miernictwo***
miernictwo jest dziedziną zajmującą się techniką pomiarową w działaniach inżynierskich czyli stosowaniem metod postępowania i wzorców będących przedmiotem opracowań z zakresu metrologii
- ***Technika pomiarowa***
to zbiór metod pozwalających dostarczyć odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób należy zmierzyć lub zbadać pewne zjawisko

Aspekt historyczny

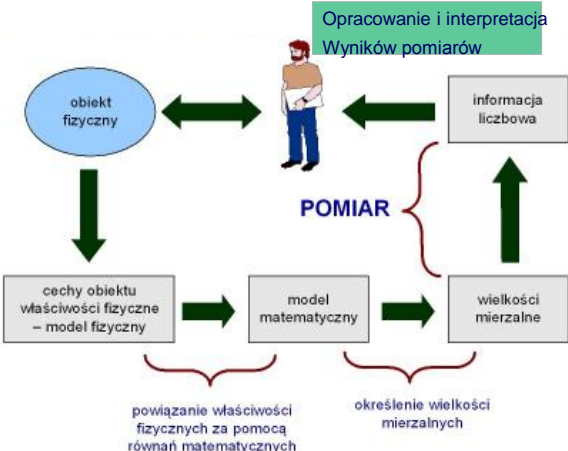
- Metrologia ma długą, niezłe udokumentowaną historię, sięgającą 10 tys. lat, choć wiadomo, że człowiek zaczął mierzyć już w czasach prehistorycznych
- Historycznie najstarsze były pomiary długości i odległości, objętości ciał płynnych i sypkich, masy oraz czasu.
- początkowo dokonywano pomiarów porównując wymiary elementami ciała człowieka, stąd takie miary jak cal, piędź, stopa, łokieć . Jednostki miały charakter subiektywny, nośnikiem ich wzorców był bowiem mierzący
- Inne jednostki „naturalne” - krok, bruzda (długość bruzdy, po zaoraniu której należy pozwolić wołom odpocząć: 100 stóp w Grecji 120 w Rzymie), staje (grecki stadion - dystans, który można przebiec z maksymalną prędkością), garniec i korzec (od naczyń), morga (obszar, który można zaorać w ciągu dnia parą wołów)

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych



- W technice pomiarowej operuje się uniwersalnym określeniem **obiekt**
- Celem pomiaru jest poznanie cech obiektu

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych



POMIAR

Opracowanie i interpretacja
Wyników pomiarów

informacja
liczbowa

wielkości
mierzalne

model
matematyczny

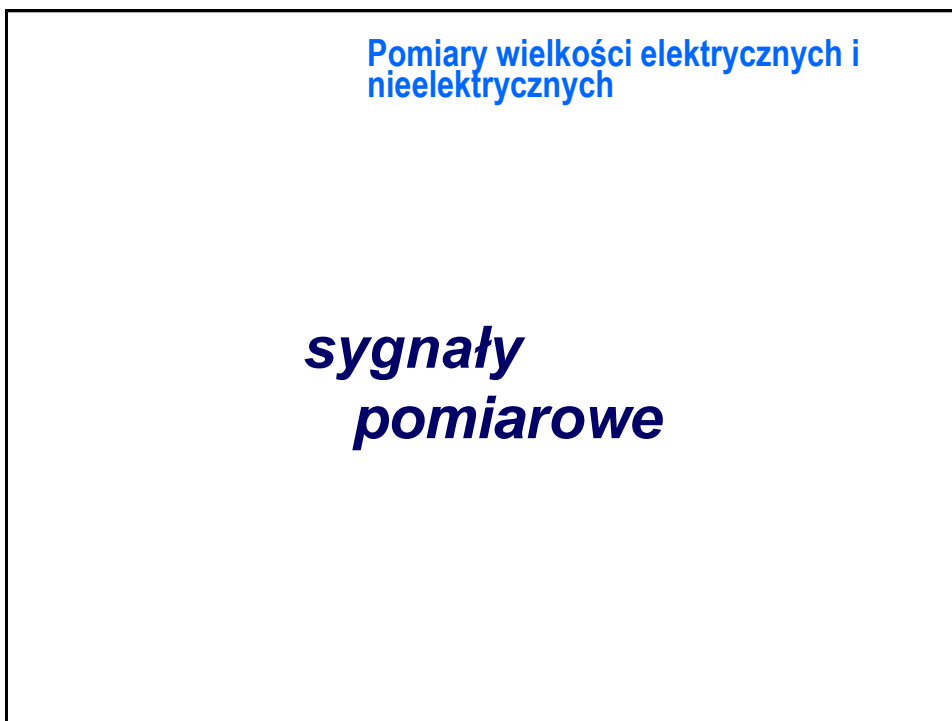
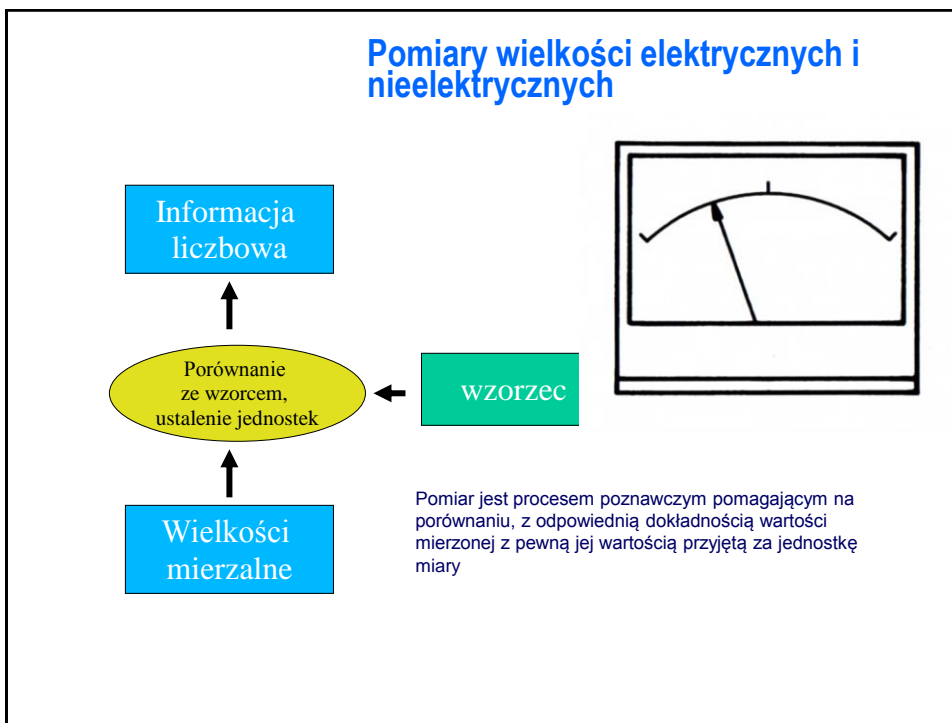
cechy obiektu
właściwości fizyczne
– model fizyczny

obiekt
fizyczny

powiązanie właściwości
fizycznych za pomocą
równań matematycznych

określenie wielkości
mierzalnych

ilustracja procesu poznawania obiektu



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Sygnały pomiarowe

- ◆ sygnały i ich parametry w dziedzinie czasu i częstotliwości
- ◆ przetwarzanie sygnałów pomiarowych

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Sygnały w dziedzinie czasu

$$g(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad -\infty < t < \infty$$

ω - pulsacja

A - amplituda

φ - faza

O sygnale okresowym o okresie T (w sekundach) mówi się, że ma częstotliwość f (w Herzach)

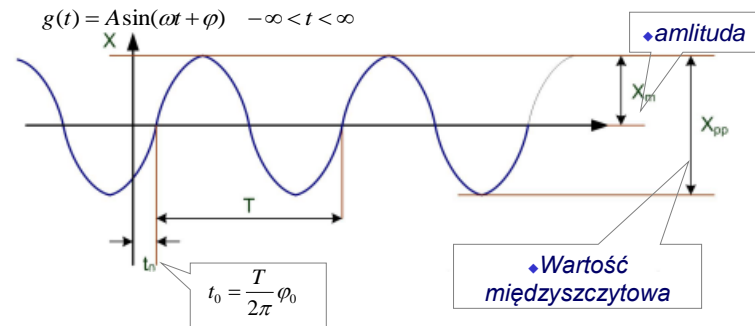
$$f = \frac{1}{T}$$

Pulsację ω wyrażoną w radianach/s i częstotliwość f w Herzach wiąże wzór

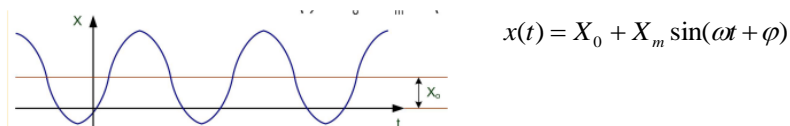
$$\omega = 2\pi f$$

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Sygnaly w dziedzinie czasu

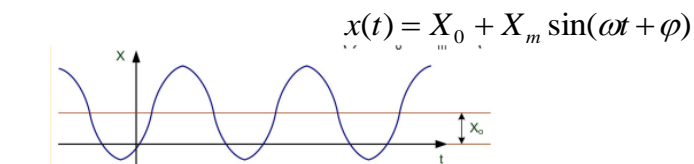


Sygnal przemienny ze składową stałą



Sygnaly w dziedzinie czasu

Wartość skuteczna sygnału

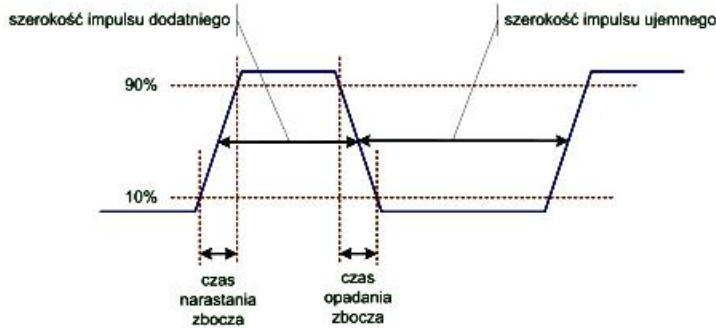


Wartość skuteczna sygnału $X_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt}$

