

SENSORY

- Aktywne np. rezystancyjne
- Pasywne np. elektromagnetyczne

Literatura

1. A. Gajek, Z. Juda: Czujniki.
Wydawnictwa Komunikacji i
Łączności, Warszawa, 2008.



2. D. Schmidt (edytor): Mechatronika.
REA, Warszawa, 2002.



Plan wykładu

1. Czujniki indukcyjne
2. Czujniki hallotronowe
3. Czujniki potencjometryczne
4. Czujniki termistorowe
5. Czujniki termoelektryczne (termopary)
6. Czujniki masowego natężenia przepływu (termoanemometry)
7. Czujniki tensometryczne
8. Czujniki pojemnościowe
9. Czujniki piezoelektryczne
10. Czujniki radarowe i lidarowe
11. Czujniki ultradźwiękowe
12. Czujniki fotoelektryczne (optyczne)
13. Czujniki elektrolityczno-rezystancyjne
14. Inne czujniki

Czujniki indukcyjne

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

gdzie:

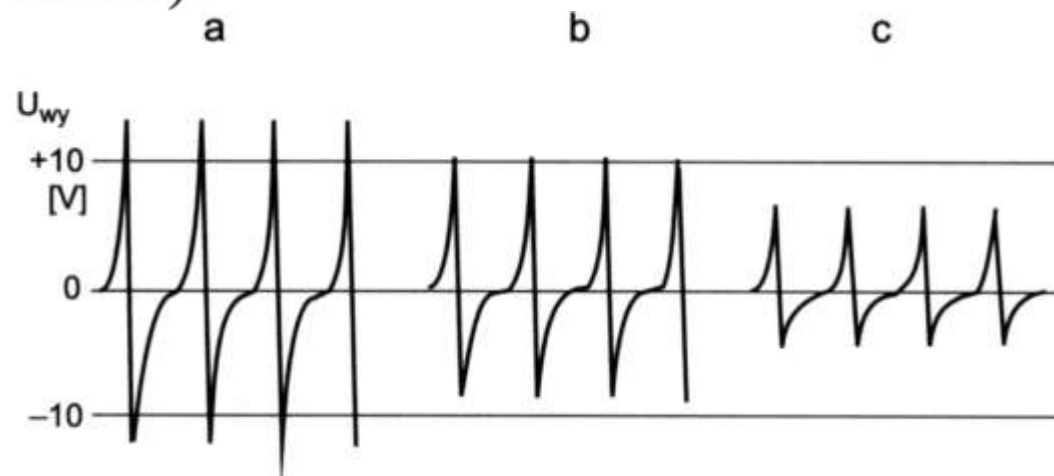
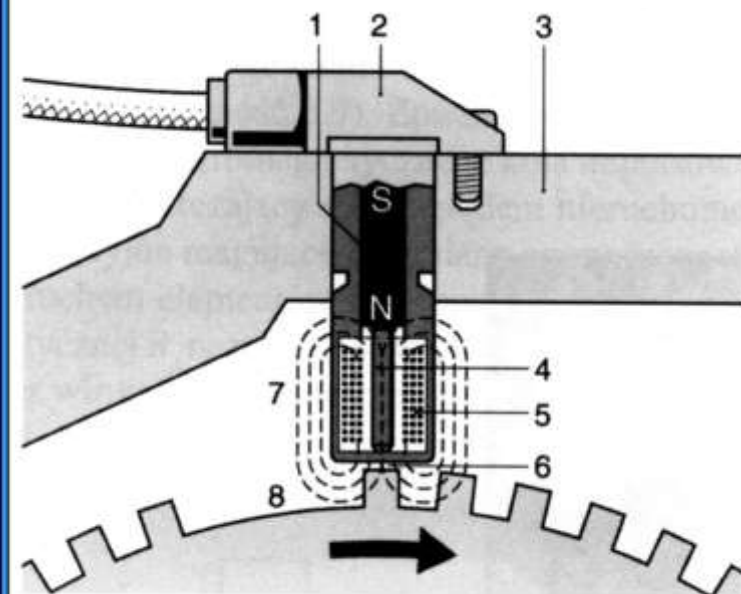
r – odległość punktu P od osi przewodnika,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [T·m/A] – stała magnetyczna
(przenikalność magnetyczna bezwzględna próżni).

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0}$$

Reluktacyjny czujnik prędkości obrotowej

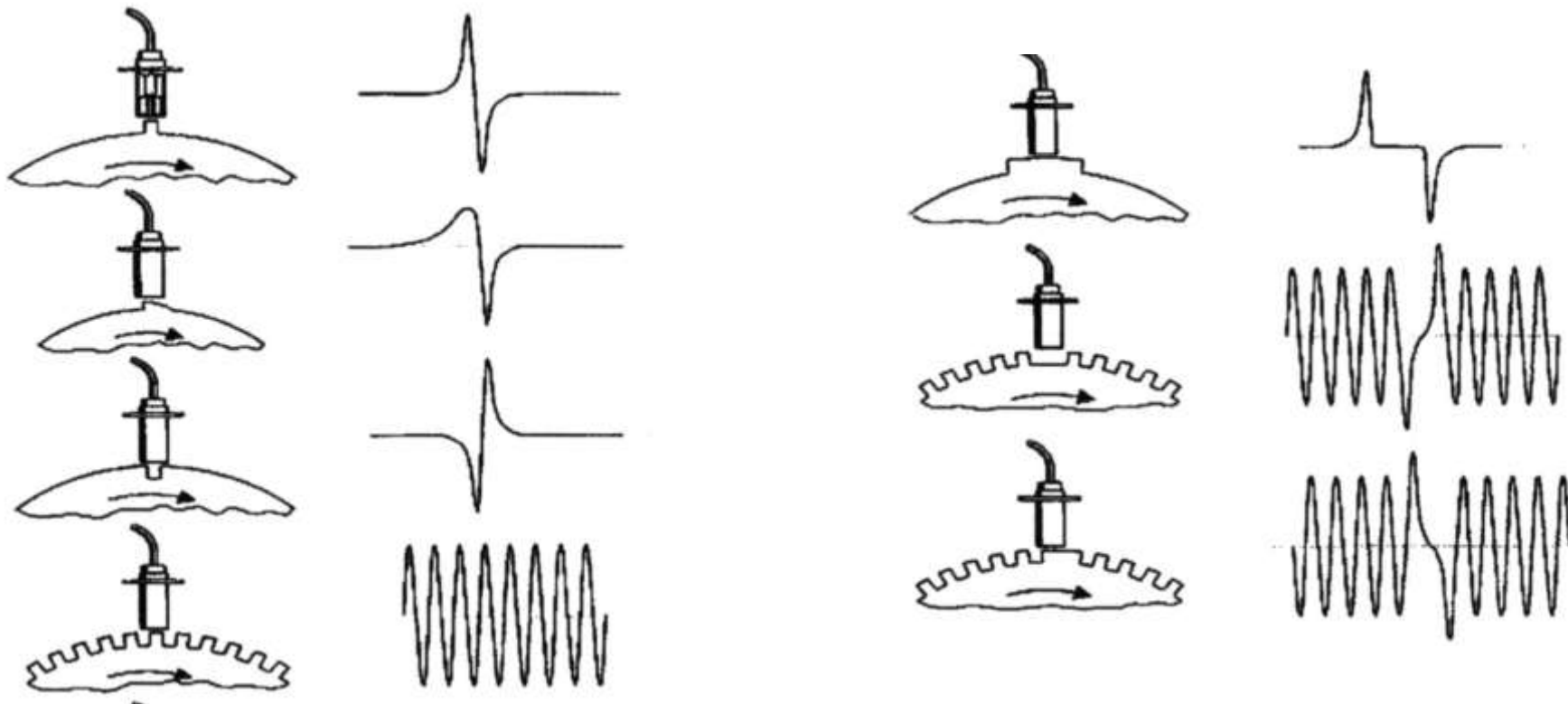
$$U = z \frac{d\varphi}{dt} \quad (z - \text{liczba zwojów cewki}).$$



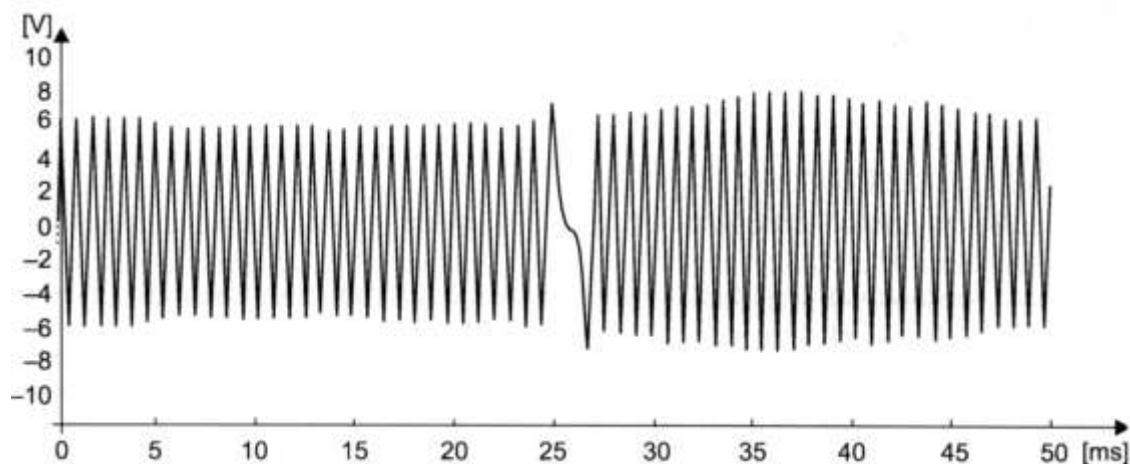
- a* – pomiar przy czujniku odłączonym od sterownika;
b – pomiar po podłączeniu do sterownika;
c – pomiar po podłączeniu do sterownika, względem masy samochodu;

- 1* – magnes stały, *2* – korpus, *3* – kadłub silnika, *4* – rdzeń magnesu, *5* – cewka, *6* – szczelina powietrzna 0,8...1,5 mm, *7* – pole magnetyczne, *8* – ferromagnetyczne koło impulsowe

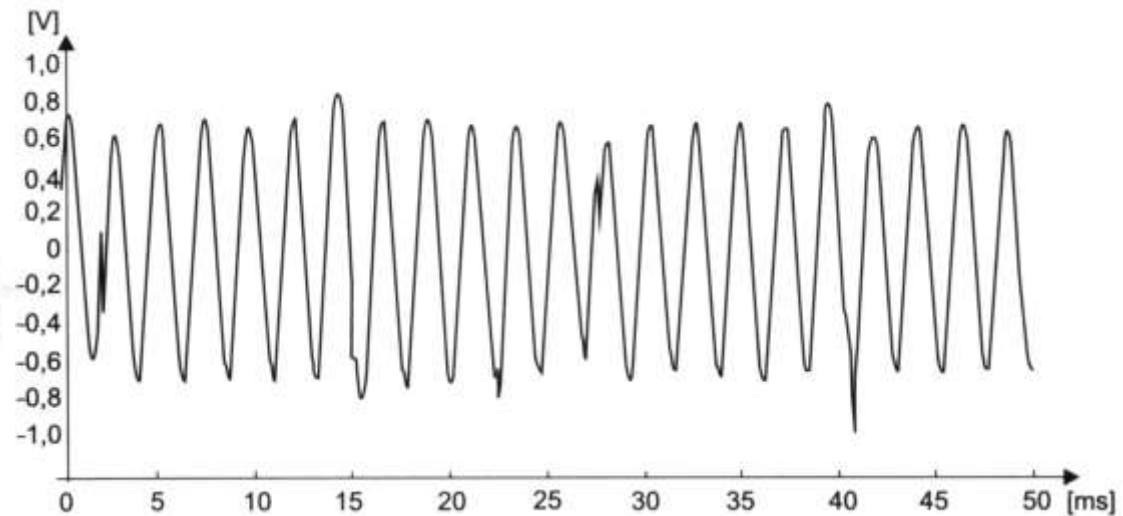
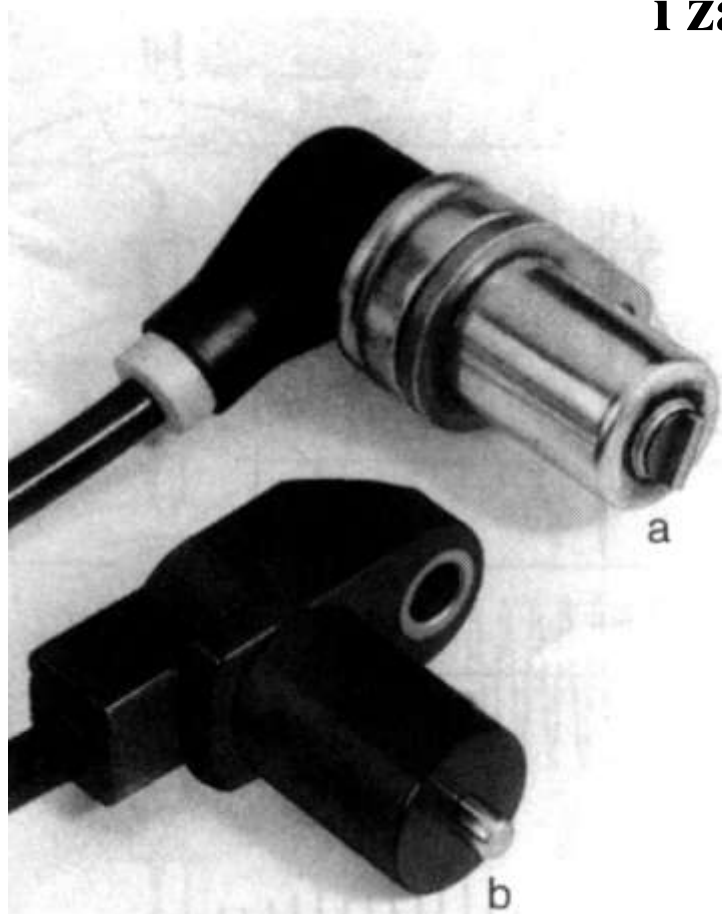
Przebiegi sygnałów pomiarowych czujnika indukcyjnego w zależności od budowy współpracującego z nim koła impulsowego



Indukcyjny czujnik prędkości obrotowej i położenia wału korbowego

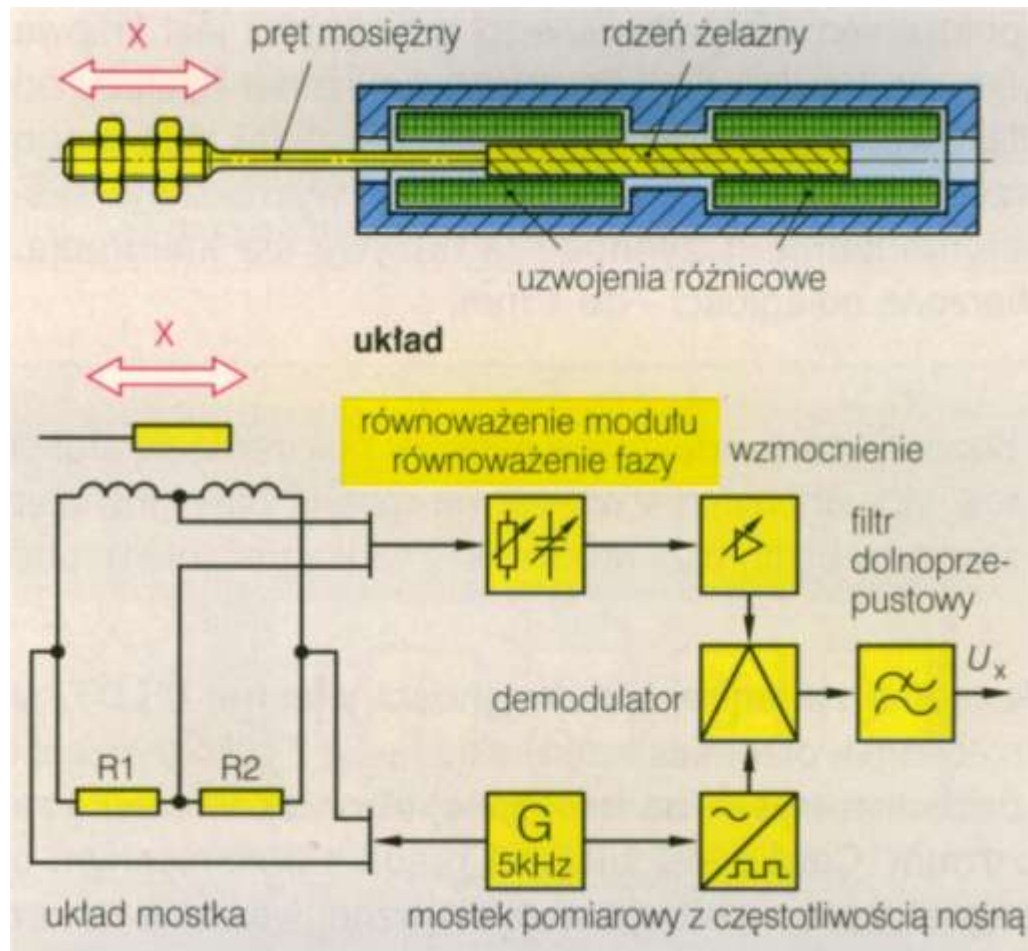


Indukcyjny czujnik prędkości obrotowej koła samochodu (układ ABS) z rdzeniem o zakończeniu płetwowym (a) i zaokrąglonym (b):



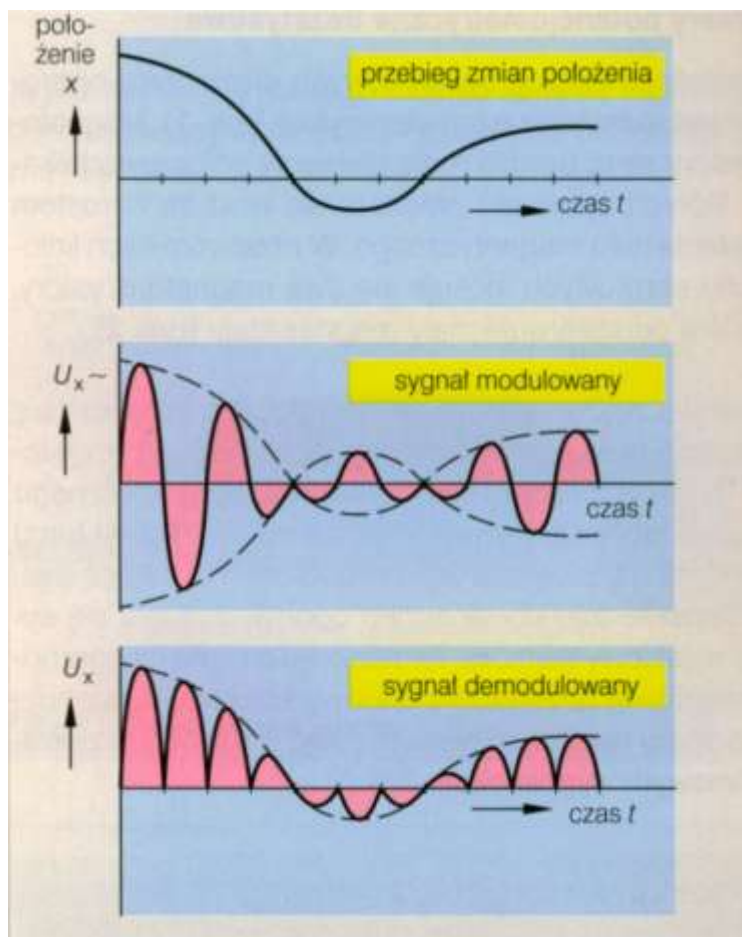
Indukcyjne sensory położenia z rdzeniem ferrytowym

Indukcyjny sensor położenia z układem przetwarzania



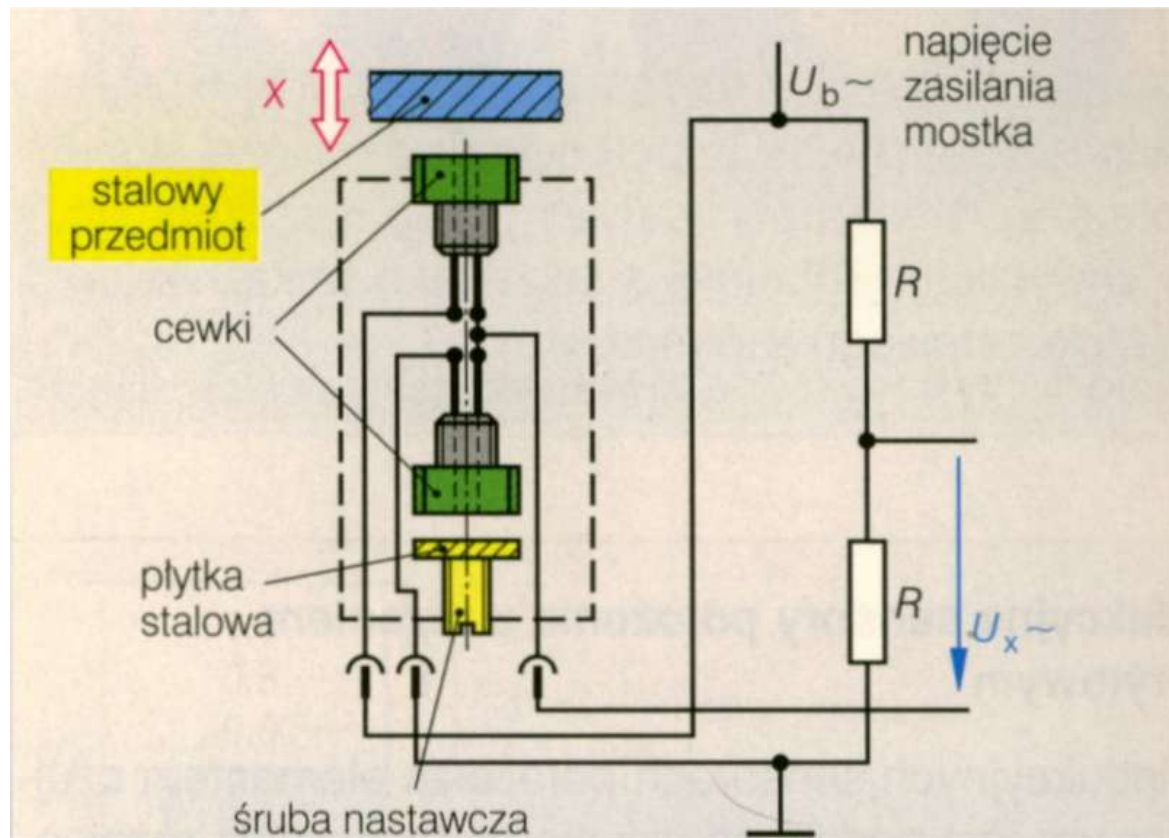
Indukcyjne sensory położenia z rdzeniem ferrytowym

Demodulacja przez prostowanie

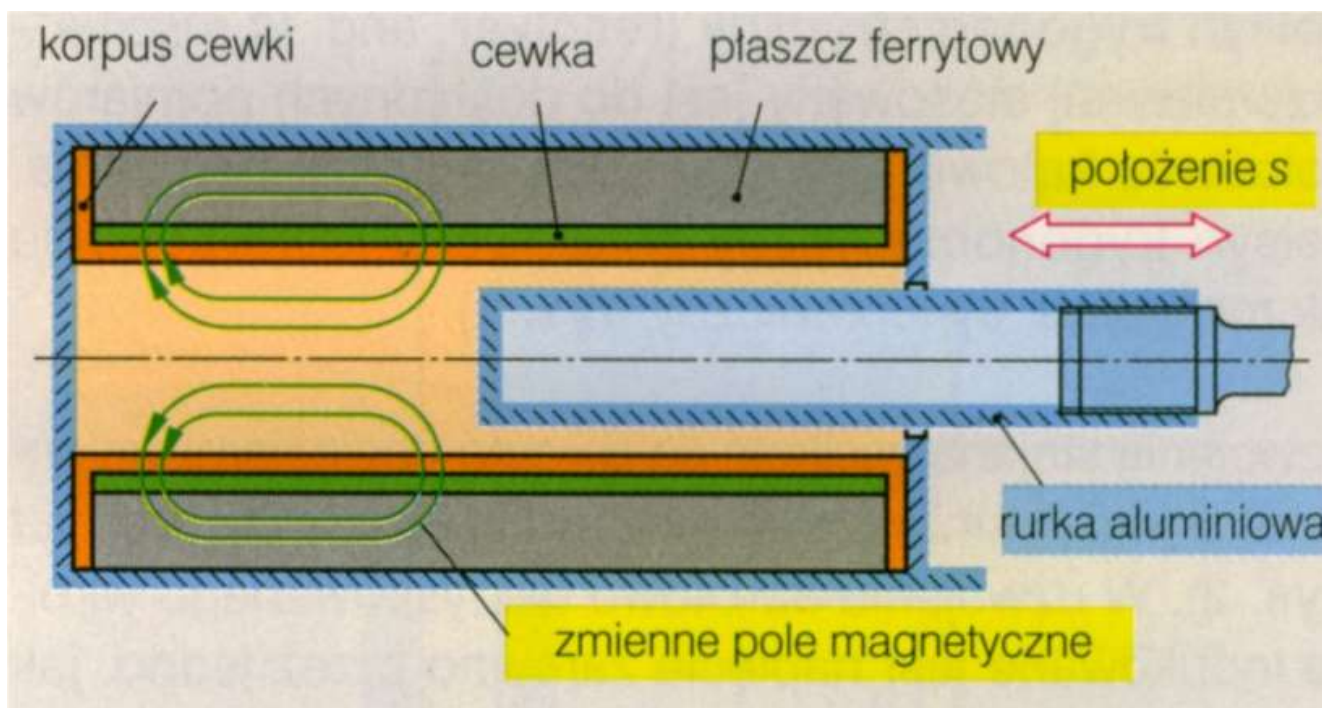


Indukcyjne sensory położenia

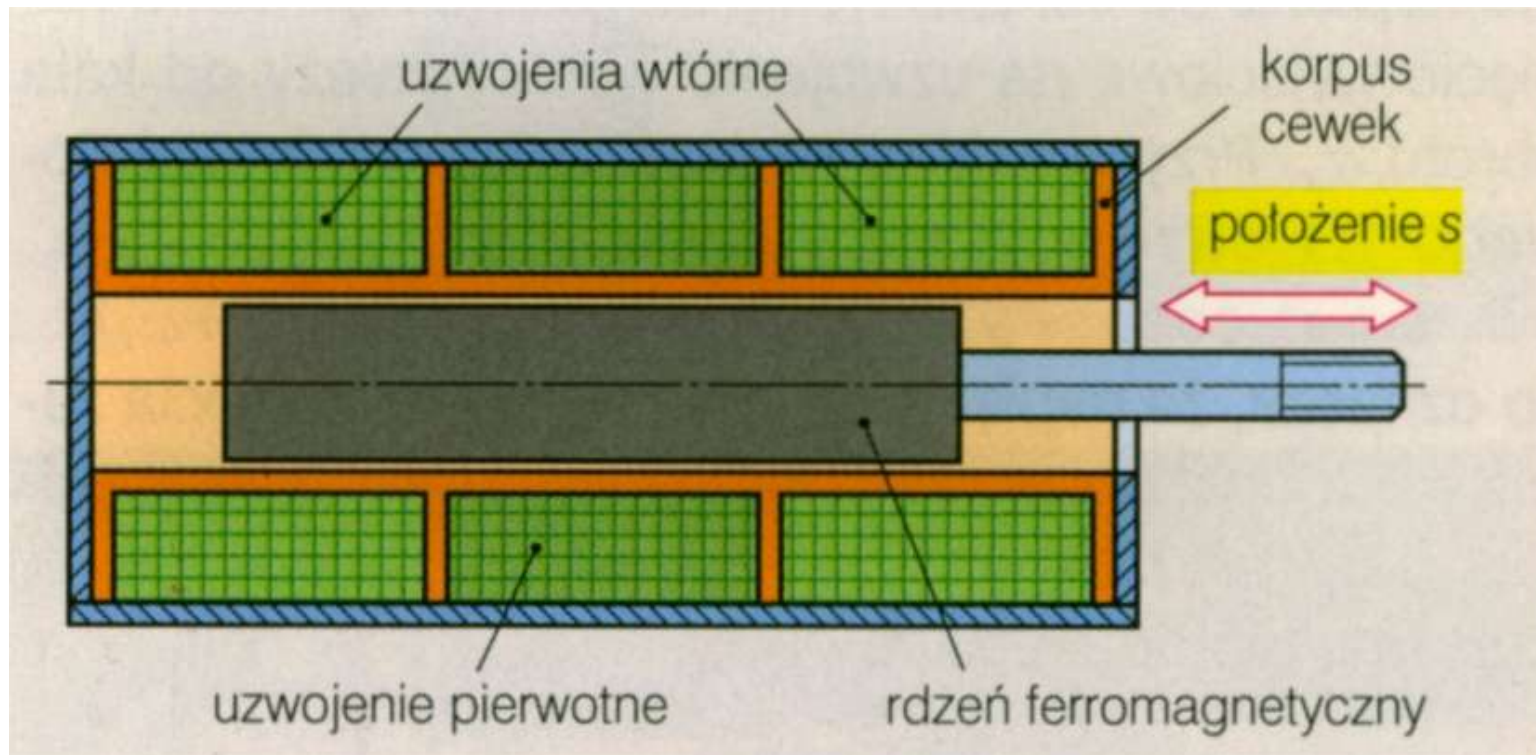
Bezstykowy indukcyjny sensor położenia



Sensor o zmiennej indukcyjności własnej FLDT (Fast Linear Displacement Transducer)

