

## \*Wykład - obecność zalecana

Istota pomiaru: wielkości fizyczne i wartości wielkości, pomiar, wzorzec miary, hierarchia wzorców, spójność pomiarowa, skale pomiarowe, jednostki miar i układy jednostek, jednostki podstawowe i pochodne, układ jednostek SI.

Proces pomiarowy: pomiar, obiekt pomiaru, model obiektu, miara wielkości, warunki odniesienia, warunki znamionowe użytkowania.

Wybór metody i zasady pomiaru: metoda pomiarowa, zasada pomiarowa, klasyfikacja metod pomiarowych.

Ogólna charakterystyka przyrządów pomiarowych: schemat blokowy, równanie przetwarzania, statyczne i dynamiczne charakterystyki przyrządów pomiarowych.

Pomiar czasu i częstotliwości: sekunda, wzorce częstotliwości, zegar atomowy, częstociomierz i czasomierz cyfrowy, błąd zliczania, błąd dopuszczalny dla funkcji pomiaru częstotliwości i okresu.

Pomiar napięcia: wzorce napięcia, zjawisko Josephsona, konstrukcja przetworników c/a i a/c, charakterystyki i błędy przetworników c/a i a/c, kryterium Nyquista, zjawisko aliasingu. Karty pomiarowe. Systemy pomiarowe, oprogramowanie systemów pomiarowych, środowisko LabVIEW.

Pomiar napięcia zmiennego: miary okresowego napięcia przemiennego, przetworniki napięcia zmiennego na napięcie stałe. Oscyloskopy elektroniczne: oscyloskop analogowy, oscyloskop cyfrowy, próbkowanie stroboskopowe.

Pomiary składowych impedancji RLC: wzorce rezystancji, zjawisko kwantowe Halla, układy mostkowe, mostek Wheastone'a, mostki prądu przemiennego, cyfrowy pomiar składowych RLC.

Czujniki i metody pomiaru wybranych wielkości nieelektrycznych: temperatury, odkształcenia i siły, ciśnienia.

Prawne aspekty miar: Konwencja Metryczna, Międzynarodowe Biuro Miar i Wag, Generalna Konferencja Miar, GUM.

Istota pomiaru: wielkości fizyczne i wartości wielkości, pomiar, wzorzec miary, hierarchia wzorców, spójność pomiarowa, skale pomiarowe, jednostki miar i układy jednostek, jednostki podstawowe i pochodne, układ jednostek SI.

wielkości fizyczne - Jest to każda właściwość materii lub energii, która jest jednoznacznie zdefiniowana i ma ustalony wzorzec jednostki miary.

wartości wielkości - liczba i odniesienie wyrażające wielkość wielkości (liczba i jednostka)

pomiar - proces doświadczalnego wyznaczania wartości wielkości w określonych warunkach

wzorzec miary - ciało fizyczne odtwarzające jednostkę miary z określoną dokładnością

hierarchia wzorców - Struktura organizacyjna jednostek miary według ich dokładności, od wzorców pierwotnych do roboczych. *użytkowych*

1. **Wzorce pierwotne:** Najbardziej dokładne wzorce, będące podstawą systemu miar.
2. **Wzorce wtórne:** Skalibrowane względem wzorców pierwotnych, o nieco niższej dokładności.
3. **Wzorce odniesienia:** Używane do kalibracji wzorców roboczych, precyzyjne dla większości zastosowań.
4. **Wzorce robocze:** Stosowane na co dzień, regularnie kalibrowane względem wzorców odniesienia.
5. **Wzorce użytkowe:** Narzędzia pomiarowe używane bezpośrednio przez użytkowników w codziennych zadaniach.

spójność pomiarowa - Gwarancja, że wyniki pomiarów są zgodne i porównywalne na wszystkich poziomach hierarchii wzorców jednostek miary

skale pomiarowe - Uporządkowany zbiór liczb, którym odpowiadają stany danej wielkości fizycznej.

1. **Nominalna:** Kategorie bez porządku (np. kolory, płeć).
2. **Porządkowa:** Kategorie z określonym porządkiem (np. oceny, rangi).
3. **Interwałowa:** Równe odstęp między wartościami, bez absolutnego zera (np. temperatura w Celsjuszach).
4. **Ilorazowa:** Równe odstęp i absolutne zero (np. długość, masa).

Metryczna

jednostki miar – wielkość określona zdefiniowana i przyjęta umownie, z którą porównuje się inne wielkości tego samego rodzaju w celu ich ilościowego wyrażenia w stosunku do tej przyjętej umownie

układy jednostek – zbiór jednostek podstawowych i pochodnych

jednostki podstawowe i pochodne – jednostka obrana niezależnie i jednostka zdefiniowana za pomocą podstawowej i równań fizycznych

jednostki podstawowe układu SI:

#### Podstawowe jednostki miary i wzorce definicyjne tych jednostek

1. **Metr** jest to długość równa drodze, jaką przebywa w próżni światło w czasie  $1/299\,792\,458$  s. Definicja ta opiera się na ustaleniu, że prędkość światła w próżni wynosi dokładnie  $299\,792\,458$  m/s. Do odtwarzania jednostki miary można używać promieniowania o różnej długości fali. Nowa definicja obowiązuje od 1983 r. i umożliwia zmniejszenie niedokładności miary dziesięciokrotnie<sup>1)</sup>.
2. **Kilogram** jest masą międzynarodowego wzorca przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar w Sévres pod Paryżem. Wzorzec, wykonany ze stopu platynowo-irydowego, zapewnia odtwarzanie z niedokładnością poniżej  $2 \cdot 10^{-8}$ .
3. **Sekunda** jest trwaniem  $9\,192\,631\,770$  okresów promieniowania, odpowiadającego przejściu między dwoma poziomami nadsubtelnymi podstawowego stanu atomu cezu 133. Wzorcem jest zegar atomowy o niedokładności rzędu  $10^{-12}$ .
4. **Amper** jest natężeniem prądu elektrycznego nie zmieniającego się, który płynąc w dwóch równoległych prostoliniowych, nieskończenie długich przewodach o znikomym przekroju okrągłym, umieszczonych w próżni w odległości 1 m jeden od drugiego, wywołuje siłę między przewodami  $2 \cdot 10^{-7}$  N na każdy metr długości. Wzorcem jest waga prądowa, za pomocą której mierzy się siłę między dwiema cewkami. Zastąpienie przewodów prostoliniowych cewkami jest podyktowane względami praktycznymi, przy czym dla cewek wprowadza się poprawki ustalone w drodze teoretycznej. Niedokładność wzorca wynosi ok.  $10^{-5}$ .
5. **Kelwin** jest  $1/273,16$  częścią temperatury punktu potrójnego wody. Jest to definicja jednostki miary temperatury termodynamicznej, której punkt początkowy wynosi 0 K.

-wynosi 0 K.

6. **Kandela** jest natężeniem światła (w określonym kierunku) źródła, które emituje monochromatyczne promieniowanie o częstotliwości  $540 \cdot 10^{12}$  Hz i które ma natężenie promieniowania w tym kierunku równe  $1/683$  W/sr. Wzorcem jest ciało spełniające warunki podane w definicji. Niedokładność odtwarzania tej jednostki jest rzędu  $10^{-3}$ . Powyższa definicja kandelii obowiązuje od 1979 r.
7. **Mol** jest ilością substancji układu, zawierającego liczbę cząsteczek lub cząstek równą liczbie atomów zawartych w 0,012 kg dokładnie czystego nuklidu węgla  $^{12}\text{C}$ . Wymiarem tej jednostki jest niemianowana liczba naturalna [N].

układ jednostek SI – Uchwalony w 1960 roku przez Generalną Konferencję Miar i Wag. Układ ten obejmuje wszystkie dziedziny nauki i techniki i zawiera siedem podstawowych jednostek:

- Długości [metr]
- Masy [kilogram]
- Czasu [sekunda]
- Natężenia prądu [amper]
- Temperatury [kelwin]
- Światłości [kandela]
- Ilości materii [mol]

*Wymiar jednostki - określa rodzaj wielkości fizycznej, np.: długość czy masa, nie zależnie od konkretnej jednostki*

Układ zawiera też szereg jednostek pochodnych wyrażonych za pomocą powyższych jednostek podstawowych

**Proces pomiarowy: pomiar, obiekt pomiaru, model obiektu, miara wielkości, warunki odniesienia, warunki znamionowe użytkowania.**

**Pomiar** - proces doświadczalnego wyznaczania wartości wielkości w określonych warunkach, jest procesem polegającym na porównaniu (z odpowiednią dokładnością) wielkości mierzonej z wartością tej wielkości przyjętą za jednostkę miary

**obiekt pomiaru** - Element, którego wielkości fizyczne są mierzone w procesie pomiarowym

**model obiektu** - Abstrakcyjne odwzorowanie rzeczywistego obiektu w procesie pomiarowym

**miara wielkości** - Wartość liczbowa przypisana mierzonej wielkości fizycznej w procesie pomiarowym

**warunki odniesienia** - Standardowe warunki, w których przeprowadzane są pomiary w celu zapewnienia ich spójności i porównywalności

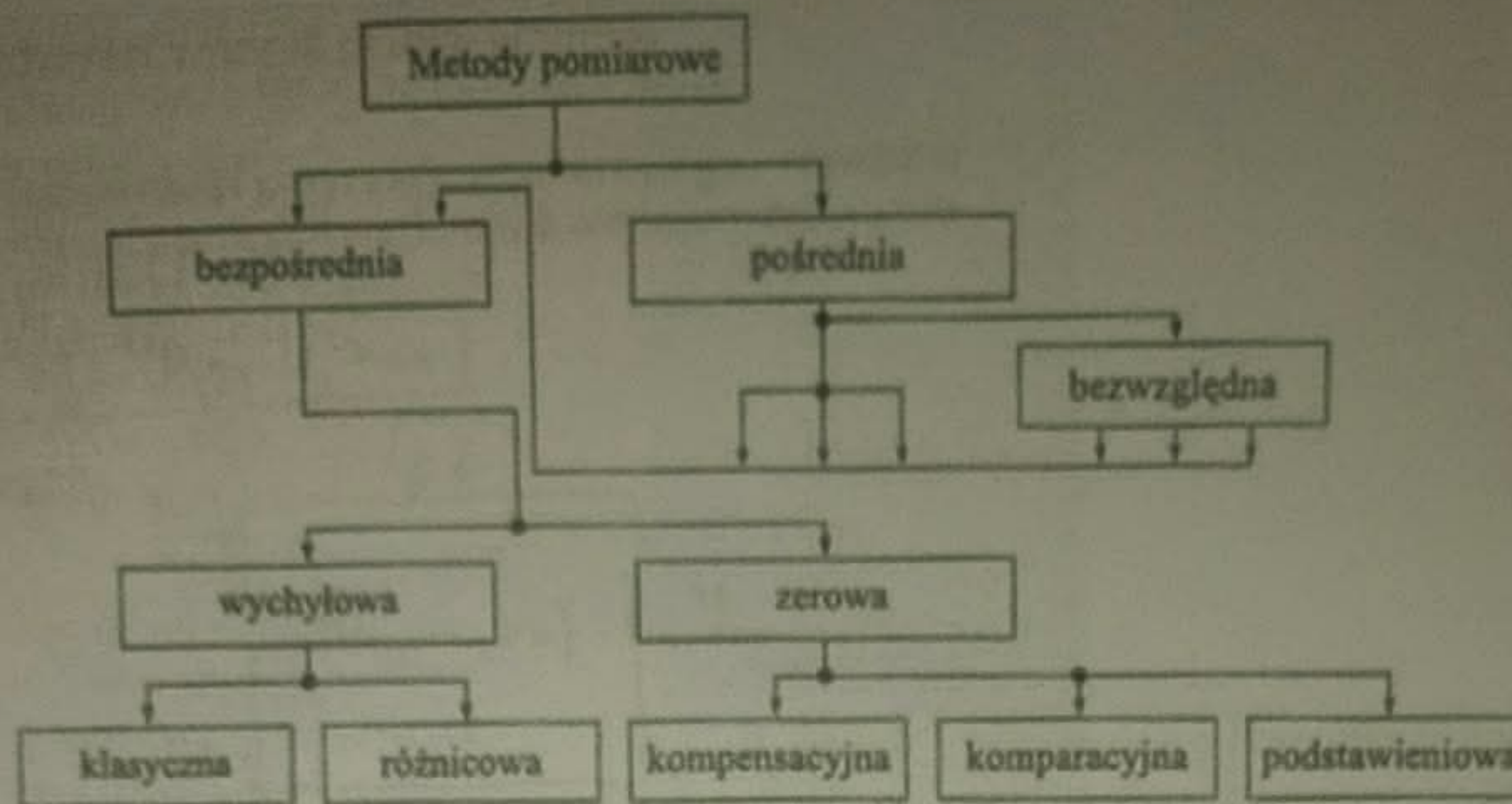
**warunki znamionowe użytkowania** - Specyficzne warunki, w których urządzenie pomiarowe jest zaprojektowane do pracy

**Wybór metody i zasady pomiaru: metoda pomiarowa, zasada pomiarowa, klasyfikacja metod pomiarowych.**

**Metoda pomiaru** – sposób porównywania wielkości zmierzonej z wielkością wzorową, niezależna od rodzaju wielkości

**Zasada pomiarowa** – zjawiska fizyczne wykorzystywane w przyrządzie pomiarowym

**Klasyfikacja metod pomiarowych:**



Rys. 1.4. Klasyfikacja metod pomiarowych

1. **Metoda pośrednia:** Pomiar wielkości na podstawie innych wielkości powiązanych znaną zależnością.
2. **Metoda bezwzględna:** Pośrednia metoda, gdzie równanie jest definicją wielkości mierzonej.
3. **Metoda bezpośrednia:** Wielkość mierzona i wzorcowa są tego samego rodzaju; wynik podany bezpośrednio.
- **Metoda wychyłowa:** Mierzenie wartości na podstawie skali przyrządu.
- **Metoda różnicowa:** Mierzenie różnicy między wielkością mierzoną a znaną wartością.
- **Metoda zerowa:** Doprowadzanie różnicy między wielkością mierzoną a wzorcową do zera.
4. **Metoda kompensacyjna:** Porównanie wielkości mierzonej z wzorcową, eliminując pobór energii.
5. **Metoda komparacyjna:** Porównanie wielkości mierzonej z wzorcową za pomocą dodatkowego zbioru liczbowego.
6. **Metoda podstawieniowa:** Nierównoczesne porównanie wielkości mierzonej z wzorcową, analizując zależne zjawisko.

7. *Metoda koincydencyjna - badana wielkość jest porównywana ze wzorcem tak, by ich różnica była zerowa, co umożliwia dokładne pomiary*

Ogólna charakterystyka przyrządów pomiarowych: schemat blokowy, równanie przetwarzania, statyczne i dynamiczne charakterystyki przyrządów pomiarowych.