Wartość skuteczna sygnału
Ze składową stałą $X_{sk(AC+DC)} = \sqrt{X_0^2 + X_{sk}^2}$

Sygnaly w dziedzinie czasu

Sygnal impulsowy



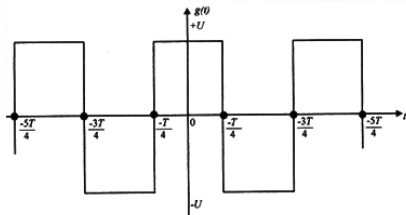
Sygnaly w dziedzinie częstotliwości

transformacja z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości

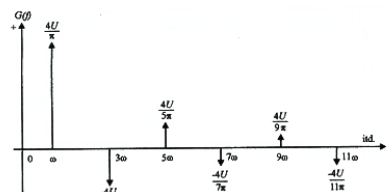
Każdy sygnał nieskończony, ciągły i okresowy posiada reprezentację w postaci szeregu Fouriera

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(n\omega t) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(n\omega t) dt$$

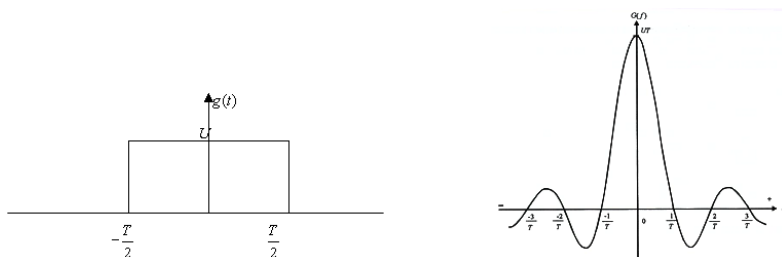


$$g(t) = \frac{4U}{\pi} \left(\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \dots \right)$$



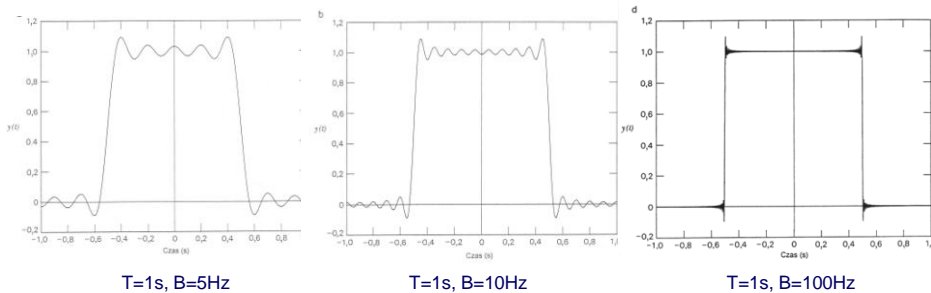
Sygnaly w dziedzinie częstotliwości

transformacja z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości



Analiza widmowa

transformacja z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości



Parametry sygnału w dziedzinie częstotliwości

relacja między podstawowymi parametrami sygnału przemiennego: wartością średnią, skuteczną i amplitudą

Współczynnik kształtu $\frac{X_{sk}}{X_{av}}$

Współczynnik szczytu $\frac{X_m}{X_{sk}}$

Współczynnik zniekształceń Nieliniowych (THD) $THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n X_k^2}}{X_1} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n X_k^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n X_k^2}}$

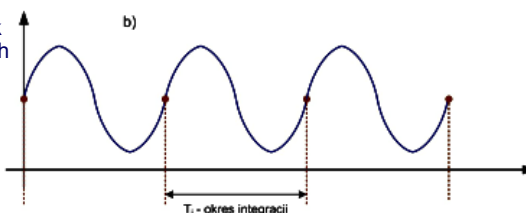
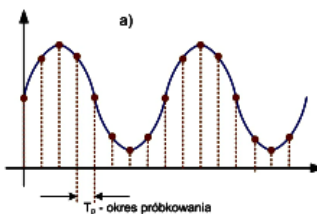
Twierdzenie Parsewala $X_{sk} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} X_{sk_k}^2}$

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Próbkowanie sygnału

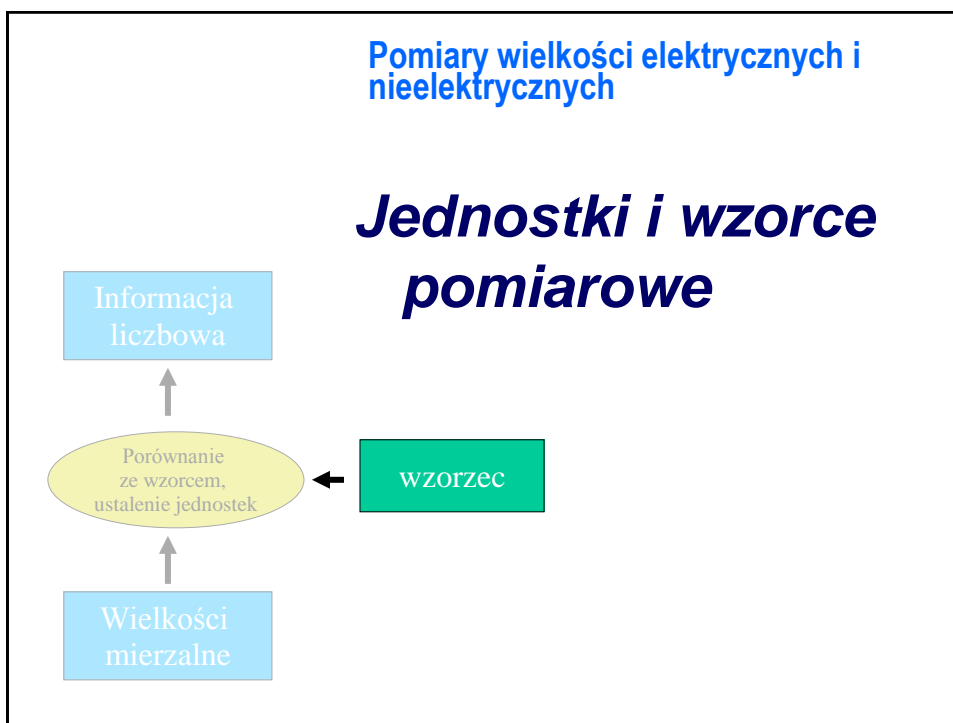
1. Sygnał o skończonym paśmie i skończonej energii, nie zawierający składowych widma o częstotliwości przekraczającej W/Hz może być jednoznacznie opisany za pomocą próbek wziętych w punktach czasu odległych o $1/2W$ sekund.

2. Sygnał o skończonym paśmie i skończonej energii, nie zawierający składowych widma o częstotliwości przekraczającej W/Hz może być jednoznacznie odtworzony z próbek wziętych w punktach czasu odległych o $1/2W$ sekund



Kryterium Nyquista

$$F_p > 2f_{max}$$



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

- **Jednostka miary** jest umownie przyjętą i wyznaczoną z dostateczną dokładnością wartością danej wielkości, która służy do porównania ze sobą innych wartości tej samej wielkości. Zbiór jednostek miar wielkości mierzalnych nosi nazwę **układu jednostek miar**.
- Do opisu zjawisk elektrycznych, zgodnie z układem SI, używa się jednostki natężenia prądu amper (A)
Prąd o natężeniu **1 A** jest to prąd elektryczny nie zmieniający się, który, płynąc w dwóch równoległych prostoliniowych, nieskończenie długich przewodach o przekroju kołowym znikomo małym, umieszczonych w próżni w odległości jednego metra od siebie, wywołałby między tymi przewodami siłę $2 \cdot 10^{-7} \text{N}$ (niutonów) na każdy metr długości przewodu.

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Pochodne jednostki elektryczne i magnetyczne:

- **Wat (W)** jest to moc, przy której praca wykonana w czasie 1s (sekunda) jest równa 1J (dżul).
- **Wolt (V)** jest to napięcie elektryczne występujące między dwiema powierzchniami ekwipotencjalnymi jednorodnego przewodu prostoliniowego, którym płynie nie zmieniający się prąd 1A (amper), a moc wydzielana przez przewód między tymi powierzchniami jest równa 1W.
- **Om (Ω)** jest to opór elektryczny między dwiema powierzchniami ekwipotencjalnymi przewodu jednorodnego prostoliniowego, gdy niezmiennie napięcie elektryczne 1V (wolt), występujące między tymi powierzchniami, wywołuje w tym przewodzie prąd elektryczny 1 A
- **Kulomb (C)** jest to ładunek elektryczny przepływający w czasie 1s (sekunda) przez powierzchnię, gdy prąd elektryczny płynący przez tę powierzchnię wynosi 1A (amper).
- **Farad (F)** jest to pojemność elektryczna, jaką ma kondensator, w którym między elektrodami występuje napięcie elektryczne 1V (wolt), gdy znajdują się na nich różnoimienne ładunki elektryczne o wartości 1C

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Pochodne jednostki elektryczne i magnetyczne:

- **Henr (H)** jest to indukcyjność obwodu, w którym indukuje się siła elektromotoryczna 1V , gdy prąd elektryczny płynący w tym obwodzie zmienia się jednostajnie o 1 A w czasie 1s .
- **Weber (Wb)** jest to strumień magnetyczny, który, malejąc jednostajnie do zera w czasie 1s indukuje siłę elektromotoryczną 1V w obejmującym ten strumień magnetyczny obwodzie zamkniętym, jednozwojowym, wykonanym z przewodu o przekroju kołowym znikomo małym.
- **Tesla (T)** jest to indukcja magnetyczna pola magnetycznego równomiernego, przy której na przekrój poprzeczny $1m^2$ przypada strumień magnetyczny 1Wb