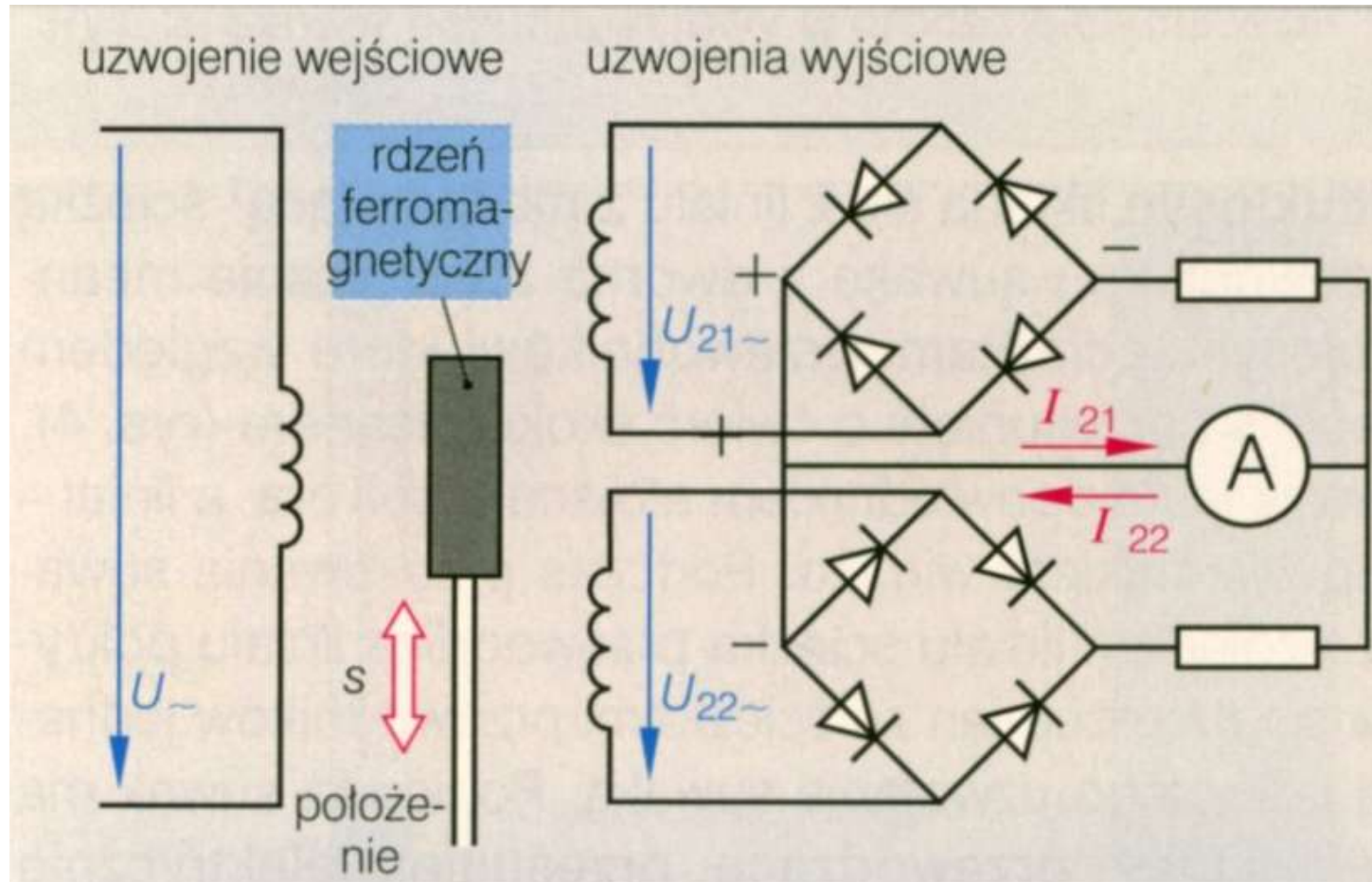


Sensor o zmiennej indukcyjności wzajemnej - transformatorowy LVDT (Linear Variable Displacement Transducer)

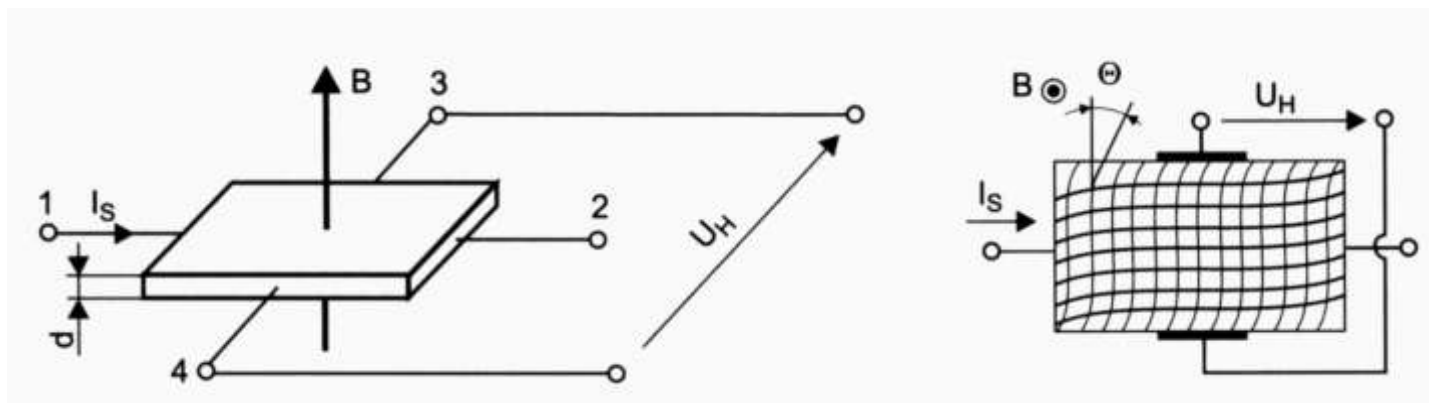


Sensor o zmiennej indukcyjności wzajemnej - transformatorowy

Transformator różnicowy z uproszczonym układem pomiarowym



Czujniki hallotronowe – efekt Hall’a



$$U_H = \frac{R_H I_S B}{d}$$

gdzie:

R_H – współczynnik Halla zależny od materiału półprzewodnika [$\text{m}^2/\text{A}\cdot\text{s}$],

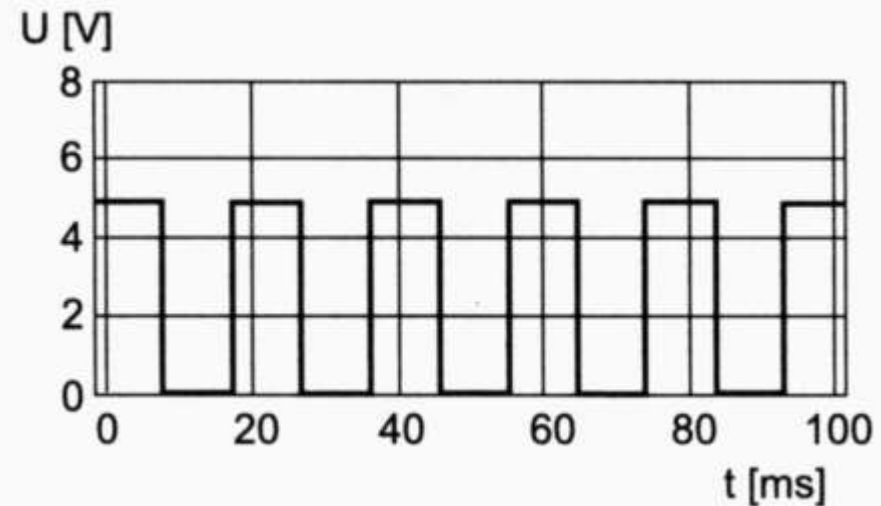
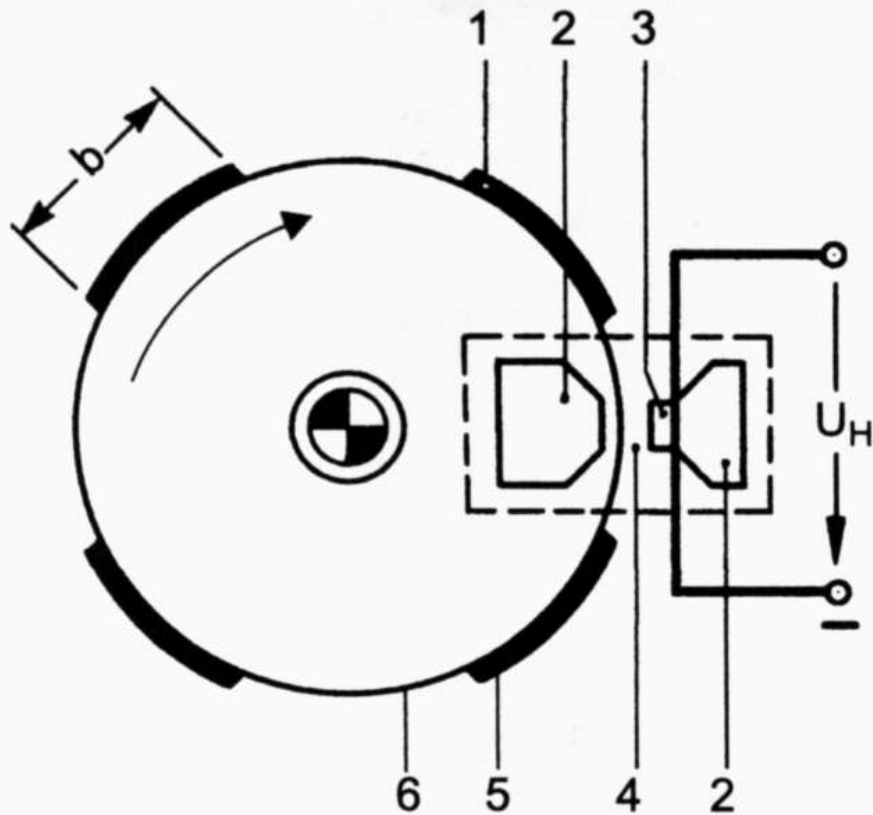
d – grubość płytki [m],

I_S – natężenie prądu sterującego [A],

B – indukcja pola magnetycznego [T].

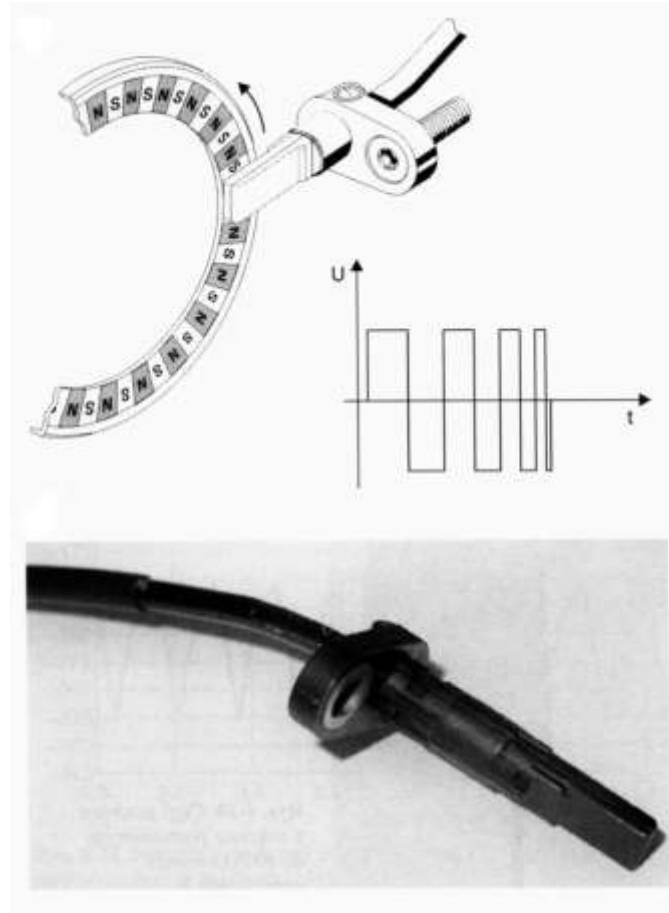
Czujniki hallotronowe

Hallotronowy czujnik wbudowany w aparat zapłonowy

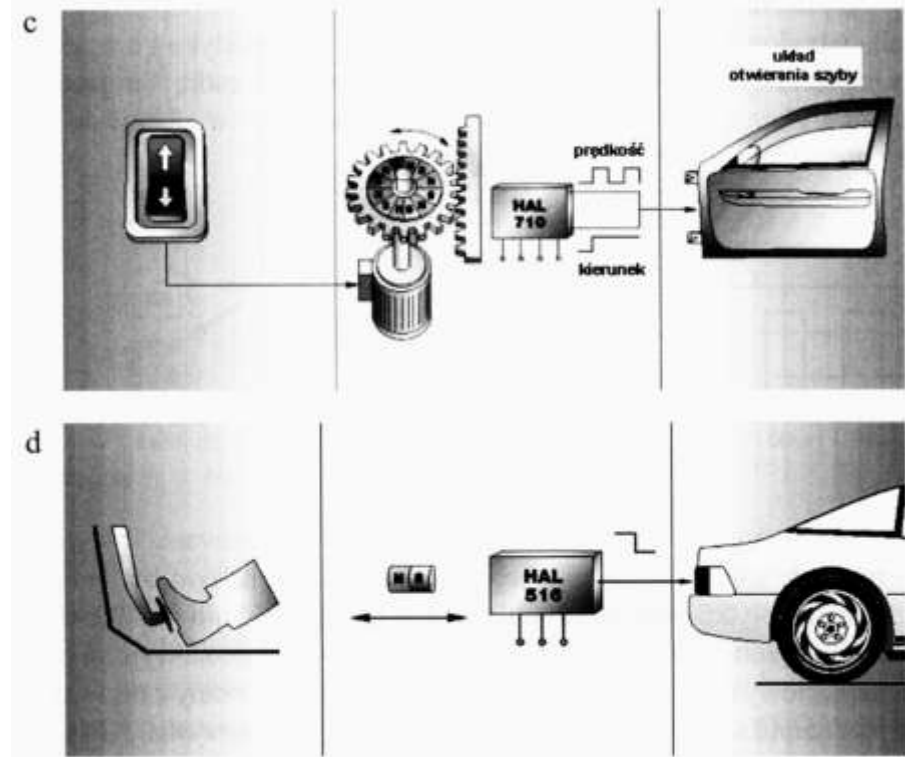
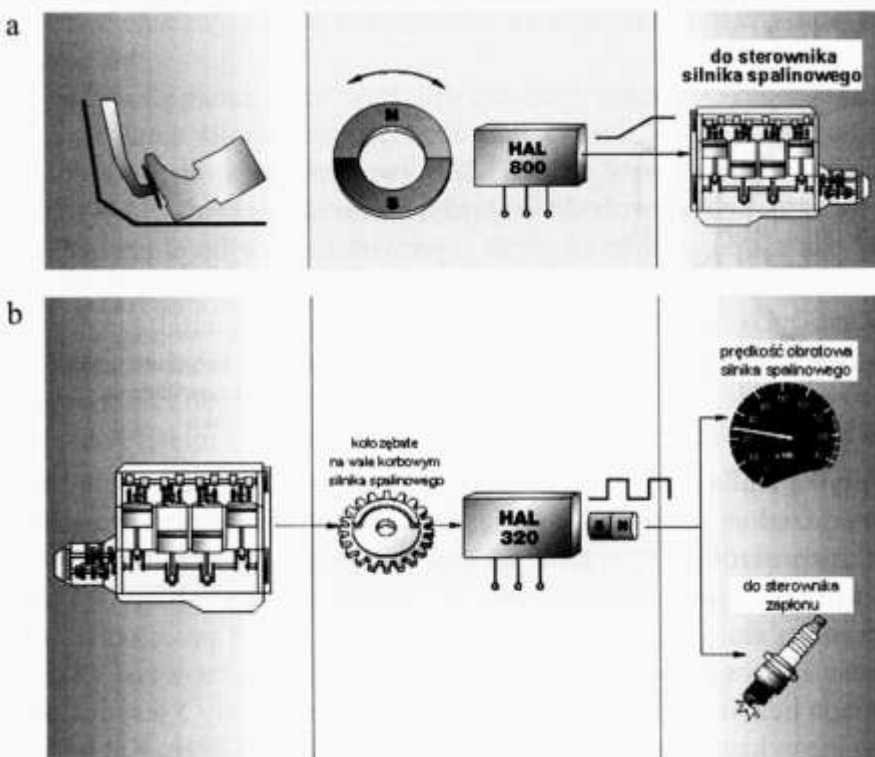


Czujniki hallotronowe

Hallotronowy czujnik prędkości obrotowej w układzie ABS



Czujniki hallotronowe



a – czujnik położenia pedału przyspieszenia, *b* – czujnik prędkości obrotowej silnika (czujnik różnicowy z dwiema płytkami Halla), *c* – czujnik stopnia otwarcia szyby w drzwiach samochodu, *d* – czujnik włączenia świateł hamowania

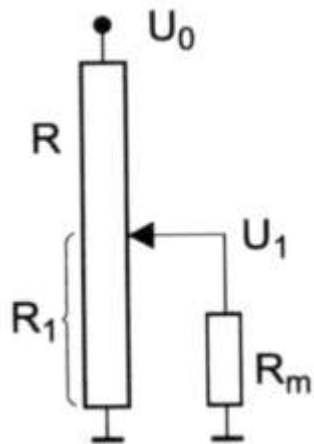
Czujniki potencjometryczne

$$R_1 = \rho \frac{l}{S}$$

ρ – rezystywność [$\Omega \cdot m$],

l – długość ścieżki potencjometru do miejsca położenia ślizgacza [m],

S – przekrój ścieżki [m^2].



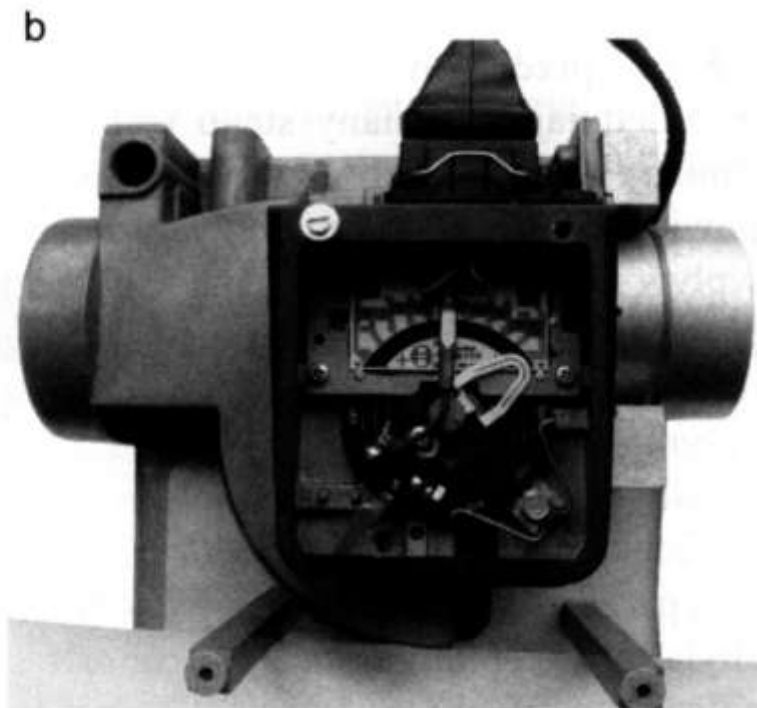
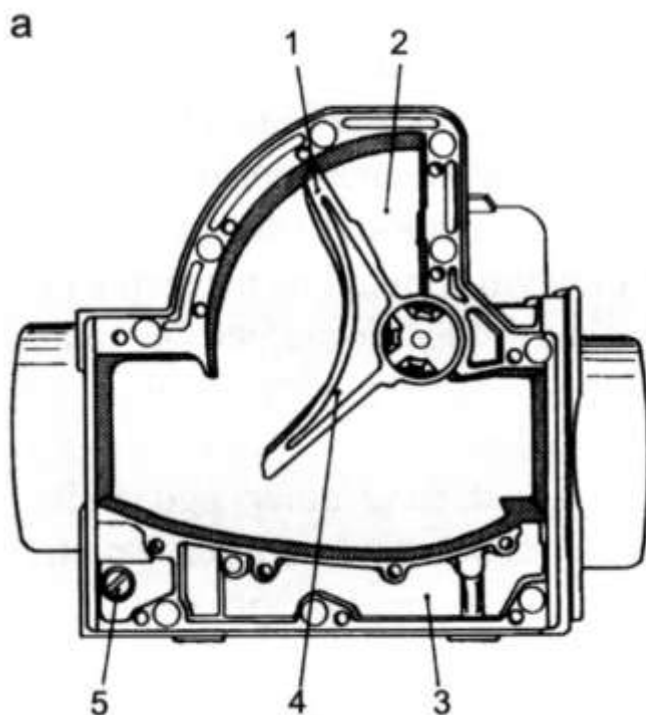
U_0 – napięcie zasilania, R – całkowita rezystancja ścieżki przewodzącej, R_1 – rezystancja ścieżki przewodzącej do miejsca położenia ślizgacza, R_m – rezystancja wewnętrzna ślizgacza i przyrządu pomiarowego, U_1 – sygnał pomiarowy

$$I = \frac{U_0 - U_1}{R - R_1} \quad \text{oraz} \quad I = (U_0 - U_1) \frac{R_m + R_1}{R_1 R_m}$$

$$U_1 = U_0 \frac{A}{R - R_1 + A} \quad A = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m}$$

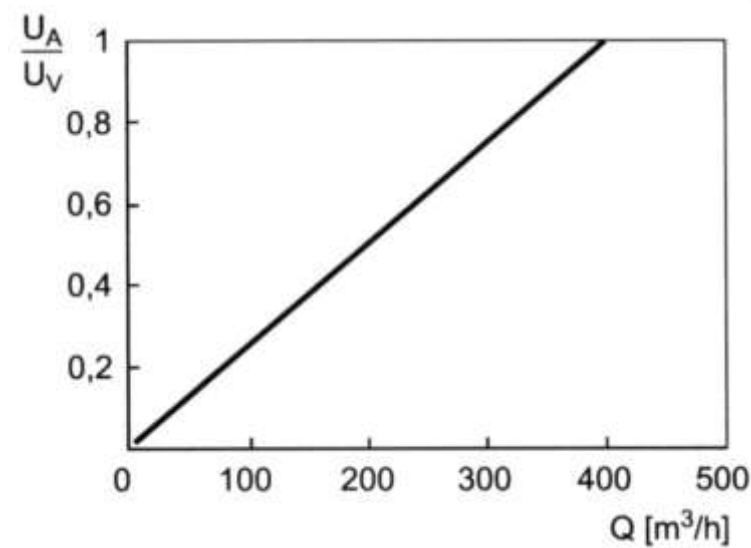
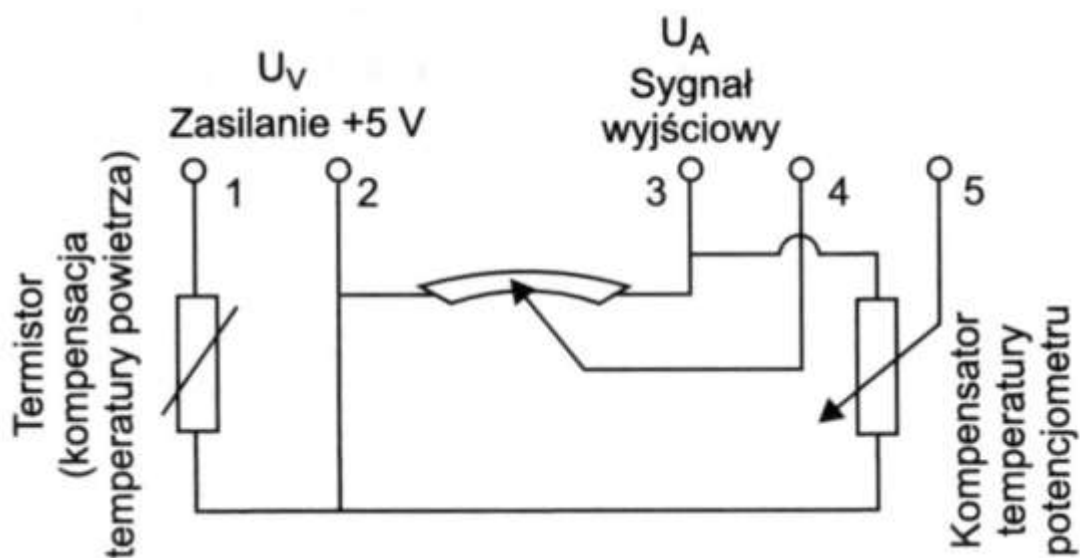
$$R_m \gg R_1. \text{ Dla } R_m \rightarrow \infty \text{ jest: } U_1 \approx U_0 \frac{R_1}{R}$$

Objętościowy przepływomierz powietrza z potencjometrem – przekrój (a)



(1 – tarcza kompensacyjna, 2 – objętość tłumiąca, 3 – kanał obejściowy,
4 – tarcza spiętrzająca, 5 – wkręt regulacji składu mieszanki biegu jałowego); widok
potencjometru przepływomierza powietrza firmy Bosch (b)

Objętościowy przepływomierz powietrza z potencjometrem



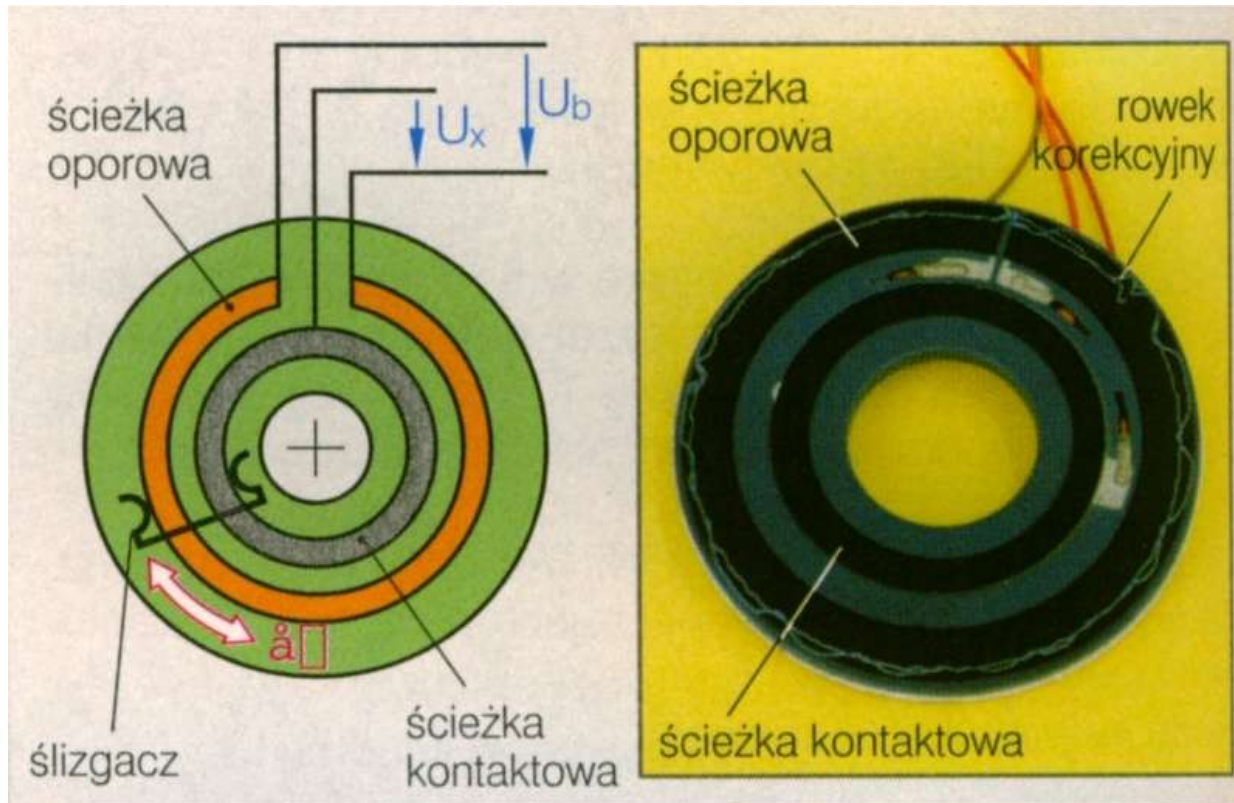
Sensory potencjometryczne stykowe

Potencjometr liniowy



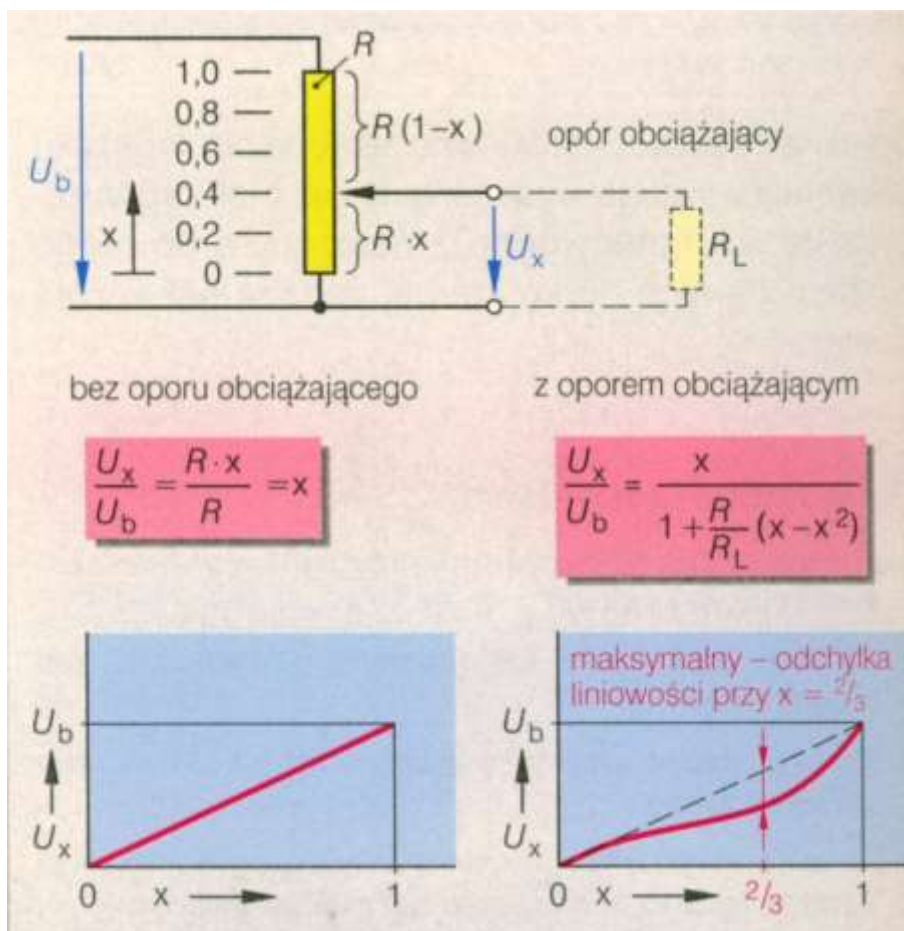
Sensory potencjometryczne stykowe

Potencjometr obrotowy



Sensory potencjometryczne stykowe

Potencjometr jako dzielnik napięcia



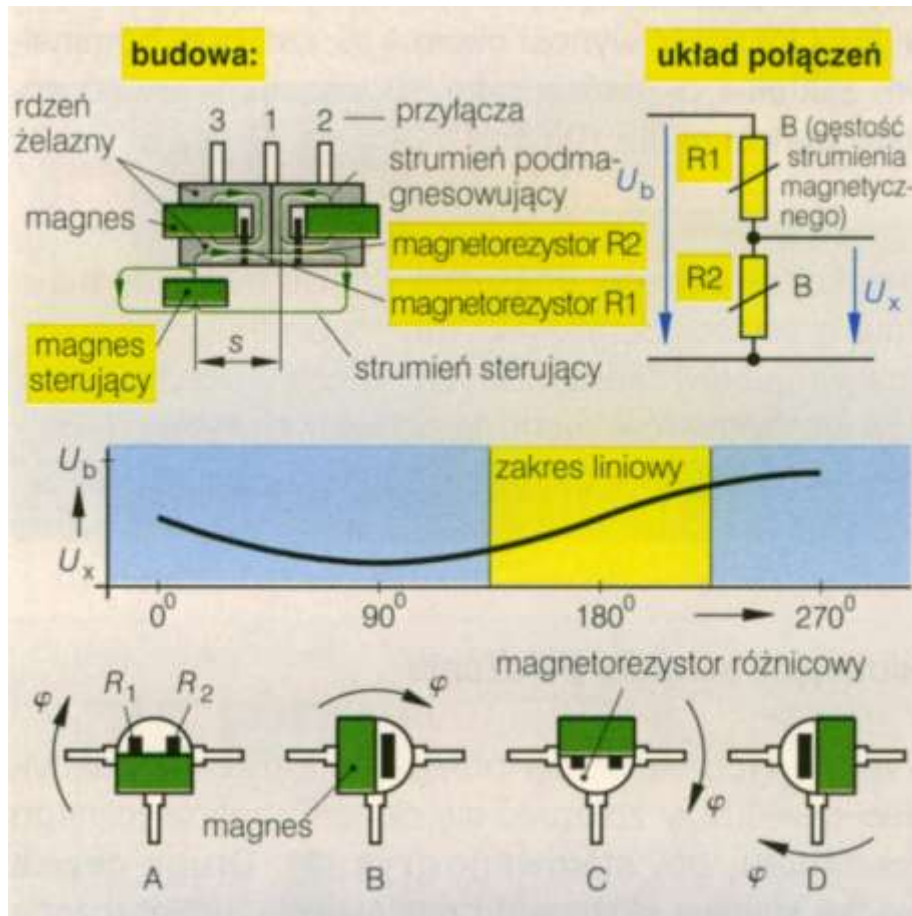
Sensory potencjometryczne bezstykowe

Potencjometr magnetorezystancyjny



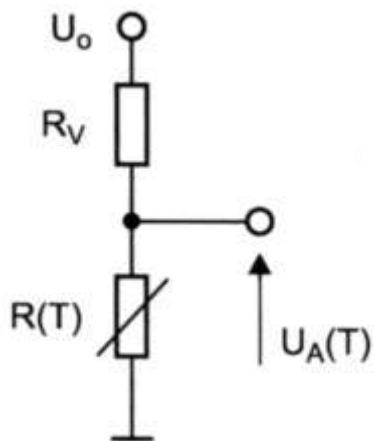
Sensory potencjometryczne bezstykowe

Potencjometr magnetorezystancyjny

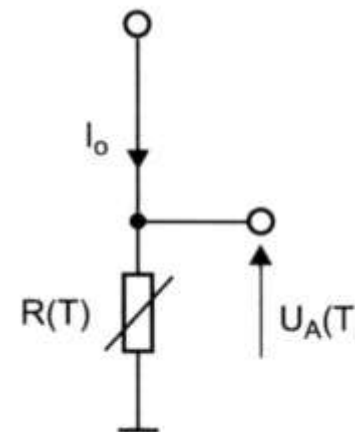


Czujniki termistorowe – przetwarzanie charakterystyki: napięciowe przez wymuszenie prądem zasilającym