Rodzaje:

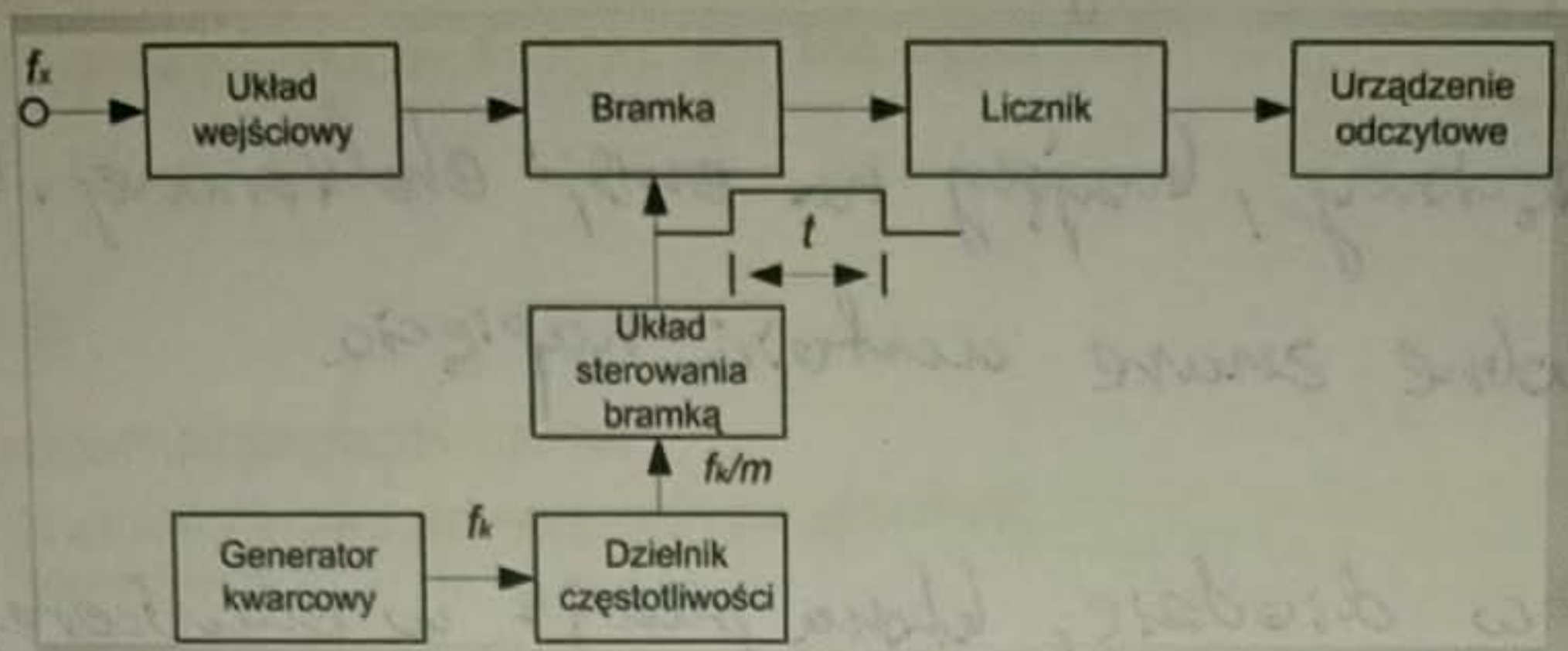
- Przetwornik pomiarowy – urządzenie przetwarzające jedną wielkość fizyczną w inne
- Czujnik pomiarowy – wielkość wejściowa to wielkość mierzona (sensor)
- System pomiarowy – zbiór przyrządów pomiarowych, urządzeń, algorytmów, itp.

**Narzędzia pomiarowe** - środki techniczne do wykonywania pomiarów  
Dzielimy je na:

1. **wzorce (etalony)** - ciała fizyczne (przyrządy lub układy pomiarowe) służące do odtwarzania jednostki miary z określoną dokładnością i wykorzystywane jako odniesienie,
2. **przyrządy pomiarowe** - urządzenia przeznaczone do wykonywania pomiarów,
3. **przybory pomiarowe** - urządzenia ułatwiające wykonywanie czynności pomiarowych (np. kable, rurki, stojaki, itp.)

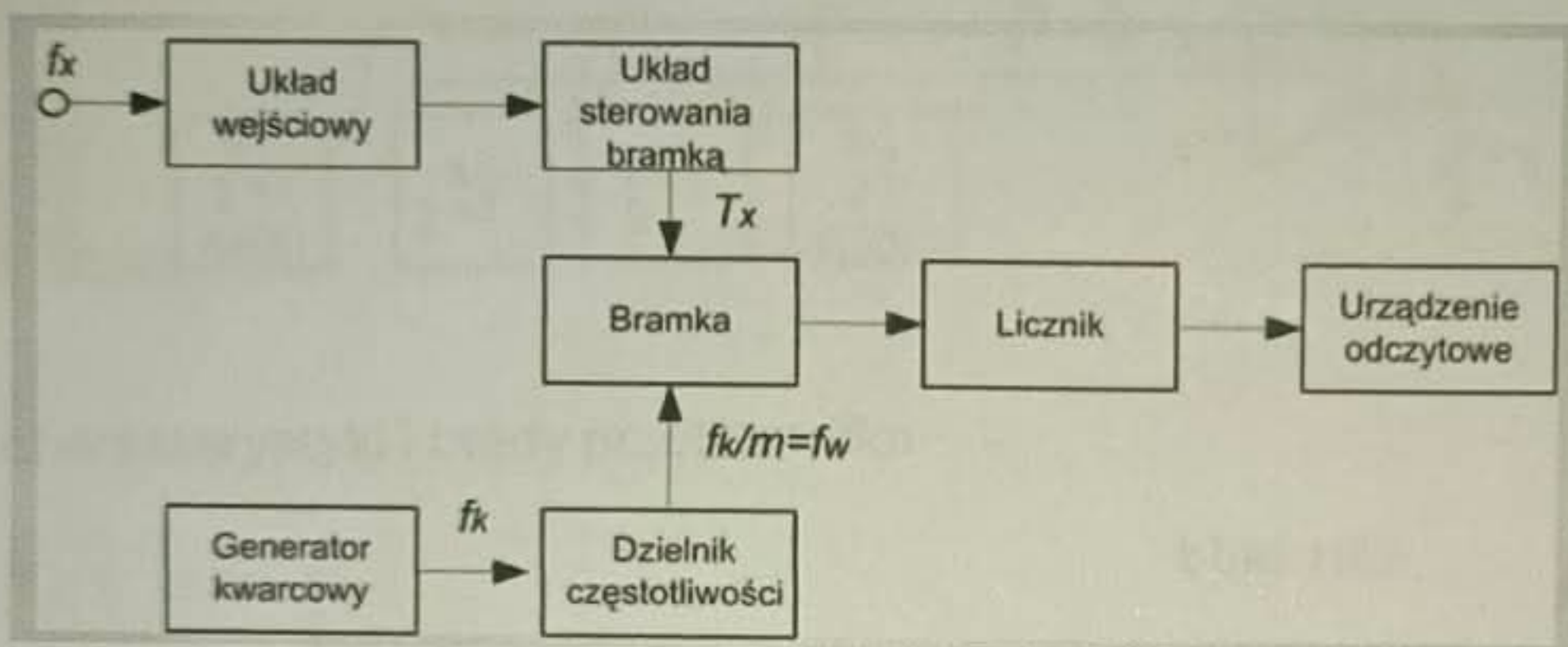


częstościomierz cyfrowy - Mierzy częstotliwość sygnału, zliczając ilość cykli sygnału w określonym czasie



$$f = \frac{n}{T} - \text{wznanie}$$

czasomierz cyfrowy - Mierzy czas trwania zdarzenia, zliczając ilość impulsów zegarowych między początkiem a końcem zdarzenia



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

błąd zliczania – wartość mierzona nie jest dokładnie całkowita / nie jest całkowitą wielokrotnością okresu zegara, prowadzi to do niedokładnego pomiaru (imaczej błąd kwantowania)

błąd dopuszczalny dla funkcji pomiaru częstotliwości i okresu –

**Błąd dopuszczalny (bezwzględny) dla funkcji pomiaru częstotliwości**

$\pm$  jednostka kwantyzacji  $\pm$  błąd podstawy czasu (względny) · częstotliwość wskazywana

---

**Błąd dopuszczalny (bezwzględny) dla funkcji pomiaru okresu**

$\pm$  jednostka kwantyzacji  $\pm \frac{\sqrt{2} \cdot \text{błąd wyzwalania}}{n}$   
 $\pm$  błąd podstawy czasu (względny) · okres wskazywany

n - liczba okresów sygnału badanego w trakcie którego trwał pomiar, zazwyczaj n=1; n=100; n=1000

$$\text{błąd wyzwalania} = \frac{\sqrt{e_p^2 + e_s^2}}{s}$$

$e_p$  - poziom szumu własnego przyrządu (np. 100μV)  
 $e_s$  - poziom szumu sygnału badanego (np. 100μV)  
s - szybkość narastania napięcia sygnału badanego wyrażona w μV/s

Pomiar napięcia: wzorce napięcia, zjawisko Josephsona, konstrukcja przetworników c/a i a/c, charakterystyki i błędy przetworników c/a i a/c, kryterium Nyquista, zjawisko aliasingu. Karty pomiarowe. Systemy pomiarowe, oprogramowanie systemów pomiarowych, środowisko LabVIEW.

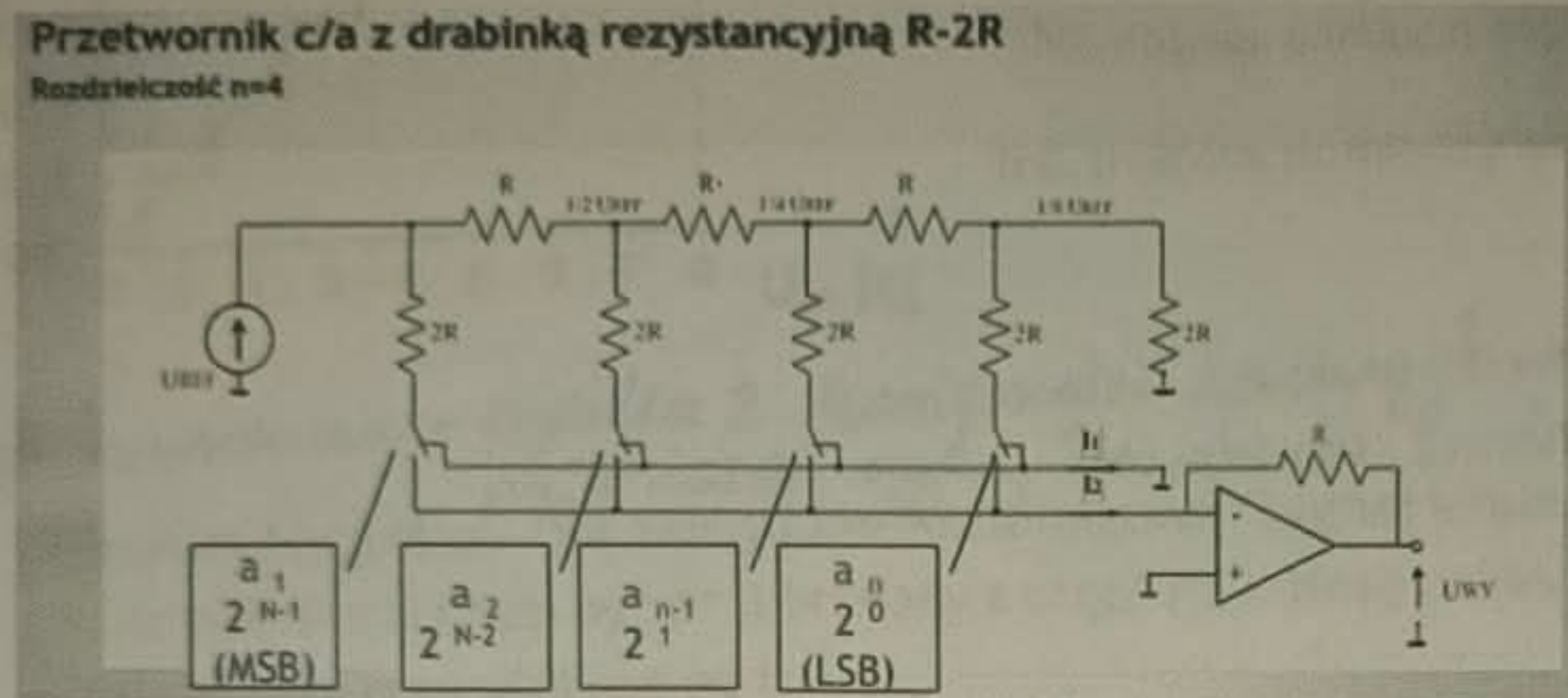
wzorce napięcia – złącze Josephsona, ogniwo Westona, złącze Zenera

zjawisko Josephsona - Po między dwoma półprzewodnikami, które w warunkach pracy stają się nadprzewodnikami, znajduje się cienka warstwa izolacyjna (tlenku metalu). Złącze umieszcza się w temperaturze ciekłego helu  $T < 3K$ , w polu mikrofalowym (10 do 100 GHz). Charakterystyka V-I jest schodkowy, każdy z nich ma wysokość:

$$U_n = n f \frac{h}{2e}$$

c/a

konstrukcja przetwornika



$n$  - liczba bitów

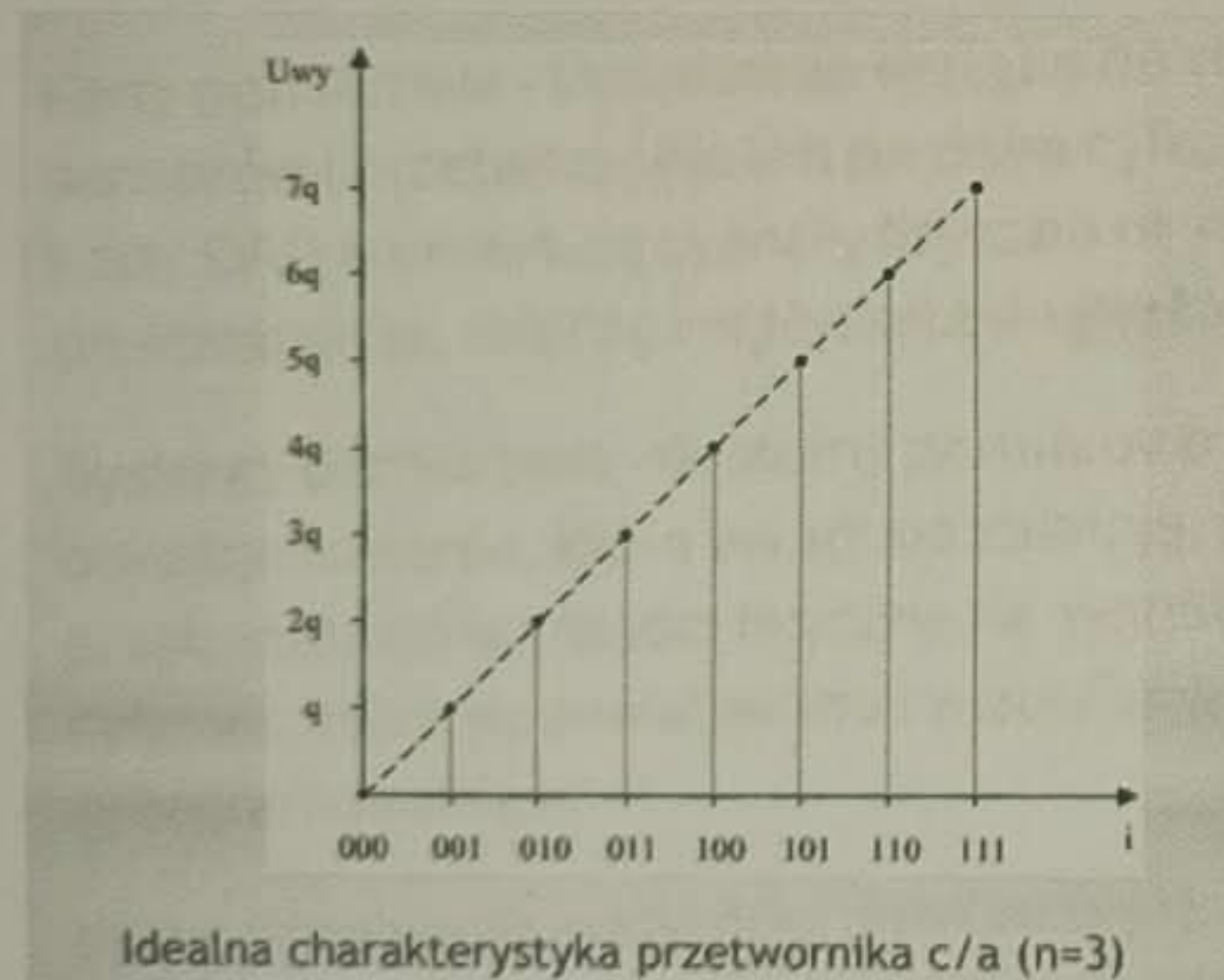
$$q = \frac{U_{odn}}{2^n}$$

$q$  - kwant

$U_{wy} = i \cdot q$  - kolejne napięcia - równanie przetwarzania

$U_{max} = U_{odn} - q$  - max. napięcie

charakterystyki i błędy przetwornika



błąd zera

błąd skalowania (wzmocnienia)