Wzorce

Od wzorców wymaga się:

- Niezmienności w czasie
- Łatwej porównywalności
- Łatwości odtwarzania
- Łatwości stosowania
- Dużej dokładności

Parametrami wzorca są:

- nominalna miara wzorca,
- niedokładność miary wzorca,
- okres zachowania niedokładności miary wzorca,
- warunki, w których miara i dokładność są zachowane

Hierarchia wzorców

- wzorzec pierwotny - wzorzec o najwyższej dokładności, mający rangę wzorca państwowego, służący do sprawdzania wzorców odniesienia (BIPM w Sevres, krajowe laboratoria wzorcowe, np. GUM)
- wzorzec świadek - o tej samej dokładności co wzorzec pierwotny, dublujący go w razie potrzeby
- wzorzec odniesienia - służący do sprawdzania przez Główny Urząd Miar wzorców kontrolnych, sprawdzany przez wzorzec pierwotny
- wzorzec kontrolny - służący do okresowej kontroli wzorców użytkowych (laboratoria przemysłowe)
- wzorzec użytkowy - biorący bezpośredni udział w procesach pomiarowych

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

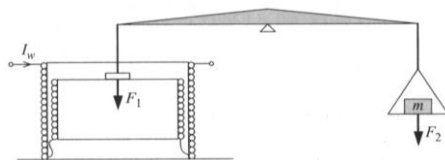
Wzorce

Błędy graniczne odtworzenia wzorca metra

1 definicja 1791 r.	2 definicja 1799 r.	3 definicja 1889 r.	4 definicja 1960 r.	5 definicja 1983 r.
1/10 000 000 część ćwiartki południka przechodzącego przez Paryż (wzorzec naturalny)	metr archiwalny (wzorzec końcowy)	międzynarodowy prototyp metra (wzorzec kreskowy)	metr jako wielokrotność długości fali świetlnej kryptonu 86	metr jako długość drogi przebytej przez światło w określonym ułamku sekundy
$\pm(0,15+0,2)\text{mm}$	$\pm(0,01+0,02)\text{mm}$	$\pm 200\text{ nm}$	$\pm 4\text{ nm}$	$\pm 0,13\text{ nm}$

Wzorce

Wzorzec prądu – waga prądowa



$$I_w = \sqrt{\frac{mg}{K}}$$

Waga prądowa odtwarza jednostkę natężenia prądu z błędem $6 \cdot 10^{-6}$

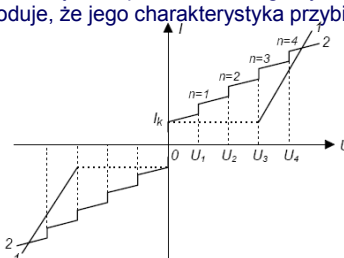
W praktyce jednostkę prądu odtwarza się metodą pośrednią z jednostki napięcia (złącze Josephsona) i jednostki rezystancji (rezystory wzorcowe 1 om).

Wzorzec napięcia

Wzorzec napięcia

Złącze Josephsona składa się z dwóch nadprzewodników rozdzielonych cienką ($1\text{-}2\text{ nm}$) warstwą dielektryka. Złącze pracuje w temperaturze ciekłego helu ($4,2\text{K}$)

Umieszczenie złącza w polu elektromagnetycznym wielkiej częstotliwości powoduje, że jego charakterystyka przybiera kształt schodkowy



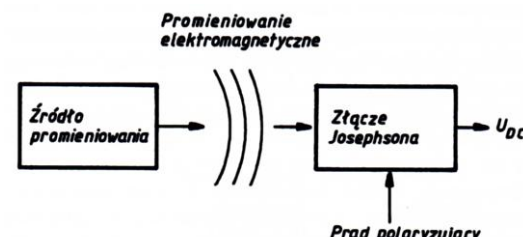
$$U(n) = \frac{nf}{K_f}$$

$$K_f = 483597,9\text{GHz/V} = \frac{2e}{h}$$

- Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza Josephsona

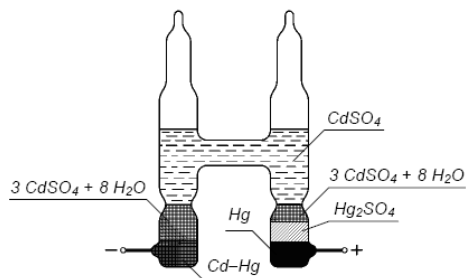
Wzorzec napięcia

Wadą wzorca jest stosunkowo mały (setki mikrowoltów) i niepozbowiony szumu sygnał napięciowy.



W praktyce wykorzystuje się zestawy ok. 20000 złącz. Wyjście – 150000 wartości pomiędzy -10V i 10V z dokładnością 10^{-9}

Wzorzec napięcia



Nasycone ogniwo Westona

Dla temperatury 20°C wartość napięcia na zaciskach ogniwa jest równa 1,018636V

Duży temperaturowego współczynnika napięcia (40μV/°C).

Największy dopuszczalny, krótkotrwały prąd pobierany - 1μA.
wrażliwe na wstrząsy i wibracje.

Niepewność określenia napięcia rzędu $1 \cdot 10^{-8}$

Wzorzec napięcia



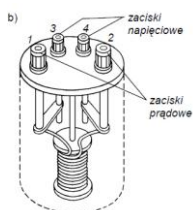
Źródło napięcia stałego 732B (Fluke) dostarcza napięcie +10V z dokładnością $3 \cdot 10^{-7}$ oraz 1,018V z dokładnością $8 \cdot 10^{-7}$

Współczynnik temperaturowy w przedziale 18-28°C jest równy 0.

Wzorce

Wzorce rezystancji

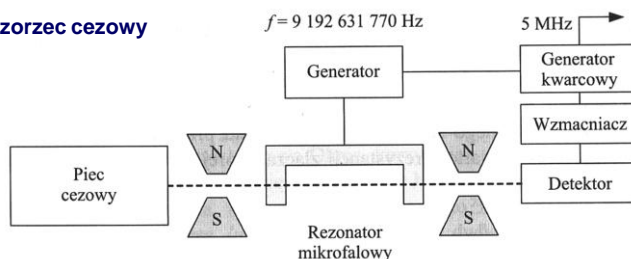
- Wzorce wykorzystujące kwantowy efekt Halla
 - ◆ Występuje w płytkach o strukturze pnp ALGaAs-GaAs lub InGaAs-InP
 - ◆ Wykorzystywane jako wzorce pierwotne
 - ◆ Skwantowane wartości oporności $\approx \pm \frac{25812,807}{i} \Omega$
 - ◆ Niepewność względna mniejsza niż 10^{-9}
- Rezystory wzorcowe
 - ◆ Wykonane ze stopów miedzi o nazwach manganin i nikrothal



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Źródła częstotliwości wzorcowych

Wzorzec cezowy



Wzorce cezowe są wzorcami pierwotnymi i jako takie nie wymagają kalibracji.

W wyniku umów międzynarodowych ustalono, że właściwości atomu cezu posłużą do definicji sekundy: jest to czas trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu między dwoma stanami energetycznymi $F=4$ i $F=3$ swobodnych atomów cezu 133.

wzorzec cezowy jest stosowany pośrednio - do stabilizacji częstotliwości stabilnego wzorca kwarcowego. Błąd względny jest mniejszy niż 10^{-13}

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Źródła częstotliwości wzorcowych

Wzorzec rubidowy

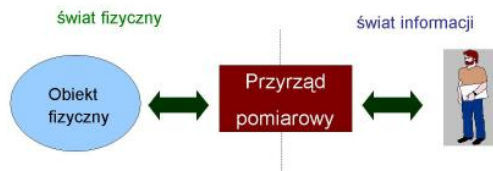
- We wzorcach rubidowych wykorzystuje się zjawisko pochłaniania promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 6.834.682.608 Hz
- wzorzec rubidowy dostarcza sygnału o częstotliwości 10MHz. jest stosowany pośrednio - do stabilizacji częstotliwości stabilnego wzorca kwarcowego.
- Błąd względny jest rzędu 10^{-11}

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

narzędzia pomiarowe

- ◆ przyrządy pomiarowe
- ◆ przetworniki pomiarowe
- ◆ wzorce
- ◆ systemy i układy pomiarowe

przyrządy pomiarowe



przyrządy pomiarowe

- ◆ przyrządy analogowe,
- ◆ przyrządy cyfrowe,
- ◆ przyrządy systemowe
- ◆ przyrządy wirtualne.

przyrządy pomiarowe

przyrządy pomiarowe

- ◆ przyrządy do pomiaru wielkości ciągłych (np. napięcia, prądu, rezystancji, pojemności, mocy, energii)
- ◆ przyrządy do pomiaru wielkości o charakterze ziarnistym (np. częstotliwość, okres)
- ◆ przyrządy do obserwacji i analizy sygnałów
 - ◆ Oscyloskopy
 - ◆ Analizatory widma
 - ◆ Analizatory sygnałów logicznych
- ◆ przyrządy do generacji wymuszeń w układach pomiarowych
 - ◆ Generatory
 - ◆ zasilacze

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

- Jednostka miary jest umownie przyjętą i wyznaczoną z dostateczną dokładnością wartością danej wielkości, która służy do porównywania ze sobą innych wartości tej samej wielkości
- Zbiór jednostek miar wielkości mierzalnych nosi nazwę układu jednostek miar.
- Dąży się do wyboru takich układów jednostek, w których da się utworzyć podzbiór jednostek podstawowych, wtedy pozostałe (pochodne) ustala się na podstawie równań wiążących je z jednostkami podstawowymi. Od ponad 50 lat obowiązujący jest układ SI.

