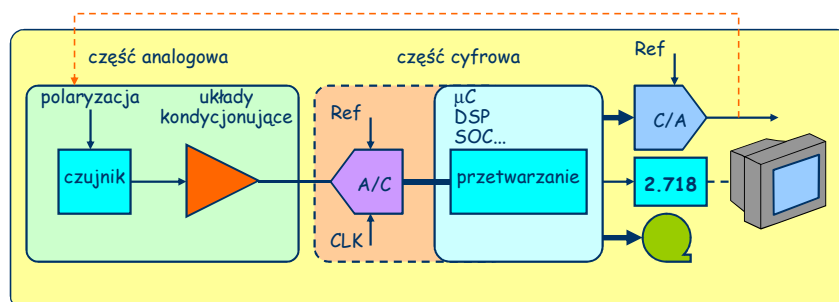


Pomiary wielkości nielektrycznych

Pomiar wielkości nielektrycznych



Czujnik (ang. *sensor*)

urządzenie, wykrywające jakiś rodzaj energii i przedstawiające ją w innej, wygodnej postaci.

Przetwornik (ang. *transducer*)

urządzenie, zamieniające jedną wielkość (np. mechaniczną, termiczną, elektromagnetyczną itp.) na inną wielkość (często elektryczną), wygodniejszą do przesłania, zmierzenia, zobrazowania itp.

Co możemy mierzyć elektrycznie...

...prawie wszystko

- temperatura (termistor, termopara)
- siła, naprężenie (tensometr)
- ciśnienie (czujnik tensometryczny)
- przemieszczenie (potencjometr, transformator LVDT)
- przepływ (anemometr)
- prędkość
- przyspieszenie (akcelrometr)
- odległość
- wibracje (efekt piezoelektryczny)
- wilgotność
- skład chemiczny
- czas
- ECG, HRM
- detekcja dymu/cząstek
- gęsty, pozycje....

Czujnik tensometryczny (ang. strain gauge)



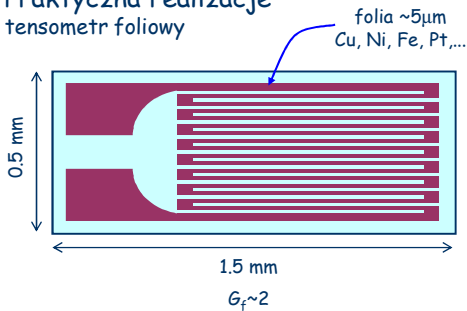
$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$



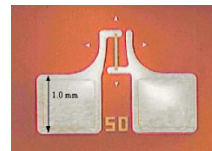
$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial l} \Delta l + \frac{\partial R}{\partial S} \Delta S + \frac{\partial R}{\partial \rho} \Delta \rho$$

$$\frac{\Delta R}{R} = G_f \frac{\Delta l}{l}$$

Praktyczna realizacje tensometr foliowy



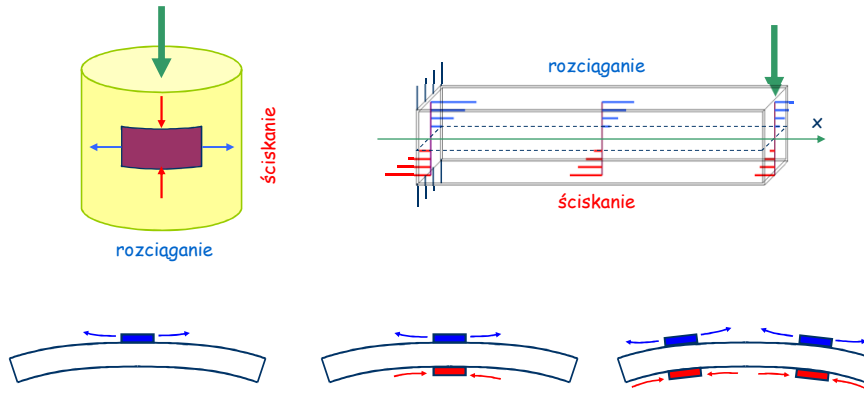
tensometr półprzewodnikowy



źródło: sensormag.com

$G_f \sim -100$ (Si)