DNL (różnica pomiędzy kolejnymi skokami a skokiem rzeczywistym ( $q$ ))

INL (różnica pomiędzy wartością rzeczywistą a idealną)

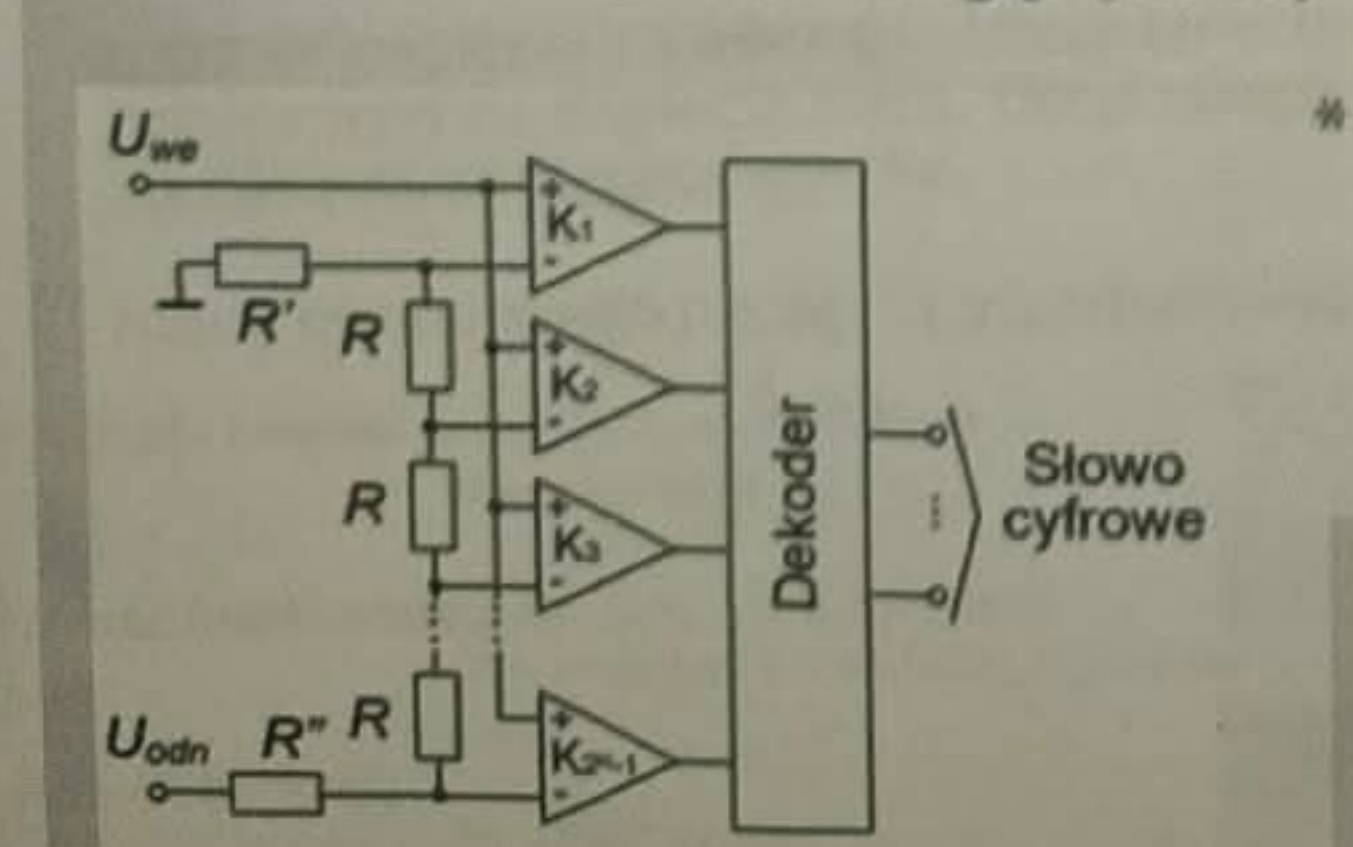
Błąd monotoniczności - przy np. zmianie z 011 na 100

Błąd czasu ustalania - dopuszczalny to  $\pm 0,5 \cdot q$

a/c

konstrukcja przetwornika

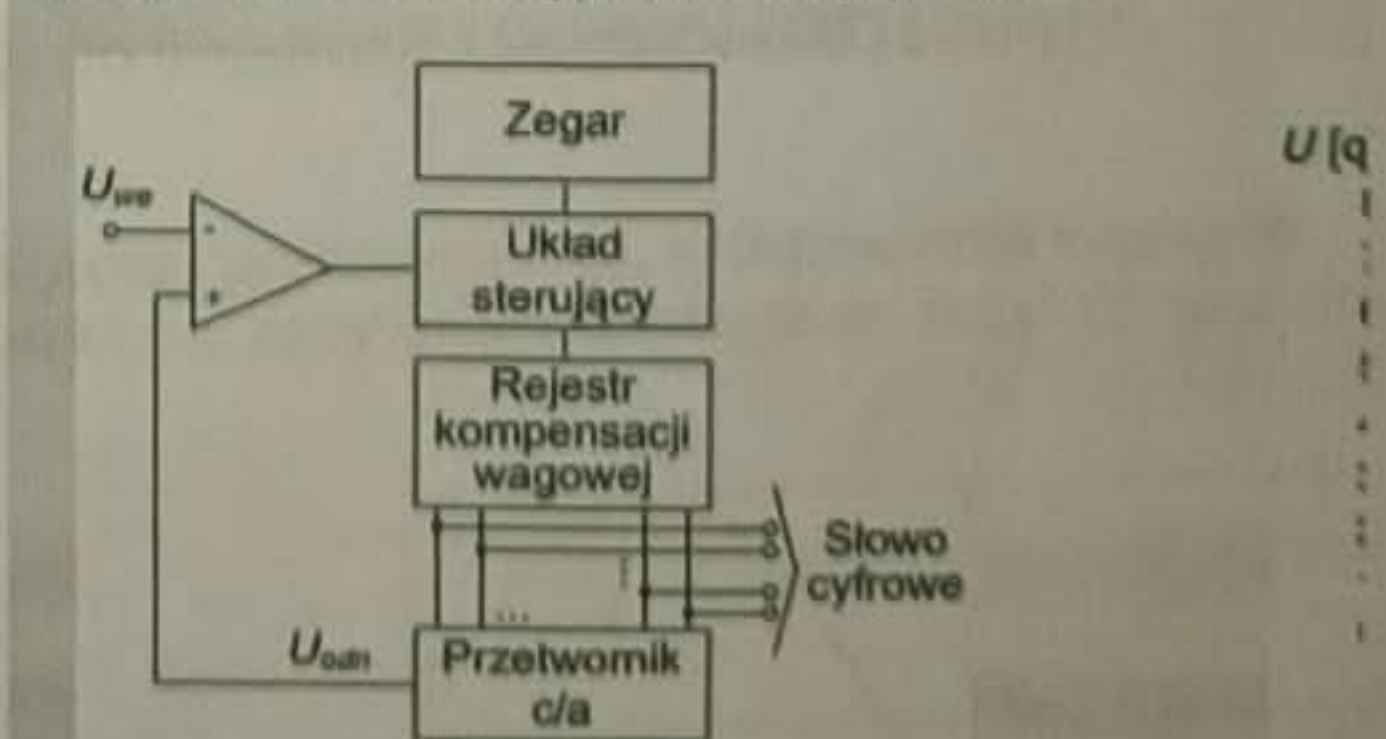
**Przetwornik a/c równoległy (flash)**



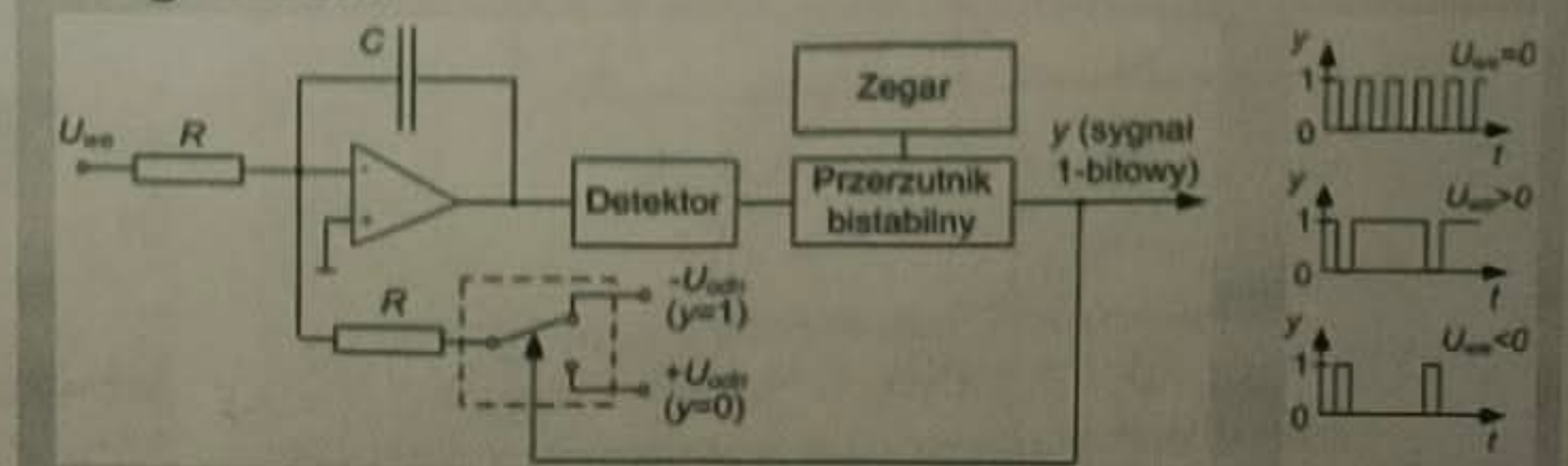
Brak wpływu zmiany rezystancji na czas przetwarzania. Pomocne podwojenie liczby rezystorów, podwyższenie jego wartości podob

**Przetwornik a/c z kompensacją wagową (SAR)**

Przetworniki charakteryzują się rozdzielczością od 12 do 16 bitów i częstotliwością próbkowania do 5 MHz.



**Sigma/delta**



Możliwość zmiany rezystancji w czasie przetwarzania. Dużo słabsze oszacowanie czasu przetwarzania

Flash - 6/8 bitów

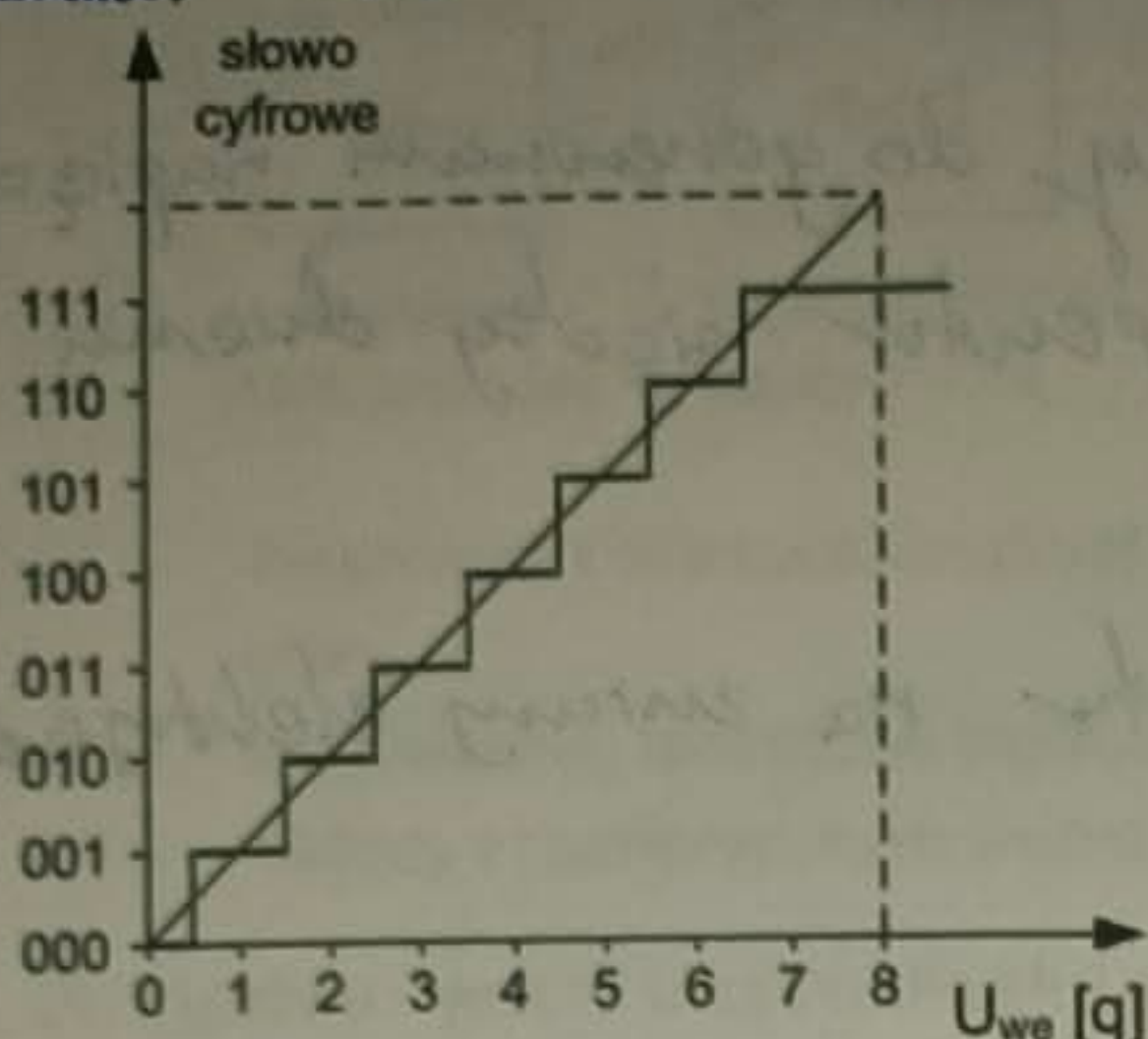
SAR - 12-16 bitów

Sigma/delta - do 24bitów

Max. częst. próbkowania: 1GHz

5MHz

kilka Hz



$$i = \frac{U_{we}}{q} - \text{równanie przetwarzania}$$

charakterystyki i błędy przetwornika

Błąd zera

błąd skalowania (wzmocnienia)

DNL (różnica pomiędzy napięciami w kolejnych przejściach a q)

INL (różnica pomiędzy wartością rzeczywistą a idealną)

*Błąd kwantyzacji - wynika z konieczności zaokrąglenia napięcia wejściowego do najbliższej cyfry. Prowadzi do zniekształcenia sygnału i redukcji dokładności.*

kryterium Nyquista - (tw. Shannona-Kotelnikowa) Sygnał sinusoidalny o częstotliwości  $f_x$  musi być próbkowany z częstotliwością próbkowania  $f_p$  co najmniej dwa razy większą od  $f_x$

$$f_D > 2 f_x$$

zjawisko aliasingu - zachodzi gdy nie jest spełnione kryterium Nyquista, prowadzi do nakładania się częstotliwości i zniekształcenia oryginalnego sygnału

Karty pomiarowe - Urządzenia służące do zbierania danych analogowych i cyfrowych z różnych sensorów i przetwarzania ich na dane cyfrowe, które mogą być analizowane przez komputer.