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

- ◆ Przyrząd pomiarowy – łańcuch przetworników. Pierwszy przetwornik tego łańcucha, nazywany **czujnikiem**, przetwarza wielkość mierzoną na sygnał elektryczny, który następnie jest przetwarzany, tak by na wyjściu ostatniego przetwornika treść informacyjna sygnału stała się ilościowo dostępna dla zmysłów człowieka.
- ◆ W miernikach wskazówkowych sygnałem wyjściowym jest przemieszczanie się wskazówki na tle podziałki przyrządu, co można ocenić w sposób ilościowy. Ten typ przyrządów nazywany jest analogowym. Kwantyzacja sygnału pomiarowego wykonywana jest przez człowieka.

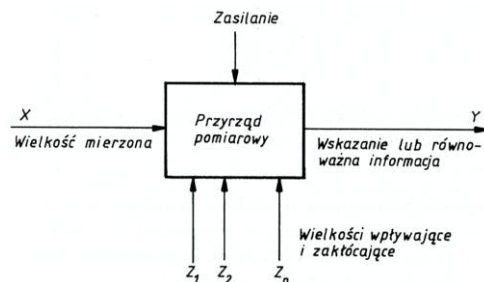
Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

- ◆ Przyrząd pomiarowy – rodzaj przetwornika przekształcającego wielkość mierzoną X na wielkość wyjściową Y . Idealna charakterystykę przetwarzania ma postać

$$Y=f(X)$$

- ◆ Przyrząd pomiarowy pracuje w określonych warunkach zewnętrznych. Wielkości fizyczne charakteryzujące te warunki noszą nazwę *wielkości wpływających*. Rzeczywista charakterystyka przetwarzania przyjmuje postać

$$Y=f(X, Z_1, \dots, Z_n)$$



Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

- ◆ Charakterystyka przetwarzania.

$$Y=f(X, Z_1, \dots, Z_n)$$

- ◆ nazwa przyrządu
- ◆ Zakres pomiarowy ($X_{min} - X_{max}$)
- ◆ Zakres częstotliwości ($f_{min} - f_{max}$)
- ◆ Czułość przyrządu
- ◆ Zdolność rozdzielcza
- ◆ Czas pomiaru
- ◆ Impedancja wejściowa
- ◆ Dokładność

Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

- ◆ **nazwa przyrządu**
określa:
 - Rodzaj mierzonej wielkości
 - Zasadę pomiaru
- ◆ **Zakres pomiarowy** ($X_{min} - X_{max}$)
jest określony przez graniczne wartości wielkości wejściowej, które mogą być wyznaczone z założoną dokładnością. Może pokrywać się z *zakresem wskazań*. Zwykle $X_{min} = 0$.
- ◆ **Zakres częstotliwości** ($f_{min} - f_{max}$)
przedział częstotliwości, dla których błędy wskazań nie przekraczają wartości granicznych

Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

- ◆ **Czułość przyrządu (sensitivity, S)**

$$S = \frac{dY}{dX}$$

lub

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

np. woltomierz ma charakterystykę (liniową) $\alpha=f(U)$ (α - wskazanie przyrządu w działkach) ma 75 działek na zakres pomiarowy 10V.
 $S_U = 7,5 \text{ dz/V}$

Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

◆ Zdolność rozdzielcza R

minimalna wartość lub minimalna różnica wartości mierzonej wywołująca rozróżnialną zmianę wskazań.
Przyjmuje się, że rozróżnialna zmiana wskazań dla przyrządów analogowych = 0,2 działki, dla przyrządów cyfrowych = zmianę jednostkową na najmniej znaczącej cyfrze pola odczytowego.

Przykład
miliamperomierz $I_z = 1 \text{ mA}$, 100 działek

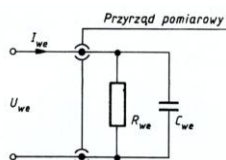
$$R = 0,002 \text{ mA}$$

Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

◆ Czas pomiaru

określa zdolność przyrządu do dokonywania pomiarów wielkości zmieniających się w funkcji czasu.
Czas pomiędzy zmianą wartości mierzonej a wykazaniem tej zmiany na wskaźniku

◆ Impedancja wejściowa



$$Z_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}}$$

Podstawowe parametry przyrządu pomiarowego

◆ Dokładność

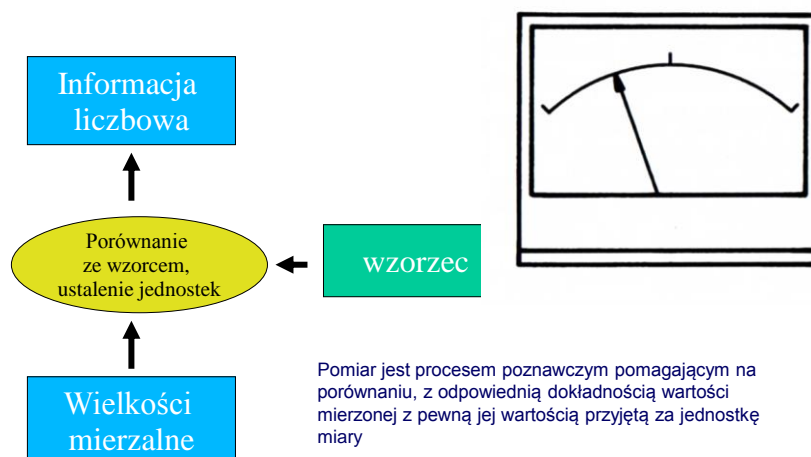
Określa stopień zbliżenia wskazania do prawdziwej wartości wielkości mierzonej. Określana jest w procentach ($t\%$), oznacza, że jeżeli przyrząd wskazuje wartość pomiarową X_m , to wartość mierzonej wielkości zawiera się w przedziale

$$\langle X_m(1-t), X_m(1+t) \rangle$$

Np. jeżeli mamy przyrząd o $t = 1\%$ to wynik pomiaru jest między $0,99X_m$ a $1,01X_m$

- ◆ **Klasa dokładności** – parametr produkcyjny określonego typu miernika, oznaczony zgodnie z PN.

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych



Etap analogowej techniki pomiarowej

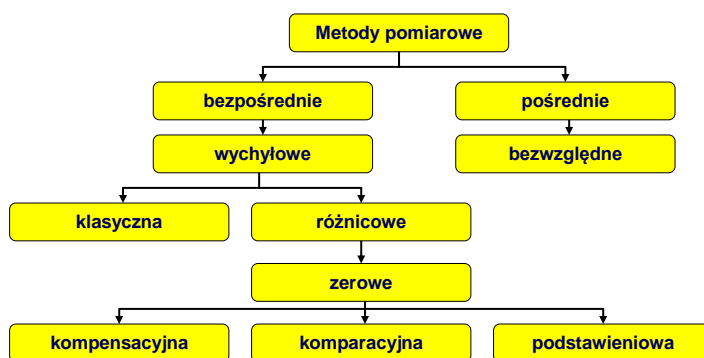
- ◆ Przyrząd pomiarowy – łańcuch przetworników. Pierwszy przetwornik tego łańcucha, nazywany **czujnikiem**, przetwarza wielkość mierzoną na sygnał elektryczny, który następnie jest przetwarzany, tak by na wyjściu ostatniego przetwornika treść informacyjna sygnału stała się ilościowo dostępna dla zmysłów człowieka.
- ◆ W miernikach wskazówkowych sygnałem wyjściowym jest przemieszczanie się wskazówki na tle podziałki przyrządu, co można ocenić w sposób ilościowy. Ten typ przyrządów nazywany jest analogowym. kwantyzacja sygnału pomiarowego wykonywana jest przez człowieka.

technika pomiarowa

technika pomiarowa

- **Zasada pomiaru** określa zjawisko fizyczne stanowiące podstawę pomiaru (np. zasada proporcjonalnego wydłużania słupka rtęci pod wpływem wzrostu temperatury.)
- **Sposób pomiaru** określa kolejność czynności koniecznych do wykonania pomiaru.
- **Metoda pomiarowa** - sposób postępowania przy porównaniu parametrów badanego zjawiska z wzorcem celem wyznaczenia wartości danej wielkości fizycznej.

metody pomiarowe



metody pomiarowe

Metody pomiarowe

- ◆ Pobieranie informacji pomiarowej } Ananalogowe
- ◆ Przetwarzanie informacji pomiarowej } Cyfrowe

Podstawowe metody pomiarowe

- ◆ **Metoda bezpośrednie**
Wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez konieczności wyliczania jej z wykorzystaniem zależności funkcjonalnej wielkości mierzonej od innych wielkości
- ◆ **Metoda pośrednie**
Wartość wielkości mierzonej oblicza się z wykorzystaniem zależności funkcjonalnej wielkości mierzonej od innych wielkości (pomiar energii poprzez pomiar napięcia, natężenia i czasu, gęstości na podstawie masy i objętości)

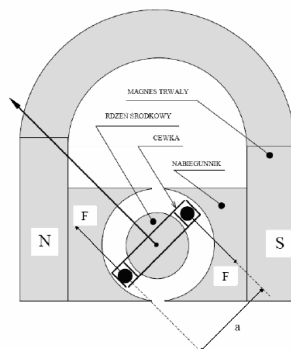
metody porównawcze

Metody bezpośrednie bazują na porównaniu wartości mierzonej ze znaną wartością tej samej wielkości (wielkością wzorcową).