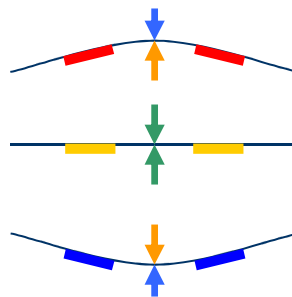
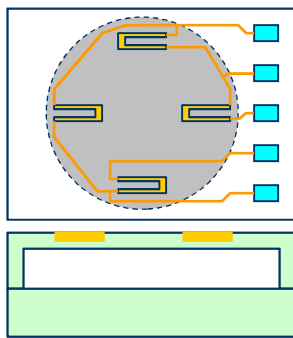
Pomiar odkształceń (sily, masy, ciśnienia, naprężeń...)



$$\frac{\Delta R}{R} = G_f \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \Delta R = R \cdot G_f \frac{\Delta l}{l}$$

$$\begin{aligned} \Delta l/l &\sim 0.4 \div 1\% \\ R &= 1 \text{ k}\Omega \\ \Delta R &\sim 8 \div 20 \Omega \text{ (zakładając } G_f=2) \end{aligned}$$

Przetwornik ciśnienia

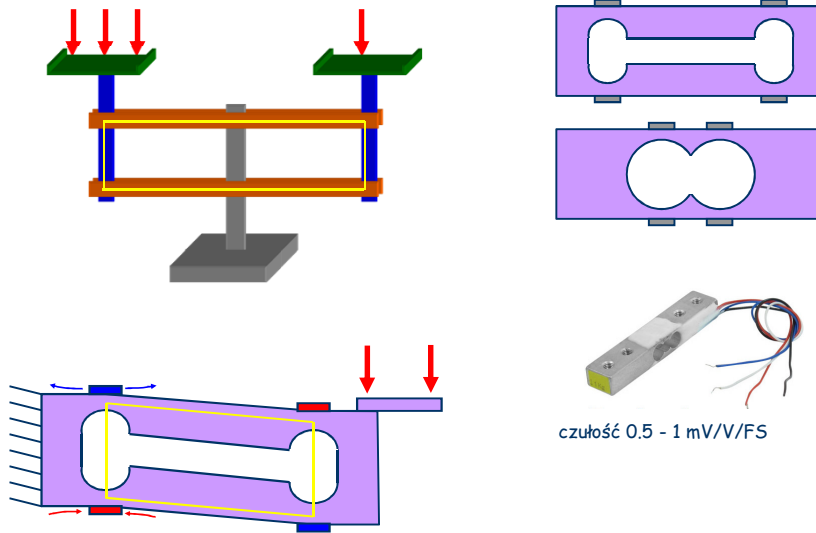


MPX2300 (Freescale)

czułość $5 \mu\text{V/V/mmHg}$
 $U_{FS} = 3 \text{ mV}$

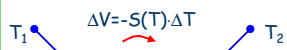
Pomiar masy

mechanizm Roberval'a (Gilles Personne de Roberval, 1602-1675)

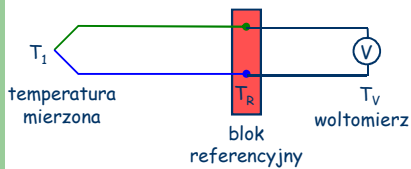


Pomiar temperatury

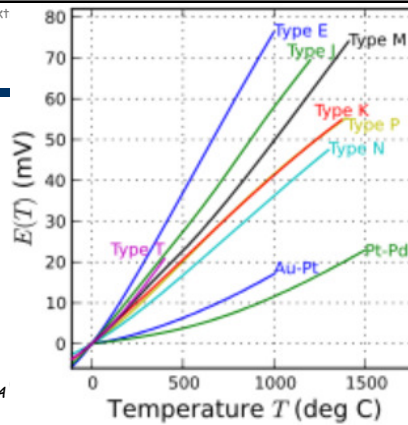
Termopara - efekt termoelektryczny
Efekt Seebecka (Thomas J. Seebeck, 1821)