$$U_A(T) = U_0 \frac{R(T)}{R(T) + R_v}$$



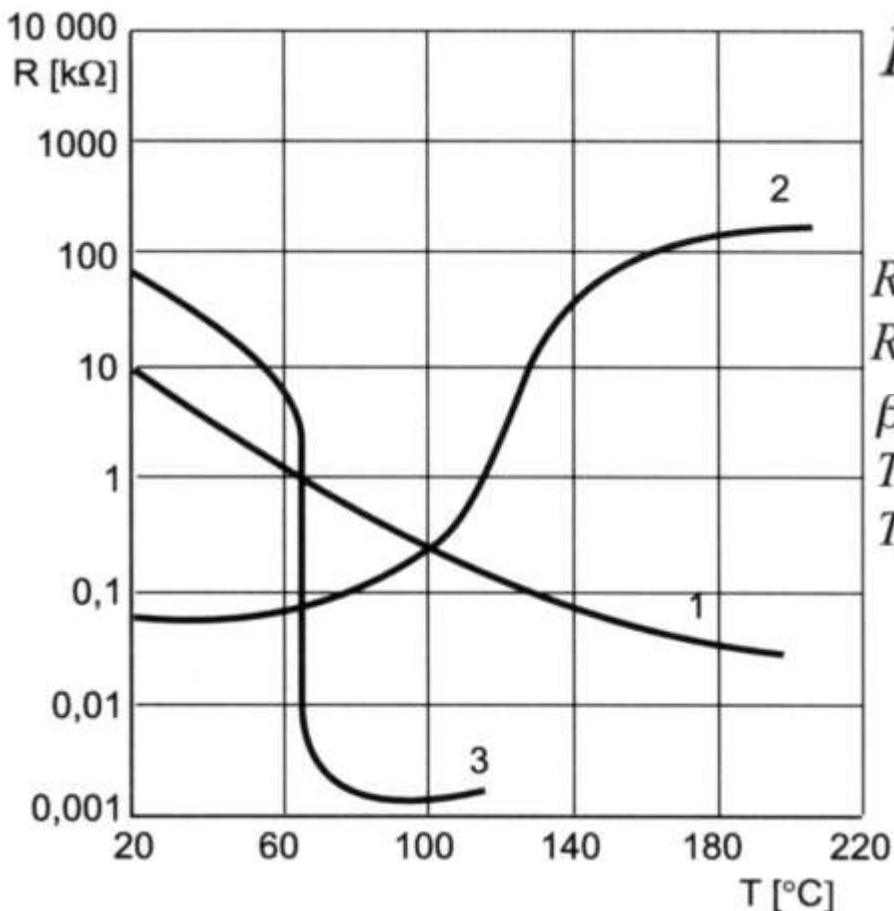
$$U_A(T) = I_0 R(T)$$



U_0 – napięcie zasilające,
 $R(T)$ – rezystor pomiarowy,
 $U_A(T)$ – napięcie wyjściowe,
 R_v – neutralny temperaturowo rezystor
 dodatkowy lub układ rezystorów

I_0 – prąd zasilający,
 $U_A(T)$ – napięcie wyjściowe,
 $R(T)$ – rezystor pomiarowy

Czujniki termistorowe



3 – termistor CTR

1 – termistor NTC,

$$R(T) = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$R(T)$ – rezystancja w temperaturze T [K],

R_0 – rezystancja w temperaturze odniesienia,

β – stała zależna od rodzaju materiału termistora,

T – temperatura pracy [K],

T_0 – temperatura odniesienia równa 273,15 K.

2 – termistor PTC,

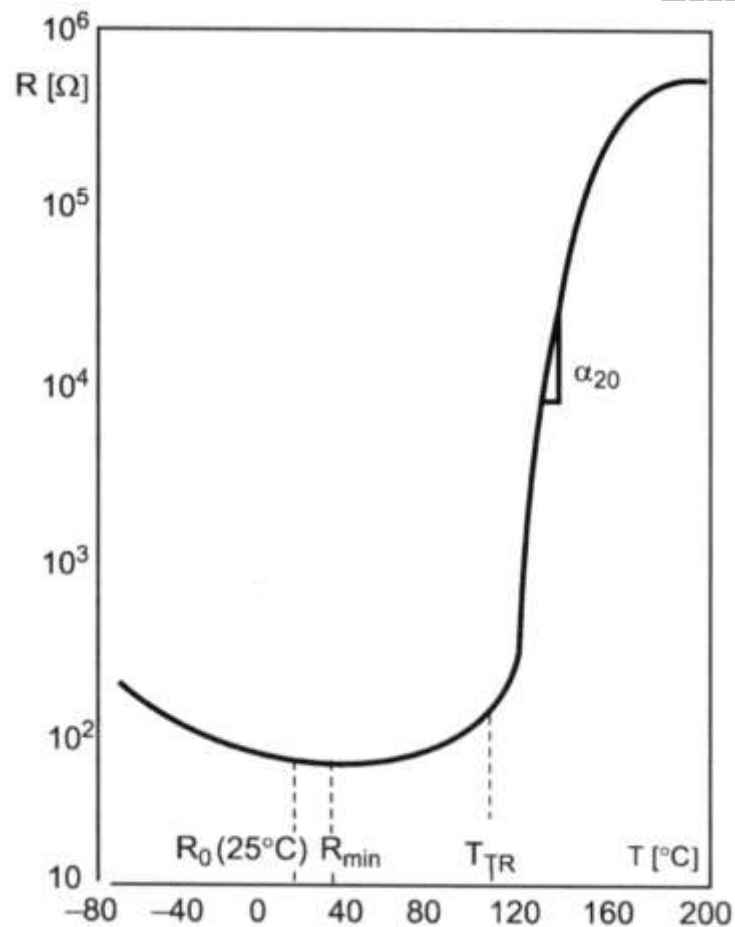
$$R(T) = R_0 [1 + \alpha \Delta T + \beta (\Delta T)^2 + \dots]$$

ΔT – przyrost temperatury ($\Delta T = T - T_0$),

T_0 – temperatura odniesienia,

α, β – współczynniki temperaturowe.

Rezystancyjno-temperaturowy termistor typu CTR o skokowej zmianie rezystancji

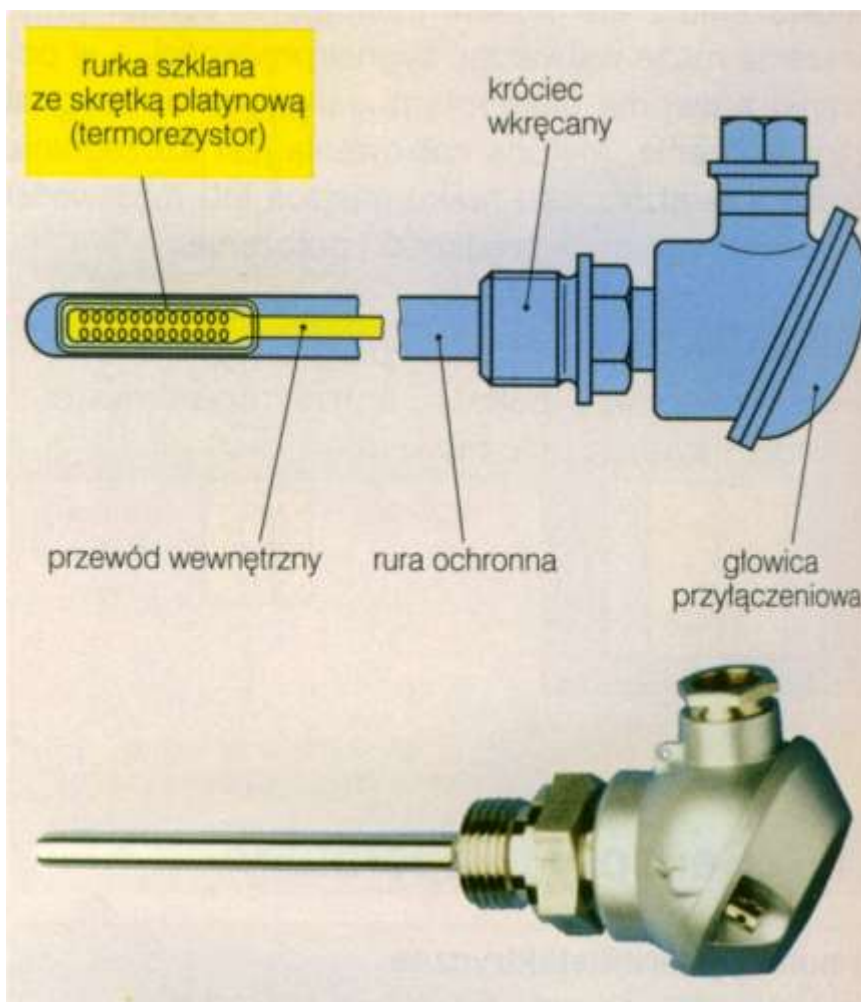


T_{TR} – temperatura przejścia (skoku oporności)

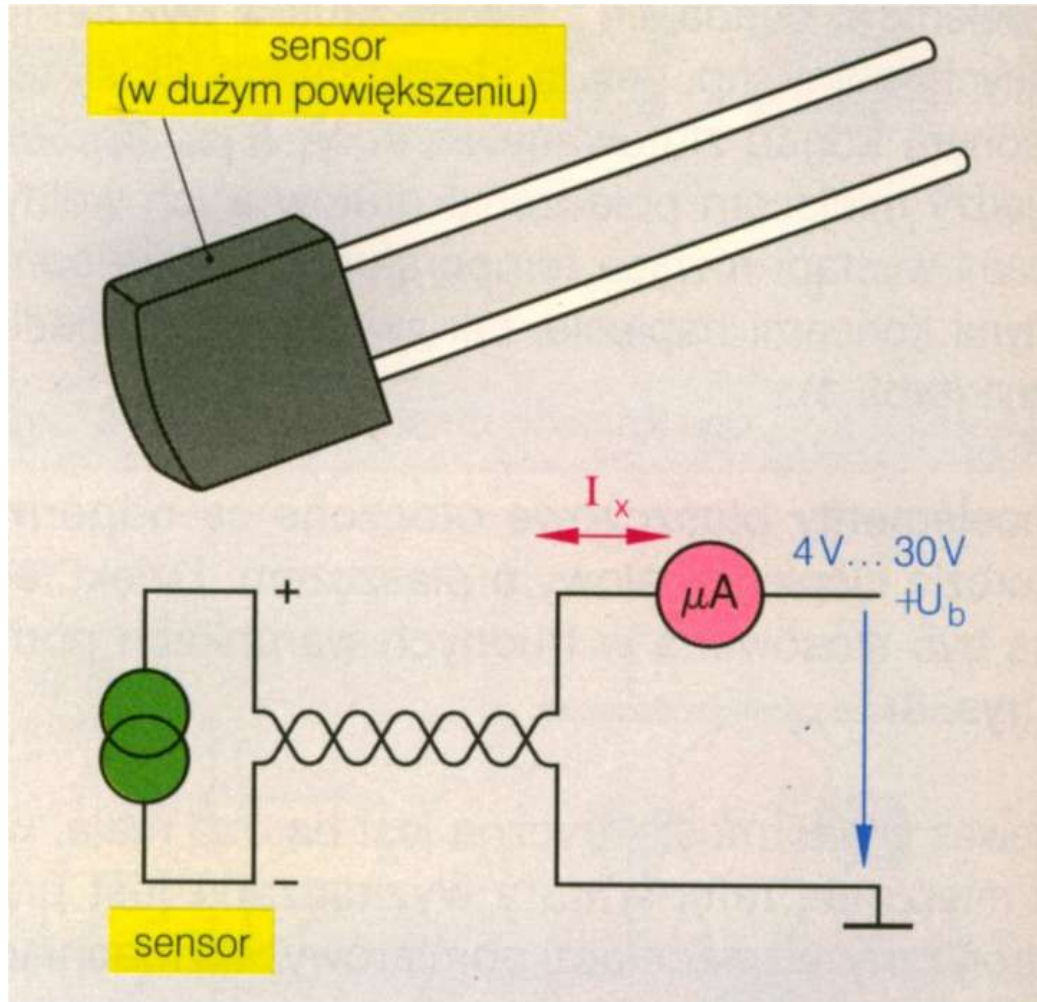


a – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, *b* – czujnik temperatury powietrza zasysanego

Termometr oporowy



Półprzewodnikowy sensor temperatury



Czujniki termoelektryczne (termopary)

Zjawisko Peltiera

$$N = \pi I$$

π – współczynnik Peltiera.

Zjawisko Seebeka

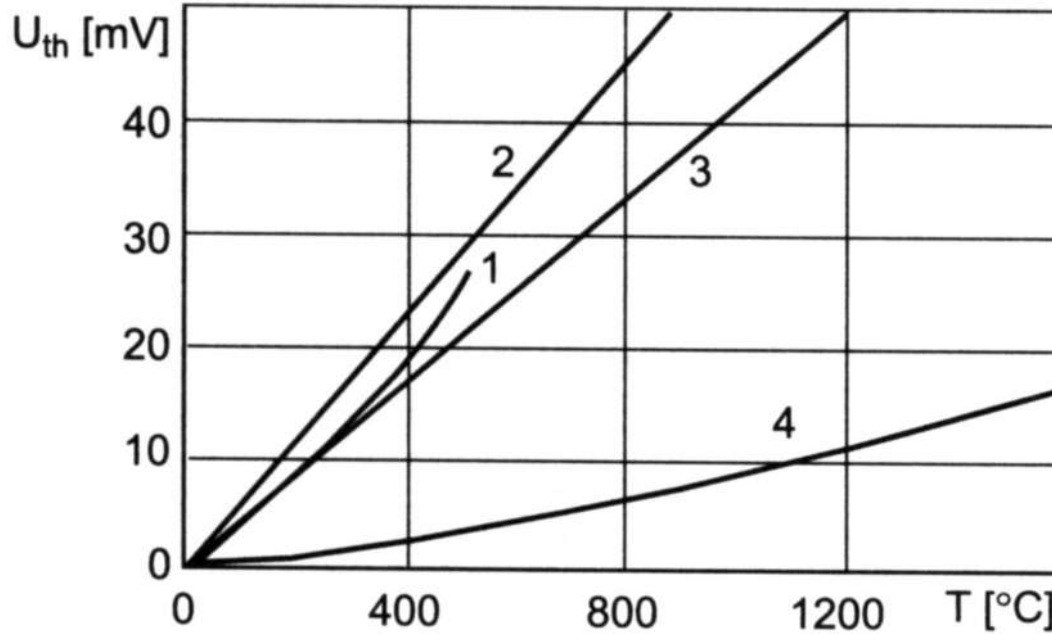
$$U = c\Delta T$$

U – napięcie termoelektryczne,

c – współczynnik Seebeka (stała termoelektryczna charakterystyczna dla materiału przewodnika),

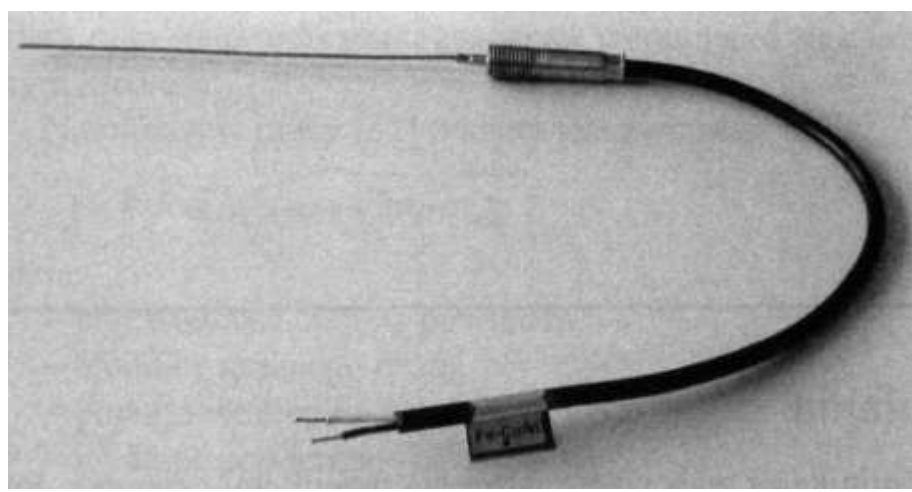
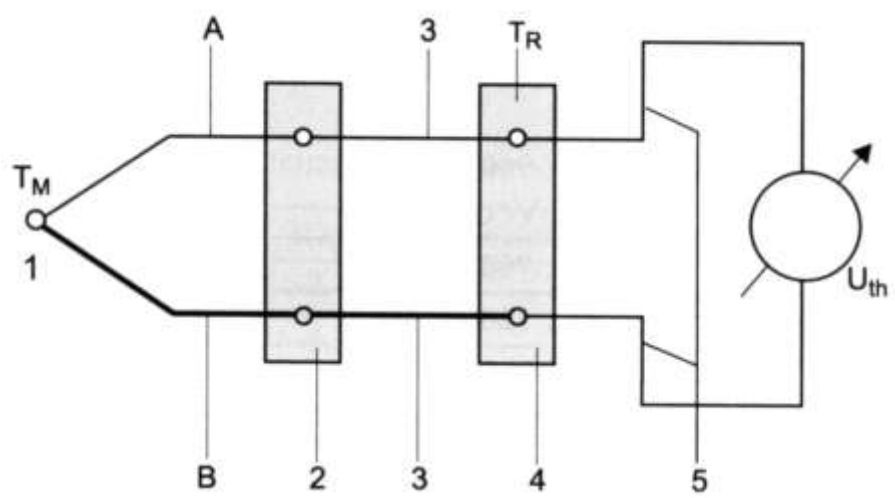
ΔT – różnica temperatur między końcami przewodnika.

Charakterystyki termopar



- 1 – miedź/konstantan,
 - 2 – żelazo/konstantan,
 - 3 – chromonikiel/nikiel,
 - 4 – platynorod/platyna
- U_{th} – napięcie termoelektryczne

Termopara igłowa Fe/CuNi firmy Czaki z przewodami kompensacyjnymi i elementem mocującym

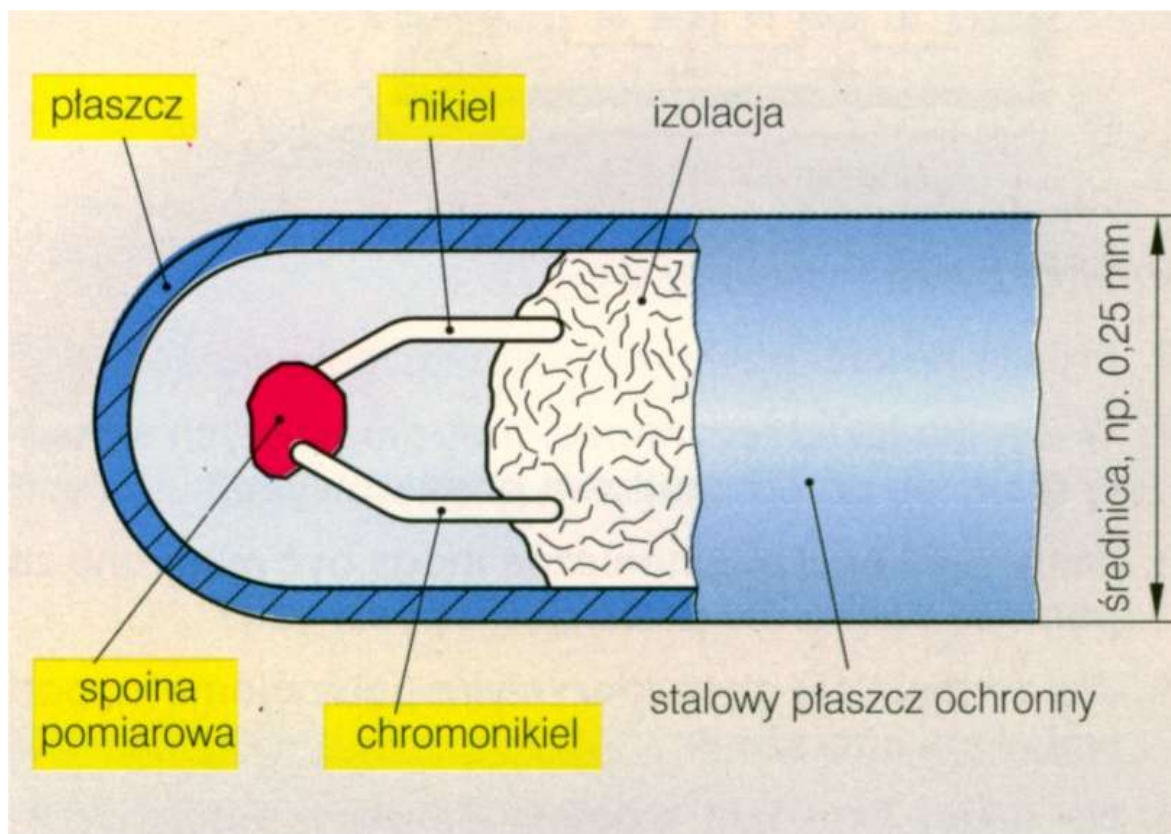


1 – miejsce pomiaru („gorące złącze”), 2 – przyłącza, 3 – przewody kompensacyjne, 4 – miejsce odbioru sygnału, 5 – przewody układu pomiarowego
A i *B* – przewody termopary, U_{th} – napięcie termoelektryczne, T_M – temperatura mierzona, T_R – temperatura odniesienia

Siły termoelektryczne

termoelement	zakres pomiarowy	czułość przy 20°C
platyna-rodplatyna	-200 °C do 1600 °C	0,0065 mV/°C
chromonikiel-konstantan	-200 °C do 800 °C	0,0562 mV/°C
żelazo-konstantan	-200 °C do 600 °C	0,0515 mV/°C
miedź-konstantan	-200 °C do 500 °C	0,041 mV/°C

Termometr płaszczowy



Czujniki masowego natężenia przepływu (termoanemometry)

Termoanemometr z „gorącym drutem”

$$N_e = N_v$$

$$I^2 R = c_1 \lambda_1 \Delta T$$

λ_1 – przewodność cieplna przepływającego czynnika [J/(m·s·K)],
 ΔT – różnica temperatur elementu grzanego i opływającego go czynnika,
 c_1 – współczynnik proporcjonalności zależny od wymiarów elementu grzejnego

$$I^2 R \approx c_1 (\sqrt{Q_m} + c_2) \Delta T \qquad I^2 R \approx \Delta T (c_t + \sqrt{2\pi d c_v Q_m})$$

c_t – przewodność cieplna powietrza,

d – średnica grzanego drutu,

c_v – pojemność cieplna powietrza,

Q_m – wydatek powietrza.

$$c_2 \approx 0$$

$$Q_m = \frac{I^4 R^2}{c_1^2 \Delta T^2}$$

Czujniki masowego natężenia przepływu (termoanemometry)

Termoanemometr kalorymetryczny

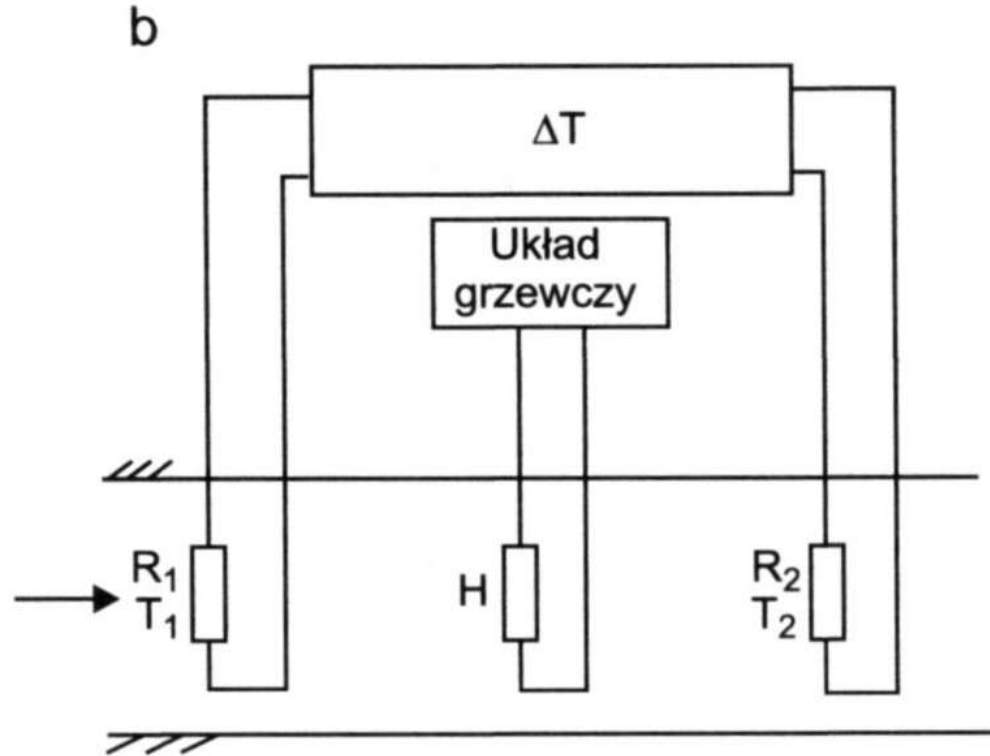
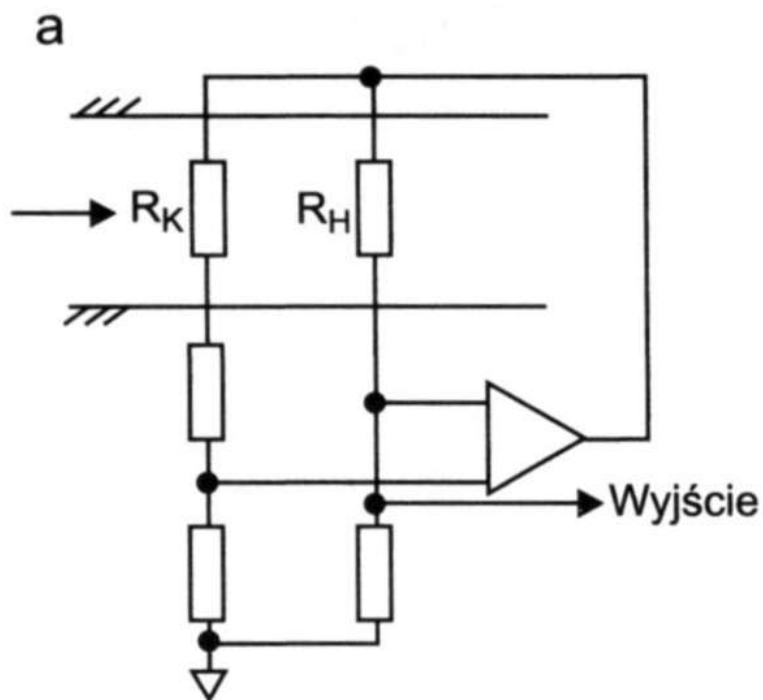
$$\Delta Q_C = c_p m \Delta T$$

c_p – ciepło właściwe powietrza

$$I^2 R \approx c_p \frac{m}{\tau} \Delta T$$

$$Q_m = \frac{m}{\tau} = \frac{I^2 R}{c_p \Delta T}$$

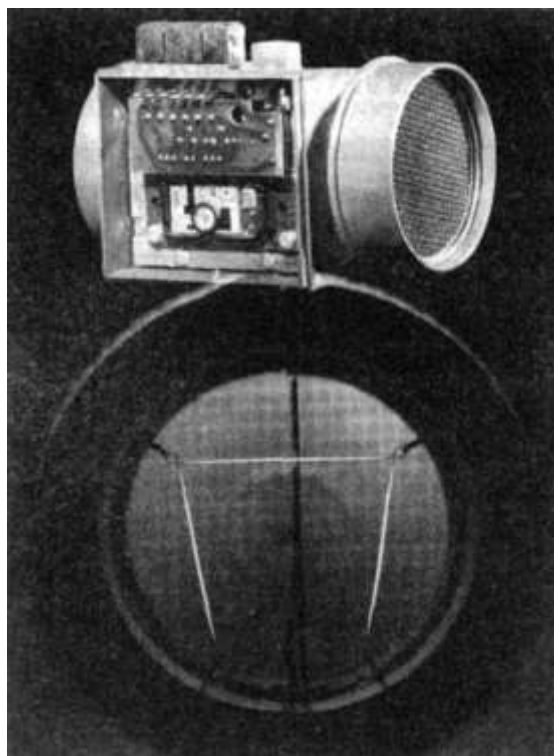
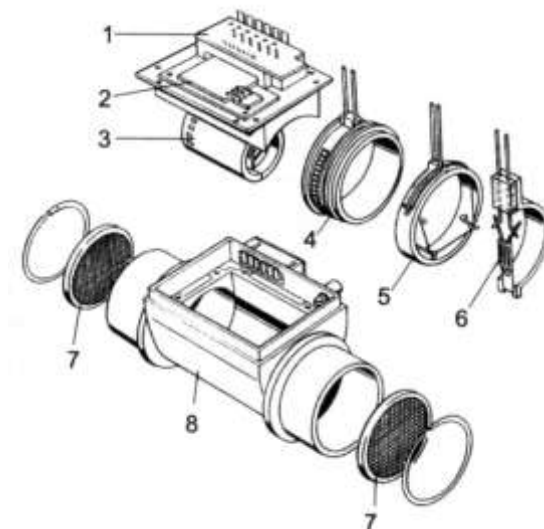
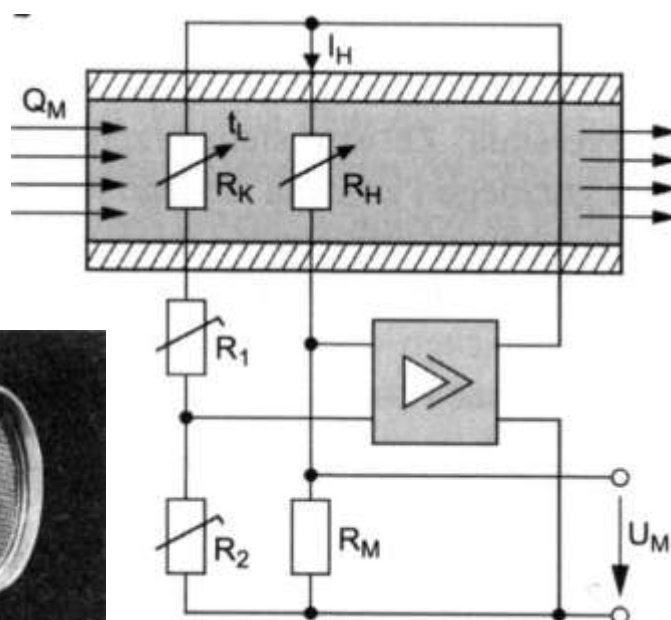
Zasada pomiaru natężenia przepływu przy użyciu termoanemometrów:



a – z „gorącym drutem”, *b* – kalorymetrycznego;