- ◆ wychyłowa (bezpośredniego odczytu)
- ◆ różnicowa
- ◆ zerowa
- ◆ podstawieniowa

metody porównawcze

- ◆ **Metoda wychyłowa (bezpośredniego odczytu)**
Podczas pomiaru wzorzec wielkości mierzonej nie występuje bezpośrednio, natomiast przy produkcji narzędzia pomiarowego cały szereg wartości wzorcowych został wykorzystany do odpowiedniego wykonania podziałki (wzorcowanie podziałki).



metody porównawcze

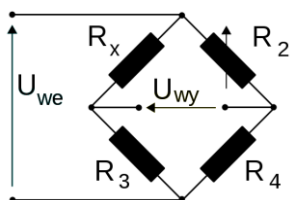
◆ Metoda różnicowa

w układzie pomiarowym występuje wzorzec wielkości o wartości zbliżonej do wartości mierzonej (np. jednowartościowy wzorzec nienastawialny). W tym przypadku bezpośrednio mierzy się różnicę obu wartości, a wynik pomiaru określa się następująco: $X = X_W + \Delta X$ (bezpośredniego odczytu)

metody porównawcze

◆ Metoda zerowa

metoda różnicowa, w której różnicę wartości wielkości mierzonej i znanej wartości tej samej wielkości z nią porównywanej sprowadza się do zera. Przykład - pomiar oporu elektrycznego za pomocą mostka Wheatstone'a i wskaźnika równowagi.

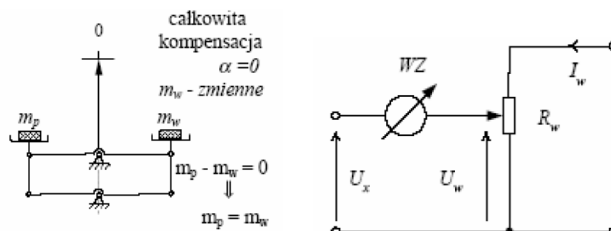


$$R_x \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

metody porównawcze

◆ **Metoda kompensacyjna**

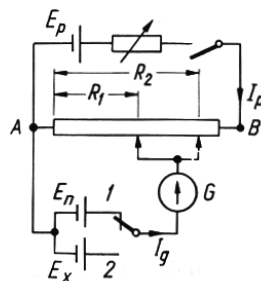
wielkość mierzona bezpośrednio wpływa na wskaźnik zera, dzięki temu w stanie zrównoważonego układu (w stanie kompensacji) ze źródła wielkości mierzonej nie jest pobierana energia



metody porównawcze

Kompensacyjny pomiar SEM

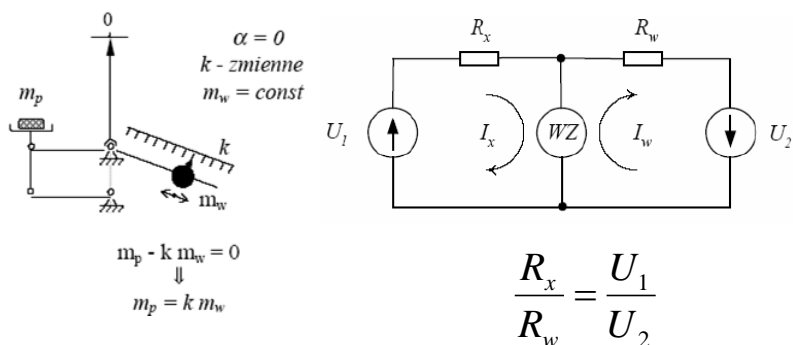
$$E_x = E_n \frac{R_2}{R_1}$$



metody porównawcze

◆ **Metoda komparacyjna.**

w procesie pomiarowym porównuje się bezpośrednio wielkość mierzoną X ze znaną wielokrotnością wielkości wzorcowej kX_w

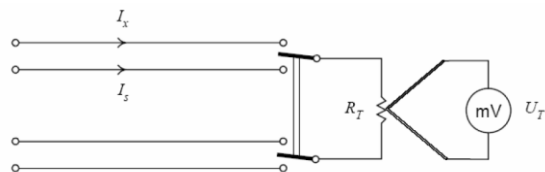


metody porównawcze

◆ **Metoda podstawieniowa**

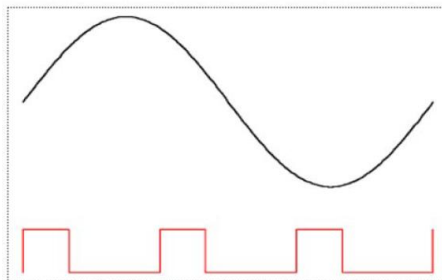
W układzie pomiarowym musi znajdować się wzorzec wielkości mierzonej o wartościach nastawianych w szerokich granicach. Podczas pomiaru wartość mierzoną X zastępuje się wartością wzorcową X_w , dobraną w taki sposób, aby skutki (np. odchylenia wskazówki miernika) wywołwane przez obie wartości były takie same, z czego wynika zależność: $X = X_w$.

- ◆ Metoda podstawieniowa jest metodą bardzo dokładną, praktycznie eliminuje błędy wprowadzane przez układ porównania



metody porównawcze

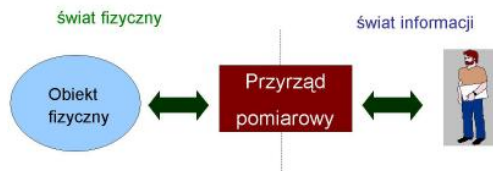
- ◆ **Metoda koincydencyjna**
polega na zaobserwowaniu zgodności (koincydencji) wskazań lub sygnałów odpowiadających wartości wielkości mierzonej i z nią porównywanej znanej wartości wielkości tego samego rodzaju



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Przyrządy pomiarowe

przyrządy pomiarowe



przyrządy pomiarowe

- ◆ przyrządy analogowe,
- ◆ przyrządy cyfrowe,
- ◆ przyrządy systemowe
- ◆ przyrządy wirtualne.

przyrządy pomiarowe

przyrządy pomiarowe

- ◆ przyrządy do pomiaru wielkości ciągłych (np. napięcia, prądu, rezystancji, pojemności, mocy, energii)
- ◆ przyrządy do pomiaru wielkości o charakterze ziarnistym (np. częstotliwość, okres)
- ◆ przyrządy do obserwacji i analizy sygnałów
 - ◆ Oscyloskopy
 - ◆ Analizatory widma
 - ◆ Analizatory sygnałów logicznych
- ◆ przyrządy do generacji wymuszeń w układach pomiarowych
 - ◆ Generatory
 - ◆ zasilacze

Przyrządy pomiarowe

przetworniki **pomiarowe**

- ◆ analogowo/analogowe
przetwarzają naturę fizyczną sygnału, co może oznaczać zarówno przetwarzanie wielkości nieelektrycznej na elektryczną jak i zmianę parametrów sygnału
- ◆ analogowo/cyfrowe
przetwarzają parametry amplitudowe i czasowe sygnału (kwantowanie i próbkowanie)
- ◆ Cyfrowo/analogowe
przetwarzają kod cyfrowy na odpowiadającą mu wartość napięcia lub prądu
- ◆ Cyfrowo/cyfrowe
przetwarzają dane, co może oznaczać np. zmianę struktury sygnału

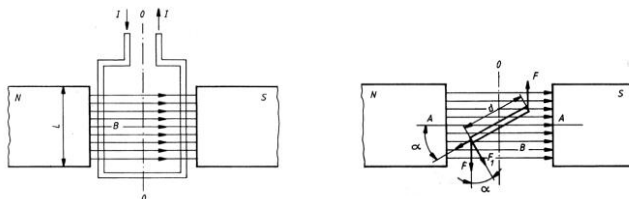
przyrządy pomiarowe

- ◆ **Przeznaczenie:**
 - ◆ Mierniki wskazówkowe i cyfrowe,
 - ◆ rejestratory,
 - ◆ liczniki
- ◆ **Wartość mierzona:**
 - ◆ woltomierze,
 - ◆ amperomierze,
 - ◆ omomierze itd.
- ◆ **Zasada działania:**
 - ◆ magnetoelektryczne,
 - ◆ elektrodynamiczne,
 - ◆ indukcyjne,
 - ◆ elektroniczne (analogowe i cyfrowe)

Analogowa technika pomiarowa

$$dF = dQvB \quad (\text{Prawo Biota-Savarta})$$

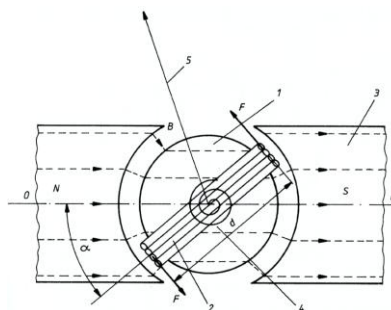
$$v = \frac{dL}{dt}, \quad I = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow dF = IdLB$$



$$M_n = F_1 d = BILd \cos \alpha = BIS \cos \alpha$$

$$M_n = BISZ \cos \alpha$$

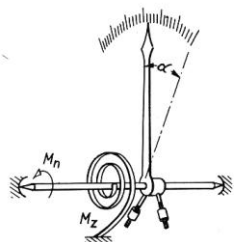
Analogowa technika pomiarowa



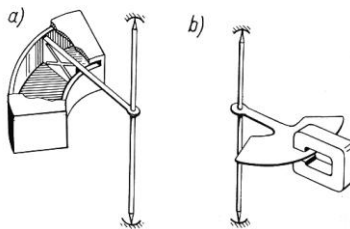
$$M_n = BISZ = k_n I \quad M_z = k_z \alpha$$

$$M_n = M_z \quad k_n I = k_z \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{k_n}{k_z} I = kI$$