Standardowy układ pomiarowy



$$V_T = \int_{T_R}^{T_1} (S_A) = E(T_1) - E(T_R)$$



Stosowane rozwiązania

- układ z „zimną termoparą”
- układ z kompensacją
- układ z „ciepłą termoparą” (rzadko używany)

Standardowe rodzaje termopar

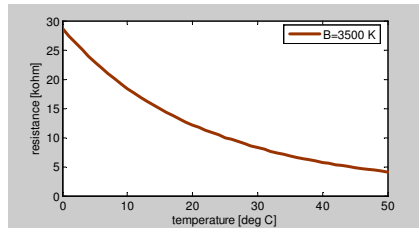
typ	złącze	zakres [°C]	czułość [μV/°C]
K	chromel/alumel	-200 ÷ 1200	39
E	chromel/konstantan	0 ÷ 900	76
J	żelazo/konstantan	-200 ÷ 760	55
T	miedź/konstantan	-200 ÷ 400	45

Pomiar temperatury

Termistor

Równanie Steinhart-Harta $a + b \ln R_T + c (\ln R_T)^3 = T^{-1}$

Dla termistorów NTC $R_T = R_0 \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$



Pomiar temperatury

Czujnik rezystancyjny (Resistive thermometer detector RTD, term. oporowy)
(William Siemens, 1871)

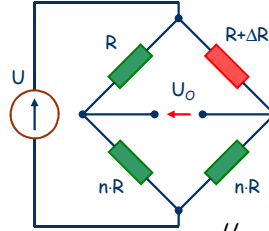
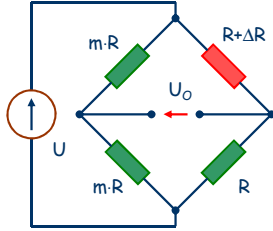
$$R_T = R_0 (1 + C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3 + \dots)$$

Czujnik Pt-100:

100 Ω @ 0°C; C₁ ~ 0.75 Ω/°C

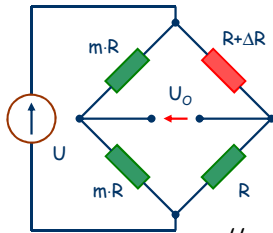


Mostek niezrównoważony

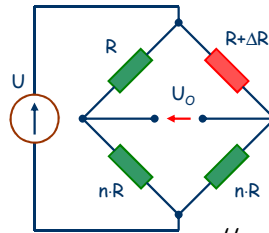


$$\frac{U_o}{U} = \frac{n \cdot \epsilon}{(n+1)^2 + (n+1)\epsilon}$$

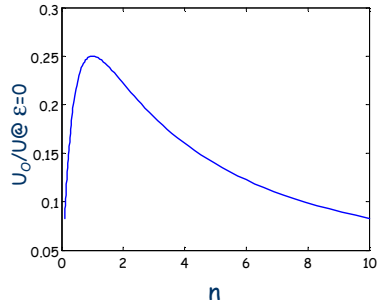
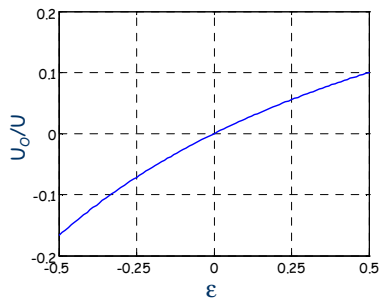
Mostek niezrównoważony - problem liniowości