R_H – rezystor grzany - pomiarowy, R_K – rezystor kompensacyjny, R_1 i R_2 – rezystory pomiarowe

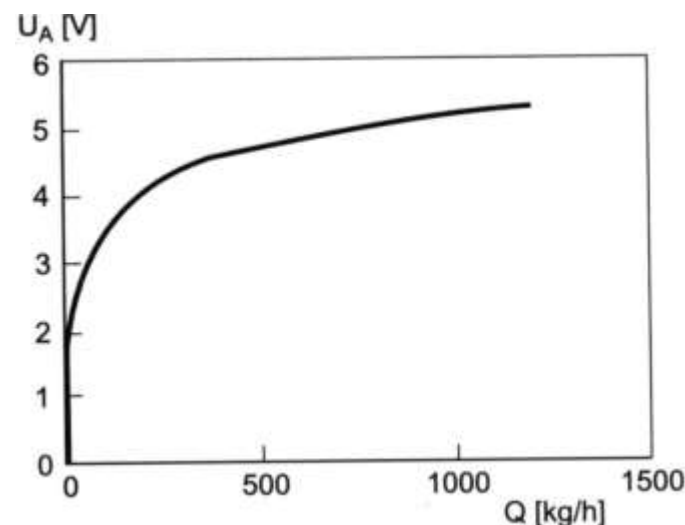
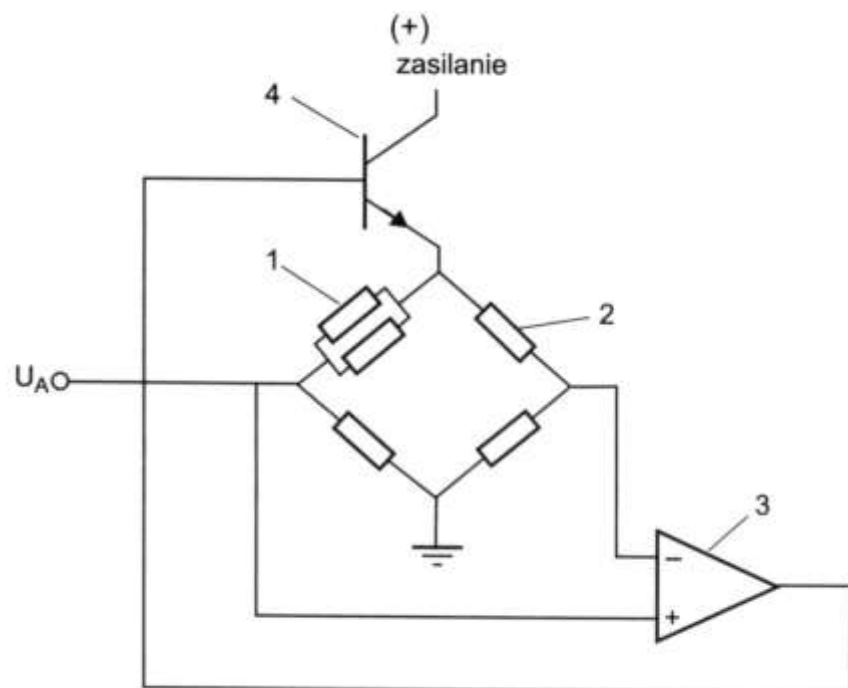
Przepływomierz powietrza z termoanemometrem drutowym



1 – płytka przyłączy elektrycznych, 2 – obwód hybrydowy obejmujący układ elektryczny mostka, układ kompensacji temperatury oraz układ eliminacji zakłóceń, 3 – rura wewnętrzna, 4 – rezystor precyzyjny, 5 – element z „gorącym drutem”, 6 – rezystor kompensacji temperatury, 7 – siatka ochronna, 8 – obudowa

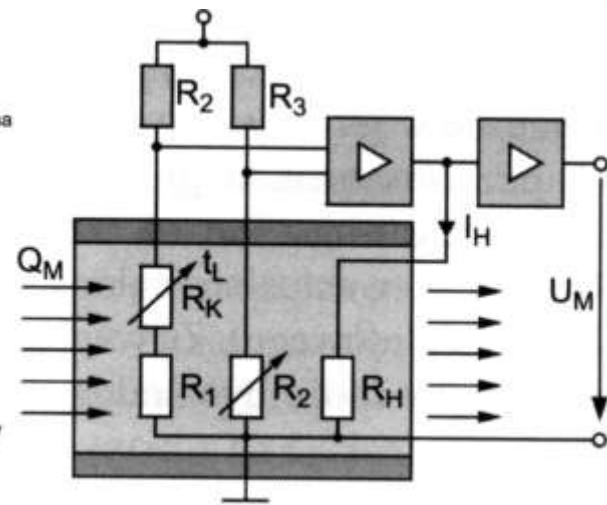
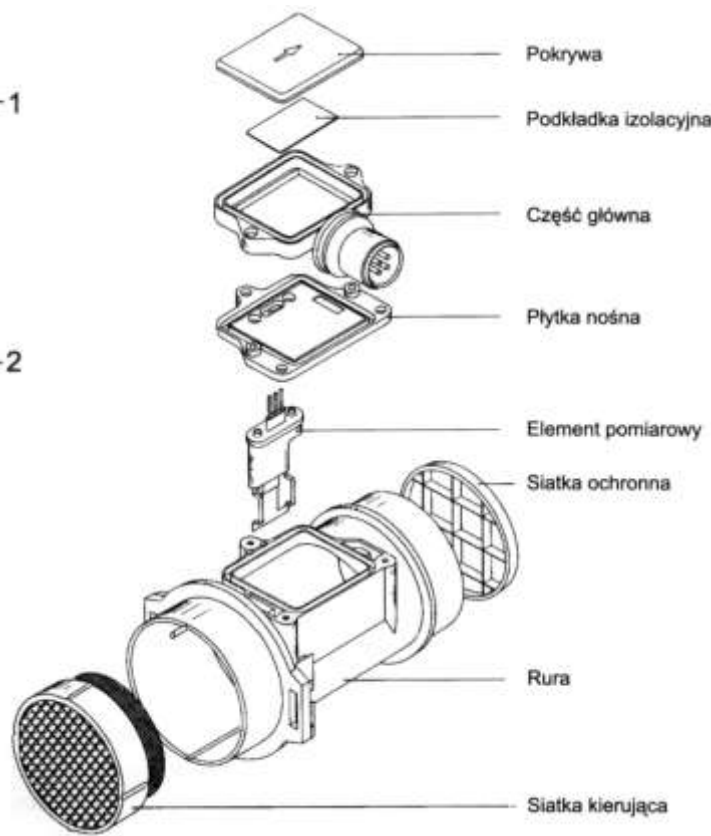
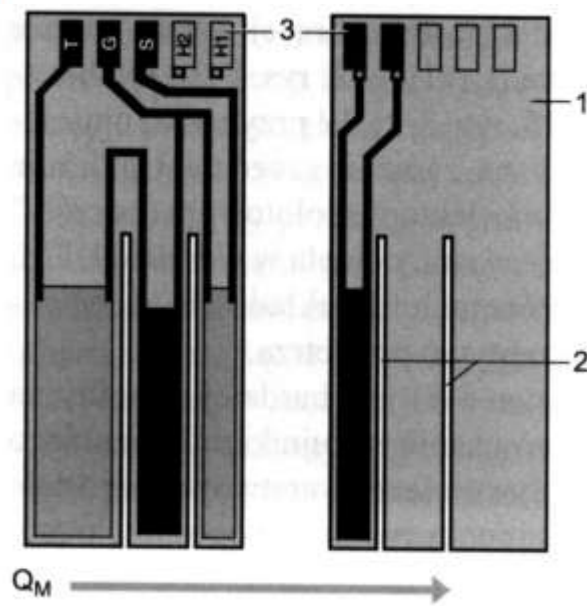
Q_M – przepływ powietrza, R_H – rezystor grzany („gorący drut”), R_K – rezystor kompensacji temperatury, R_1 i R_2 – rezystory wyrównawcze mostka, R_M – rezystor pomiarowy, I_H – prąd grzewczy, U_M – napięcie pomiarowe, t_L – temperatura powietrza

Przepływomierz powietrza z termoanemometrem drutowym



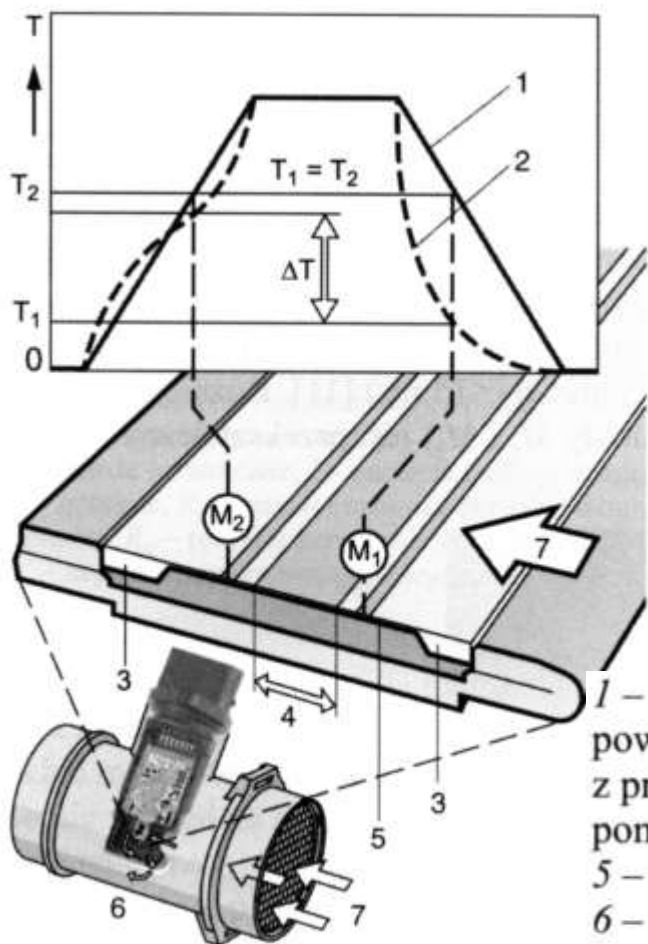
- 1 – rezystor nagrzewany,
- 2 – kompensator temperatury powietrza,
- 3 – wzmacniacz różnicowy, 4 – tranzystor mocy,
- U_A – sygnał wyjściowy

Przepływomierz powietrza z termoanemometrem warstwowym

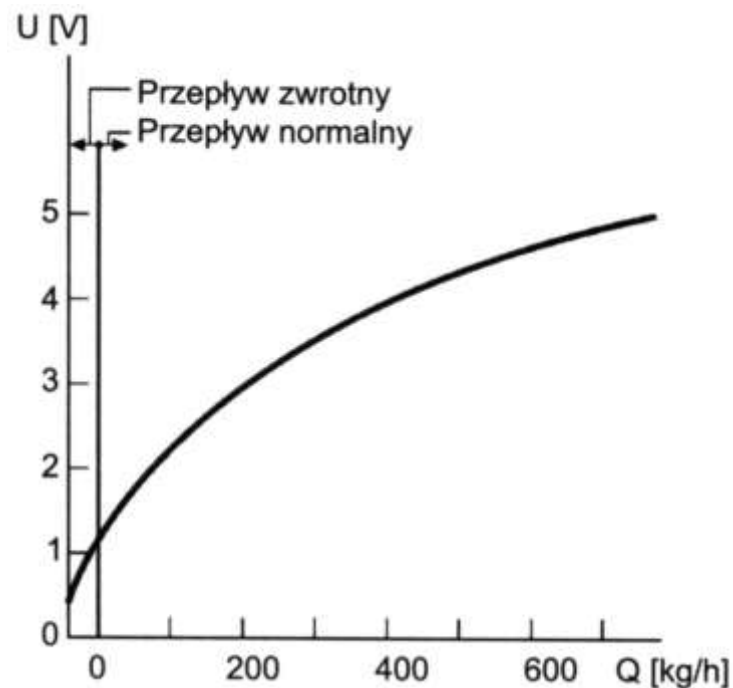


1 – podłoże ceramiczne, 2 – nacięcia izolacji termicznej, 3 – styki
 R_H – grzejnik, R_S – rezystor czujnika przepływu ogrzewany przez grzejnik R_H (pomiar spadku napięcia), R_K – rezystor kompensacyjny, R_1 , R_2 i R_3 – rezystory układu mostka, I_H – prąd grzewczy, U_M – napięcie pomiarowe, Q_M – wydatek powietrza, t_L – temperatura powietrza

Przepływomierz powietrza z termoanemometrem warstwowym rozpoznającym kierunek przepływu (np. typu HFM5)

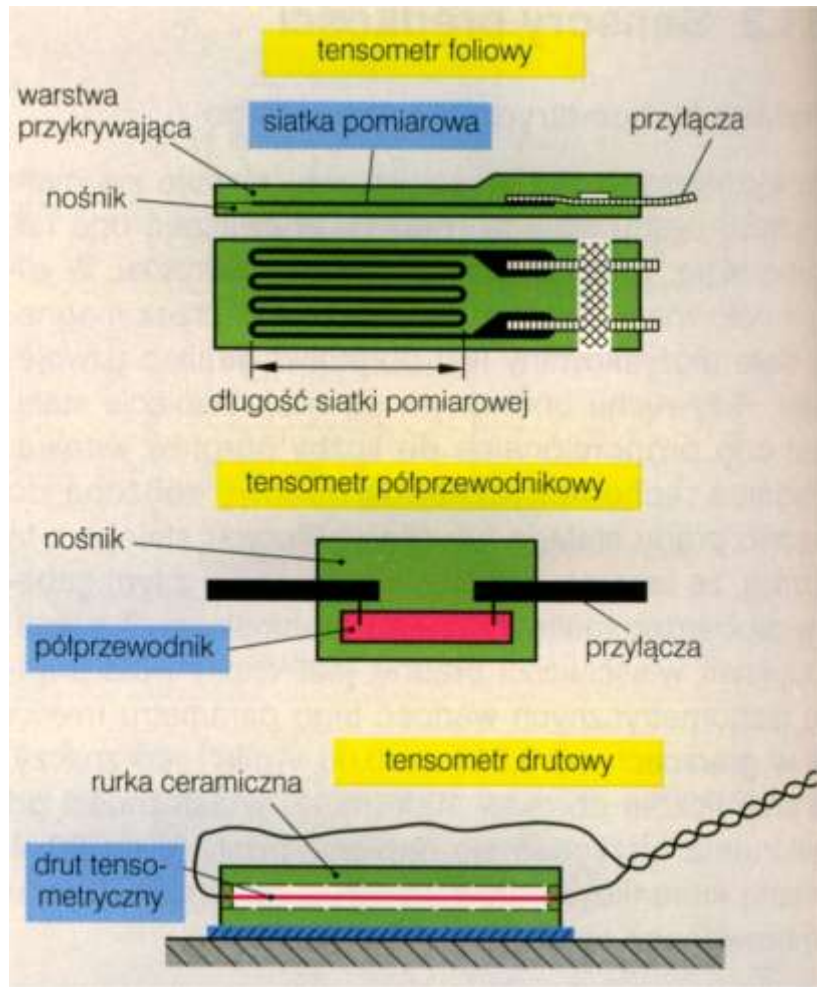


1 – przebieg temperatury bez przepływu powietrza, 2 – przebieg temperatury z przepływem powietrza, 3 – rezystory pomiarowe, 4 – strefa nagrzewana, 5 – element grzewczy (przepona), 6 – czujnik HFM5 umieszczony w przewodzie przepływu powietrza,



7 – strumień powietrza
 M_1 i M_2 – punkty pomiaru rezystancji,
 T_1 i T_2 – temperatury w punktach pomiarowych M_1 i M_2 , ΔT – różnica temperatur w punktach T_1 i T_2

Czujniki tensometryczne



Tensometry, pomocne wzory

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

- ΔR zmiana oporności
 R oporność znamionowa
 k współczynnik
 Δl zmiana długości
 l nominalna długość tensometru
 ε wydłużenie

Tensometry, przykład

Przykład:

O ile wzrośnie oporność tensometru chromoniklowego o oporności znamionowej 600Ω przy wydłużeniu $1 \mu\text{m}/\text{m}$?

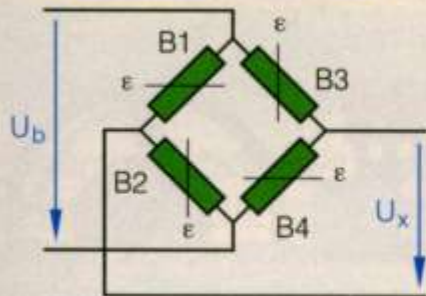
Rozwiązanie:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

$$\Rightarrow \Delta R = R \cdot k \cdot \varepsilon = 600 \Omega \cdot 2 \cdot 10^{-6} = \mathbf{1,2 \text{ m}\Omega}$$

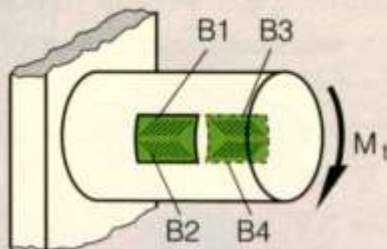
Układy mostkowe do pomiarów tensometrycznych

mostek pełny



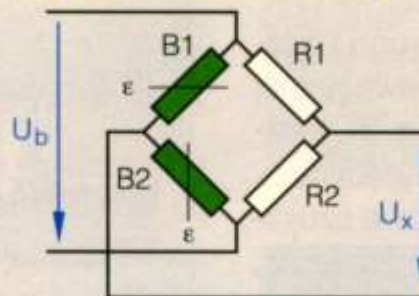
$$U_x = k \cdot \varepsilon \cdot U_b$$

przykład:
pomiar momentu skręcającego



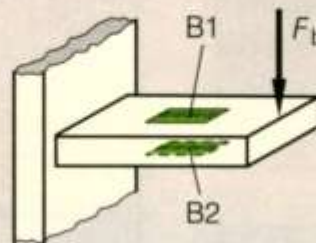
$$U_x \sim M_t$$

półmostek



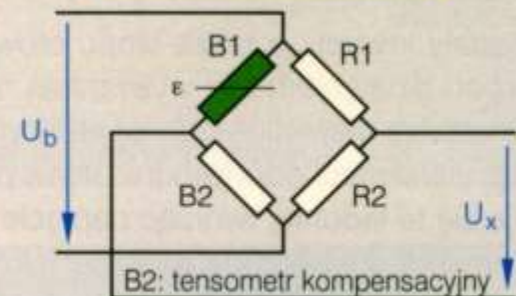
$$U_x = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \varepsilon \cdot U_b$$

przykład:
pomiar siły zginającej



$$U_x \sim F_b$$

ćwierćmostek

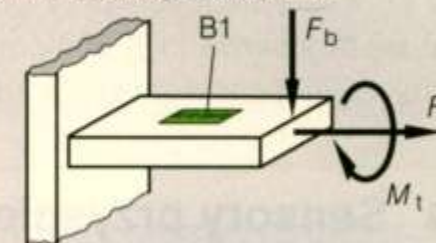


$$U_x = \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon \cdot U_b$$

k – współczynnik

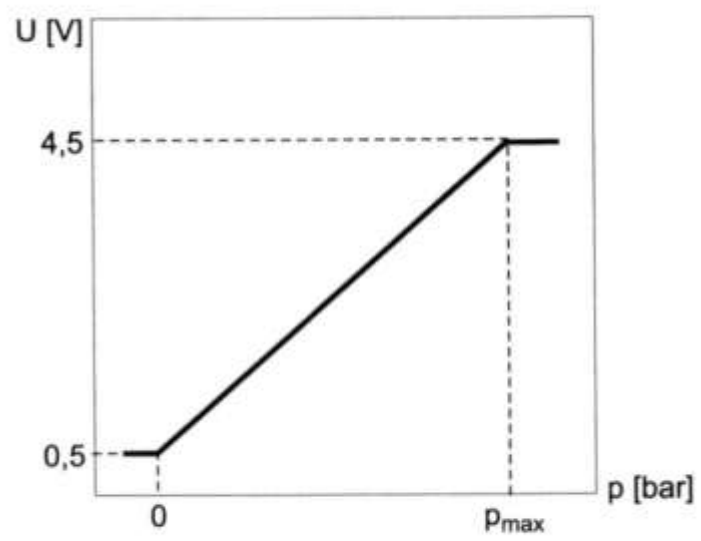
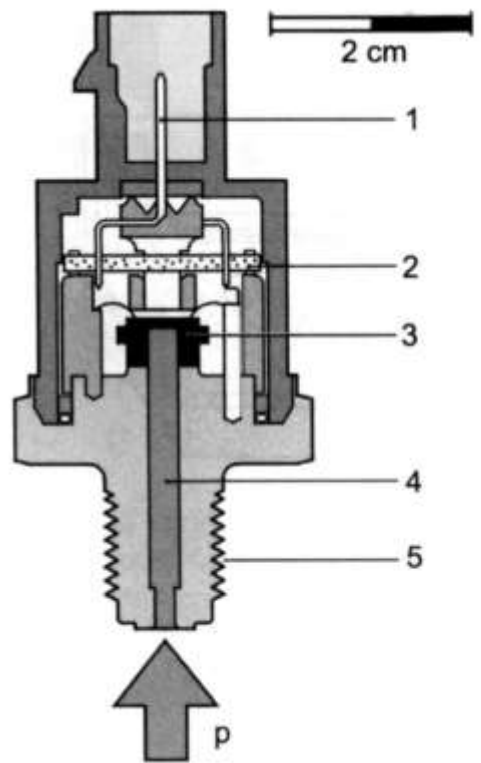
$e = \frac{\Delta l}{l}$ (wydłużenie względne)

przykład:
pomiar złożonego obciążenia



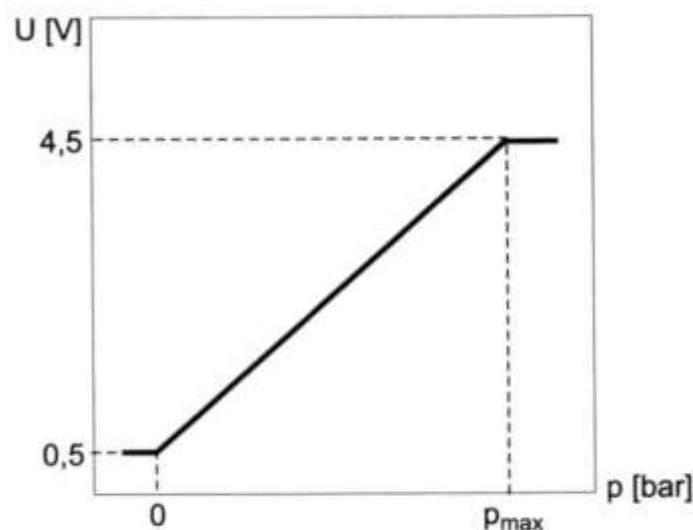
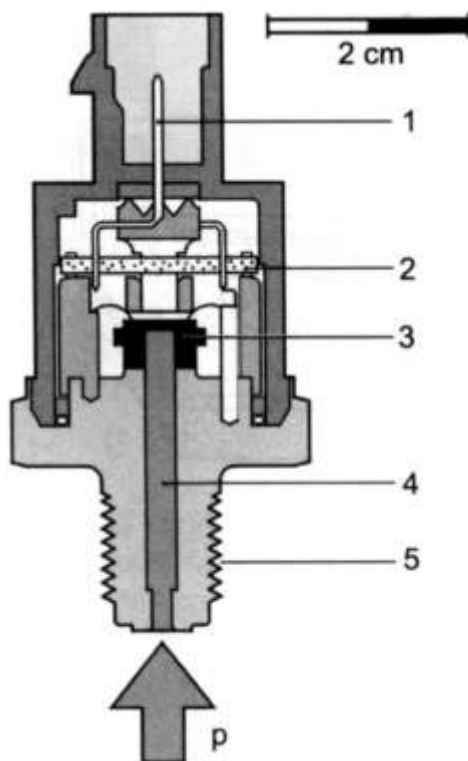
$$U_x \sim F_b, F, M_t (\vartheta)$$

Tensometryczne sensory do pomiaru ciśnienia (np. czujnik wysokiego ciśnienia w układzie Common Rail)



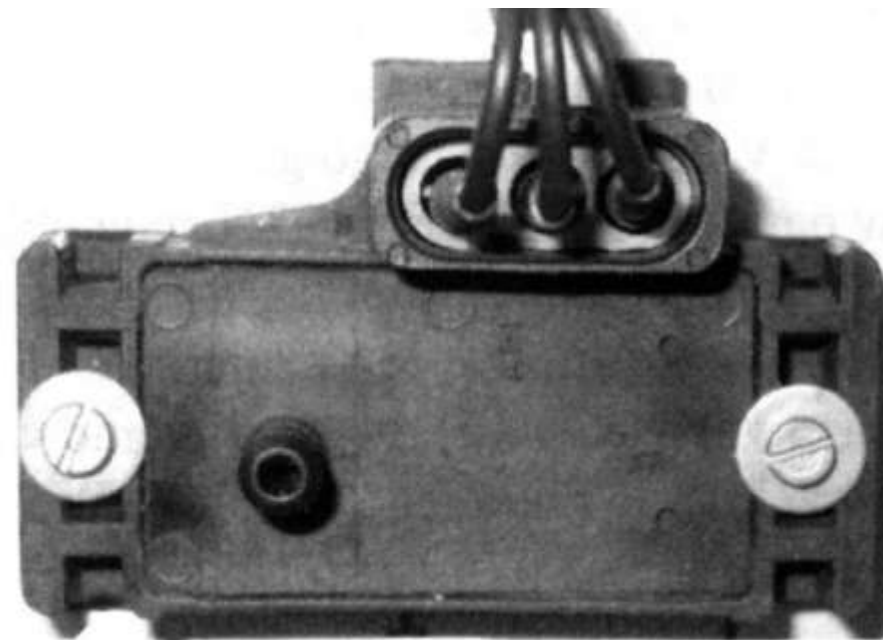
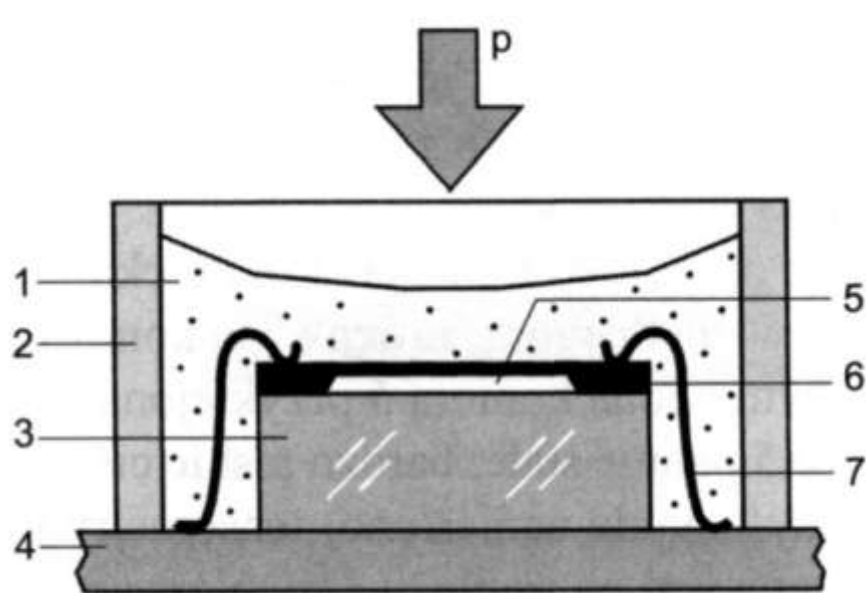
1 – złącze elektryczne, 2 – obwód przetwarzania sygnału, 3 – membrana stalowa z tensometrami, 4 – kanał wysokiego ciśnienia 5 – złącze gwintowane, p – działające ciśnienie, max. 160 MPa

Tensometryczne sensory do pomiaru ciśnienia (np. czujnik wysokiego ciśnienia w układzie Common Rail)