Ustrój miernika



Zasada działania miernika wskazówkowego



konstrukcja tłumika powietrznego (a) i magnetycznego (b)

$$M_n = M_z \quad \alpha = \frac{1}{c_s} f(A)$$

◆ Czułość miernika – liczba działek podziałki przypadająca na jednostkę wielkości mierzonej

$$K = \frac{\alpha_m}{A_m}$$

◆ stała miernika c $c = \frac{A_m}{\alpha_m} = \frac{1}{K}$

stała podziałki c_p $c_p = \frac{A_m}{n}$

Przyrząd magnetoelektryczny

Siła działająca na jeden przewód

$$F = BIl$$

$$M_n = 2rFN = 2rBINl = c_1 I$$

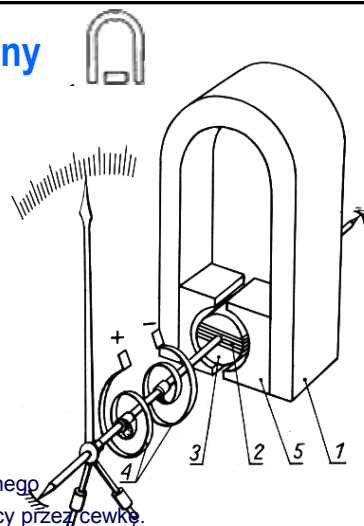
r - promień ramki

l – długość ramki

N – ilość zwojów

Podstawowe właściwości miernika magnetoelektrycznego

1. Miernik reaguje bezpośrednio na prąd przepływający przez cewkę.
2. Kierunek przepływającego prądu decyduje o kierunku ruchu organu ruchomego.
3. Podziałka jest liniowa
4. Miernik jest odporny na zakłócenia polami zewnętrznymi ze względu na bardzo dużą indukcję magnetyczną, którą można uzyskać w wąskiej szczelinie między rdzeniem i nabiegunkami.



Przyrząd elektromagnetyczny



Przyrząd elektromagnetyczny

- Jednordzeniowy
- Dwurdzeniowy

Energia pola wewnątrz cewki

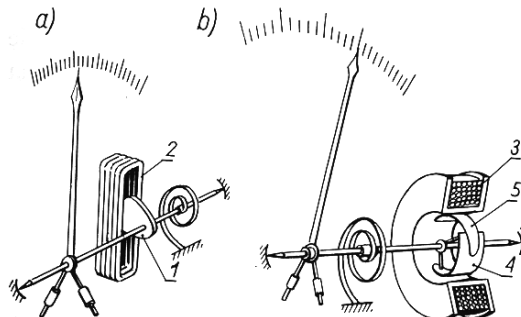
$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

$$M_n = \frac{dW}{d\alpha} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{d\alpha}$$

$$M_n = M_z$$

$$\alpha = cI^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

L – indukcyjność cewki



◆Charakteryzują się prostą i niezawodną konstrukcją (brak cewki ruchomej) lecz większym poborem mocy niż mierniki magnetoelektryczne.

◆Stosowane są do pomiarów prądu i napięcia małej częstotliwości (amperomierze do 1500 Hz, woltomierze do 1 kHz)

◆Skala miernika jest nieliniowa.

Przyrząd elektrodynamiczny



Energia pola

$$W = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} + M_{12} i_1 i_2$$

$$M_n = \frac{dW}{d\alpha}$$

przy zmianie położenia cewek ich indukcyjność się nie zmienia

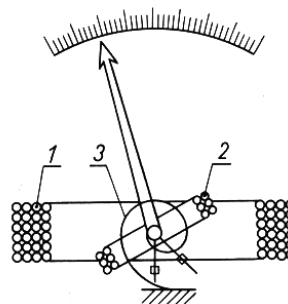
$$L_1, L_2 = const \quad \Rightarrow \quad dW = i_1 i_2 dM_{12}$$

$$M_n = i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad \alpha = c i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

dla prądu sinusoidalnego wzory powyższe dotyczą wartości chwilowych. Po scałkowaniu

$$\alpha = c I_1 I_2 \cos \varphi_{12} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

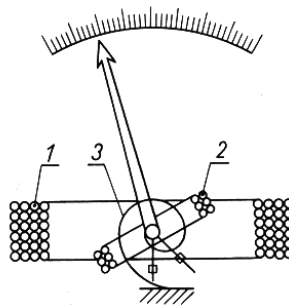
I_1, I_2 – wartości skuteczne,
 φ_{12} – przesunięcie fazowe między prądami



Przyrząd elektrodynamiczny










$$\alpha = c I_1 I_2 \cos \varphi_{12} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$









Ze względu na złożoną konstrukcję i duży pobór mocy stosowane są wyłącznie jako watomierze.

przyrządy pomiarowe

parametry

- ◆ Jednostka wielkości mierzonej
- ◆ Ustrój miernika (na następnym slajdzie)
- ◆ Rodzaj prądu (stały, zmienny)  
- ◆ Ustawienie przy pracy   
- ◆ Klasa dokładności: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5
- ◆ Napięcie probiercze 2 kV 
- ◆ Napięcie probiercze 500V 

przyrządy pomiarowe - ustrój miernika

Rodzaje przyrządu	Znak	Zasada konstrukcji	Najczęstsze zastosowanie	Rodzaj prądu
Magnetoelektryczne		magnes trwały i cewka ruchoma	galwanometry, amperomierze, woltomierze	stały
Magnetoelektryczne z prostownikiem		jak wyżej oraz prostownik	amperomierze, woltomierze	przebieenny
Magnetoelektryczne ilorazowe		magnes trwały i dwie cewki skrzyżowane	omomierze	stały
Elektromagnetyczne		stała cewka i ruchomy rdzeń z miękkiego żelaza	amperomierze, woltomierze	stały i przebieenny
Elektrodynamiczne		dwie cewki, jedna stała druga ruchoma	watomierze	stały i przebieenny
Indukcyjne		tarcza obracająca się pomiędzy elektromagnesami	liczniki energii elektrycznej	przebieenny

przyrządy pomiarowe – klasa dokładności miernika

Klasa dokładności k przyrządu jest granicznym błędem bezwzględnym wyrażonym w procentach długości zakresu.

$$k = \frac{\Delta_{max}x}{X_{max}} \cdot 100$$

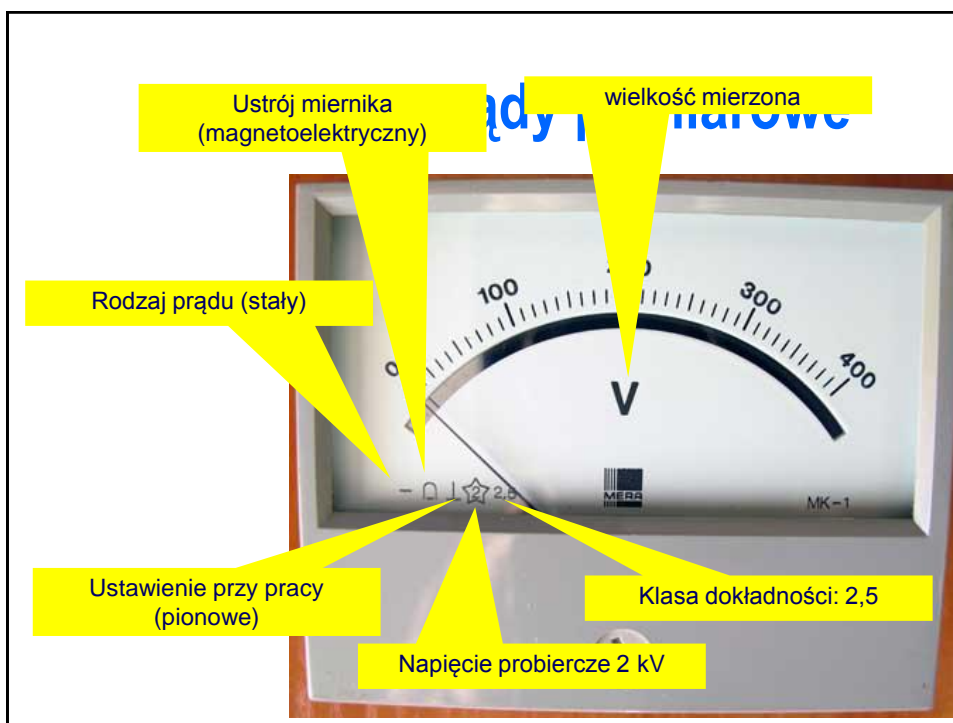
$\Delta_{max}x$ błąd bezwzględny
 X_{max} zakres miernika

Norma polska PN 84/E 06501 *Mierniki elektryczne analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory* ustala następujące klasy dokładności:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 ;5

Klasę dokładności podaje się na skali przyrządu.