Karty DAQ konwertują sygnały fizyczne na sygnały cyfrowe, umożliwiając ich dalsze przetwarzanie, analizę i wyświetlanie. ~~DAQ~~ DAQ - data acquisition

Systemy pomiarowe - Systemy pomiarowe składają się z czujników, karty, komputera i oprogramowania, które wspólnie zbierają, przetwarzają i analizują dane pomiarowe. Czujniki przekształcają wielkości fizyczne na sygnały elektryczne, karta DAQ konwertuje je na dane cyfrowe, które są analizowane i wizualizowane przez komputer z odpowiednim oprogramowaniem

oprogramowanie systemów pomiarowych - umożliwia konfigurację i sterowanie procesem pomiarowym oraz analizę danych, daje możliwość zbierania i interpretacji pomiarów

środowisko LabVIEW - zaawansowane środowisko do tworzenia aplikacji pomiarowych i sterowania, które wykorzystuje graficzny interfejs do integracji z kartami DAQ i innymi urządzeniami pomiarowymi

**Pomiar napięcia zmiennego: miary okresowego napięcia przemiennego, przetworniki napięcia zmiennego na napięcie stałe. Oscyloskopy elektroniczne: oscyloskop analogowy, oscyloskop cyfrowy, próbkowanie stroboskopowe.**

miary okresowego napięcia przemiennego:

Amplituda (wartość szczytowa, maksymalna)

$$U_m = \max|u(t)|$$

Wartość międzyszczytowa (ang. peak-to-peak):

$$U_{pp} = \max|u(t)| - \min|u(t)|; U_{pp} = 2 U_m$$

Wartość średnia:

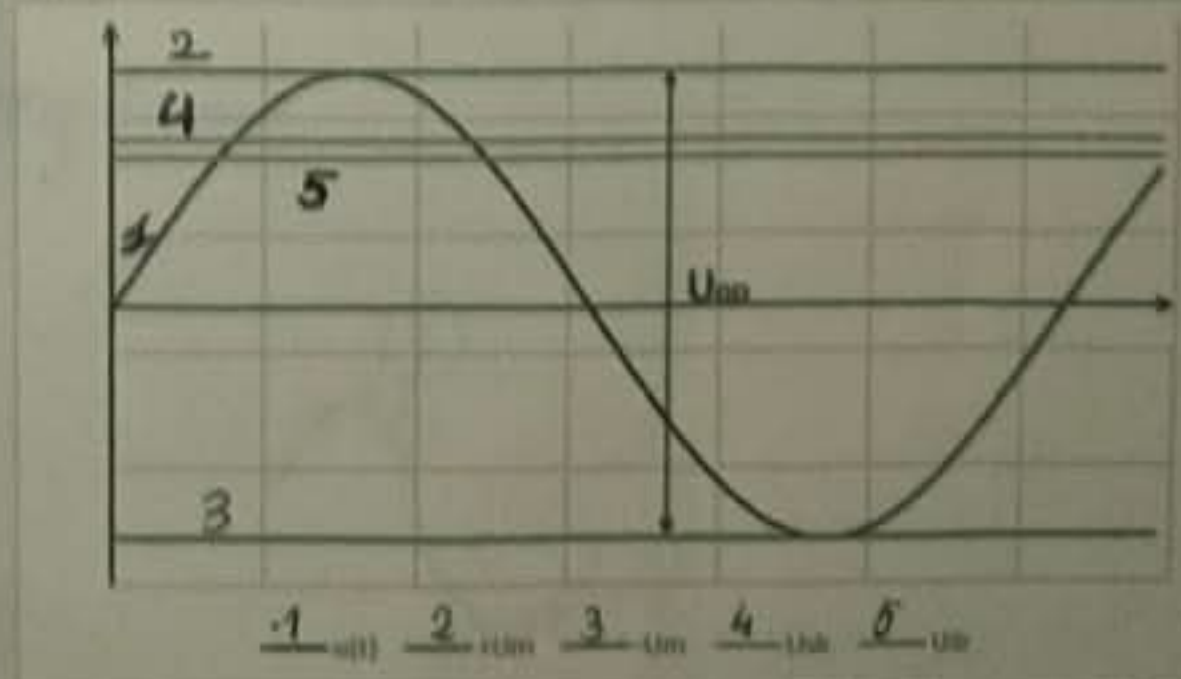
$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Wartość średnia napięcia wyprostowanego:

$$U_{br} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt; U_{br} = \frac{2}{\pi} U_m$$

Wartość skuteczna napięcia (wartość średniokwadratowa przebiegu, ang. RMS: Root-Mean-Square):

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}; U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

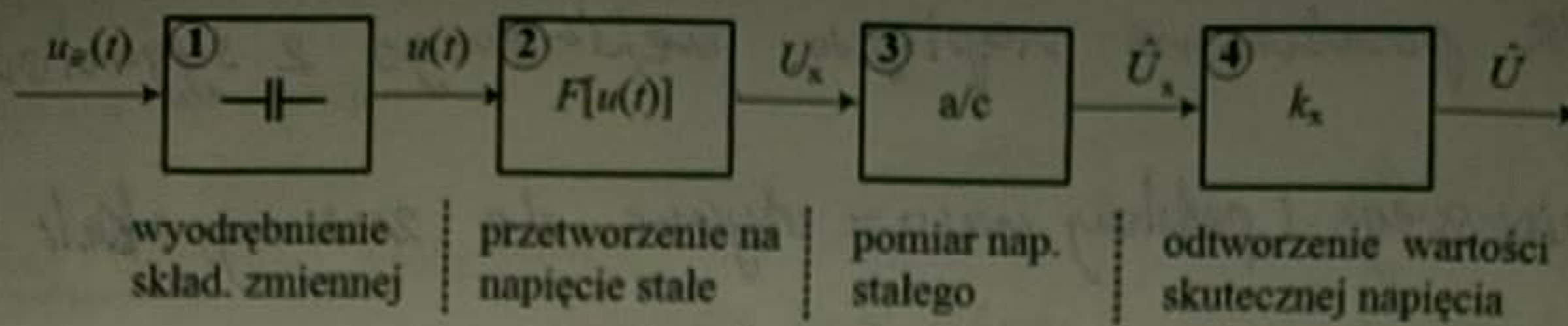


Współczynnik kształtu (form factor, FF) dla sinusoidy:

$$k = \frac{U_{sk}}{U_{br}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,1107 \text{ czyli } U_{sk} = k U_{br}$$

tzw. woltomierze prostownikowe mierzą wartość średnią wyprostowanego napięcia, mnożą przez współczynnik kształtu dla sinusoidy, a pokazują wartość skuteczną

przetworniki napięcia zmiennego na napięcie stałe:



- Przetwornik wartości średniej (wyprostowanego) napięcia przemiennego na napięcie stałe
- Przetworniki termiczne wartości skutecznej
- Układy z numerycznym wyznaczaniem wartości skutecznej

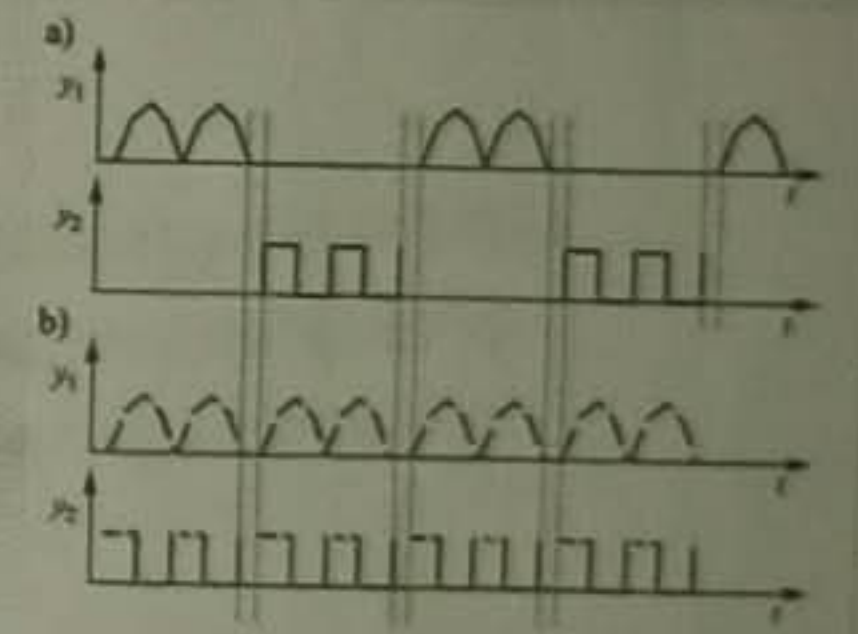
Oscyloskop - jest to urządzenie służące do oglądania przebiegów czasowych (pomiarów czasu i właściwości czasowych przebiegów zwykle okresowych). Oscyloskop analogowy używa technologii analogowej do wizualizacji, podczas gdy oscyloskop cyfrowy przetwarza sygnały w postaci cyfrowej, oferując dodatkowe funkcje, takie jak pamięć pomiarowa i analizy matematyczne sygnału.

oscyloskop analogowy - Urządzenie do wizualizacji sygnałów elektrycznych w czasie rzeczywistym za pomocą wskazówki na ekranie oscyloskopu.

- Tryby synchronizacji:
- Krzywe Lissajous – pomiar stosunku częstotliwości i przesunięcia fazowego

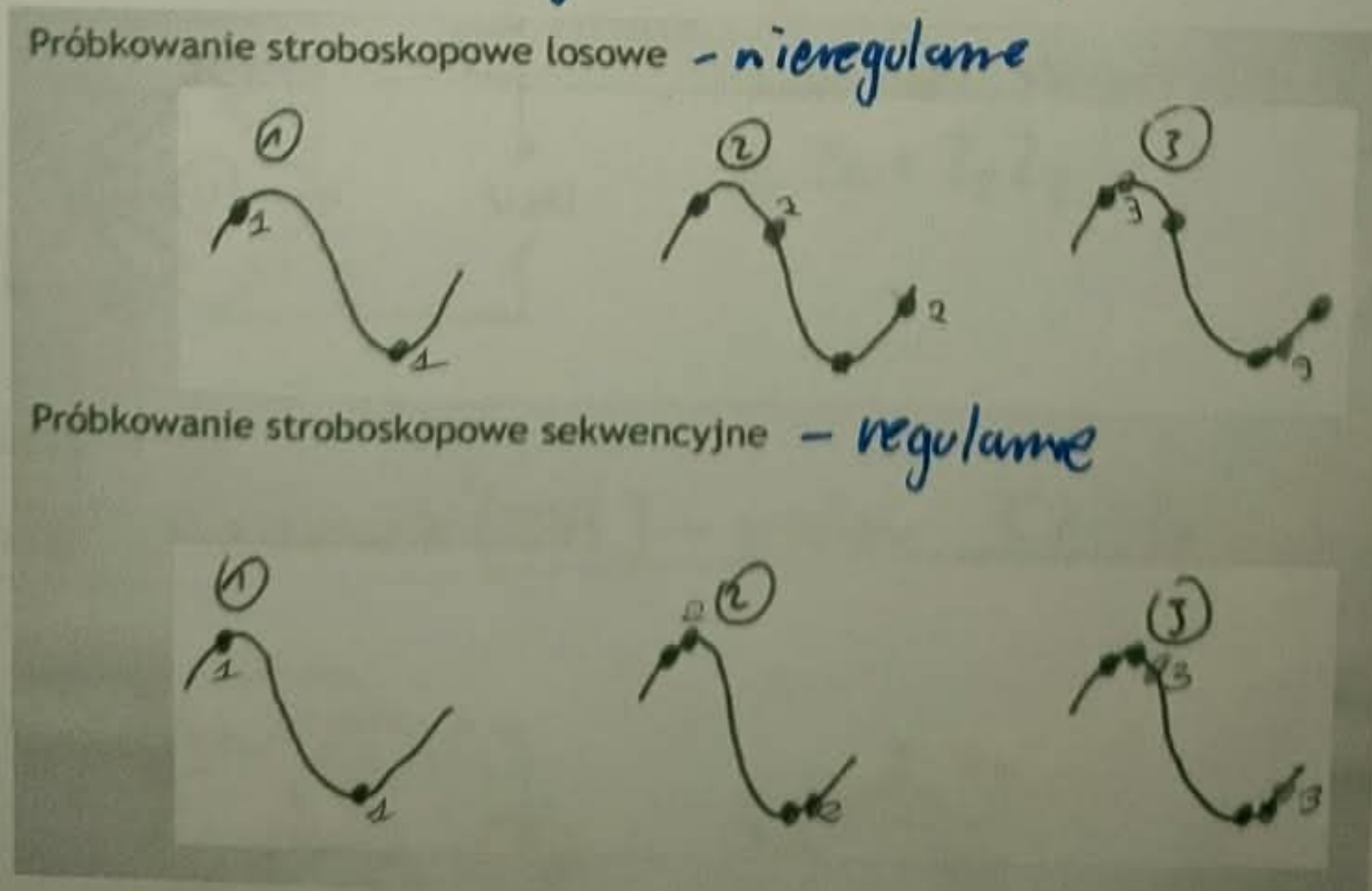
Tryby synchronizacji:  
 \* automatyczna (synchronizowana, auto) - auto. uzwalanie na podstawie napięcia  
 \* normalna (wyzwalana, norm) - normalne uzwalanie na zboczu  
 \* Tryby pracy dwukanałowej:  
 \* naprzemienny (alternatywny, alt)  
 \* siekany (czoperowy, chop)

a) tryb alternatywny  
 b) tryb czoperowy



oscyloskop cyfrowy - Urządzenie do pomiaru, wizualizacji i analizy sygnałów elektrycznych, które cyfrowo przetwarza i wyświetla dane pomiarowe.