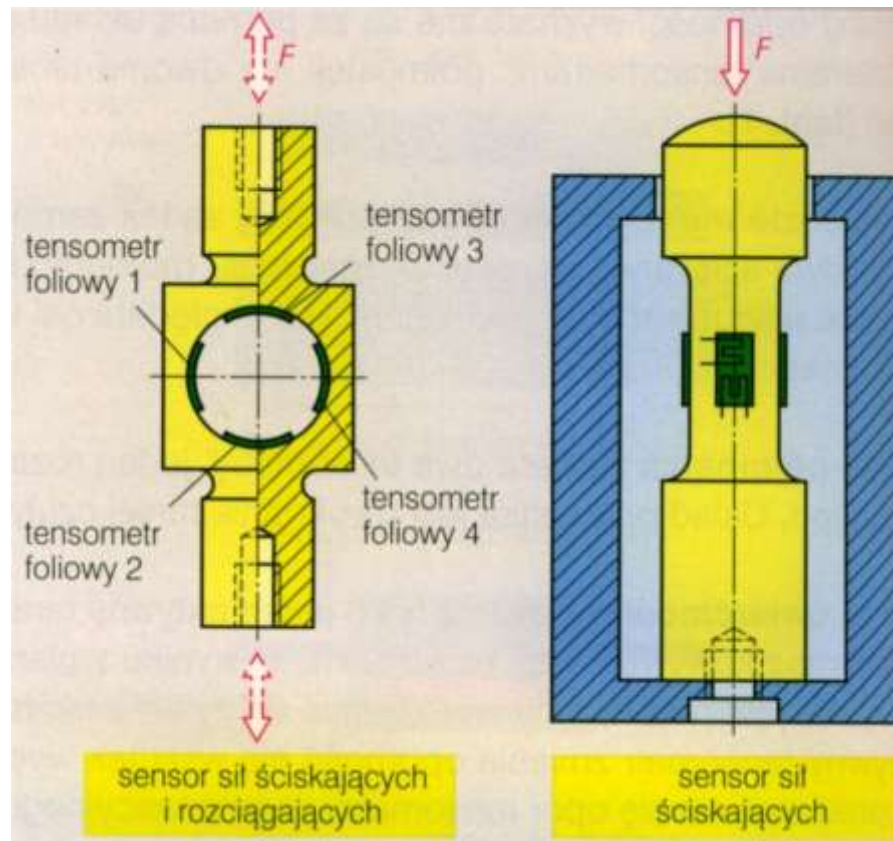
1 – złącze elektryczne, 2 – obwód przetwarzania sygnału, 3 – membrana stalowa z tensometrami, 4 – kanał wysokiego ciśnienia 5 – złącze gwintowane, p – działające ciśnienie, max. 160 MPa

Tensometryczne sensory do pomiaru ciśnienia

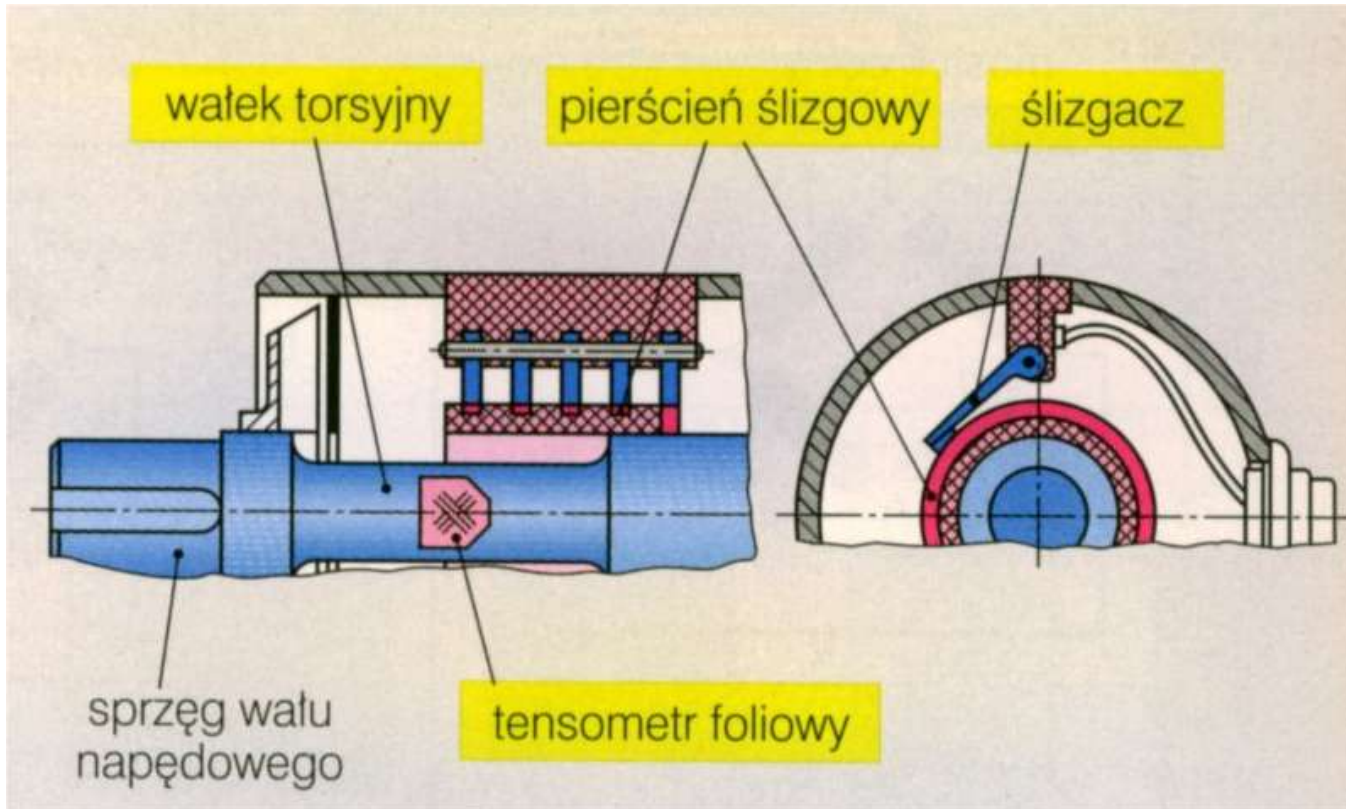


1 – żel ochronny, 2 – obudowa, 3 – cokół szklany, 4 – podłoże ceramiczne, 5 – komora niskociśnieniowa (próżniowa), 6 – płytka krzemowa z naniesionymi tensometrami (*chip*), 7 – połączenia elektryczne, p – ciśnienie mierzone

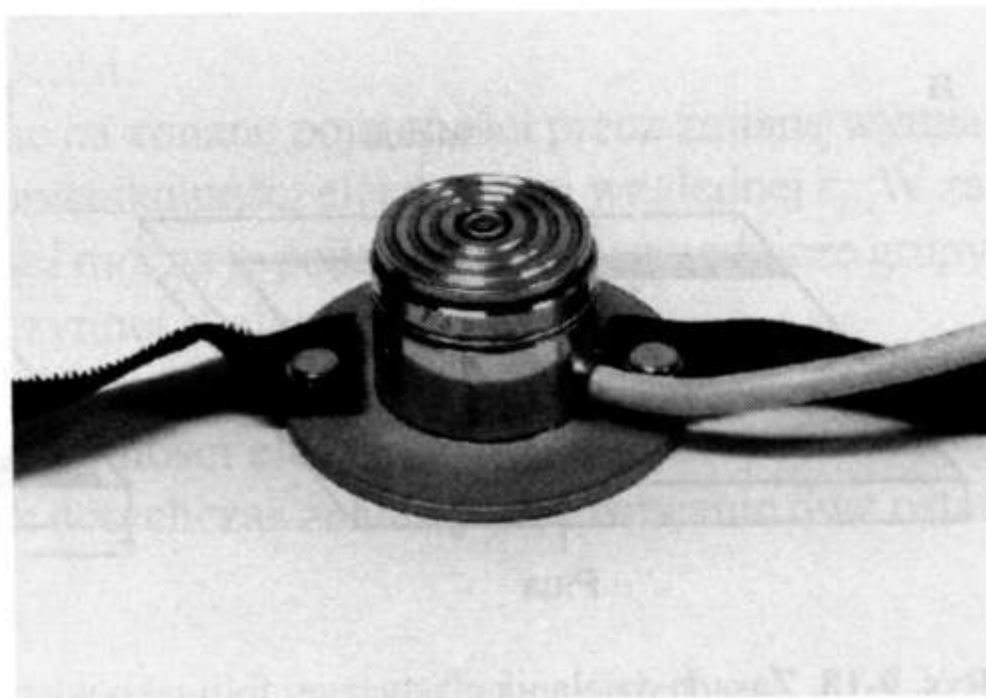
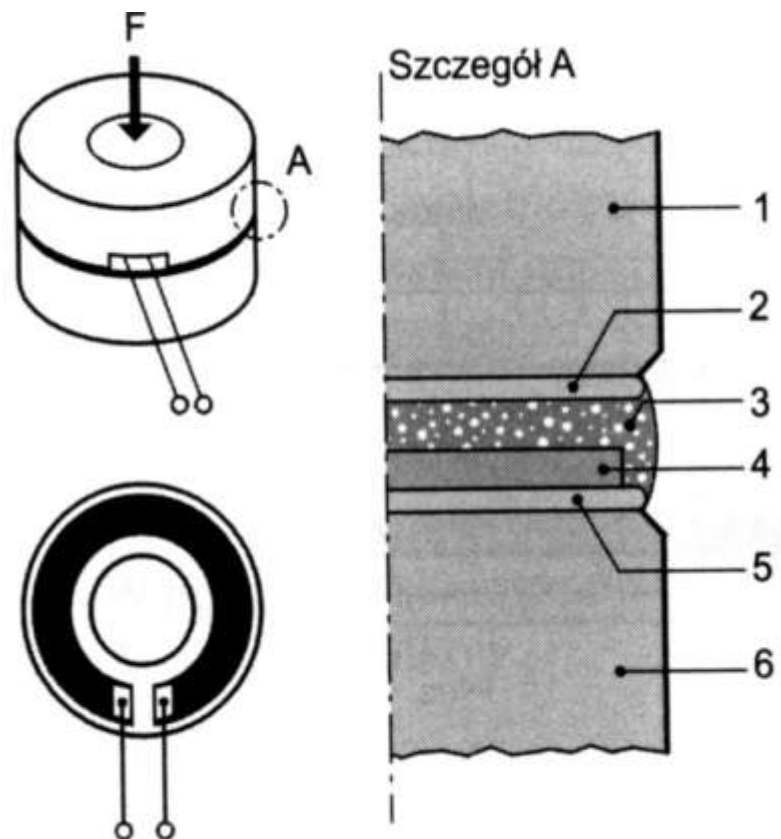
Wagi tensometryczne i tensometryczne sensory sił



Tensometryczne sensory do pomiaru momentu obrotowego



Tensometryczne czujniki siły nacisku



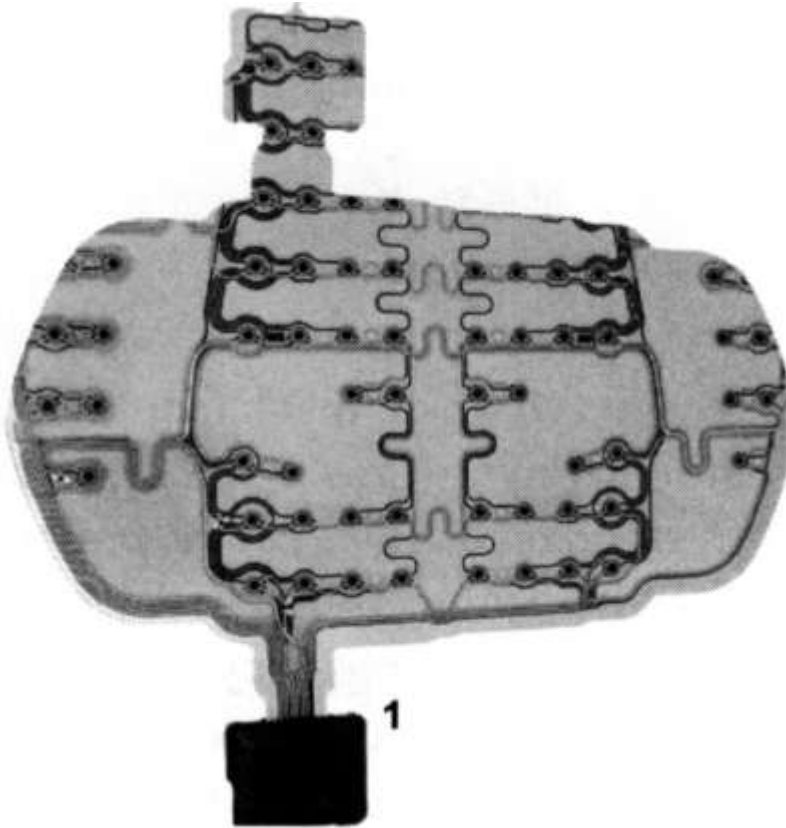
a – budowa, *b* – widok czujnika siły nacisku na pedał hamulca

1 – pierścień poddawany działaniu siły, 2 – izolacja, 3 – warstwa klejowo-szklana,

4 – piezorezystancyjna warstwa czynna przetwornika, 5 – izolacja, 6 – pierścień nośny-sztywne podłoże

F – działająca siła

Tensometryczne czujniki siły nacisku (tablica tensometryczna)

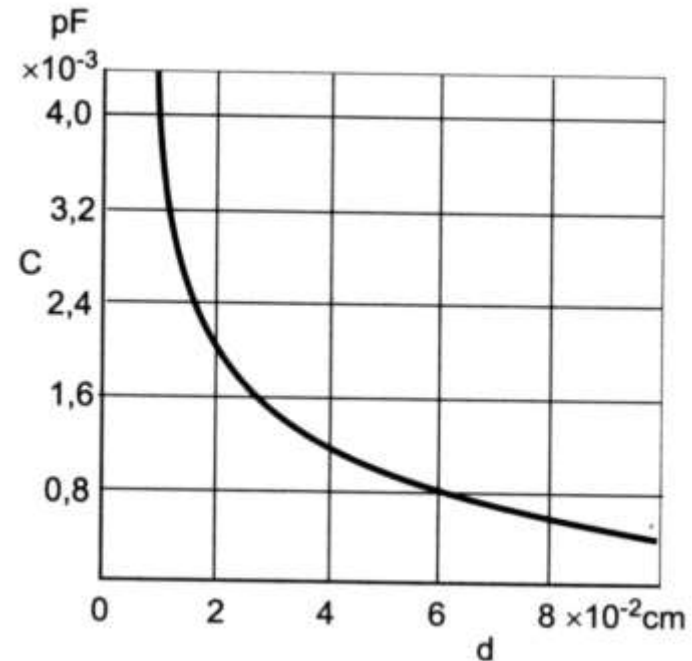
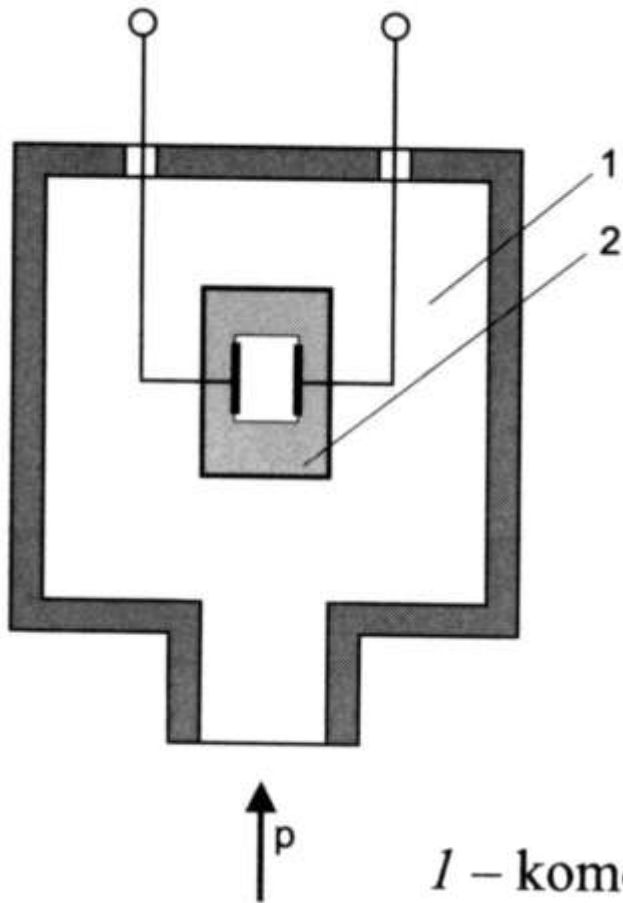


Czujniki pojemnościowe

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

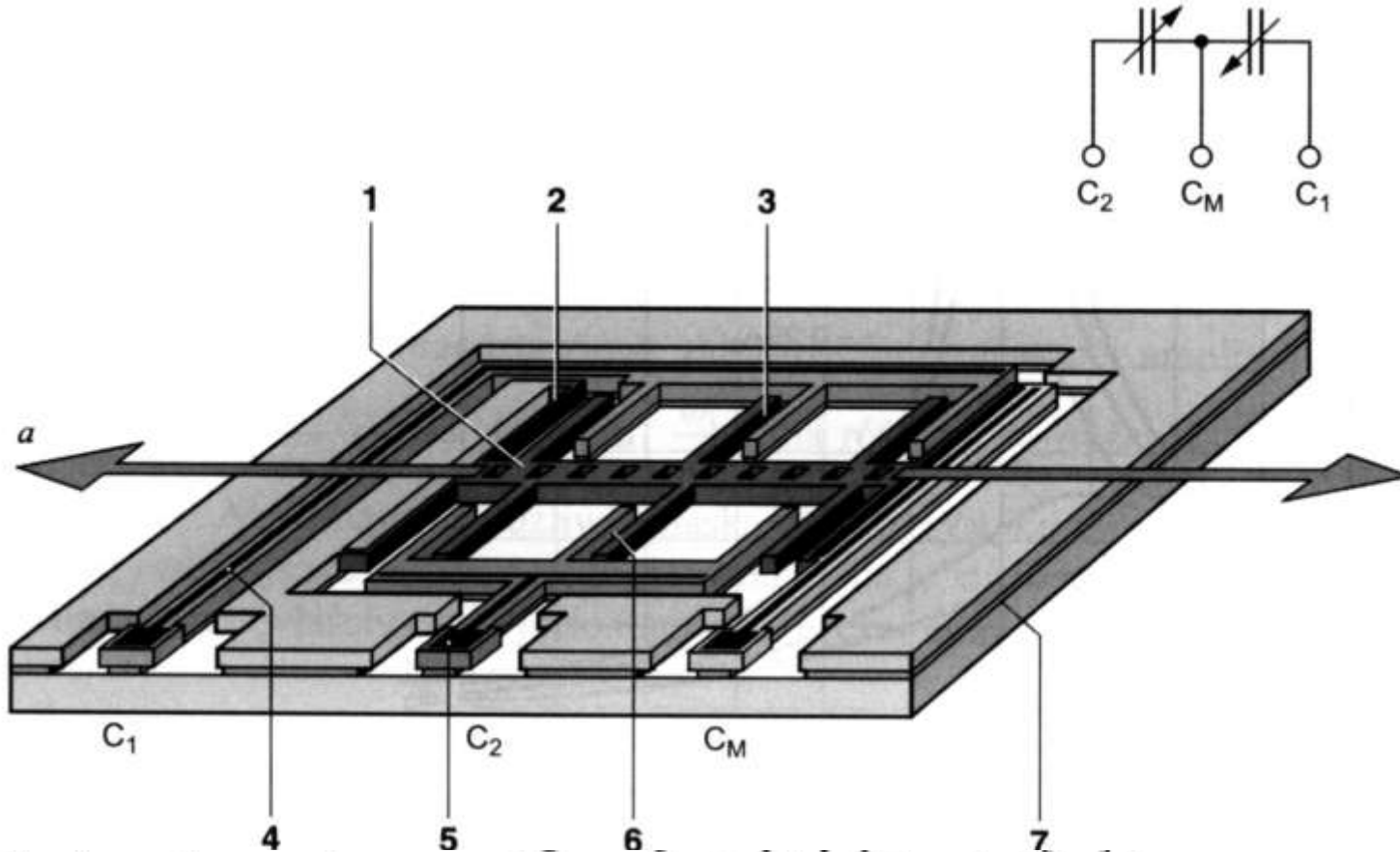
- ϵ_0 – stała elektryczna (przenikalność elektryczna próżni),
- ϵ_r – przenikalność elektryczna względna dielektryka,
- A – powierzchnia czynna jednej płytki,
- d – grubość dielektryka między płytkami.

Pojemnościowy czujnik ciśnienia



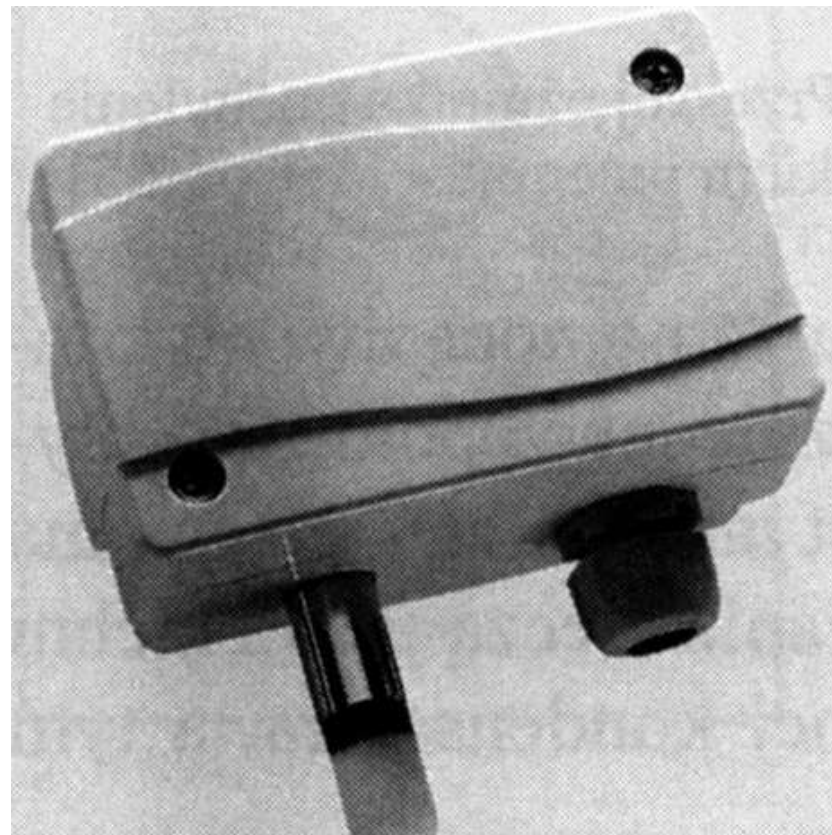
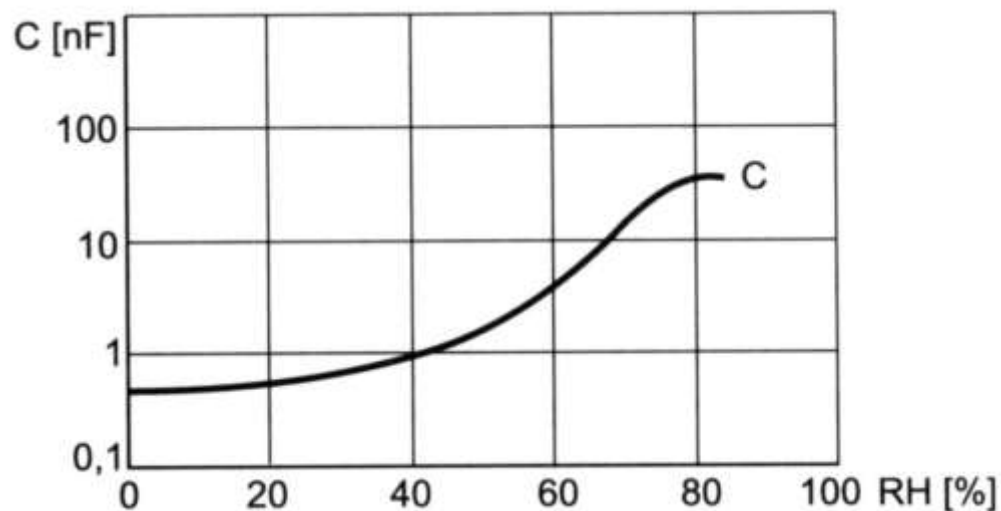
1 – komora ciśnieniowa, 2 – puszka z okładzinami kondensatora, p – działające ciśnienie

Mikromechaniczny czujnik przyspieszenia

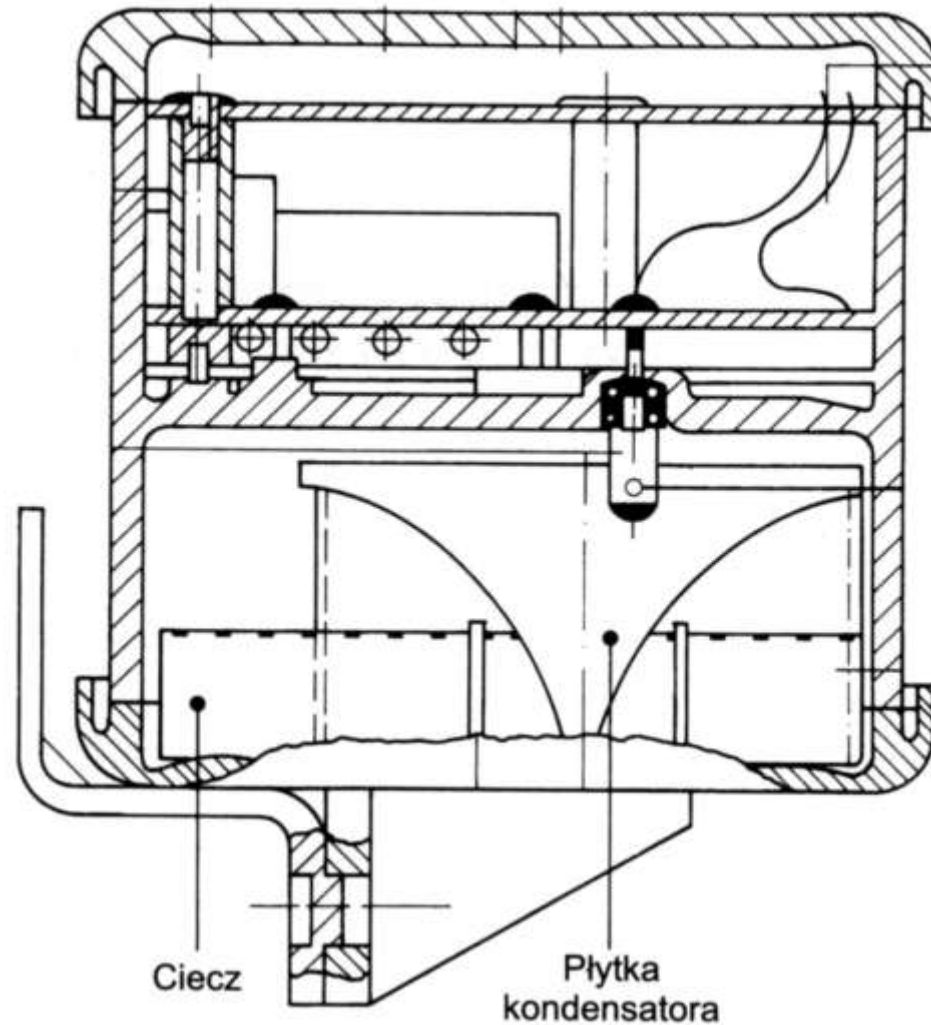


1 – masa drgająca, 2 – sprężyna mocująca masę drgającą, 3 – płytka związana z masą drgającą (okładzina ruchoma), 4 i 5 – ścieżki przewodzące, 6 – płytka (okładzina) stała, 7 – obudowa z tlenku krzemu
a – kierunek działania przyspieszenia

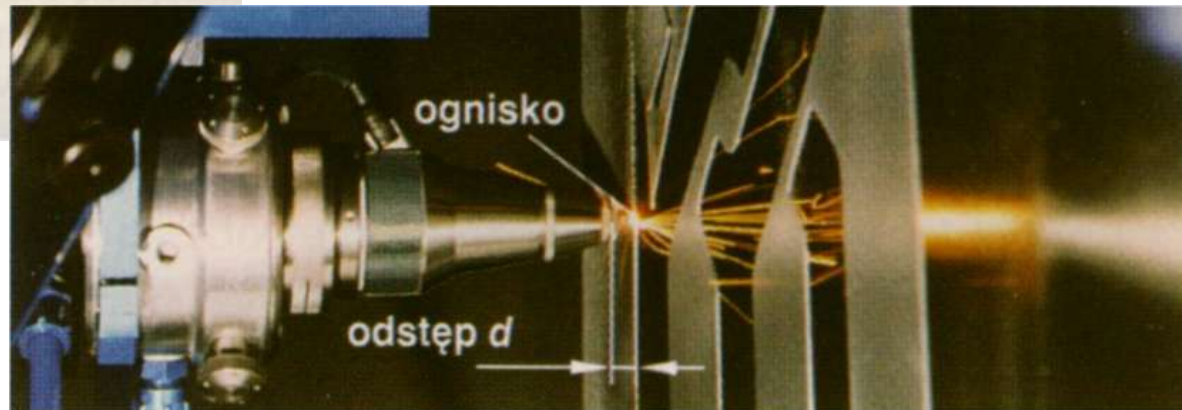
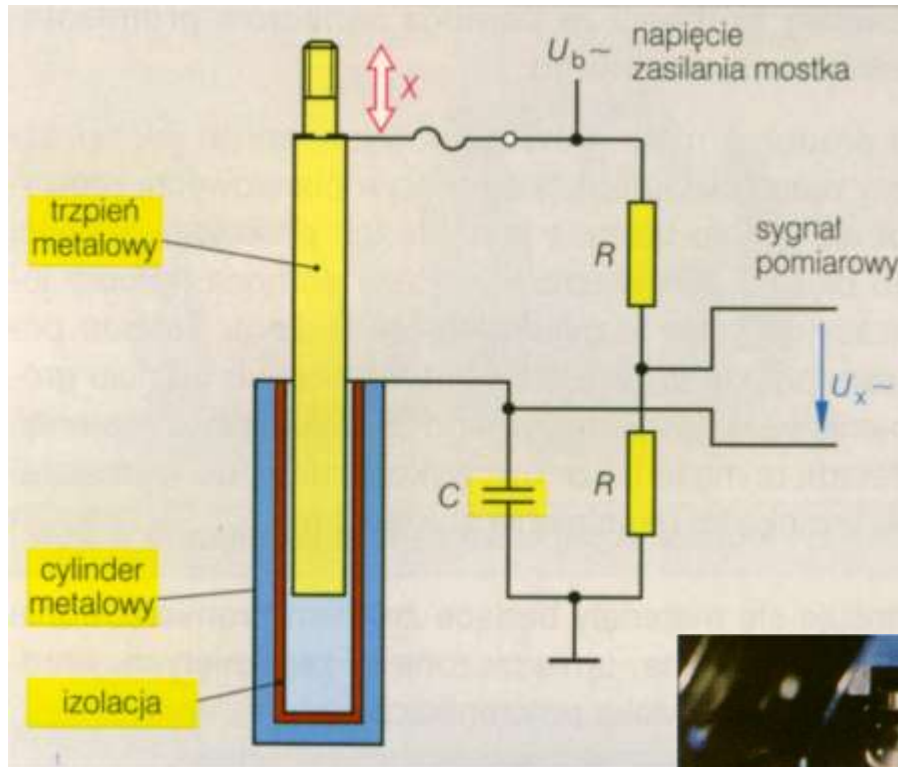
Pojemnościowy czujnik wilgotności powietrza