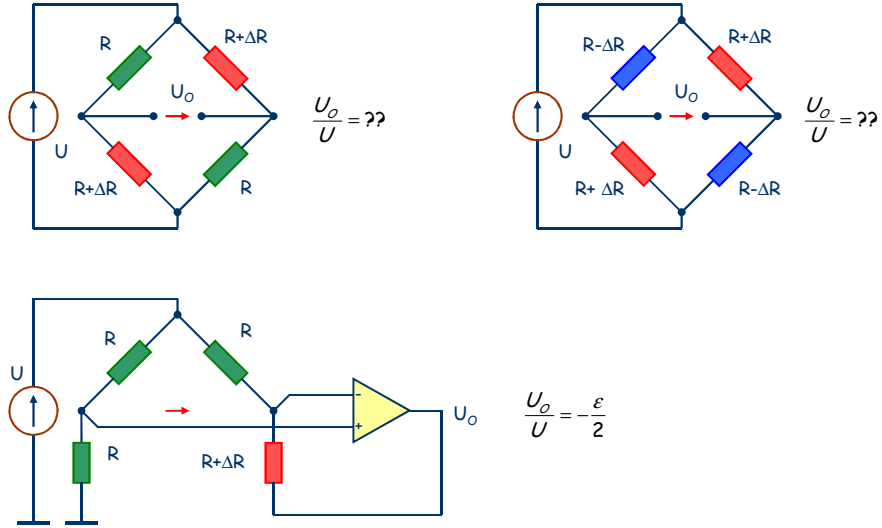
$$\frac{U_o}{U} = \frac{\epsilon}{2(2+\epsilon)}$$



$$\frac{U_o}{U} = \frac{n \cdot \epsilon}{(n+1)^2 + (n+1)\epsilon}$$

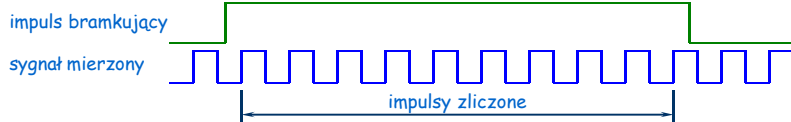
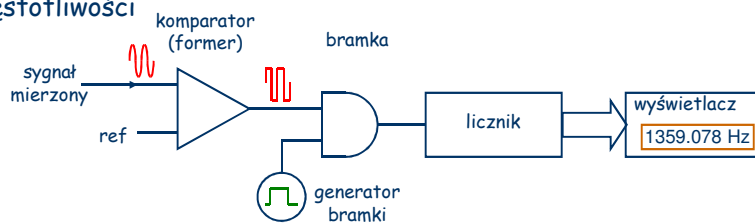


Bardziej złożone układy mostkowe

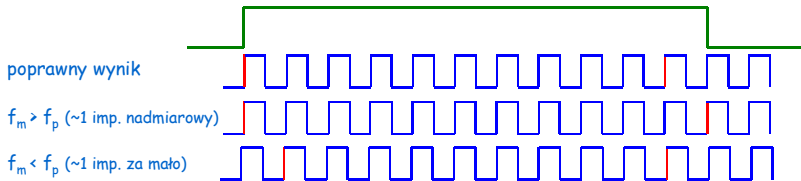


Pomiar częstotliwości

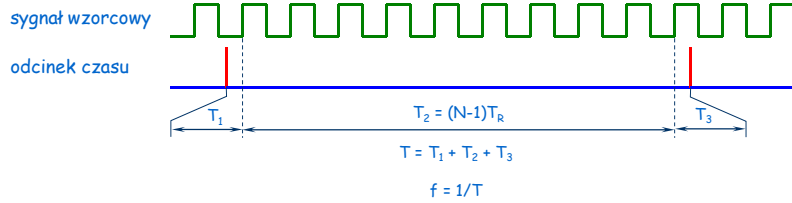
Pomiar częstotliwości



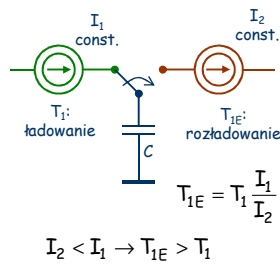
Jaka jest na prawdę częstotliwość?