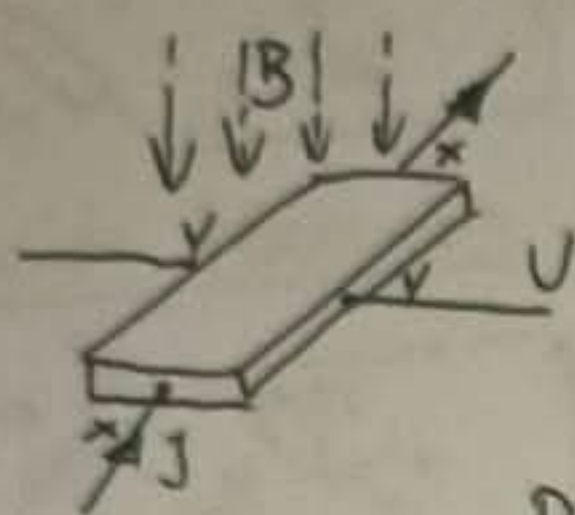
- próbkowanie stroboskopowe: (tyli z różnymi odstępami czasowymi)



Pomiary składowych impedancji RLC: wzorce rezystancji, zjawisko kwantowe Halla, układy mostkowe, mostek Wheastone'a, mostki prądu przemiennego, cyfrowy pomiar składowych RLC.

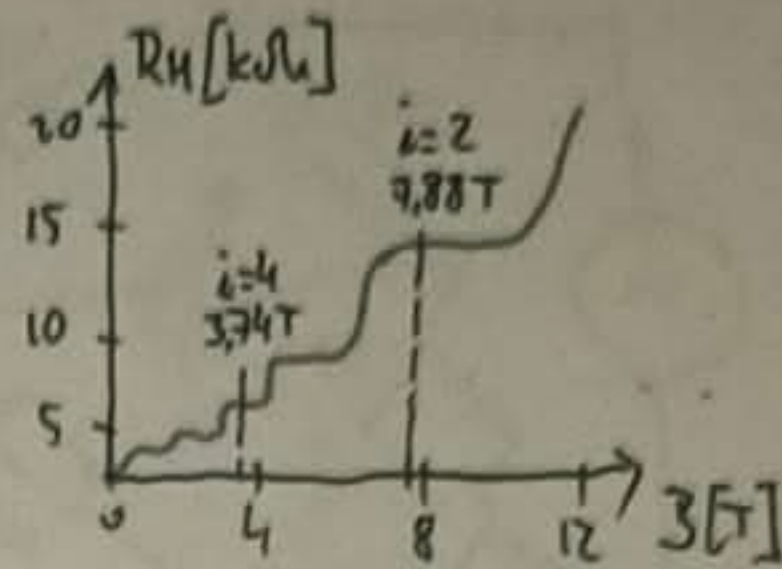
wzorce rezystancji

1) Kwantowy wzorec rezystancji



Materiałowy GaAs/AlGaAs  
 $T < 1K$   
 pole mag  $B \approx 4 \div 10T$   
 $J \approx 1 \div 100 \mu A$

$$R_H = \frac{U_{xy}}{J_x} = f(B)$$



Charakter  $R_H = f(B)$

$$R_H = \frac{h}{ie^2} = \frac{R_K}{i}$$

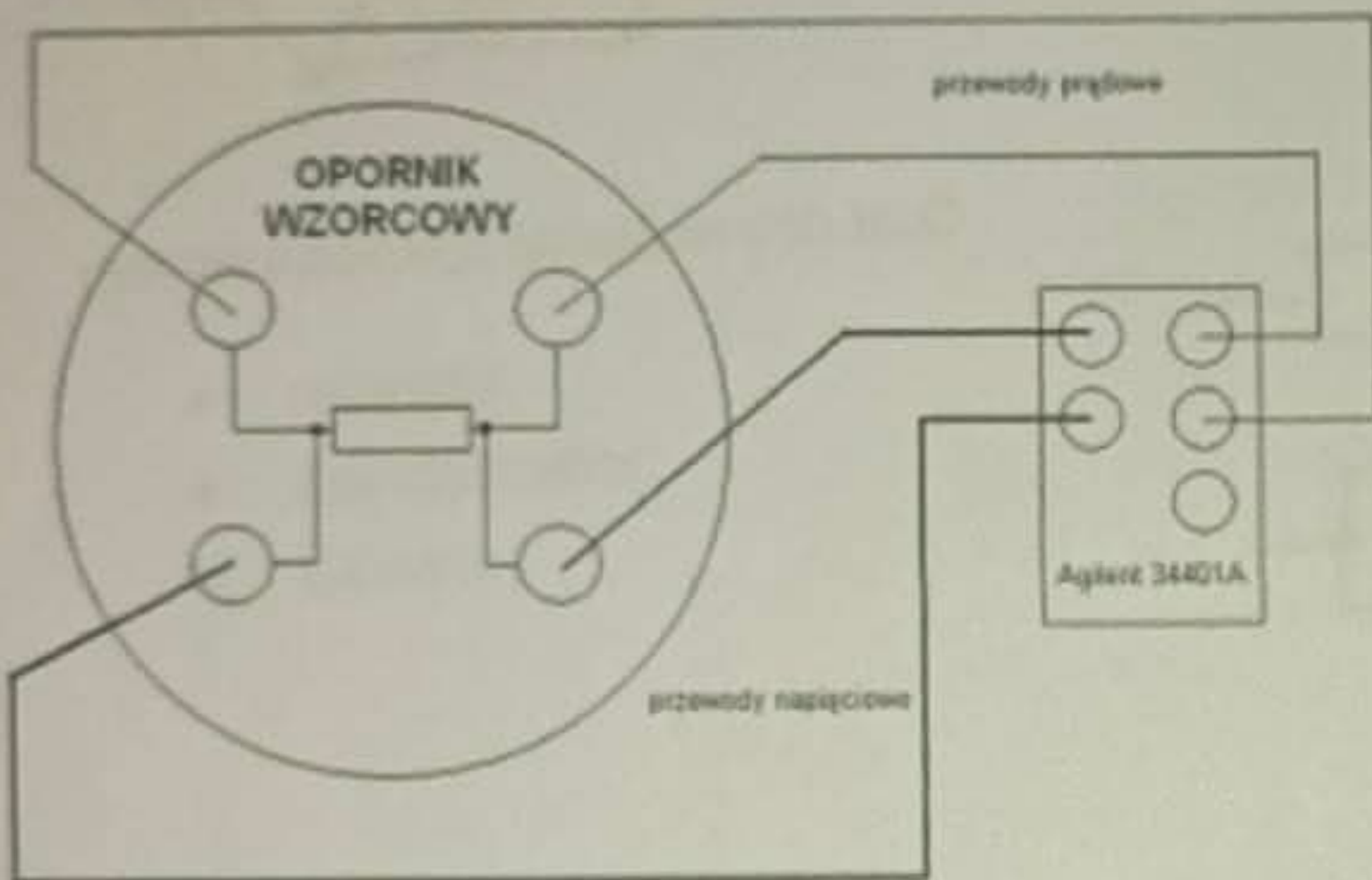
nr. platan 7. edytow

stała von Klitzinga (Nobel 1985)  $R_K = \frac{h}{e^2}$

$$R_{K-90} = 25812,807 \Omega$$

z niep. (ok)  $2 \cdot 10^{-7}$

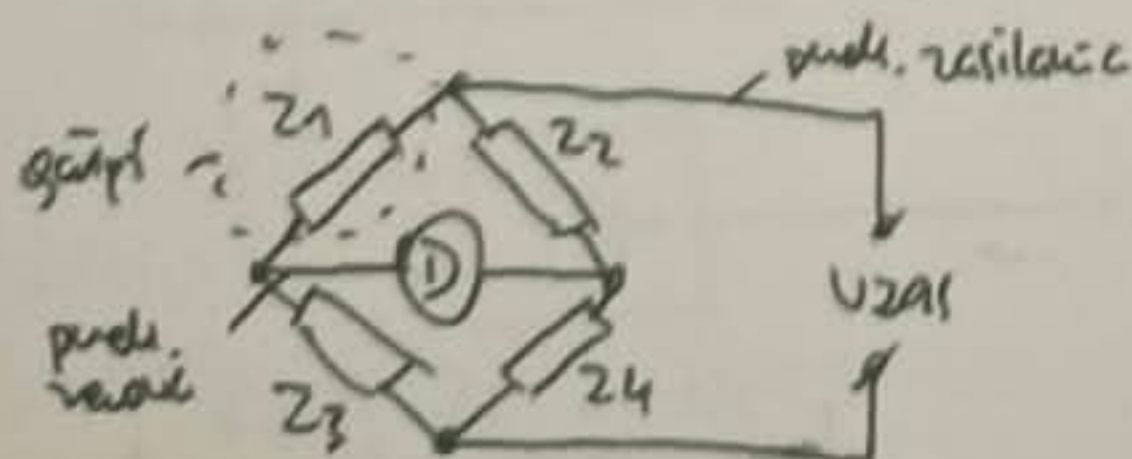
związana z efektami kwantyzacji Halla, opisuje zachowanie elektronów w obecności pola magnetycznego



zjawisko kwantowe Halla - efekt, w którym przepływ prądu przez materiał znajdujący się w polu magnetycznym powoduje powstanie napięcia Halla, proporcjonalnego do iloczynu natężenia prądu, gęstości strumienia magnetycznego oraz współczynnika charakteryzującego materiał.

układy mostkowe:

a) mostki równowagi

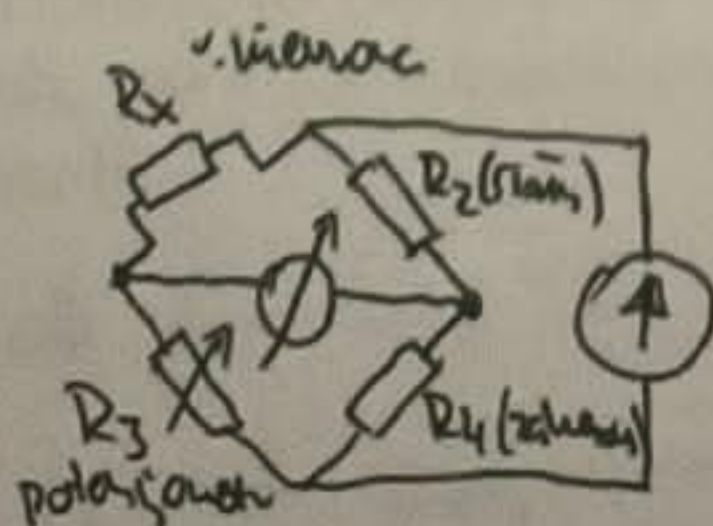


wzrostki równowagi

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

mostek Wheastone'a

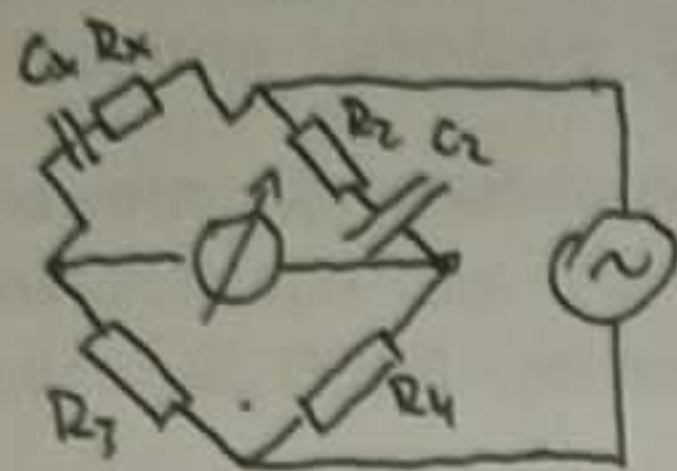
mostek Wheastone'a (1843) - pomiar  $R > 1\Omega$



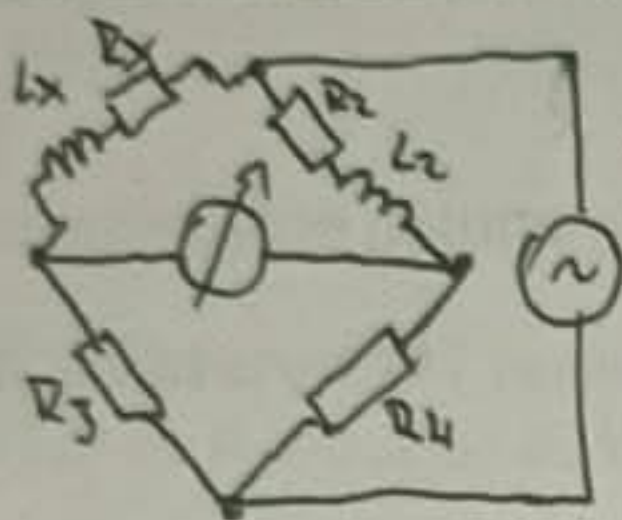
$$R_x = \frac{R_3 R_2}{R_4}$$

mostki prądu przemiennego

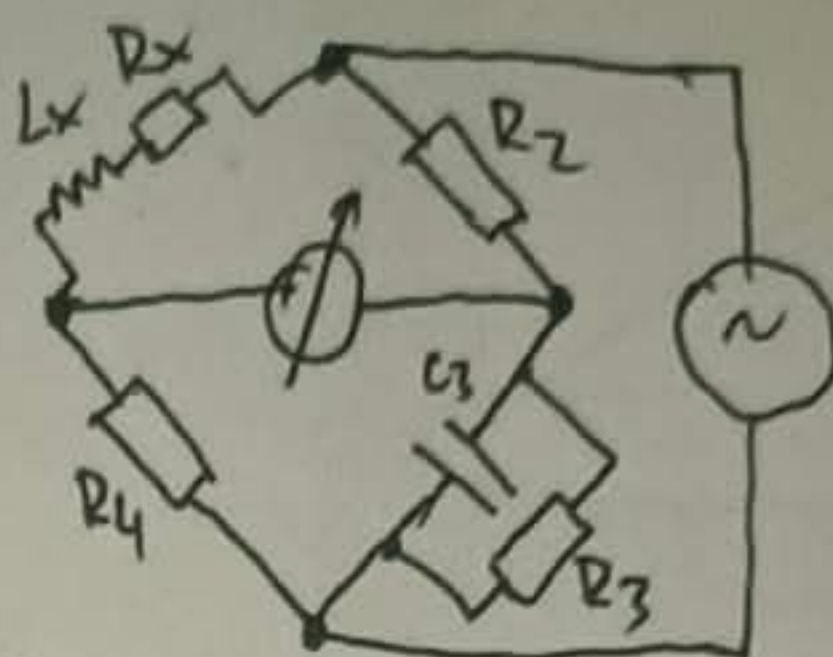
mostek de Sauty'ego - pomiar C



mostek Maxwella - pomiar L

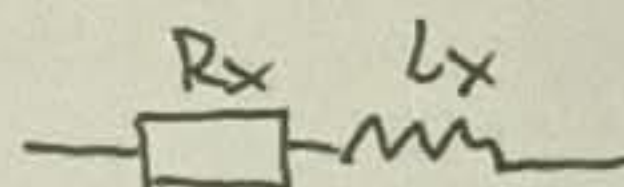
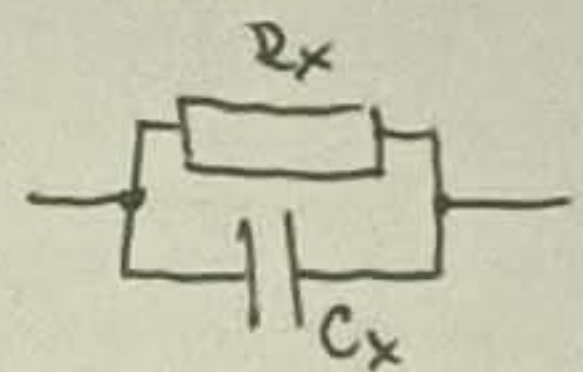
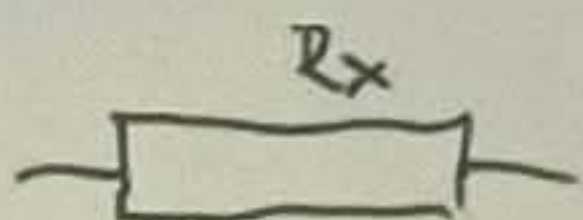


mostek Maxwella-Wiecha - pomiar L



cyfrowy pomiar składowych RLC

- rezystor:
- Kondensator:
- Cewka:



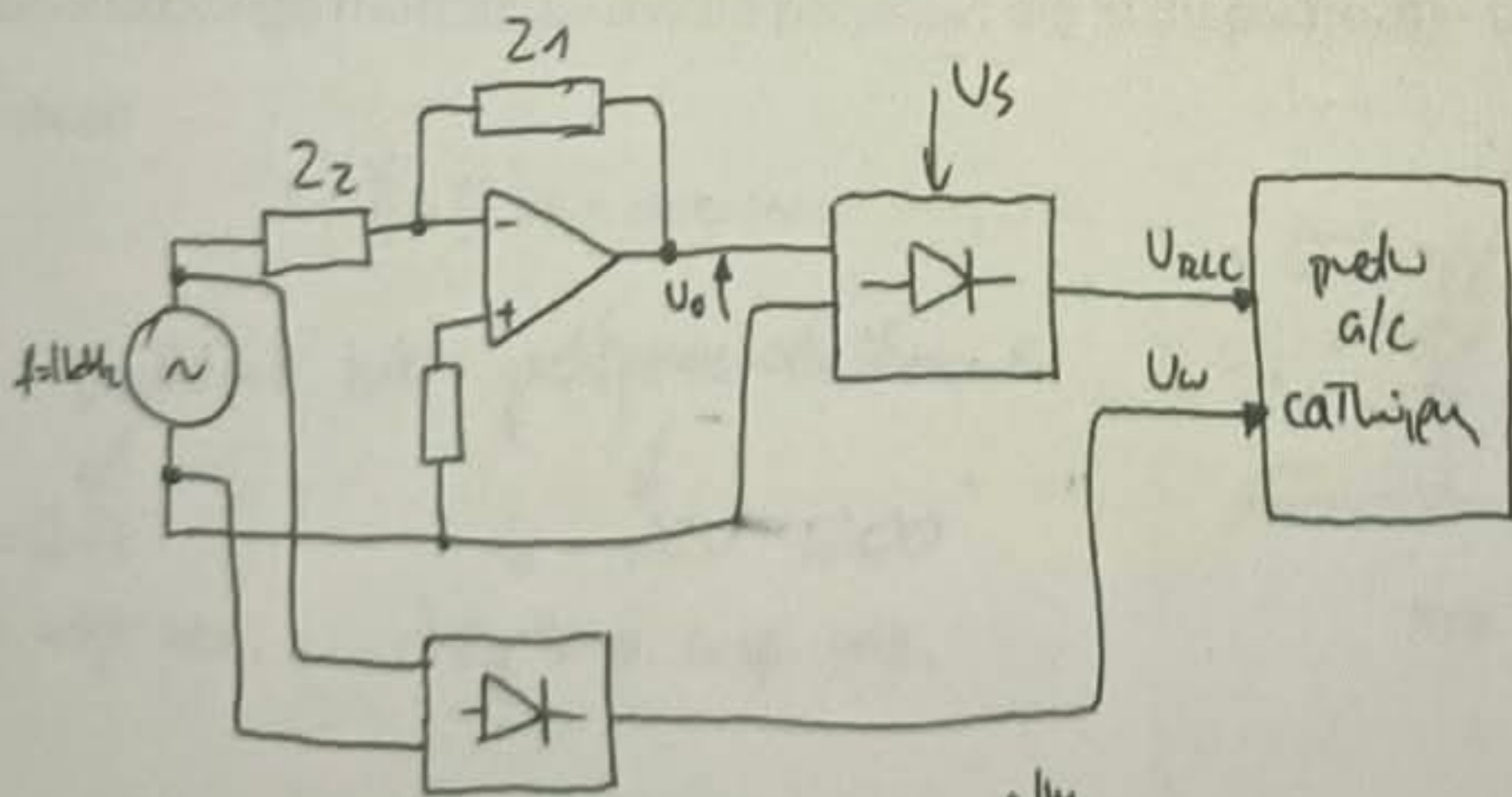
Kondensator:

- kąt stratności - miara strat energetycznych, stosunek strat dielektryka do pojemności w kondensatorze
- współczynnik strat - ilość energii traczonej w postaci ciepła w dielektryku kondensatora w porównaniu do całkowitej energii przechodzącej przez kondensator

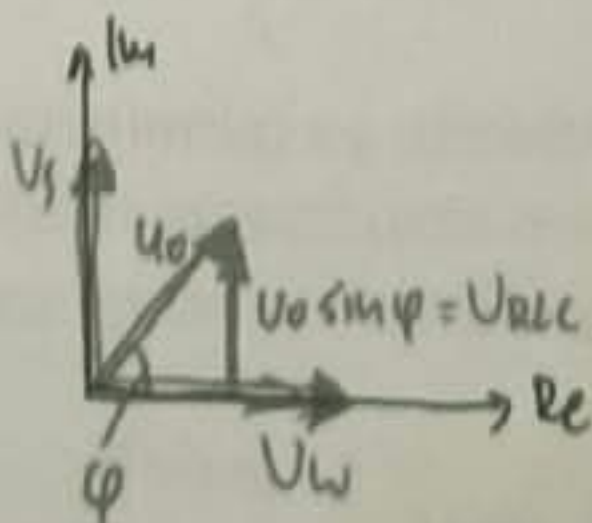
Cewka:

- kąt stratności - miara strat energ. w cewce, wyrażająca stosunek strat energii do całkowitej energii przechodzącej w cewce
- współczynnik dobroci - stosunek energii przechodzącej w cewce do strat energetycznych, wyraża efektywność przechowywania energii przez cewkę

Cyfrowy miernik RLC



	Z1	Z2	Us
R	R <sub>12</sub>	R <sub>x</sub>	$\varphi=0$
C	$\frac{R_x}{R_x + j\omega C_x}$	R <sub>12</sub>	$\varphi = \frac{\pi}{2}$
L	R <sub>12</sub>	$R_x + j\omega L_x$	$\varphi = \frac{\pi}{2}$



Technika mierzenia rezystancji (R), indukcyjności (L) i pojemności (C) za pomocą urządzeń cyfrowych, które oferują precyzyjne pomiary i analizę charakterystyk elektrycznych komponentów

Pracownik fazometry to układ przekształcający sygnał AC na DC, reagując na fazę sygnału wejściowego, aby zapewnić poprawne działanie w zależności od charakterystyki fazy

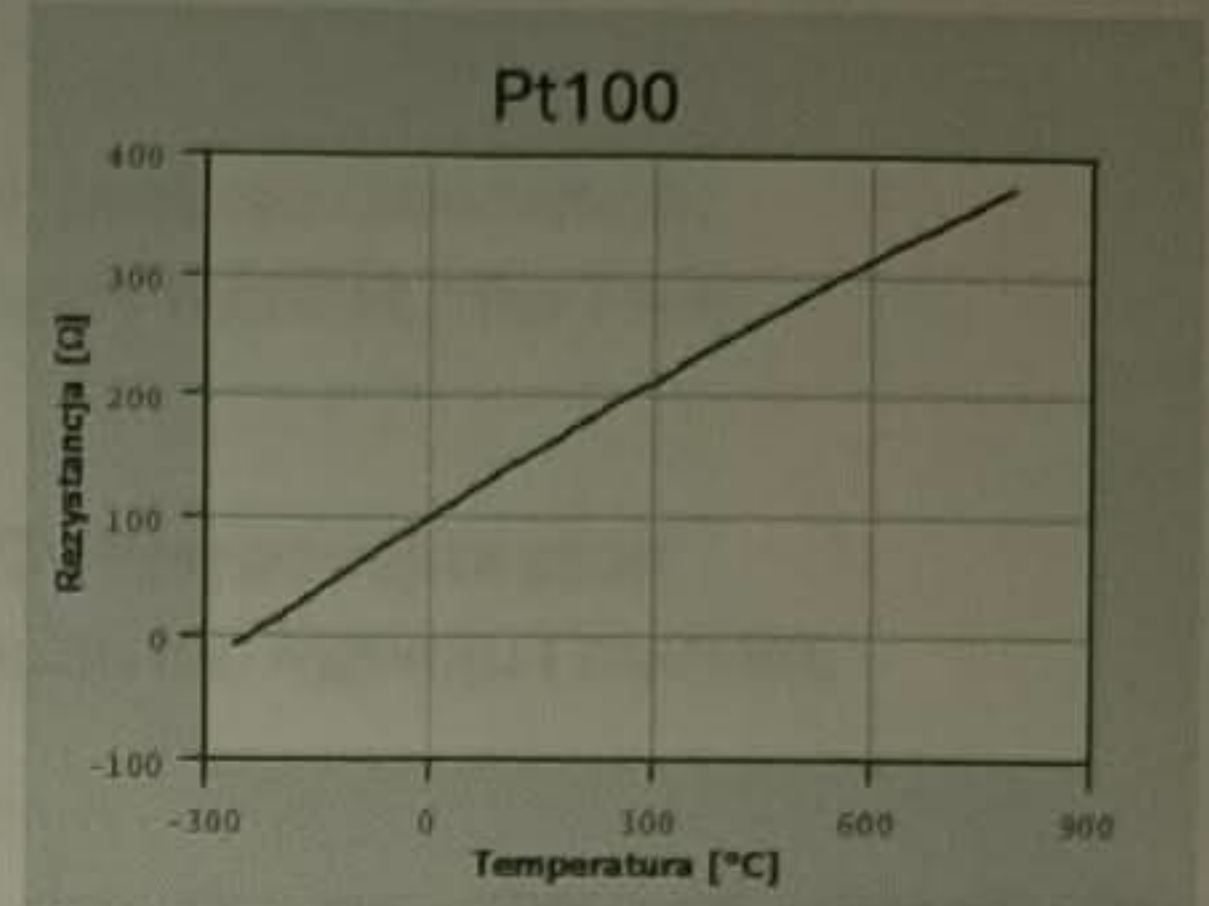
**Czujniki i metody pomiaru wybranych wielkości nieelektrycznych: temperatury, odkształcenia i siły, ciśnienia.**

**Temperatura** – termoelementy/termopary – dwa druty z różnych materiałów, mogą mieć ch-ki liniowe lub nieliniowe. *Liniowe: J, K; nieliniowe: S*

Rezystancyjne metalowe czujniki temp. (RTD) np.: Pt100 (Pt – materiał, 100 – rez. w 0 °C), Ni40, Cu40 – stałe ch-ki i dobra liniowość. Pt100 – zakres od -200 do 850 stopni, rosnąca.

Charakterystyki:

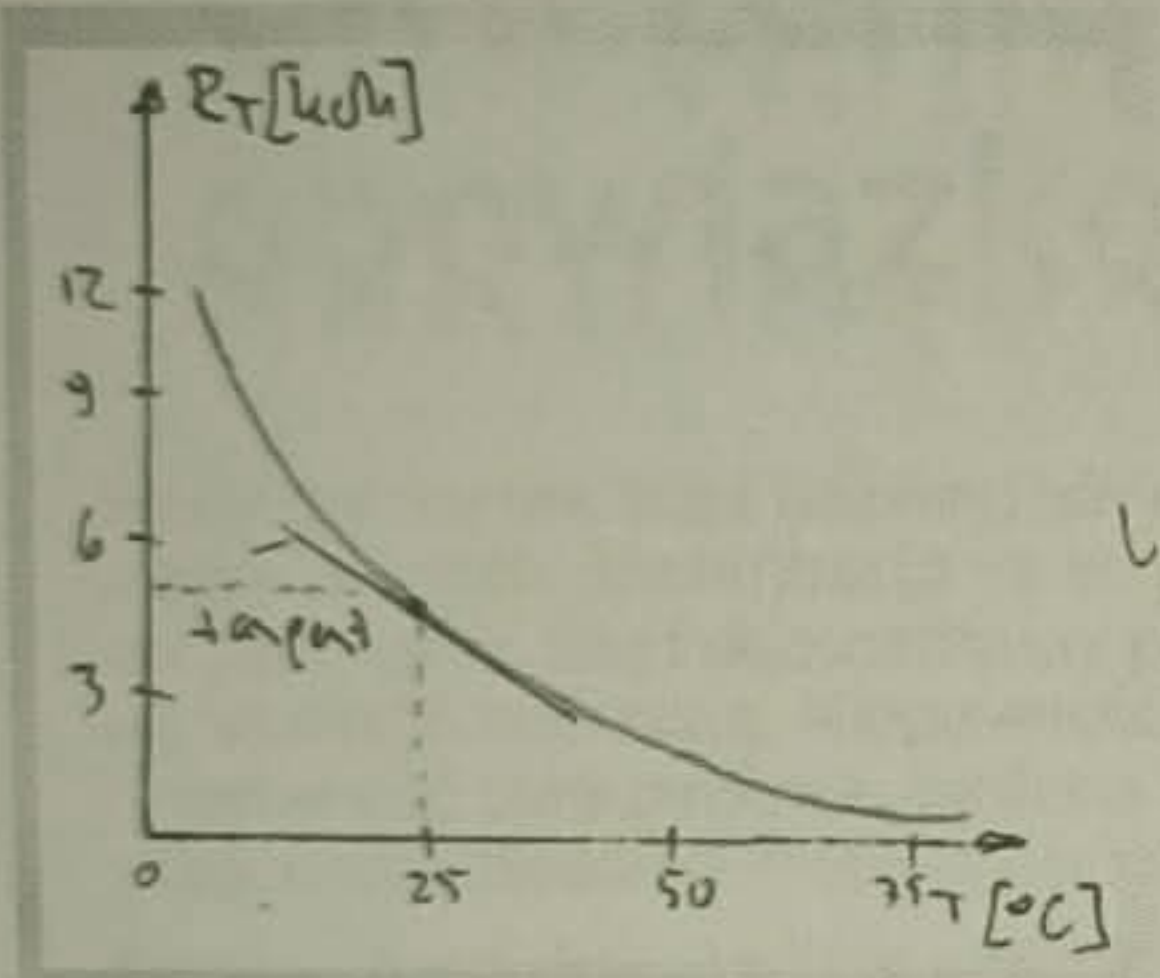
$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \text{ lub } R_T = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2)$$