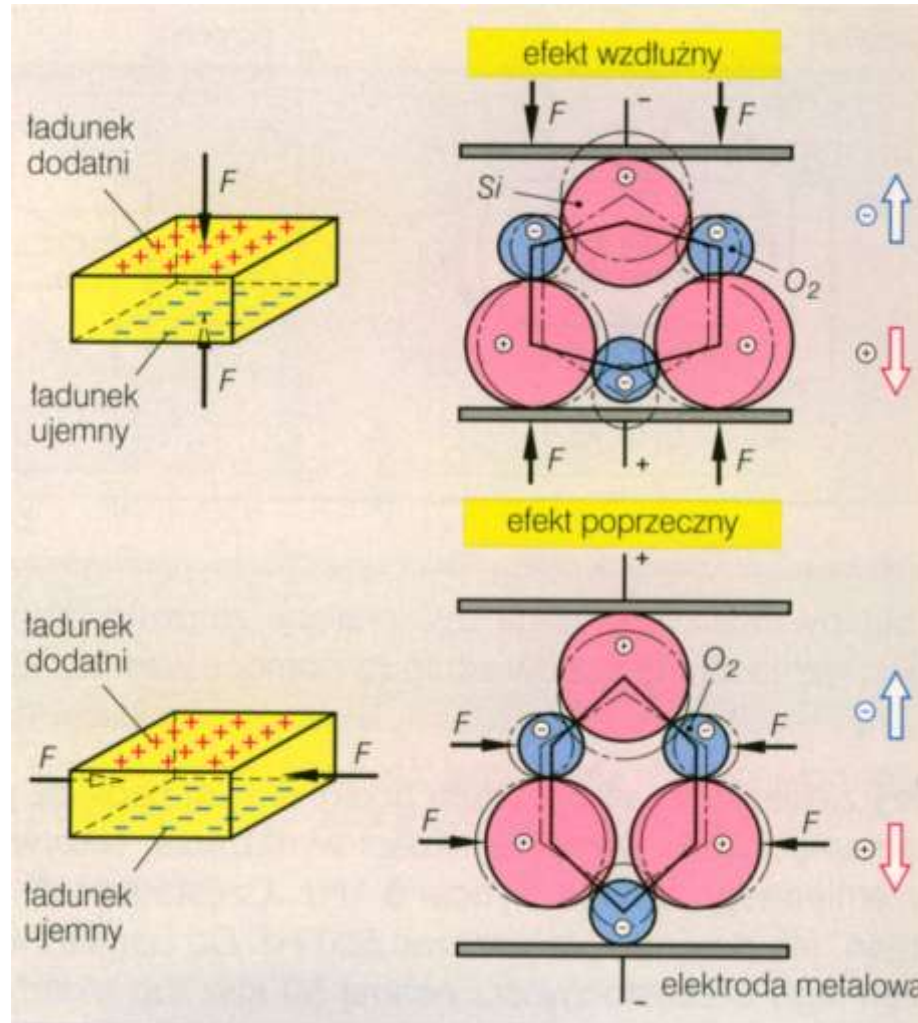
Pojemnościowy czujnik pochylenia pojazdu



Pojemnościowy sensor położenia



Czujniki piezoelektryczne



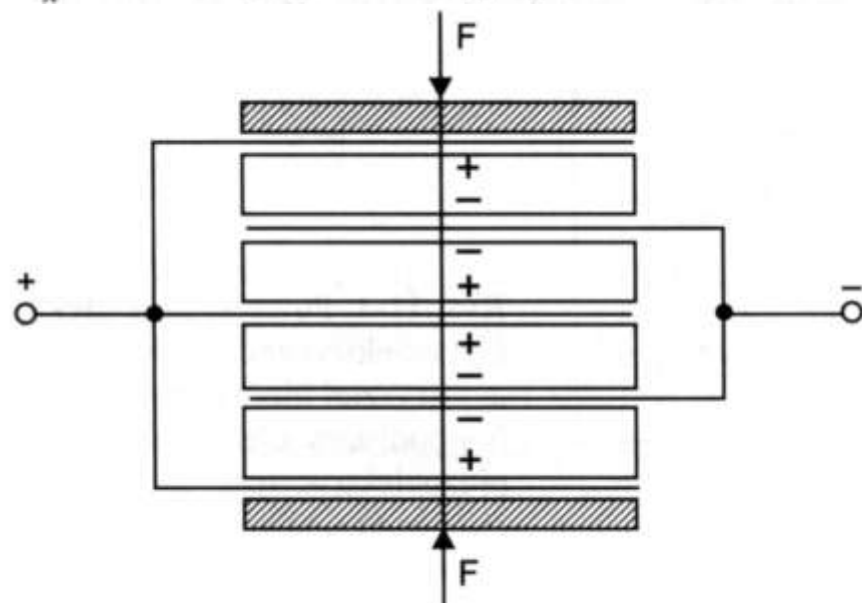
Czujniki piezoelektryczne

$$Q = k_v F_x$$

Q – ładunek elektryczny [C],

k_v – współczynnik piezoelektryczny [C/N] (dla kwarcu $k_v = 2,3 \cdot 10^{-12}$ C/N),

F_x – działająca siła [N].

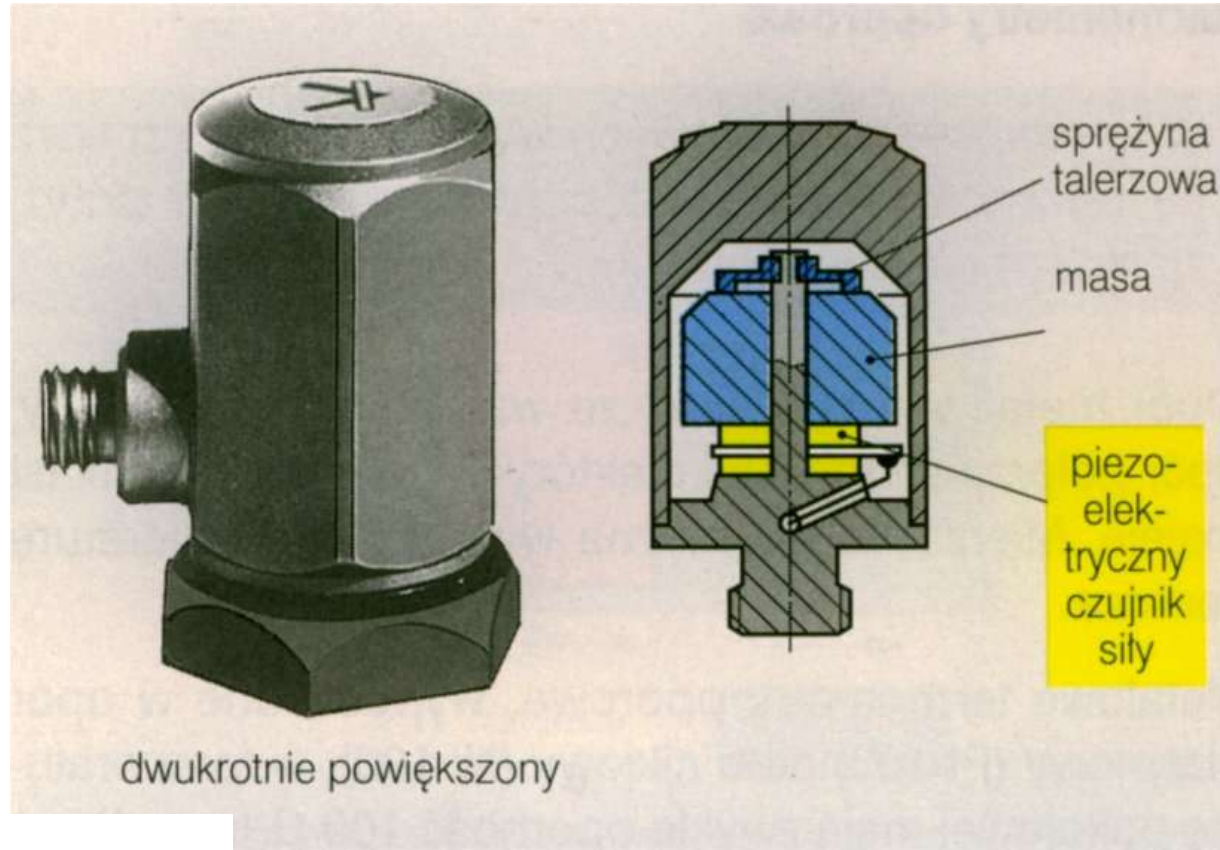


$$Q = nk_v F$$

$$U = \frac{Q}{C_p}$$

Napięcie powstające na zaciskach elektrod piezoelementu obciążonego siłą zależy od jego własnej pojemności C_p :

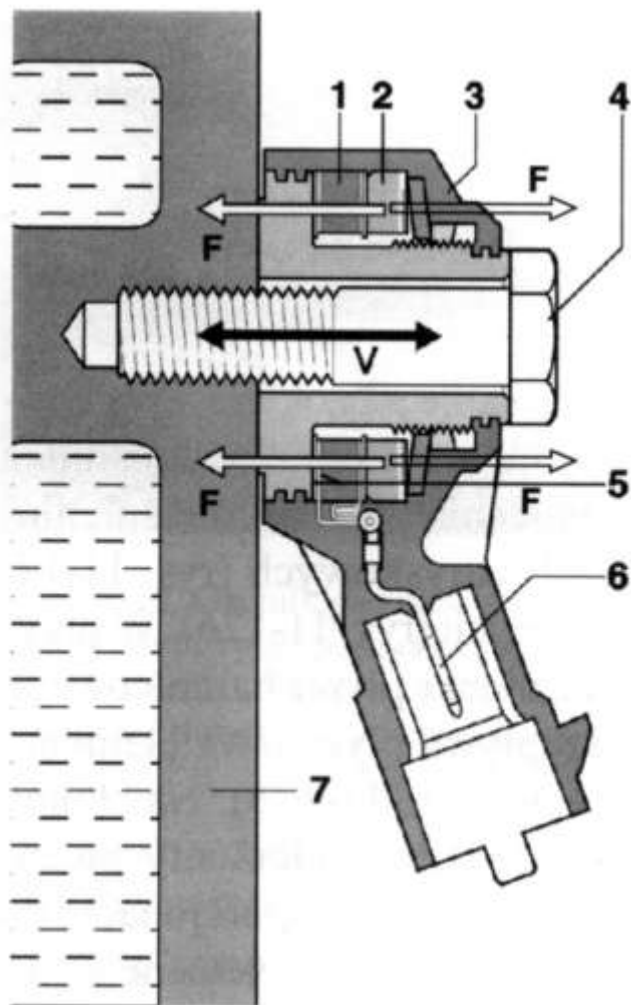
Sensory przyspieszenia



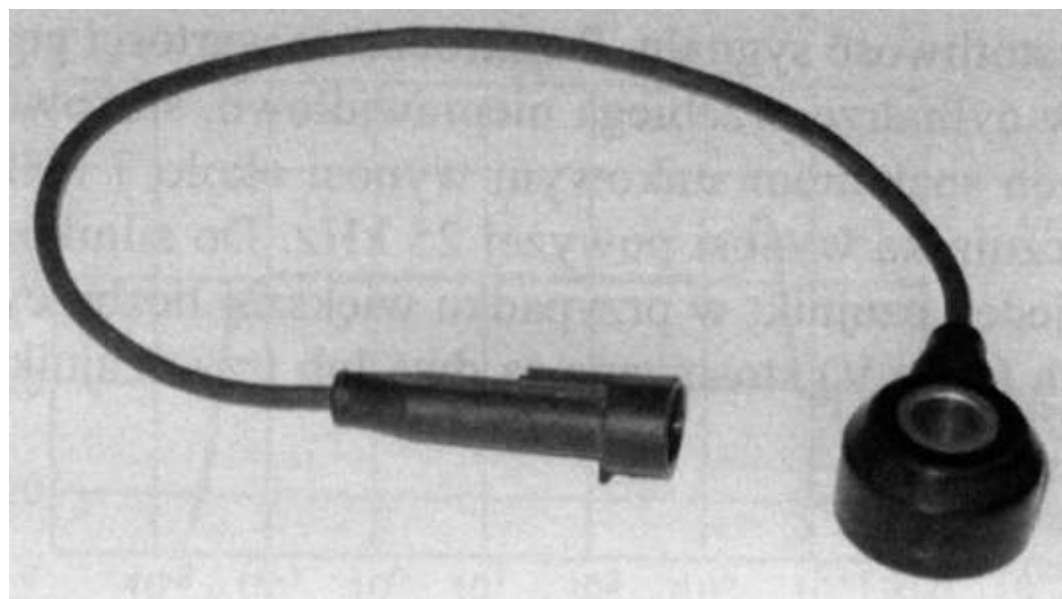
$$Q = k_V ma$$

m – masa sejsmiczna,
 a – mierzone przyspieszenie,
 k_V – współczynnik piezoelektryczny.

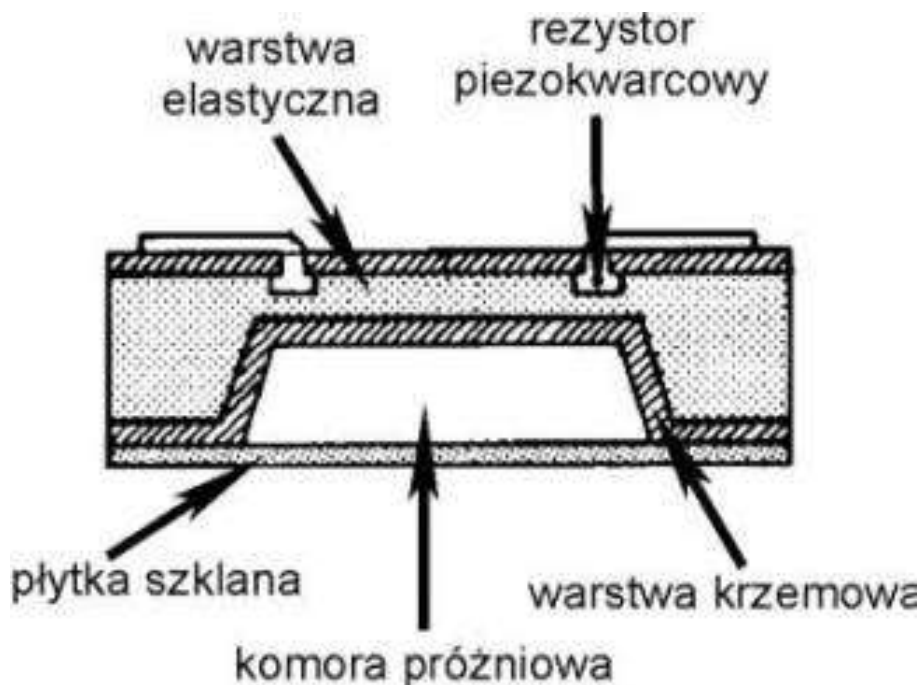
Piezoelektryczne czujniki drgań (czujnik spalania stukowego)



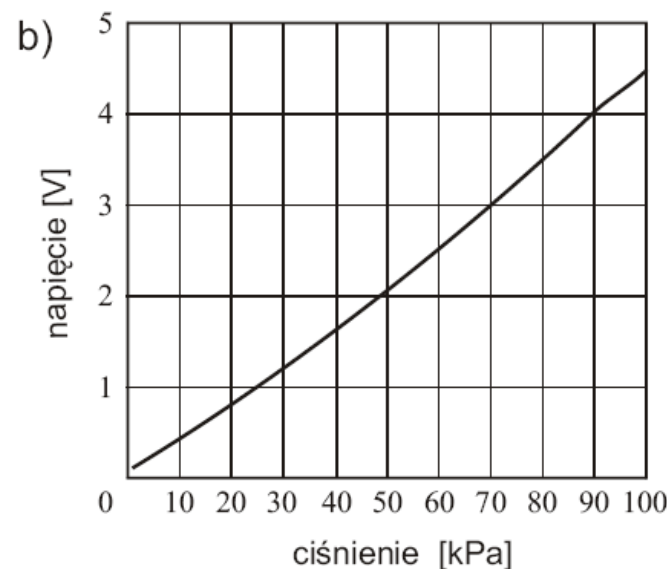
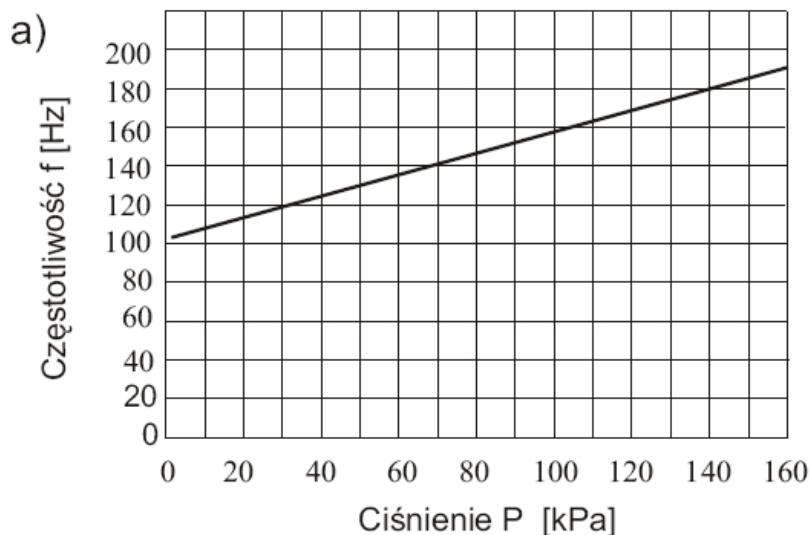
1 – element piezoelektryczny, 2 – masa drgająca obciążająca element piezoelektryczny,
3 – obudowa, 4 – śruba mocująca, 5 – tuleja dystansowa, 6 – styk elektryczny, 7 – kadłub silnika
 F – siły pochodzące od drgań kadłuba silnika działające na czujnik i masę 2,
 v – kierunek przenoszenia drgań



Piezoelektryczne sensory do pomiaru ciśnienia bezwzględnego (MAP – sensor)



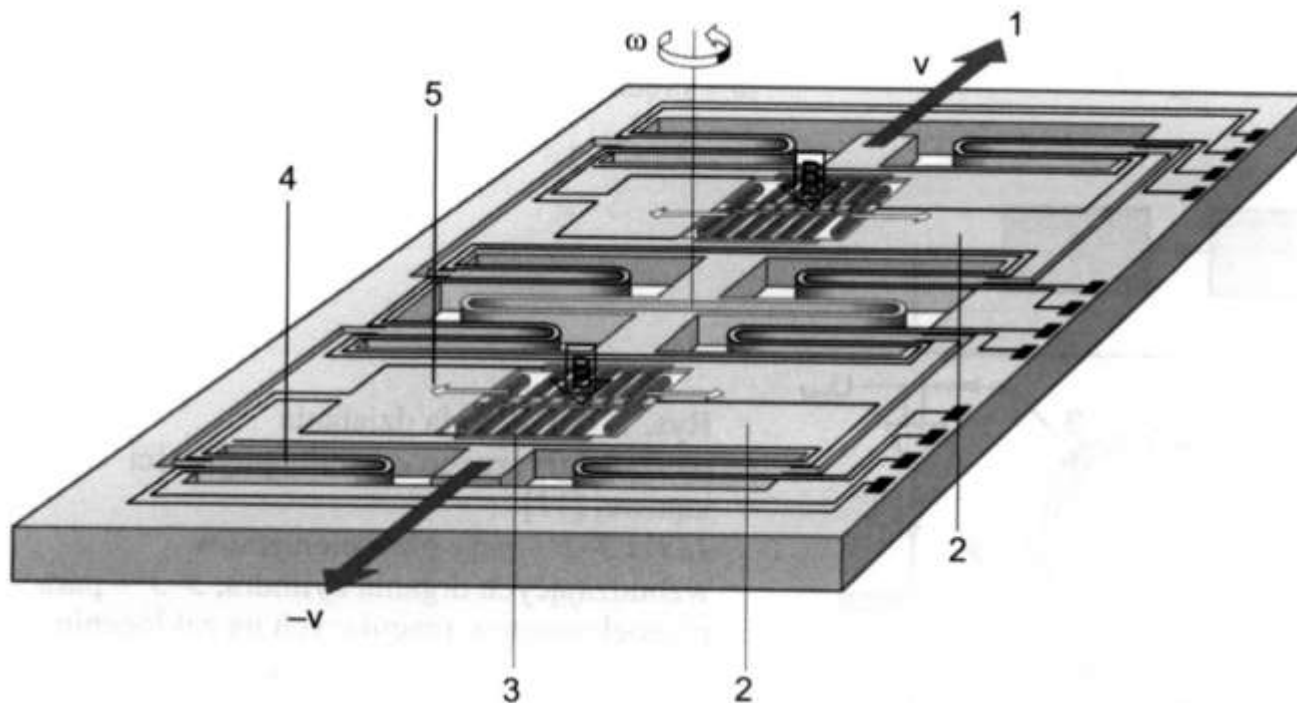
Piezoelektryczne sensory do pomiaru ciśnienia bezwzględnego (MAP – sensor)



wykres a -Zależność częstotliwości sygnału wyjściowego **f_{wy}** od podciśnienia panującego w kolektorze dolotowym silnika **p** . (Czujnik ciśnienia bezwzględnego częstotliwościowy).

wykres b -Zależność napięcia sygnału wyjściowego **U_{wy}** od podciśnienia panującego w kolektorze dolotowym silnika **p** . (Czujnik ciśnienia bezwzględnego napięciowy).

Piezoelektryczny mikromechaniczny czujnik prędkości kątowej (np. układ ESP)



1 – kierunek drgań wymuszonych, 2 – masy drgające, 3 – czujnik przyspieszenia Coriolisa (pojemnościowy), 4 – sprężyna mocująca masę drgającą, 5 – kierunek działania przyspieszenia Coriolisa

B – indukcja pola magnetycznego magnesu stałego, v – prędkość drgań wymuszonych,
 ω – prędkość kątowa

Efekt Dopplera

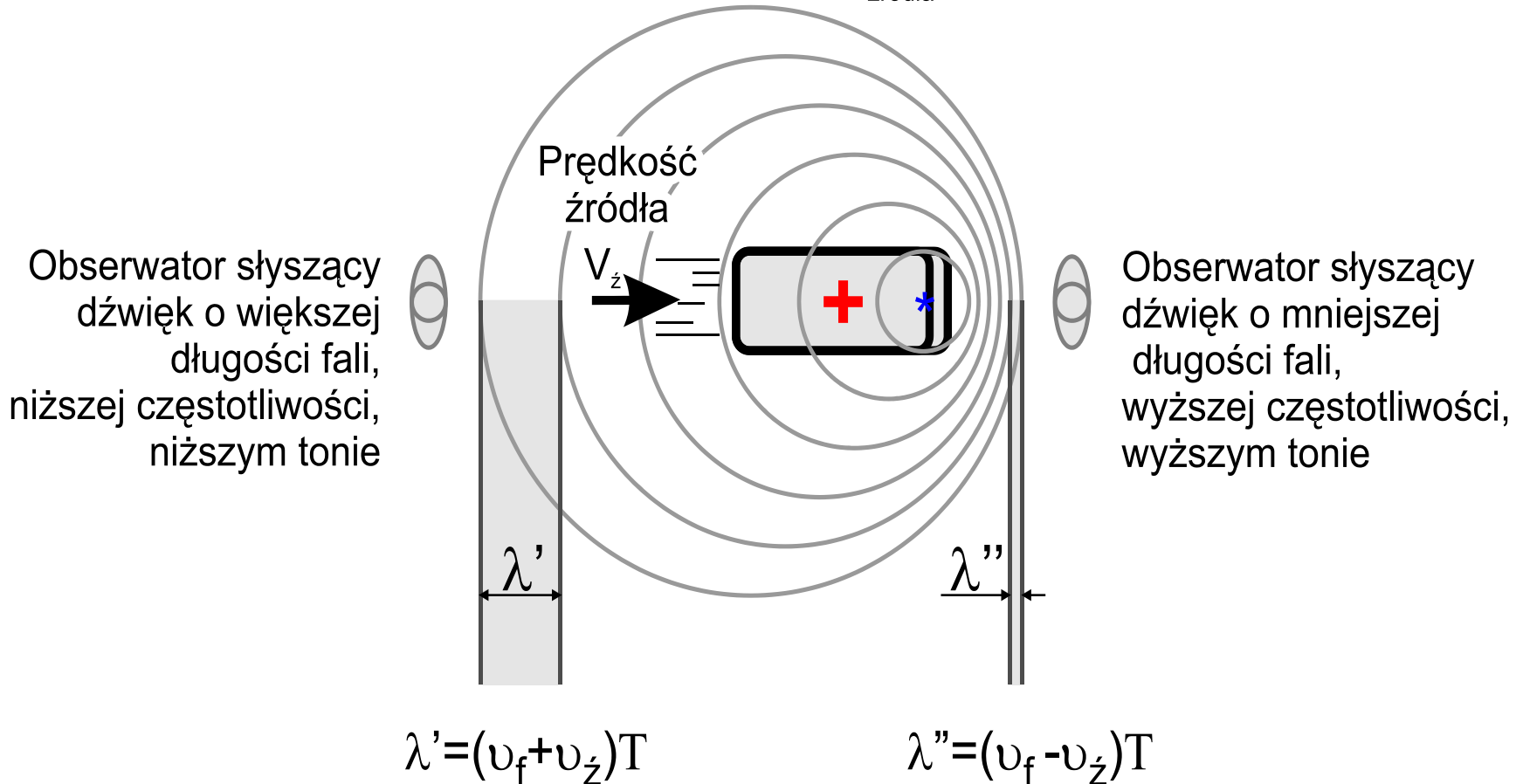
Efekt Dopplera jest falowym zjawiskiem fizycznym, które występuje wszędzie tam gdzie odbywa się ruch względny nadajnika (źródła fali) i odbiornika. Polega na zależności częstotliwości fal odbieranych przez odbiornik od prędkości źródła fal i odbiornika względem ośrodka, w którym rozchodzi się fala. Jeżeli źródło fal, drgające z częstotliwością ν_0 porusza się względem ośrodka z prędkością U_0 , a obserwator z U_1 , to częstotliwość ν_1 odbierana przez obserwatora wyraża się wzorem:

$$\nu_1 = \nu_0 \cdot \frac{1 + \frac{U_1}{c} \cdot \cos \theta_1}{1 + \frac{U_0}{c} \cdot \cos \theta_0}$$

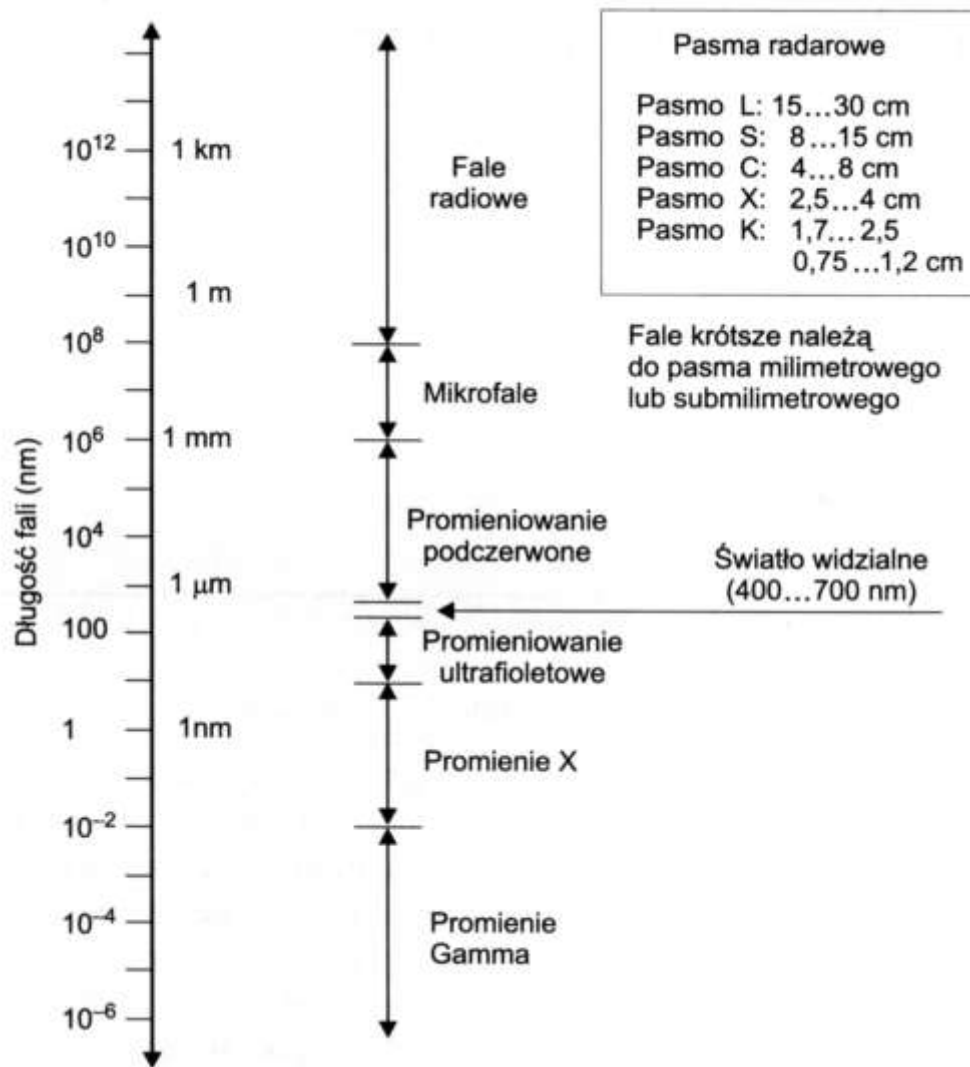
gdzie: c – prędkość fal w ośrodku nieruchomym, θ_0, θ_1 – kąty utworzone przez wektory U_0 i U_1 z wektorem \mathbf{R} , łączącym odbiornik i źródło fal