Pomiar odcinka czasu/częstotliwości

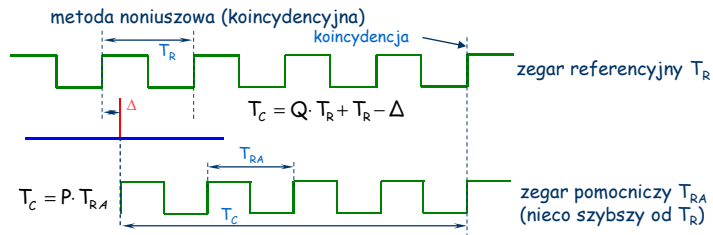


Jak zmierzyć „ogonki”?
metoda „analogowa”



Pomiar odcinka czasu/częstotliwości

Jak zmierzyć „ogonki”?



$$\Delta = (Q+1) \cdot T_R - P \cdot T_{R,A}$$

$$T_{R,A} < T_R \rightarrow P = Q+1$$

$$\Delta = (Q+1) \cdot (T_R - T_{R,A})$$

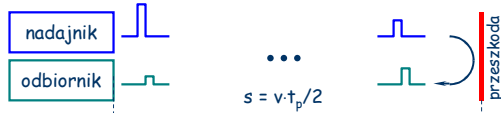
$$\Delta = T_R \cdot (Q+1) \cdot \left(1 - \frac{T_{R,A}}{T_R}\right)$$

np.: $T_{R,A}/T_R = 9/10$

$$\Delta = \frac{1}{10} T_R \cdot (Q+1)$$

Pomiar odległości

1. Pomiar „reflektometryczny” - impulsowy



rozdzielczość pomiaru:
 - długość fali λ ,
 - pomiar czasu:
 $\Delta s = 0.5v\Delta t_p$

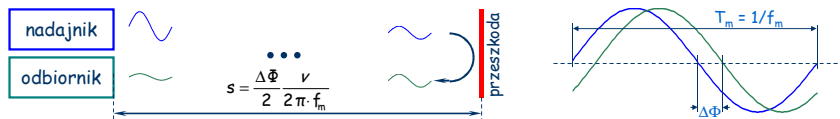
fale akustyczne:
 $v \cong 300 \text{ m/s}$
 @ 100 kHz $\rightarrow \lambda \cong 3 \text{ mm}$
 $T = 10 \mu\text{s}$

limit rozdzielczości - długość fali
 ...ale są jeszcze inne problemy...

fale świetlne:
 $v \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 @ $\lambda \cong 700 \text{ nm} \rightarrow 430 \text{ THz}$ $\Delta t_p = 10 \text{ ns} \rightarrow \Delta s = 1.5 \text{ m}...$
 $T \cong 2.3 \text{ fs}$

limit rozdzielczości - możliwości techniczne pomiaru trwania odcinka czasu

2. Pomiar „koherentny” → pomiar przesunięcia fazy sygnału CW



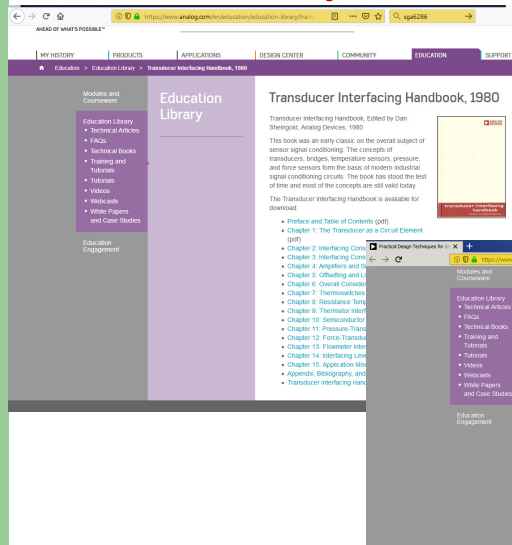
$$\Delta \Phi = 2s \cdot \beta = 2s \cdot \frac{2\pi}{\lambda_m} = 2s \cdot 2\pi \frac{f_m}{v}$$

rozdzielczość pomiaru - rozdzielczość pomiaru fazy

$v \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $f_m = 100 \text{ MHz}$ $\Delta \Phi = 1^\circ \rightarrow \Delta s \cong 4 \text{ mm}...$

Dodatkowe źródła inspiracji

<https://www.analog.com/en/education/education-library/transducer-interfacing-handbook.html>



<https://www.analog.com/en/education/education-library/practical-design-techniques-sensor-signal-conditioning.html>