Rezystancyjne półprzewodnikowe czujniki – termistory (NTC)

**Charakterystyki termistorów NTC**

$$R_T = A \exp\left(\frac{B}{T}\right); A, B - \text{stałe, } T - \text{temperatura bezwzgl. w K}$$

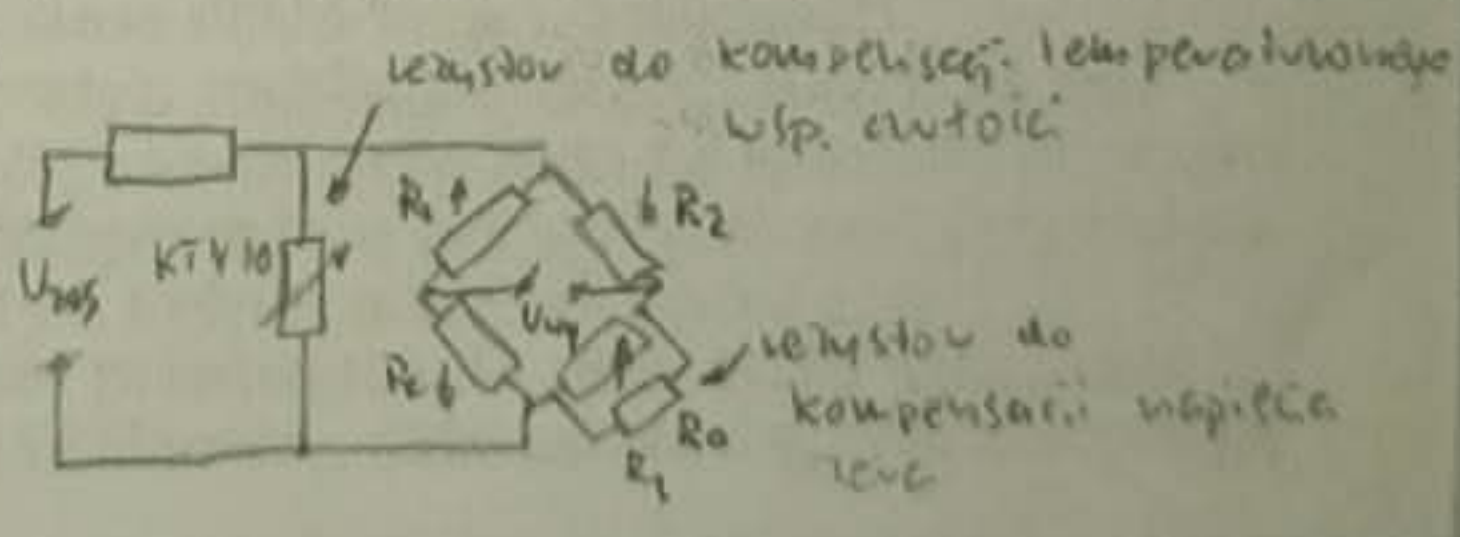


**Odkształcenie/ Siła** – tensometry (czujniki rezystancyjne do pomiaru odkształcenia Czujniki jednorazowego montażu – trwale przykleja się je do podłoża) - użycie np. w wagach

**Czułość**

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta T}{T}} = \frac{\Delta R}{\epsilon R}, k - \text{stała tensometryczna}$$

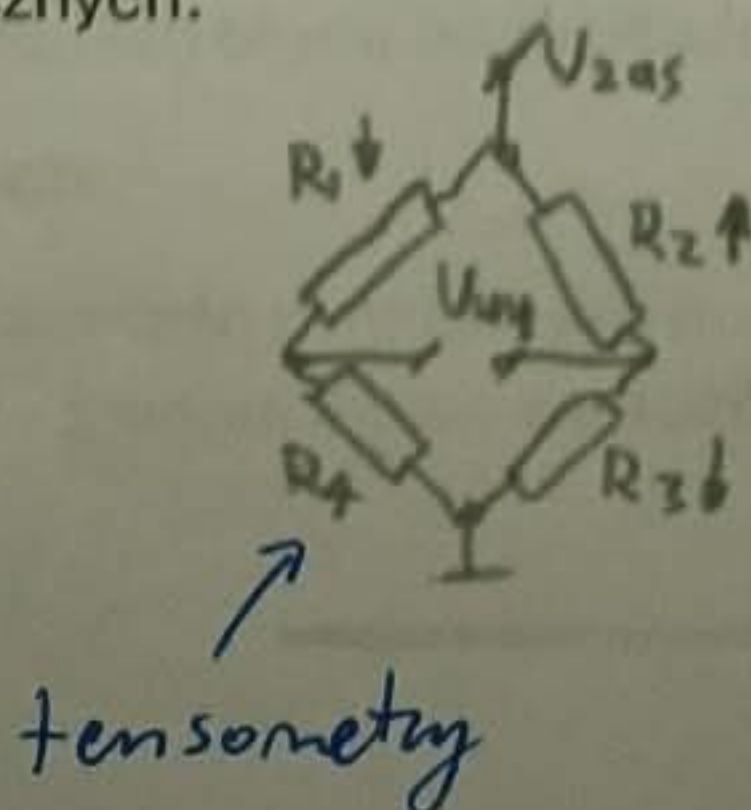
*metale lub półprzewodnikowe*  
 $k = 2-4$        $k = -150-200$   
 mały temp. wsp. rez.      duży temp. wsp. rez.



Rys: Układ pomiarowy tensometrów

$$U_{wy} = U_{zas} \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} + U_0$$

**Ciężnienie** – (Piezorezystancyjne czujniki ciśnienia) są używane w różnych aplikacjach, takich jak systemy monitorowania ciśnienia w oponach, aparaturze medycznej do pomiaru ciśnienia krwi oraz w przemyśle motoryzacyjnym i aeronautyce do monitorowania ciśnienia w układach hydraulicznych i pneumatycznych.



Jeśli  $R_i$  oraz  $\Delta R_i$  są jednakowe, to

$$U_{wy} = U_{zas} \frac{\Delta R_i}{R} + U_0$$

$$U_{zas} \approx 5V, U_{wy \max} \approx 100mV$$

Stosuje się kompensację temperaturową jak w układach tensometrycznych.

**Prawne aspekty miar: Konwencja Metryczna, Międzynarodowe Biuro Miar i Wag, Generalna Konferencja Miar, GUM.**

Konwencja Metryczna – umowa międzynarodowa o stosowaniu metrycznego systemu miar (1875), przystąpienie Polski – 1925.

Międzynarodowe Biuro Miar i Wag – (BIPM) ciągle pracujący organ GUM, posiada laboratoria, prowadzi badania, porównania, itp. Jest zarządzana przez Międzynarodowy komitet miar i wag (CIPM).

Generalna Konferencja Miar - Co 3-6 lat odbywa się konferencja miar (CGPM) podejmująca uchwały dotyczące kreowania jednostek, zatwierdzania programów badań lub rozwoju i budżetu

GUM – główny urząd miar, centralny organ rządowej administracji miar

*Legalizacja - czynności mające na celu sprawdzenie i stwierdzenie czy pomiary pomiarowe nadaje się do użytku (np. sprawdzenie zgodności z danymi producenta)*

## \*Ćwiczenia - obecność obowiązkowa

Błędy pomiarów, błąd bezwzględny i względny, klasyfikacja błędów wg własności statystycznych, klasyfikacja ze względu na warunki pomiaru. Dokładność przyrządów pomiarowych, błąd dopuszczalny przyrządu i sposoby jego wyrażania, oddziaływanie przyrządu na wielkość mierzona. Niepewność wyników pomiarów: składniki niepewności typu A i B, niepewność standardowa, złożona niepewność standardowa, niepewność rozszerzona, szacowanie złożonej niepewności standardowej przy pomiarach metodą pośrednią.

Rozkład normalny, funkcja gęstości prawdopodobieństwa, dystrybuanta rozkładu, zmienna standaryzowana, poziom istotności, współczynnik ufności, tabele rozkładu normalnego. Błędy pomiarów, dokładność, błąd bezwzględny i względny, klasyfikacja błędów wg własności statystycznych: błąd przypadkowy i systematyczny, poprawka, błąd nadmierny (gruby), klasyfikacja ze względu na warunki pomiaru: błąd podstawowy i dodatkowy, oddziaływanie przyrządu na wielkość mierzona, błąd metody. Dokładność przyrządów pomiarowych, błąd dopuszczalny przyrządu i sposoby jego wyrażania (klasa dokładności, zależności matematyczne, np.  $\pm(\% \text{ odczytu} + \% \text{ zakresu})$ , wykresy), rozkłady dopuszczalnych błędów bezwzględnego i względnego wzdłuż zakresu, oddziaływanie przyrządu na wielkość mierzona. Szacowanie niepewności wyniku pomiaru metodą bezpośrednią (seria pomiarów) i pośrednią, niepewność bezwzględna i względna. Charakterystyki i błędy przetworników c/a: charakterystyka idealna przetwornika c/a, równanie przetwarzania, jednostka kwantyzacji, błędy zera, wzmocnienia, liniowości różniczkowej i całkowitej, czas ustalania, charakterystyki i błędy przetworników a/c.

Błędy pomiarów:

- błąd bezwzględny – wartość zmierzona minus referencyjna
- błąd względny - % z ilorazu błędu bezwzględnego i wartości referencyjnej

Wdg własności statystycznych:

- błąd przypadkowy – wartość konkretnego pomiaru minus średnia pomiarów
- błąd systematyczny – średnia minus wartość referencyjna

- poprawka – wartość błędu systematycznego z przeciwnym znakiem
- błąd nadmierny (gruby) – bardzo duży błąd przypadkowy (pomiar pomijalny)

Wdg warunków pomiaru:

- błąd podstawowy – błąd przyrządu wyznaczony w warunkach pomiaru
- błąd dodatkowy – błąd podstawowy, ale wyznaczony w innych warunkach
- oddziaływanie przyrządu na wielkość mierzoną
- błąd metody – błąd spowodowany błędną metodą pomiarową

Dokładność przyrządów pomiarowych – miara tego, jak blisko wynik pomiaru jest wartości rzeczywistej/referencyjnej, określa wielkość błędów systematycznych

Błąd dopuszczalny przyrządu i sposoby jego wyrażania – inaczej błąd graniczny (wszystkie pomiary powinny znajdować się w przedziale od  $x_{ref} - \Delta_{gr}$  do  $x_{ref} + \Delta_{gr}$ )

- klasa dokładności – określa wartość błędu maksymalnego przyrządu, im niższa tym lepiej – wzór:  $k \geq \frac{\Delta_g}{z} * 100$
- zależności matematyczne np.  $\pm(\% \text{ odczytu} + \% \text{ zakresu})$  – producenci najczęściej informacje o błędzie dopuszczalnym umieszczają w postaci zależności matematycznych
- wykresy – błąd można również wyczytać z wykresów zależnych np. od Temperatury czy Zakresu

Rozkłady dopuszczalnych błędów bezwzględnych i względnych wzdłuż zakresu – dopuszczalne błędy bezwzględne nie różnią się dla różnych wartości na zakresie – ich wzór jest stale określony (jak wyżej), natomiast dopuszczalny błąd względny ma wzór  $\delta = \frac{k \cdot Z}{\text{Wartosc na zakresie}}$ , więc jego wartość stale maleje wraz ze wzrostem wartości z zakresu.

Niepewność wyników pomiarów:

*odchylenie standardowe średniej wielu pomiarów*

- niepewności standardowe typu A i B – typ A na podstawie metod statystycznych, występuje jeżeli jest parę pomiarów (wzór każdy zna  $x_d$ ) a typ B wyznaczane jest na podstawie rozkładu (prostokątny -  $\frac{\Delta_{gr}}{\sqrt{3}}$ , trójkątny -  $\frac{\Delta_{gr}}{\sqrt{6}}$ , Gaussa -  $\Delta_{gr}$ )
- złożona niepewność standardowa – określana literką C, jest to połączenie niepewności statystycznych i poza statystycznych – czyli A i B. Jest to pierwiastek z sumy kwadratów tych niepewności
- niepewność rozszerzona – Jest to niepewność standardowa pomnożona przez współczynnik rozszerzenia k, najczęściej 2 lub 3. Zapewnia to, że z przyjętym prawdopodobieństwem każdy pomiar znajdzie się w utworzonym przedziale
- niepewność bezwzględna i względna – wartość niepewności bezwzględnej to wartość określająca zakres a względna to procentowe określenie tego zakresu. Oblicza się ją ze stosunku niepewności bezwzględnej do wartości mierzonej, pomnożonej przez 100%
- szacowanie złożonej niepewności standardowej przy pomiarach metodą pośrednią – gdy użyta zostaje metoda pośrednia należy osobno obliczyć niepewności złożone poszczególnych składników wzoru na szukaną wielkość, następnie ich procentowe wartości względem wartości mierzonych (najczęściej średnich) i złożenie ich za pomocą

pierwiastka z sumy kwadratów. W ten sposób otrzymujemy procentową niepewność złożoną szukanej wielkości

Rozkład normalny – rozkład charakteryzujący się symetrycznością względem wartości oczekiwanej (średniej), opisany również określonym odchyleniem standardowym

funkcja gęstości prawdopodobieństwa – funkcja opisująca rozkład prawdopodobieństwa, tzn. opisująca z jakim prawdopodobieństwem zmienna losowa przyjmuje daną wartość. Może być opisana wieloma rozkładami, np. normalnym, prostokątnym, trójkątnym, standardowym, itd)

dystrybuanta rozkładu - jest funkcją matematyczną, która określa prawdopodobieństwo tego, że zmienna losowa  $X$  przyjmuje wartość mniejszą lub równą określonej wartości  $x$ . Nigdy nie będzie malejąca.

zmienna standaryzowana – zmienna opisana rozkładem normalnym (Gausa), może zostać zestandaryzowana, poprzez odjęcie od niej wartości średniej rozkładu i podzielenie przez odchylenie standardowe. W ten sposób zmienna opisana jest przez rozkład standardowy, czyli szczególny przypadek rozkładu normalnego dla którego średnia wynosi 0, a odchylenie standardowe 1.

poziom istotności – jest to określony poziom prawdopodobieństwa, przy którym podejmuje się decyzje o odrzuceniu ~~nie~~ hipotezy zerowej, najczęściej jest on równy 5%.

współczynnik ufności - jest miarą pewności lub prawdopodobieństwa, z jakim przedział ufności zawiera prawdziwą wartość parametru populacyjnego. Na przykład współczynnik ufności 95% oznacza, że istnieje 95% prawdopodobieństwa, że przedział ufności zawiera rzeczywistą wartość parametru

tabele rozkładu normalnego – tzn. tabele dystrybuanty, określające prawdopodobieństwo znalezienia zmiennej w danym przedziale (zmienną należy zestandaryzować)

**wszystko o a/c w części wykładowej (chyba xd)**

## \*Laboratoria - obecność obowiązkowa

**Wprowadzenie do laboratoriów odbędzie się na jednym z wykładów pod koniec pierwszej połowy semestru.**

Tematyka: przetworniki AC/CA, pomiary napięcia przemiennego, pomiar czasu i częstotliwości, oscyloskop cyfrowy, mostki RLC, karta DAQ.