Efekt Dopplera

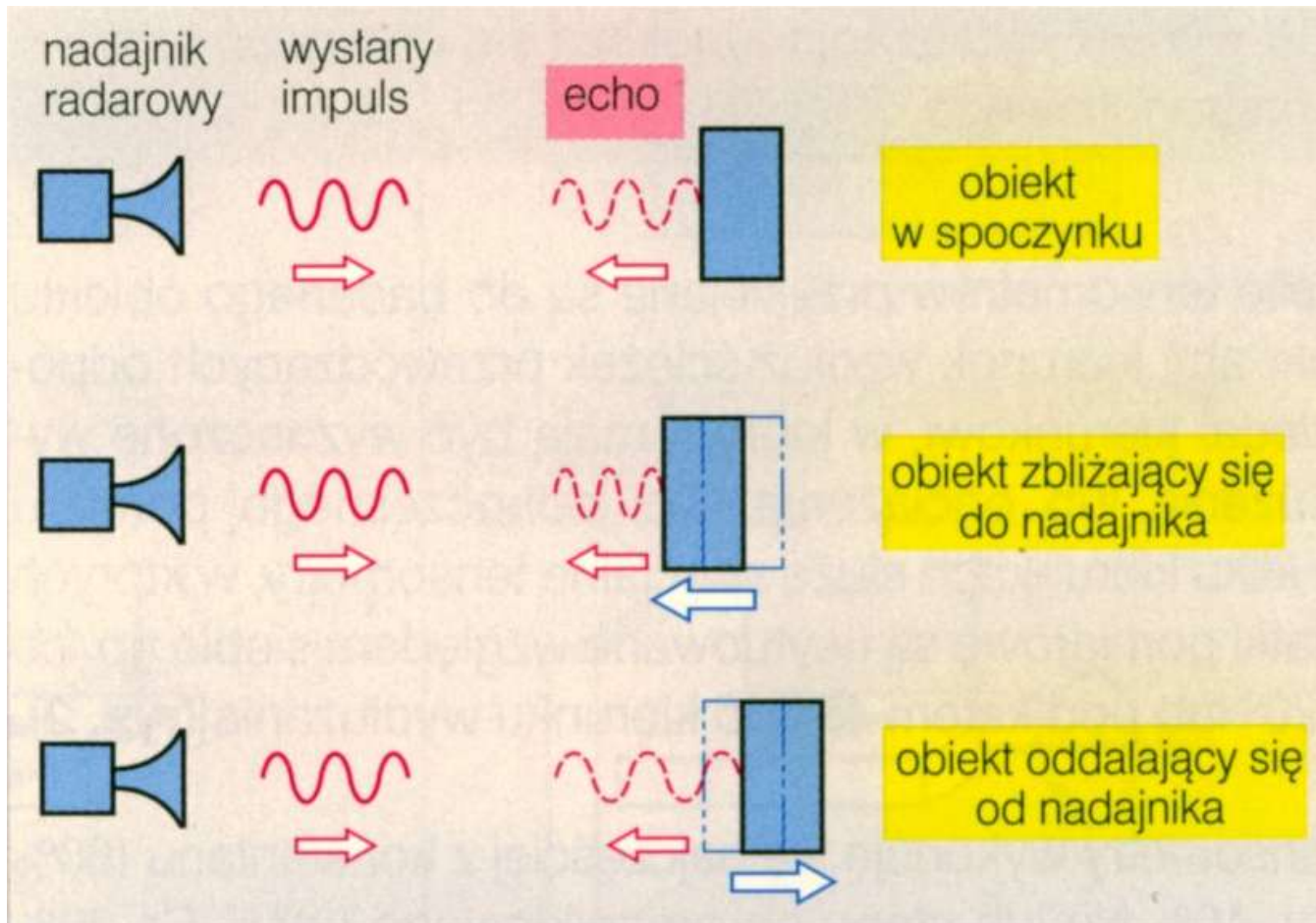
Ruchome źródło
o częstotliwości $\nu_{\text{źródła}}$



Radarowe sensory prędkości

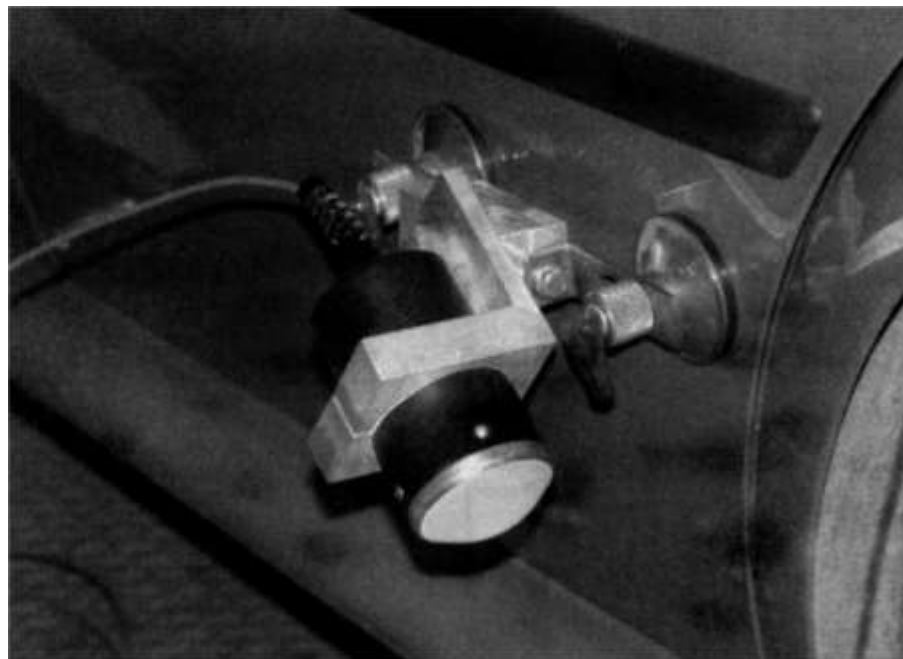
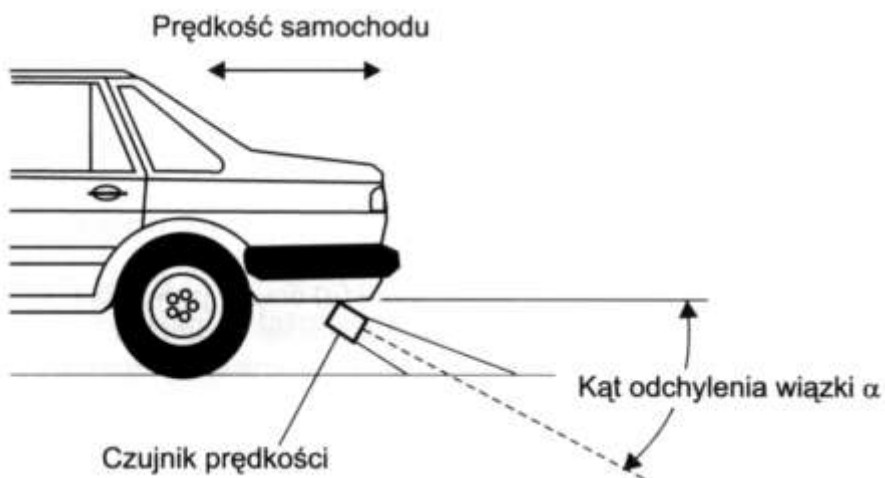


Radarowe sensory prędkości

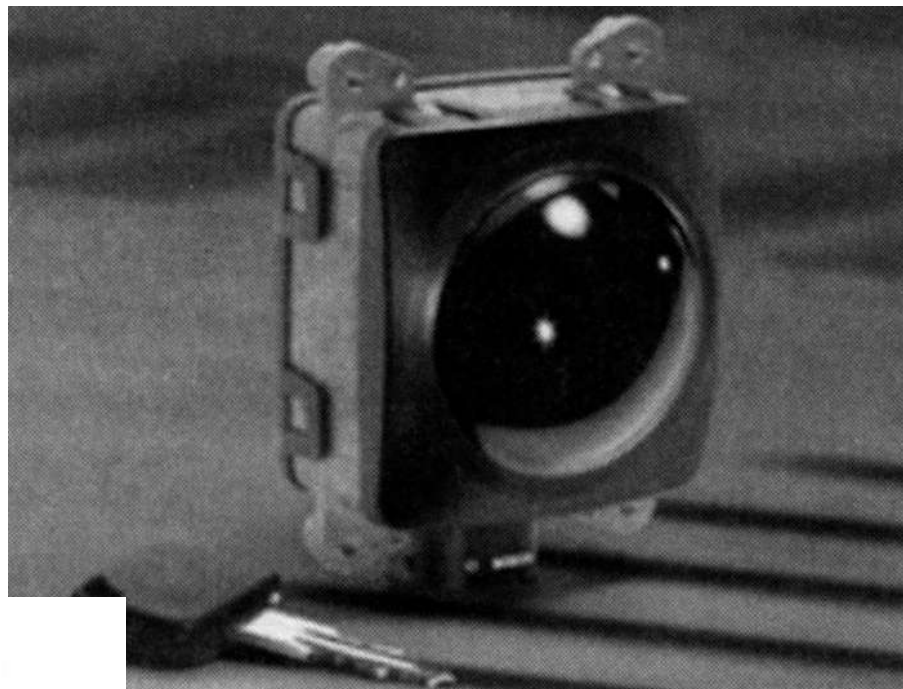
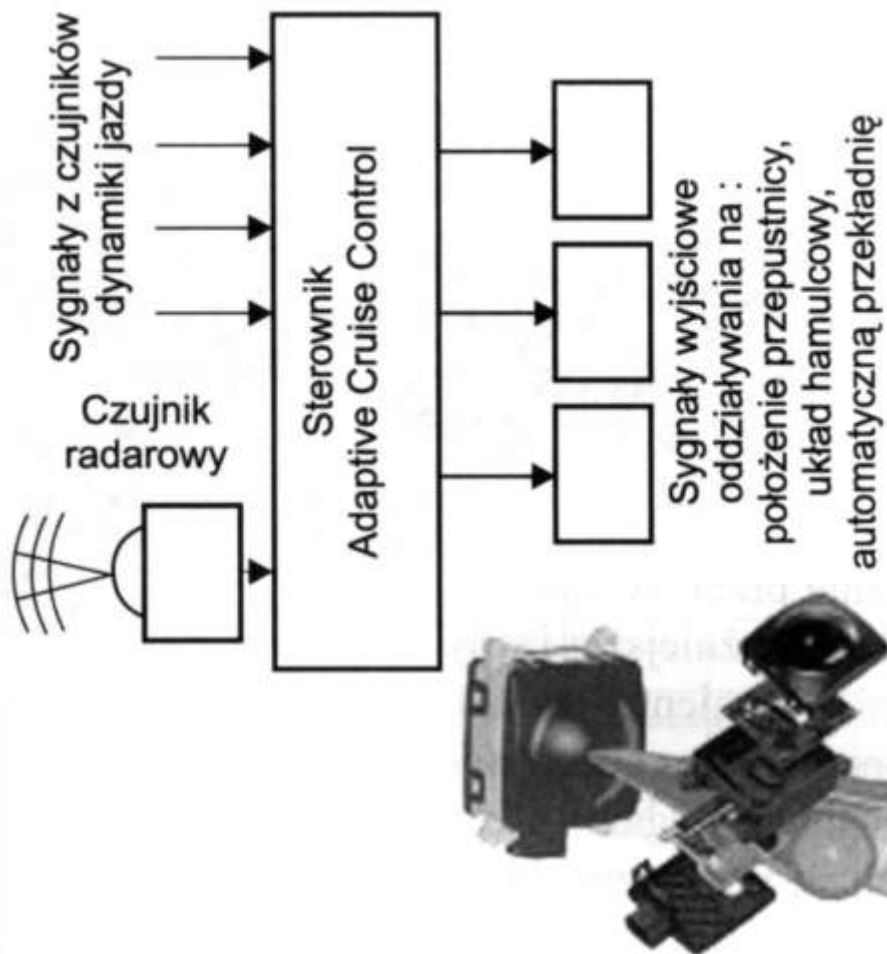


Efekt Dopplera

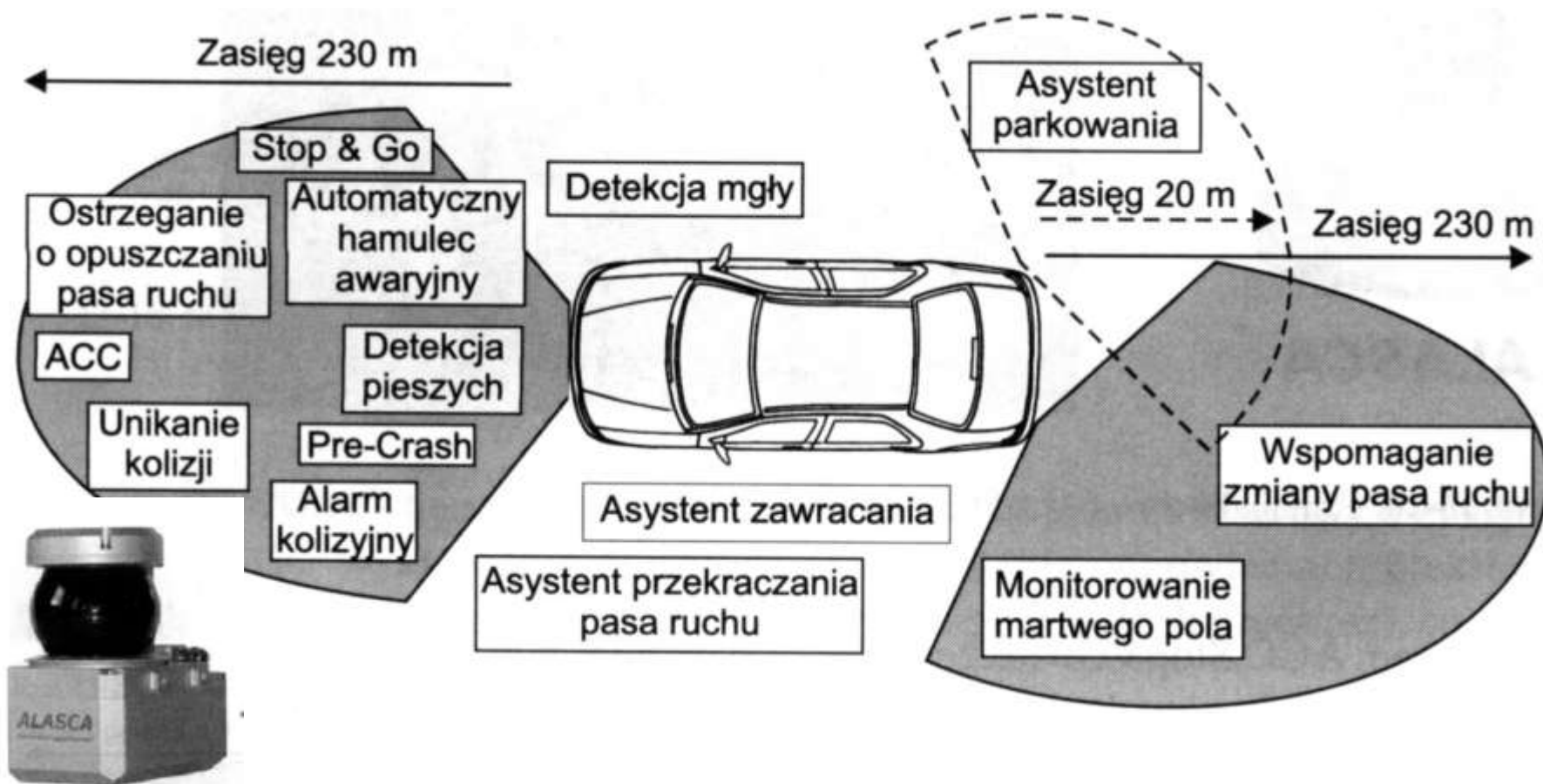
Głowica radaru Dopplera do pomiarów prędkości jazdy samochodu



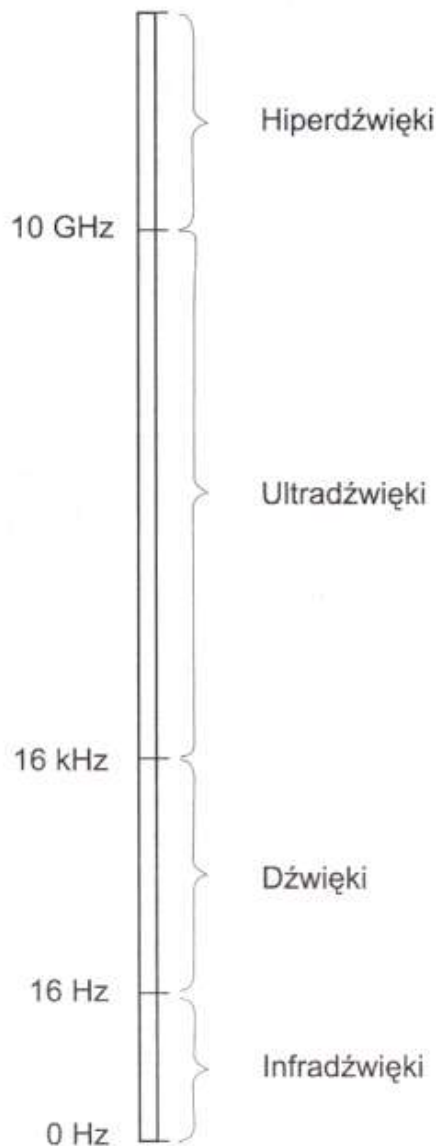
Układ adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy ACC (Adaptive Cruise Control) - radarowy



Układ adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy ACC (Adaptive Cruise Control) – lidarowy („radar laserowy”)



ALASCA



widmo fal dźwiękowych

Mechanizm i powstawania i rozchodzenia się ultradźwięków jest oparty na tych samych prawach fizyki co dla fal w innym zakresie częstotliwości. Fale ultradźwiękowe mogą rozchodzić się w ośrodkach stałych, ciekłych i gazowych.

Wykazują podobne właściwości jak fale świetlne:

- uginają się wokół przeszkód znajdujących się na drodze,
- załamują się i odbijają na granicy dwóch ośrodków,
- można je skupiać pod postacią wąskich wiązek.

Czujniki ultradźwiękowe wykorzystują efekt piezoelektryczny który jest efektem odwracalnym – ten sam element przetwornika daje się zastosować zarówno do wysyłania, jak i do odbierania impulsów.

Zastosowania ultradźwięków

Ultradźwięki dzięki małej długości fali pozwalają na uzyskanie dokładnych obrazów przedmiotów. Urządzenie, które umożliwia obserwację głębin morskich to sonar.

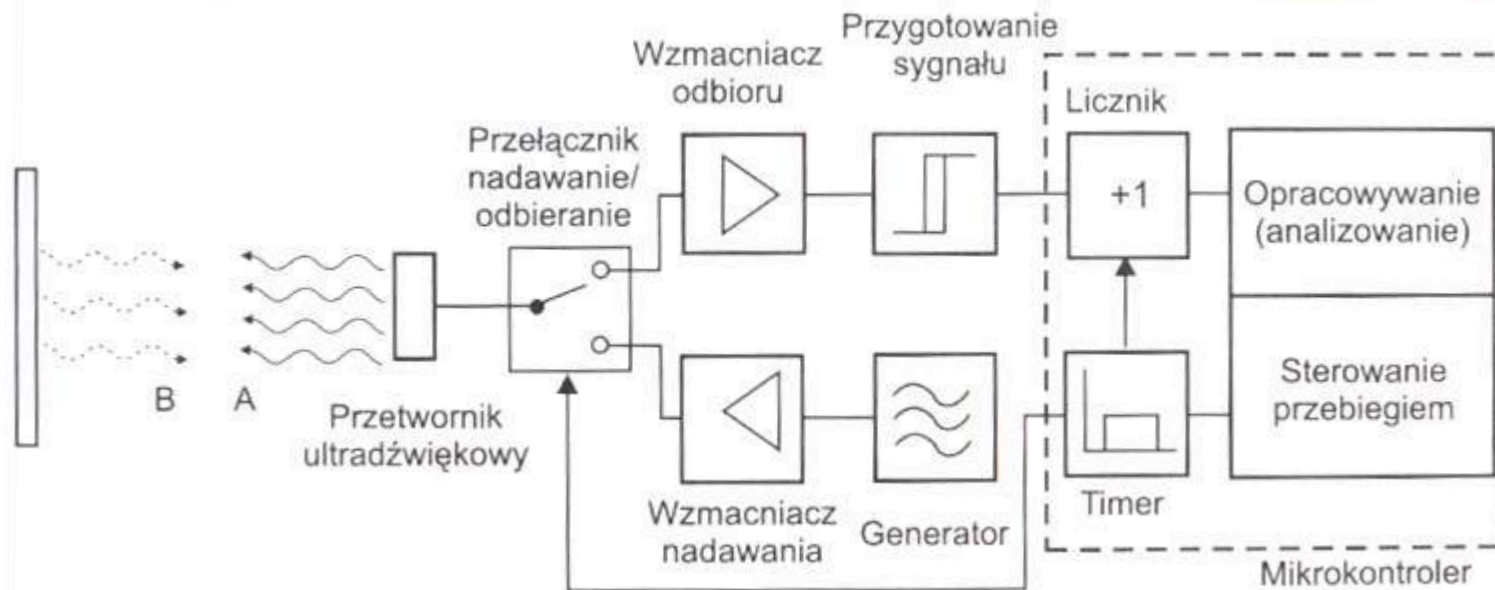
Jego zastosowanie to lokalizacja wszystkich obiektów zanurzonych w wodzie.

Sonary wykorzystywano w okrętach podwodnych.

Ultradźwięki znajdują także zastosowanie w medycynie. Za pomocą urządzenia generującego i rejestrującego fale ultradźwiękowe (ultrasonograf) można uzyskać obraz narządów wewnętrznych.

Ultradźwięki pozwalają też na pomiar odległości przy pomocy dalmierza ultradźwiękowego.

Jeżeli wykorzystano silne źródło ultradźwięków, to mogą one niszczyć, rozgrzewać niektóre materiały, co pozwala na obróbkę powierzchniową wytwarzanych przedmiotów (obróbka ultradźwiękowa).



Schemat czujnika ultradźwiękowego i układu przetwarzania sygnału

A – impuls nadawczy

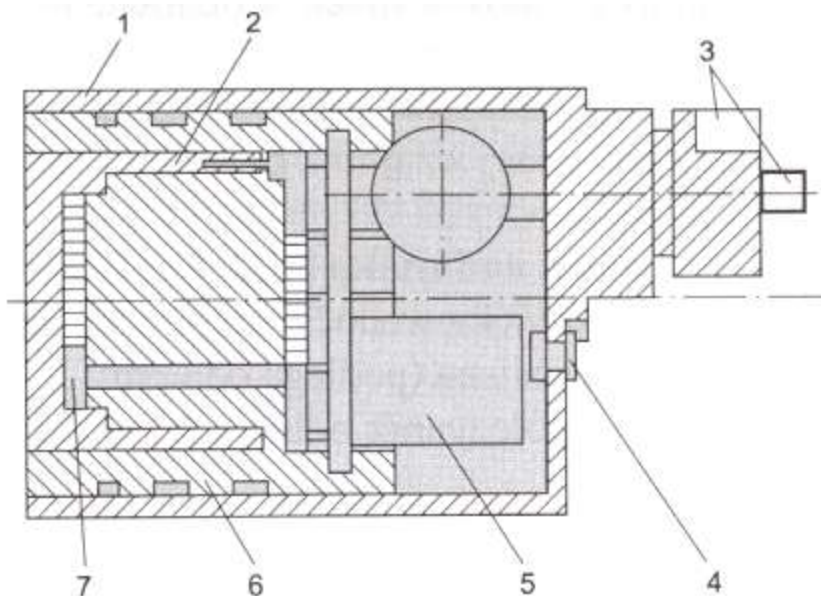
B – impuls odbiorczy, odbity od przeszkody

Znając częstotliwość f i długość fali można obliczyć prędkość sygnału w danym ośrodku:

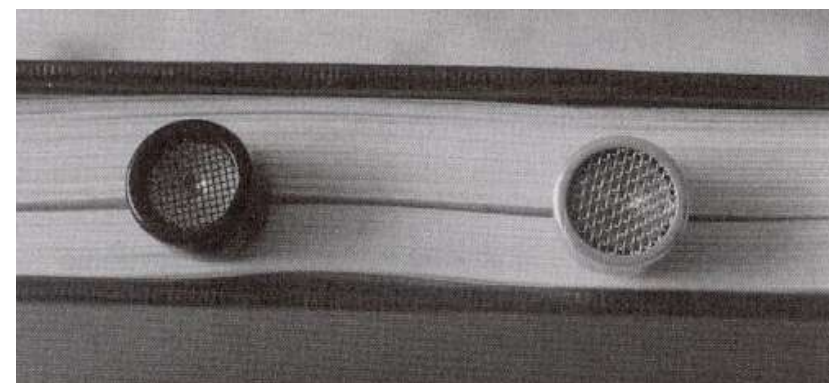
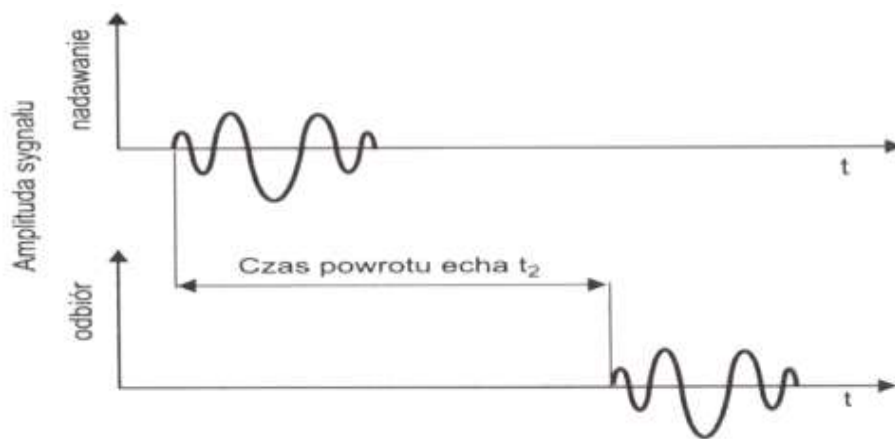
$$v = \lambda \cdot f$$

Mierząc czas od momentu wysłania sygnału do odebrania echa można obliczyć odległość czujnika od przeszkody:

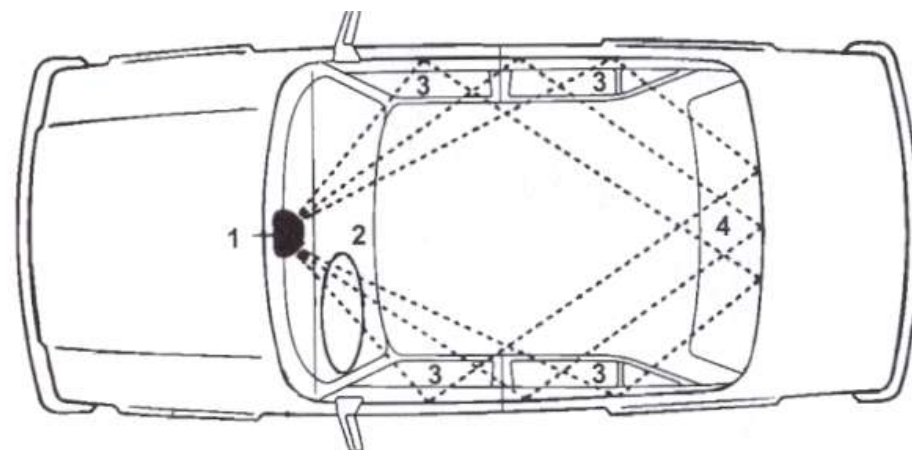
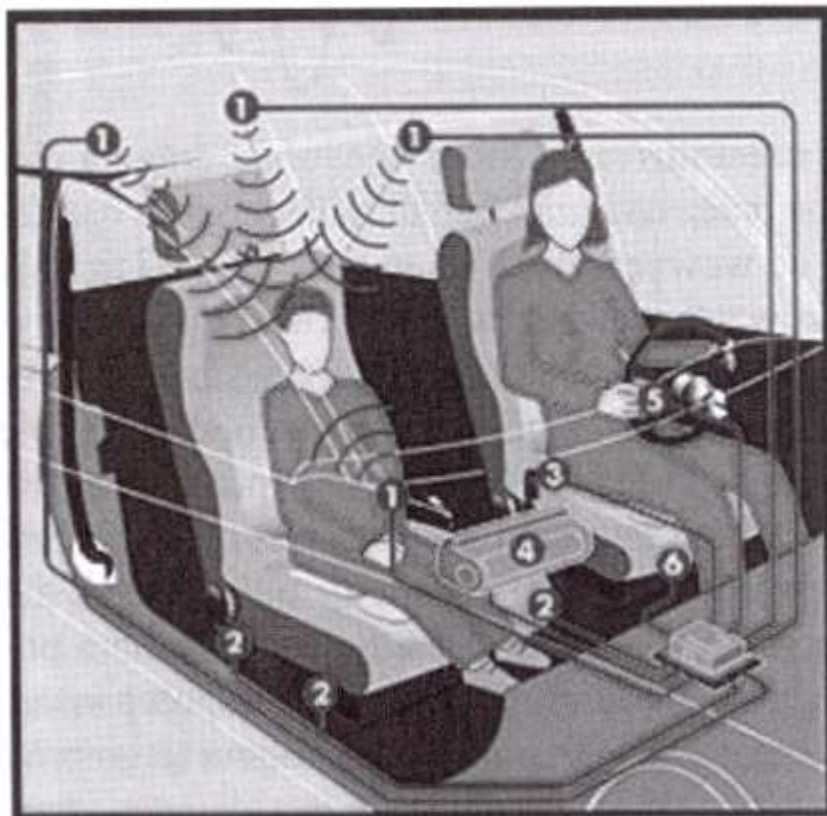
$$s = \frac{v \cdot \Delta t}{2} = \frac{\lambda \cdot f \cdot \Delta t}{2}$$



Ultradźwiękowy czujnik ułatwiający parkowanie
1- korpus, 2 – przepona drgająca, 3 – przyłącze wodoszczelne, 4 – otwór kompensacyjny, 5 – układ kompensacyjny, 6 – odprężenie akustyczne, 7 – element piezoelektryczny