- ◆ kl. 0,1 0,2 - Przyrządy wzorcowe
- ◆ kl. 0,5 - Przyrządy laboratoryjne
- ◆ kl. 1 1,5 - Przyrządy do pomiarów przemysłowych
- ◆ kl. 2,5 5 - Przyrządy orientacyjne (wskaźnikowe)



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

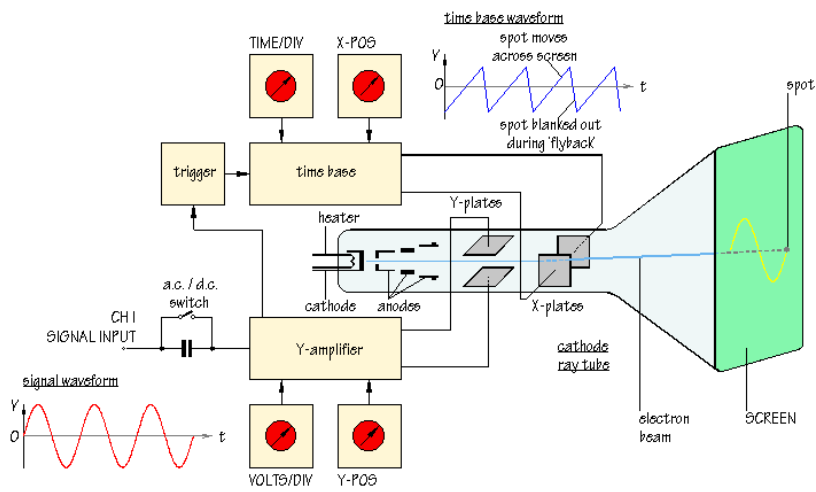
Warunki pomiaru

norma PN-92/E-06501/01 określa następujące tolerancje dla wielkości wpływających:

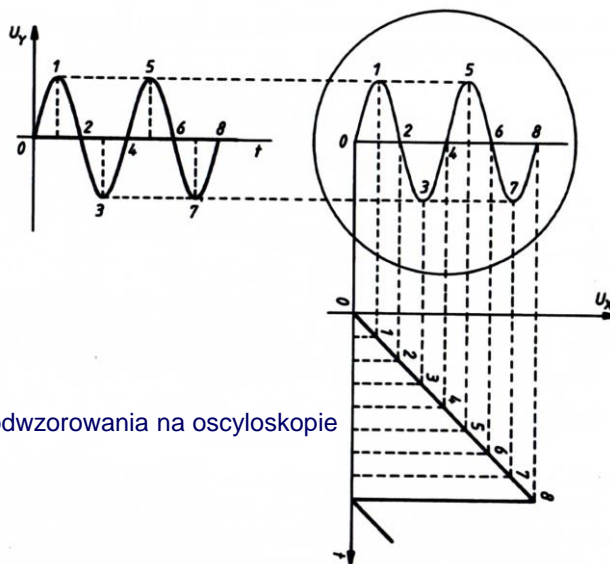
- ◆ temperatura otoczenia:
 - ◆ $23^{\circ}\text{C} \pm 10\text{C}$ dla przyrządów o wskaźniku klasy $\leq 0,3$
 - ◆ $23^{\circ}\text{C} \pm 20\text{C}$ dla przyrządów o wskaźniku klasy $\geq 0,5$
- ◆ wilgotność względna 40 - 60%
- ◆ pozycja pracy oznaczona(pozioma lub pionowa) $\pm 1^{\circ}$
- ◆ zewnętrzne pole magnetyczne: całkowity brak
- ◆ zewnętrzne pole elektryczne: całkowity brak

Oscyloskop katodowy

Przyrząd do obserwacji i rejestracji szybkozmiennych sygnałów oraz do pomiaru ich parametrów



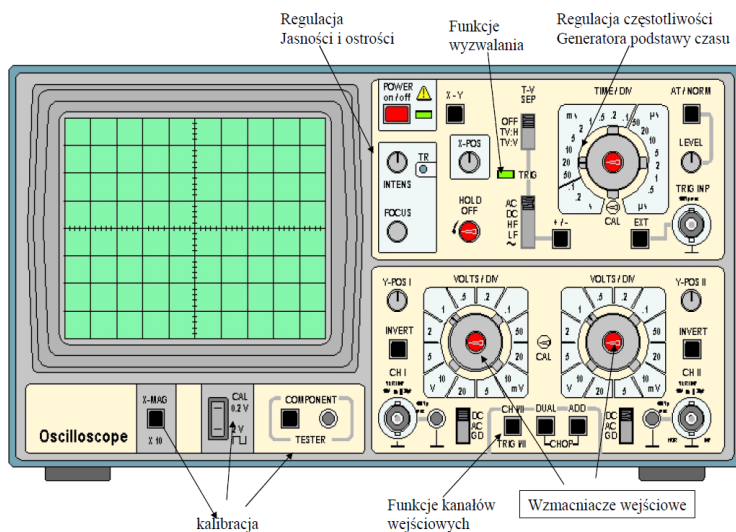
Oscyloskop katodowy



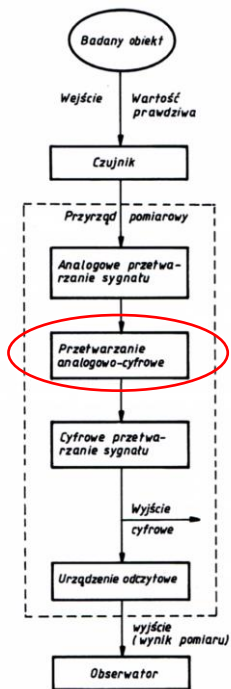
◆ Zasada odwzorowania na oscyloskopie

Oscyloskop katodowy

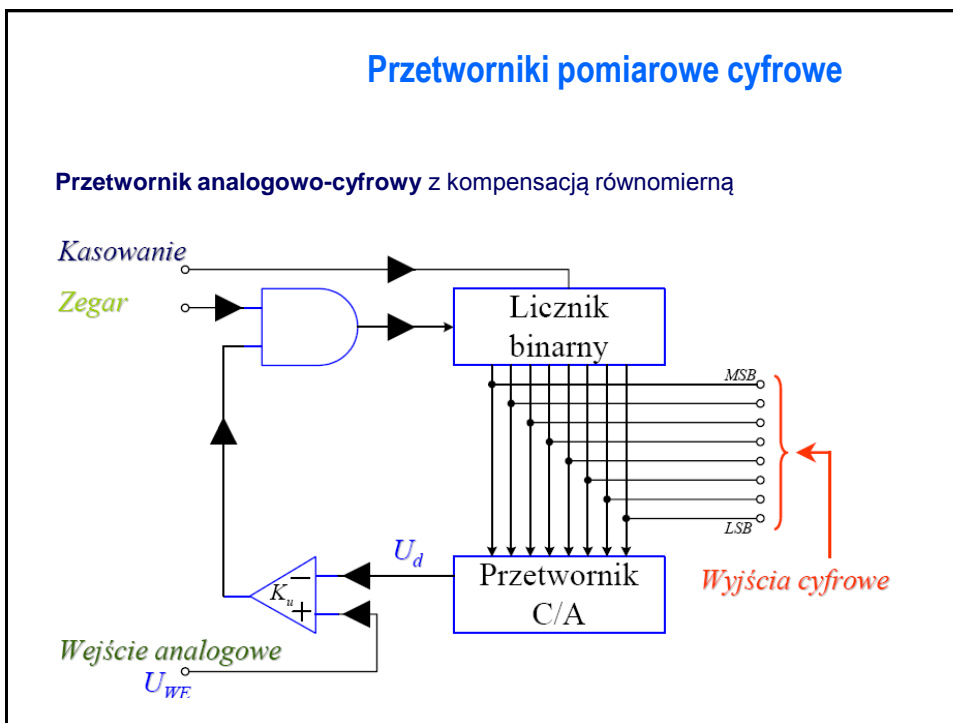
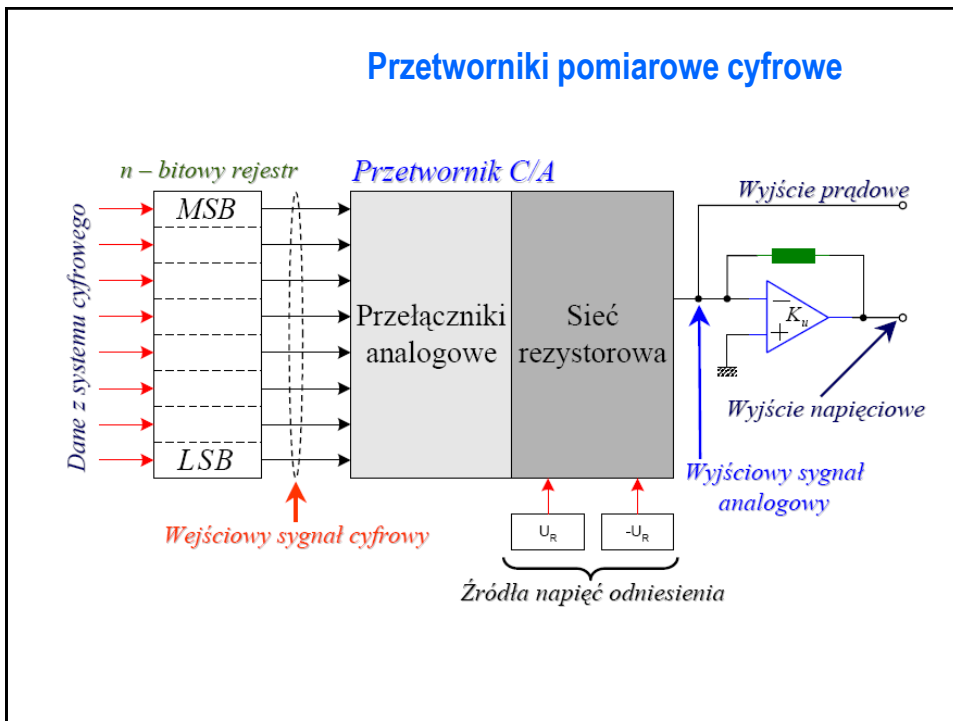
Przyrząd do obserwacji i rejestracji szybkozmiennych sygnałów oraz do pomiaru ich parametrów