Przetworniki a/c c/a były

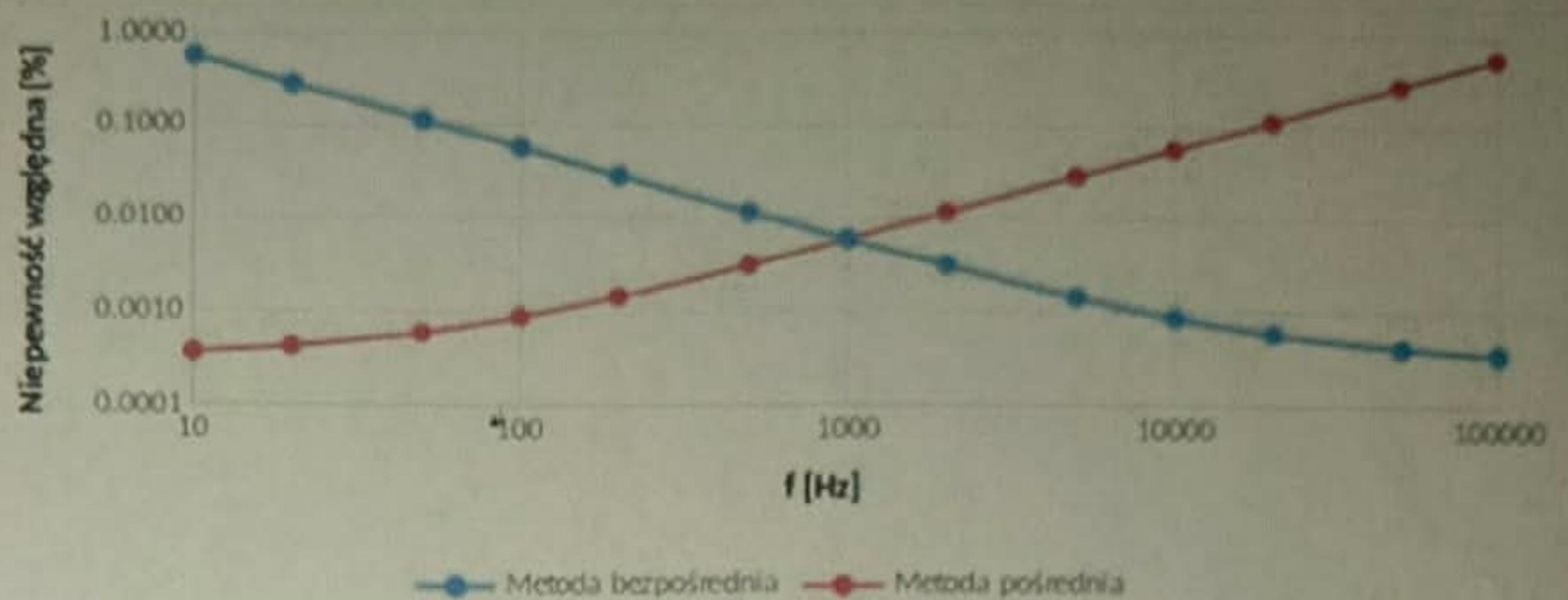
Pomiary napięcia przemiennego – liczenie  $U_{sk}$ , występują różnice między sinusoidalnym, trójkątnym i prostokątnym – sinusoidalny jest najdokładniejszy, trójkątne mają ujemny błąd a prostokątne dodatni

Pomiar czasu, częstotliwości, RLC

Tak powinien wyglądać wykres niepewności względnej (%) metody bezpośredniej (od razu mierzymy częstotliwość) i pośredniej (mierzymy okres i liczymy częstotliwość)

-metoda bezpośrednia -> liczymy  $f$  w ustalonym okresie czasu (niebieski) dla dużych częstotliwości

-metoda pośrednia -> liczymy czas w określonej częstotliwości (czerwony)



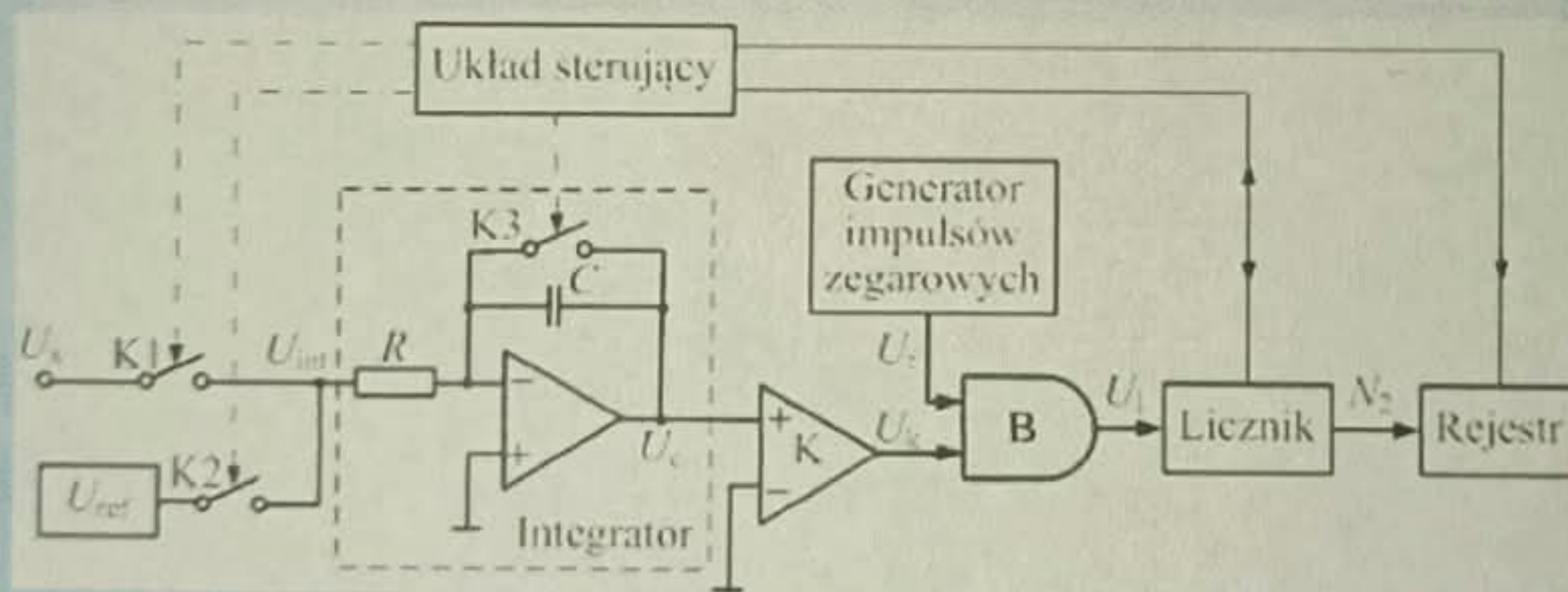
Oscyloskop jest zajebisty

DAQ też nie ma co tu opisywać, było wyżej

Z jakiegoś powodu nie jest tam napisany woltmierz z podwójnym całkowaniem, więc tu je opisze:

### Przetwornik a/c z podwójnym całkowaniem

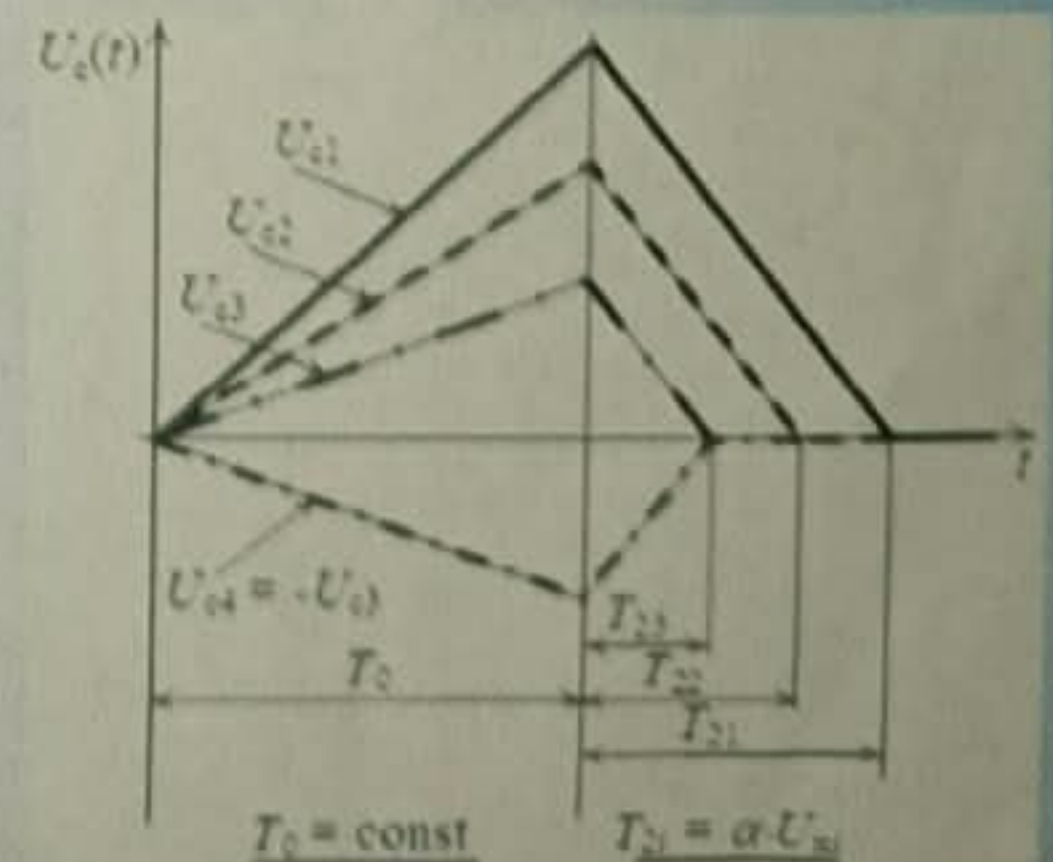
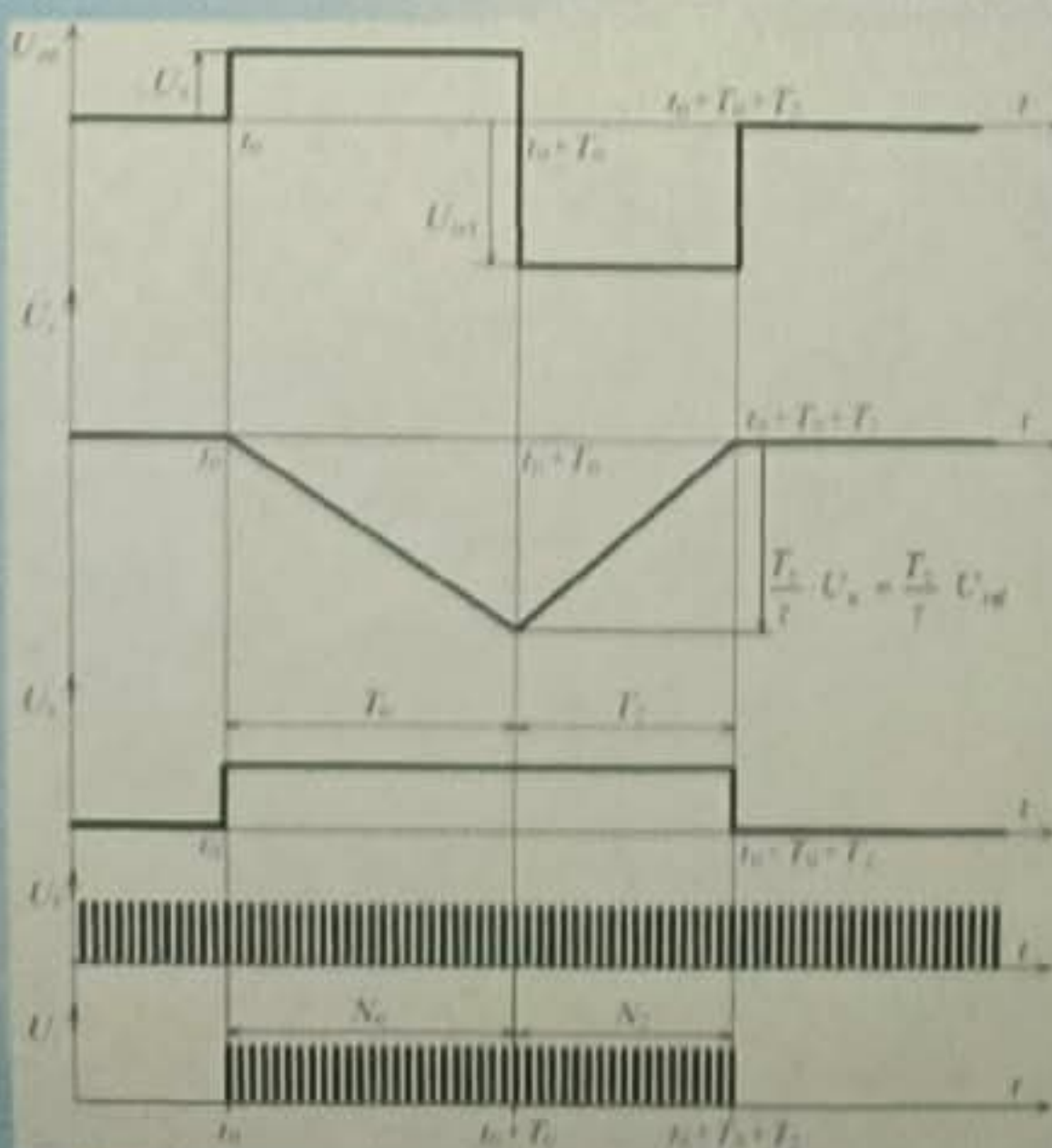
Stosunkowo długi czas przetwarzania, rozdzielczość jest potęgą liczby 10, np.  $10^4$ , bardzo duże tłumienie składowej sieciowej zakłóceń (50Hz) jeśli czas całkowania napięcia mierzonego wynosi 20 ms lub wielokrotność.



Najpierw zachodzi całkowanie, potem rozcałkowywanie

Czas całkowania jest zawsze stały, zmienia się napięcie maksymalne, natomiast czas rozcałkowywania zmienia się, ma stały współczynnik kierunkowy.

### Przetwornik a/c z podwójnym całkowaniem



$$U_0(t_0 + T_0 + T_2) = -\frac{U_{x, \text{sr}}}{\tau} T_0 + \frac{U_{\text{ref}}}{\tau} T_2 = 0$$

$$T_2 = T_0 \frac{U_{x, \text{sr}}}{U_{\text{ref}}} \quad N_2 = N_0 \frac{U_{x, \text{sr}}}{U_{\text{ref}}} = \alpha \cdot U_{x, \text{sr}}$$

$$\hat{U}_x = \frac{1}{\alpha} \cdot N_2 = N_2 \cdot q$$