Cyfrowa technika pomiarowa

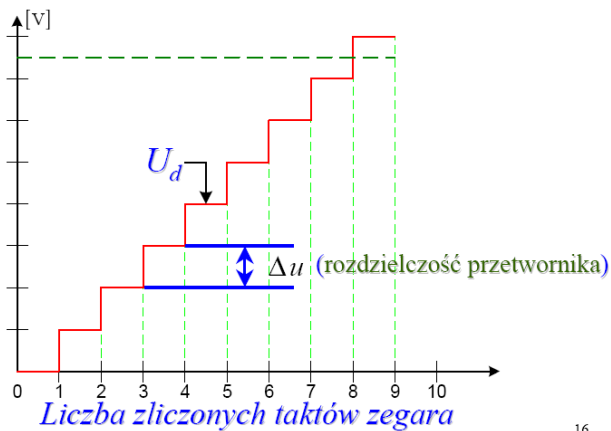


Ogólny schemat blokowy cyfrowego przyrządu pomiarowego



Przetworniki pomiarowe cyfrowe

Przetwornik analogowo-cyfrowy z kompensacją równomierną

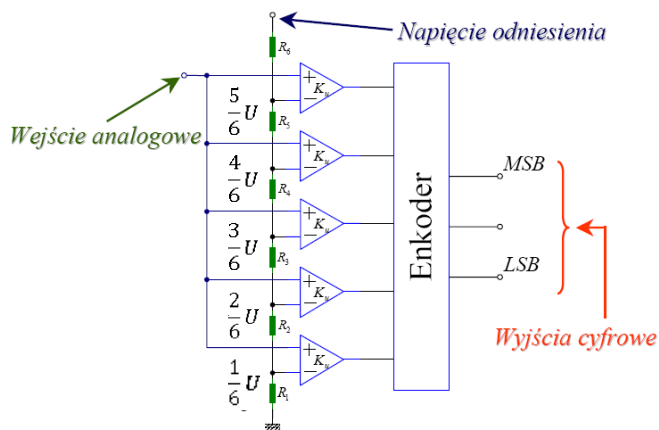


16

- Wada – długi czas przetwarzania i skomplikowany układ wytwarzania napięcia schodkowego

Przetworniki pomiarowe cyfrowe

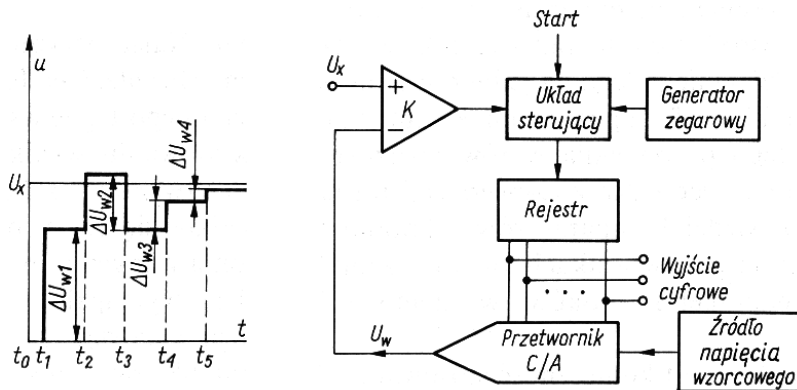
Przetworniki analogowo-cyfrowy z porównaniem równoległym (flash)



najszybsze – 20-100MHz

Przetworniki pomiarowe cyfrowe

Przetworniki analogowo-cyfrowy z kompensacją wagową

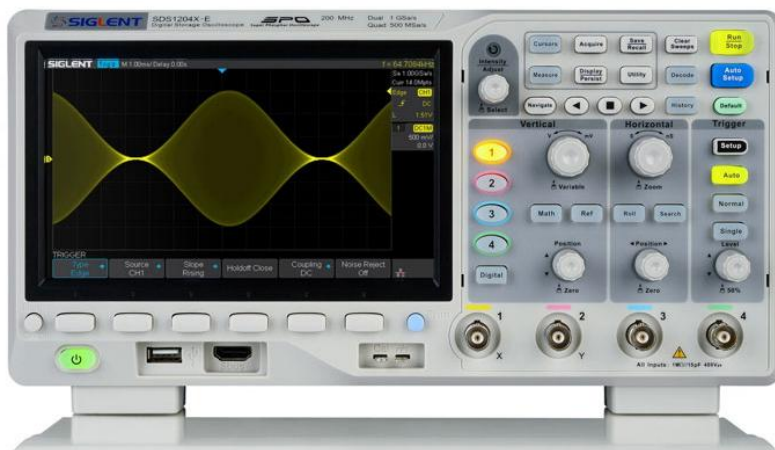


Własności- krótki czas przetwarzania 400ns – 20 μ s

Dokładne – błąd rzędu 0,001 – 0,05%

Przetworniki pomiarowe cyfrowe

Oscyloskop Cyfrowy

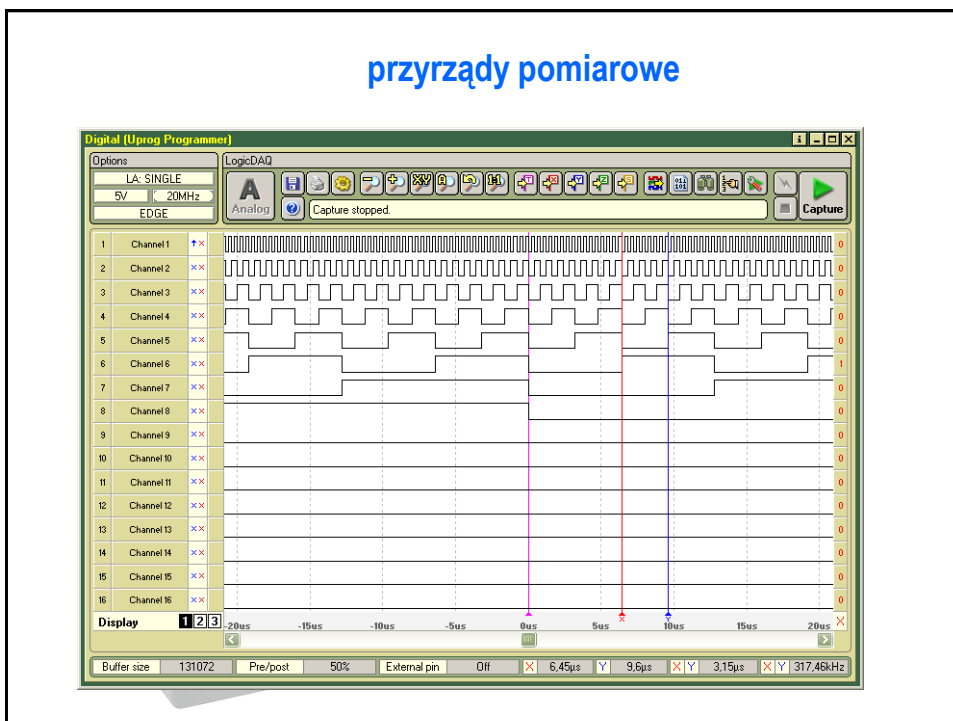


przrządy pomiarowe

przrządy pomiarowe - Analizatory widma



przrządy pomiarowe

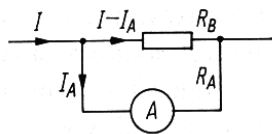


Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Metody pomiarów wielkości elektrycznych

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

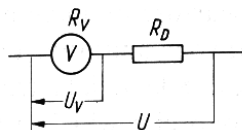
Amperomierz i woltomierz – zmiana zakresu



$$R_A I_A = R_B (I - I_A) = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} I$$

$$R_B = \frac{R_A}{n-1}$$

dla n-krotnego zwiększenia zakresu

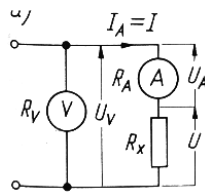


$$R_D = R_V (n-1)$$

Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Pomiar rezystancji $R > 1\Omega$

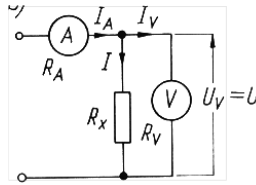
$$R_x = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$



• Pomiar rezystancji $R < 1\Omega$

$$R_V \gg R_x$$

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}$$

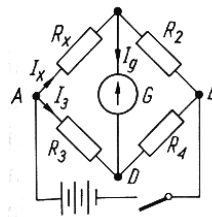


Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

MOSTEK Wheatstone'a

Pomiar rezystancji 1Ω do $10^6\Omega$

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

◆ Pomiar indukcyjności metodą techniczną

1. Napięcie stałe, mierzymy R cewki $R = \frac{U_1}{I_1}$

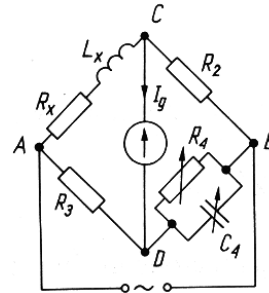
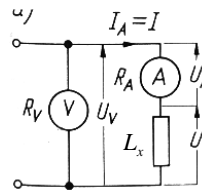
2. Napięcie sinusoidalne $Z = \frac{U_2}{I_2}$

3. $L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R^2}$

◆ Pomiar indukcyjności metoda mostkowa

Mostek Maxwell-Wiena

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

Pomiar indukcyjności metoda mostkowa
Mostek Maxwell-Wiena

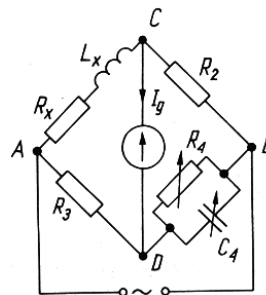
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x \quad Z_4 = \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}$$

Z warunku równowagi: $\frac{R_x + j\omega L_x}{R_2} = \frac{R_3}{\frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}}$

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_x = \frac{R_3 R_2}{R_4}$$

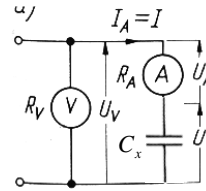
$$\frac{j\omega L_x}{R_2} = R_3 j\omega C_4 \Rightarrow L_x = R_2 R_3 C_4$$



Pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

- Pomiar pojemności metoda techniczna

$$C = \frac{I}{2\pi f U}$$



- Pomiar pojemności metoda mostkowa
Mostek de Sauty'ego
Mostek równoważy się przez zmianę C_n albo R₂ lub R₄

$$\frac{R_4}{j\omega C_x} = \frac{R_2}{j\omega C_n}$$

$$C_x = \frac{R_4}{R_2} C_n$$