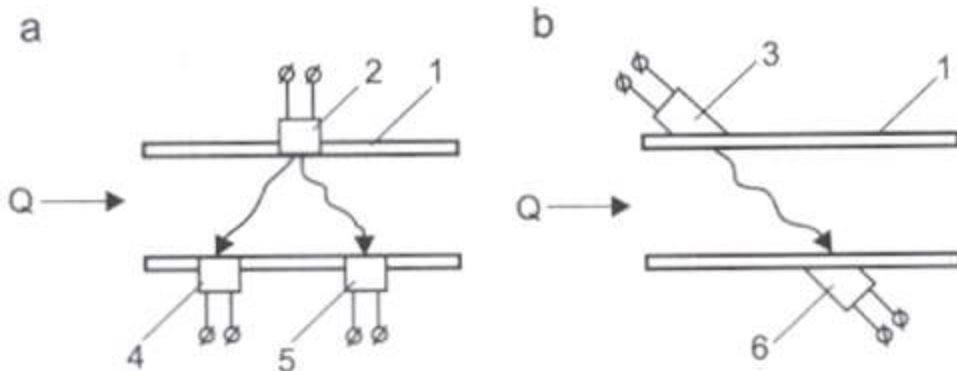
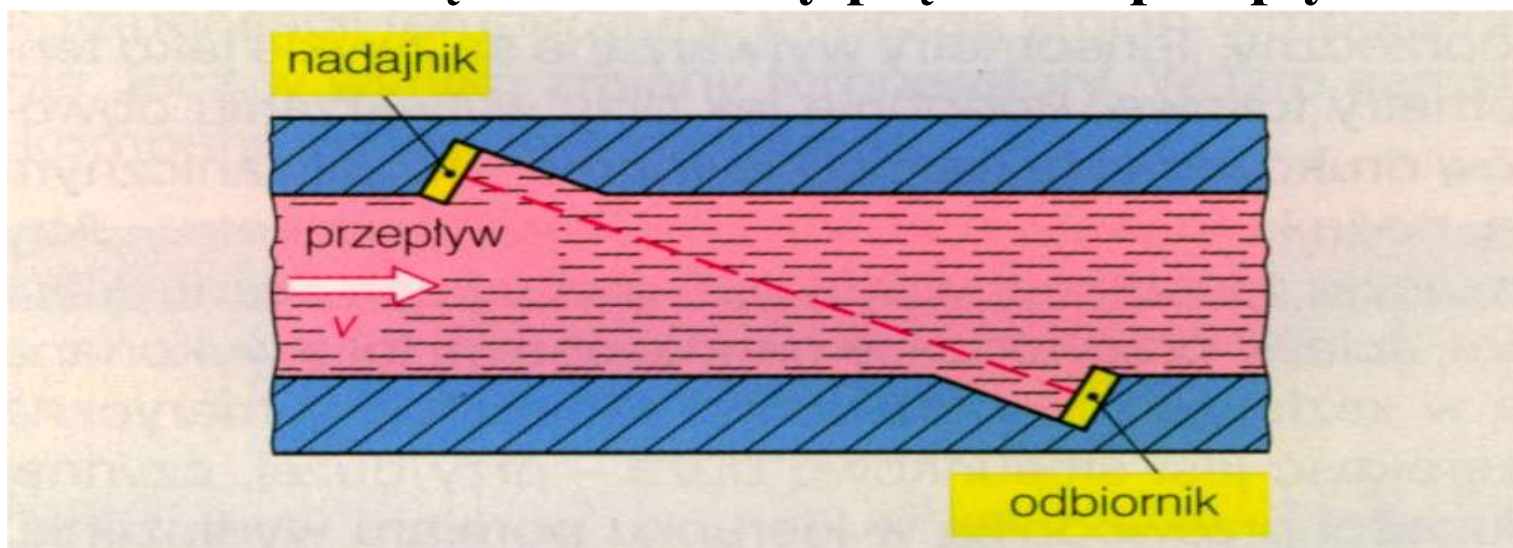


Sygnal wytwarzany i odbierany przez układ ułatwiający parkowanie



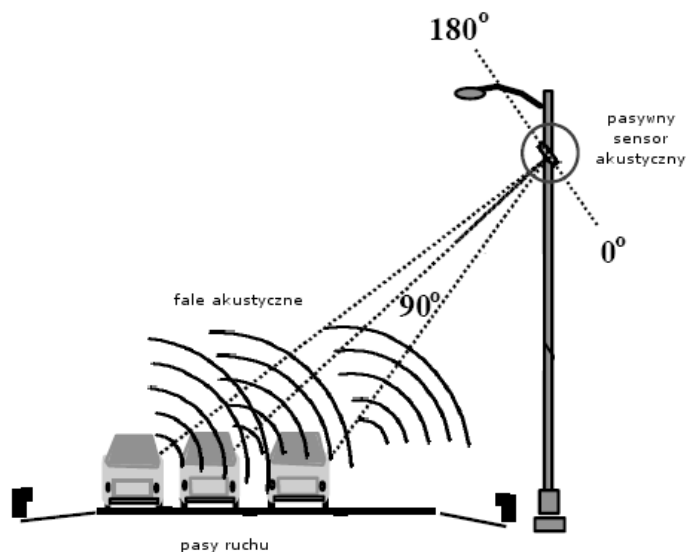
Układ czujników ultradźwiękowych do rozpoznawania położenia pasażera na fotelu przednim samochodu, stosowany w inteligentnych systemach poduszek powietrznych. 1 – czujniki ultradźwiękowe, 2 – czujniki położenia i obciążenia fotela, 3 – czujnik zapięcia pasów bezpieczeństwa, 4 – poduszka powietrzna pasażera, 5 – poduszka powietrzna kierowcy, 6 - sterownik

Ultradźwiękowe sensory prędkości przepływu

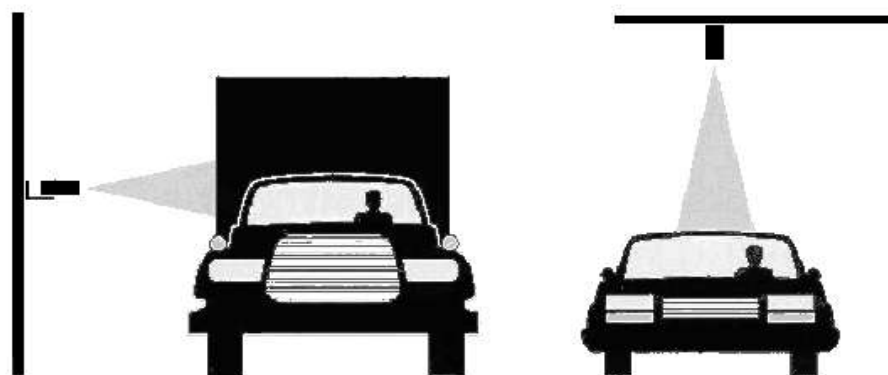


1 – przewód z płynem, 2 i 3 – nadajniki ultradźwięków, 4 i 5 – odbiorniki ultradźwięków w przepływomierzu z analizą różnicy częstotliwości, 6 – odbiornik ultradźwięków z analizą przesunięcia fazowego lub czasu propagacji fal
 Q – objętościowe natężenie przepływu

Przepływomierz ultradźwiękowy z dwoma odbiornikami (a) i z pojedynczym odbiornikiem (b)

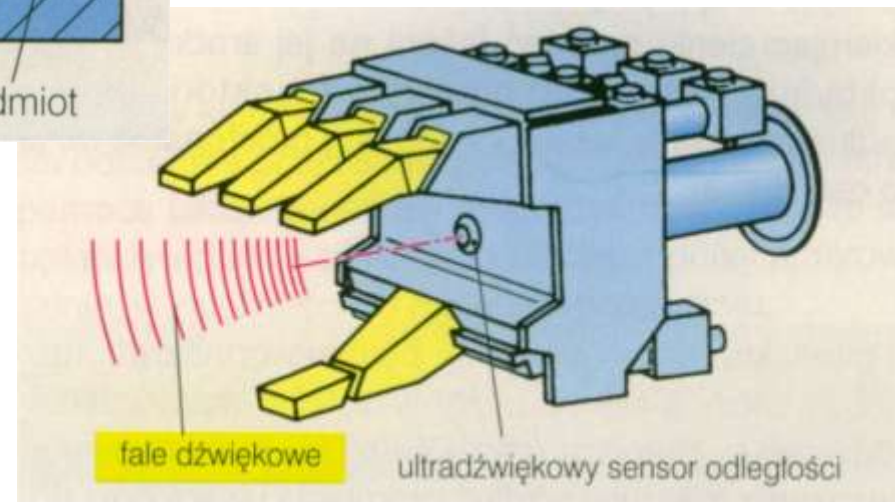
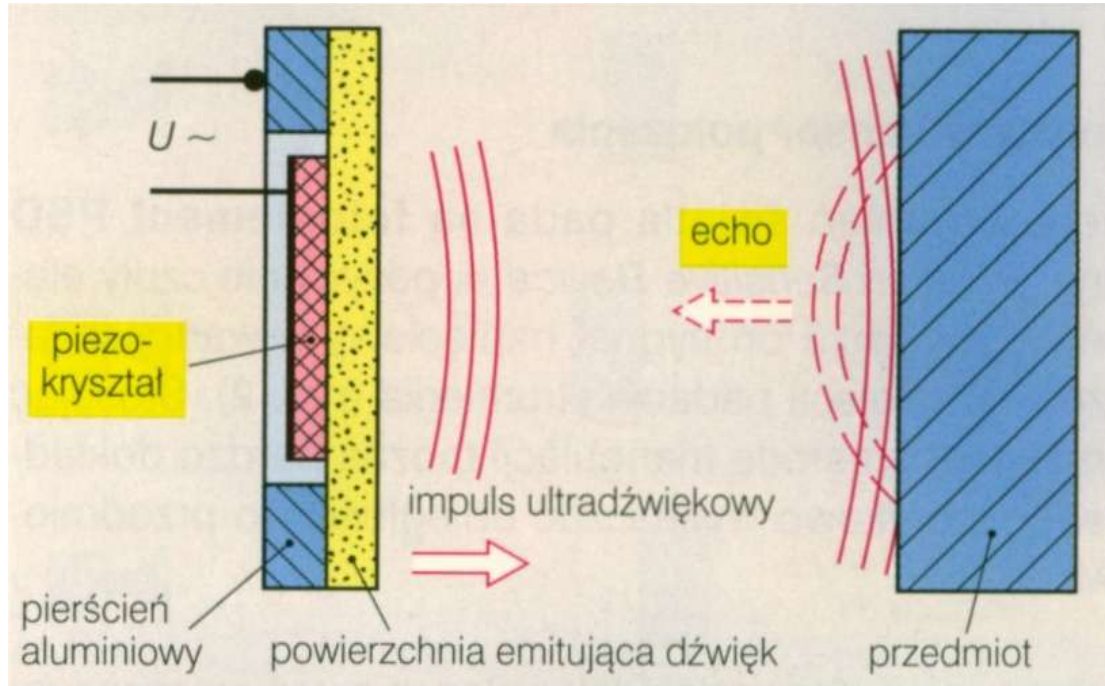


Układ monitorujący wiele pasów ruchu.

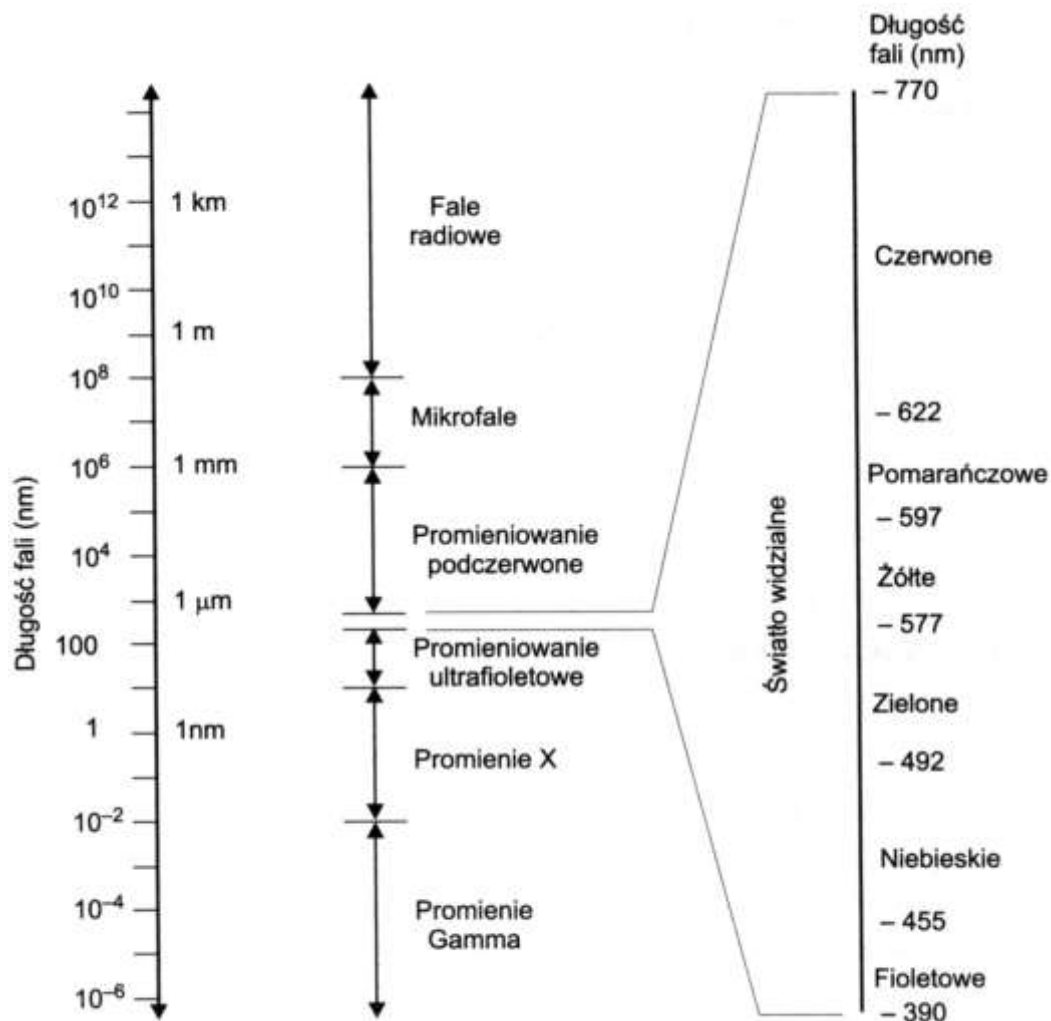


*Typowe konfiguracje montażu sensorów ultradźwiękowych
(Microwave Sensors, Ann Arbor, MI)*

Ultradźwiękowy sensor położenia

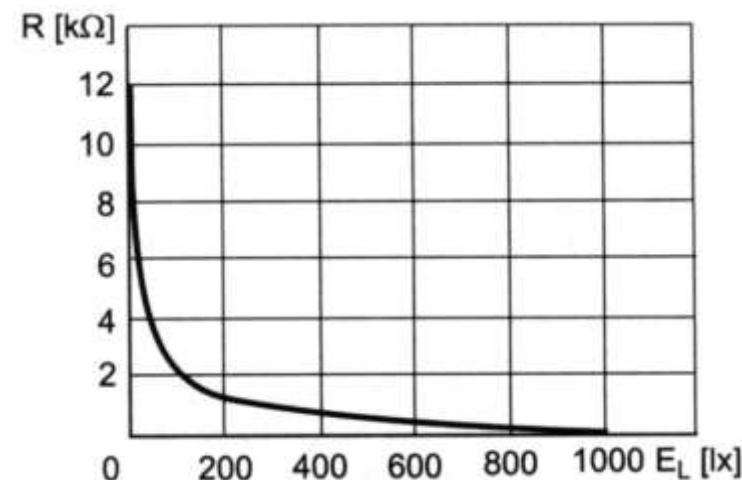


Czujniki fotoelektryczne (optyczne)



Fotorezystor

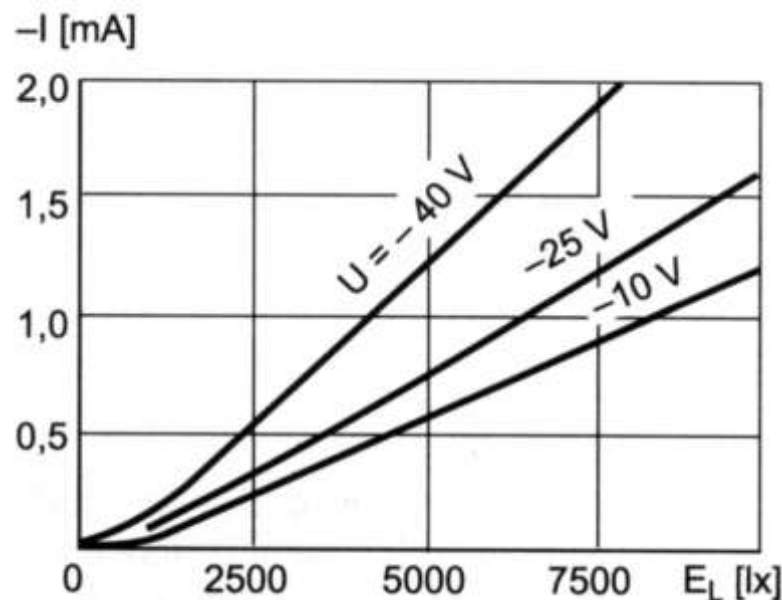
$$R_E = R_0 \left(\frac{E_0}{E_L} \right)^g$$



R_0 – rezystancja fotorezystora przy natężeniu oświetlenia E_0 (zwykle 10 lx);
 g – stała, której wartość zależy głównie od rodzaju materiału półprzewodnikowego (dla CdS $g = 0,5...1,0$).

Fotodiody półprzewodnikowe

$$I = I_0 \left[e^{\left(\frac{eU}{kT} \right)} - 1 \right] - S\Phi_L$$



I_0 – prąd cieplny (wsteczny) o kierunku przeciwnym do prądu dyfuzji I_D
(dla $U = 0$ jest $I_0 = I_D$),

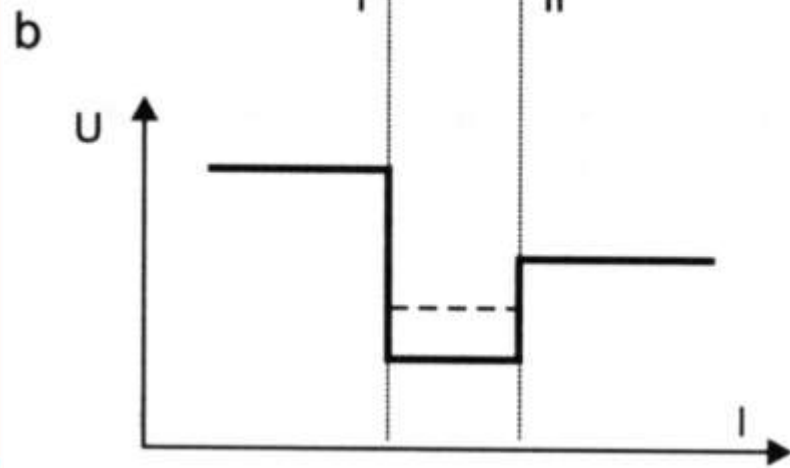
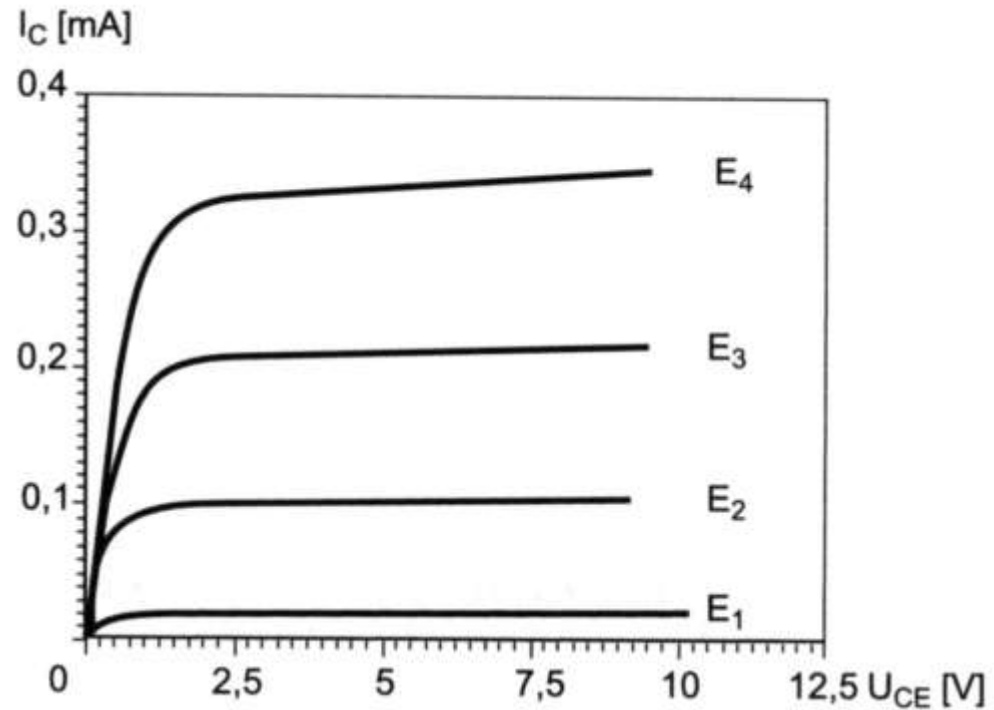
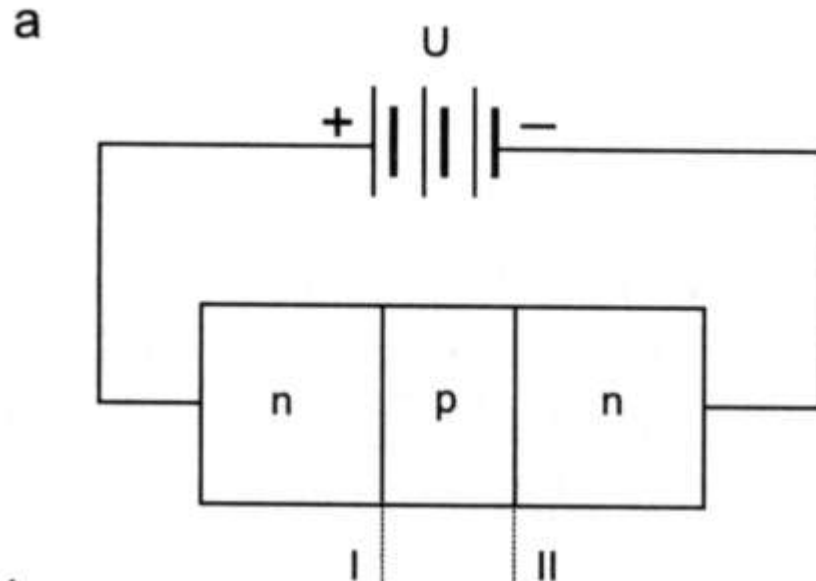
e – ładunek elektronu,

k – stała Boltzmannna,

T – temperatura bezwzględna,

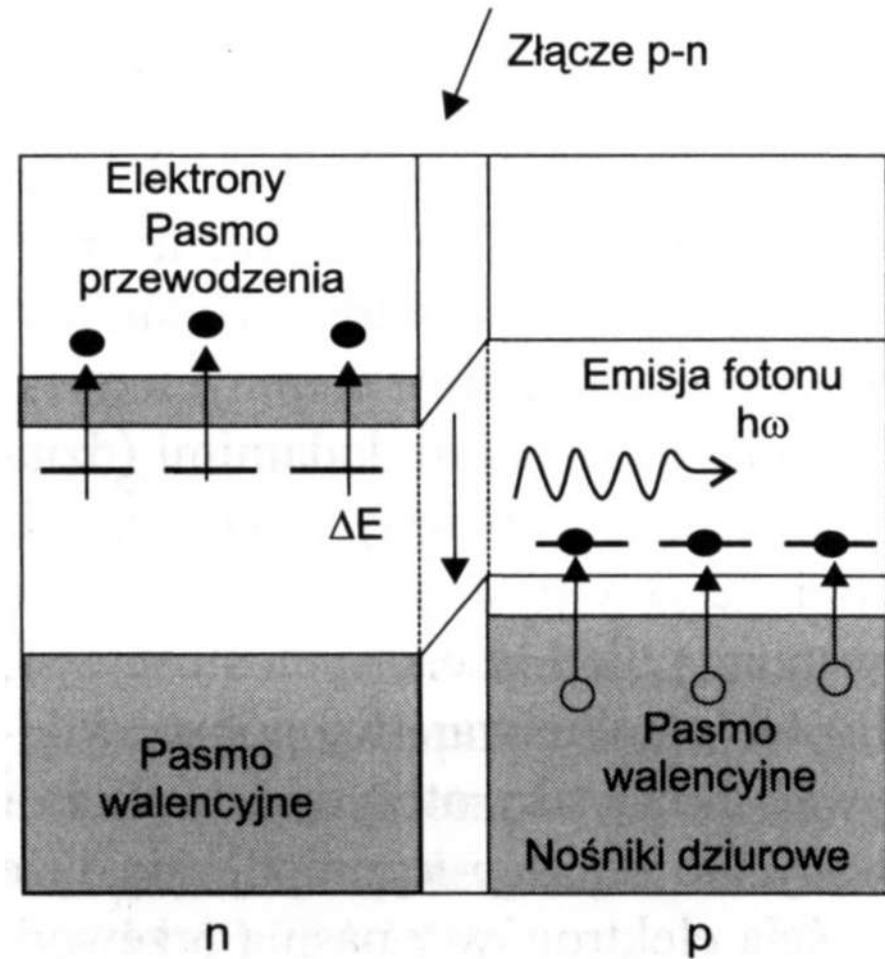
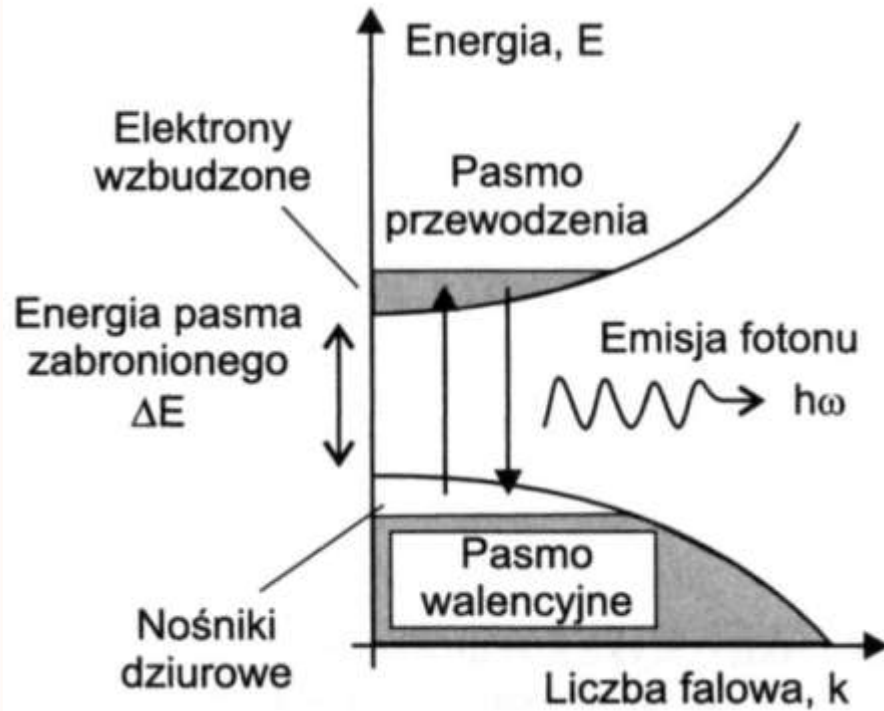
S – czułość fotoelektryczna złącza $p-n$.

Fototranzystory

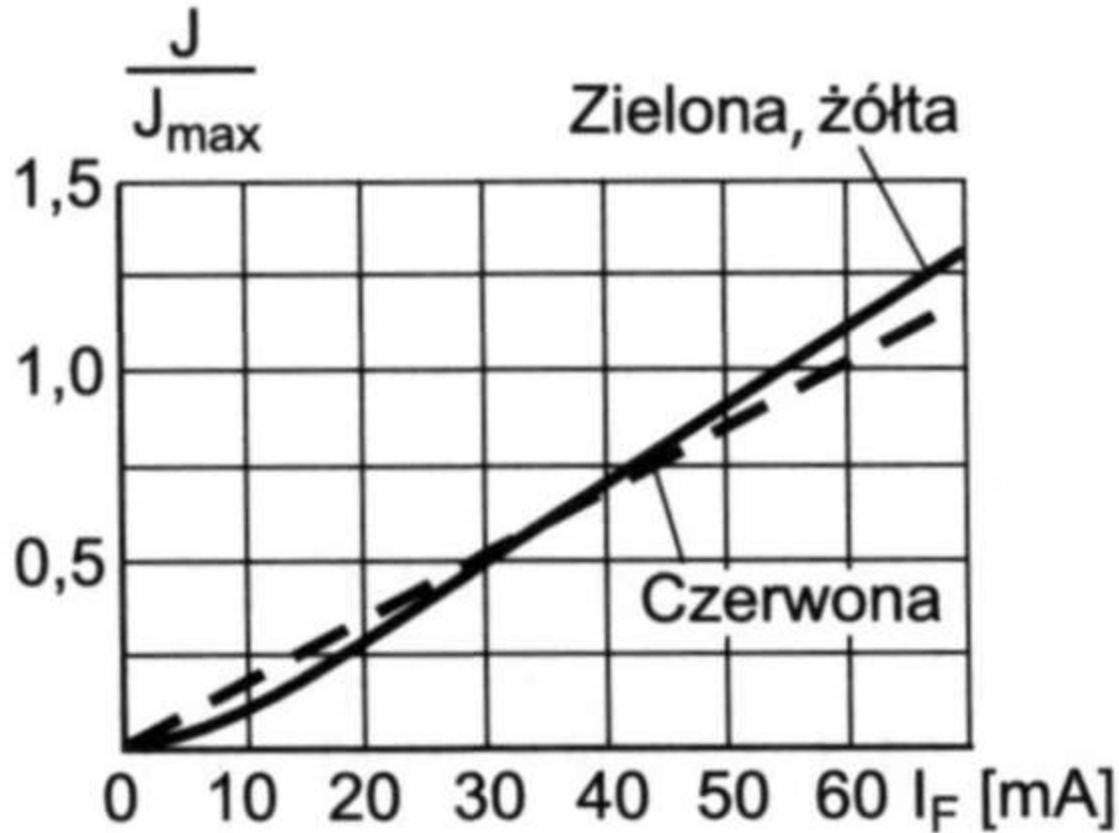


a – układ połączeń, *b* – wykres skoków potencjałów na złączach

Dioda elektroluminescencyjna (LED)

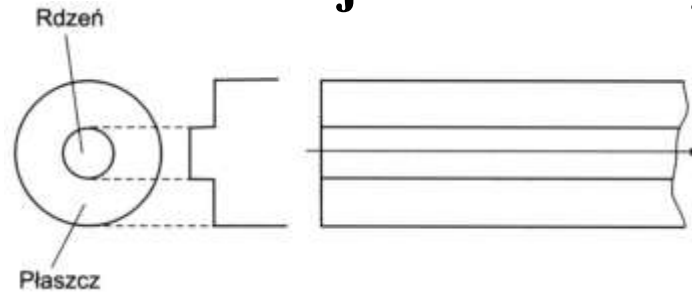


Dioda elektroluminescencyjna (LED)

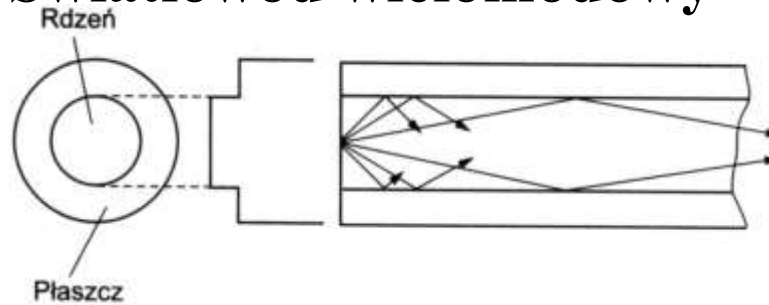


J – światłość, J_{max} – światłość max, I_F – prąd przewodzenia

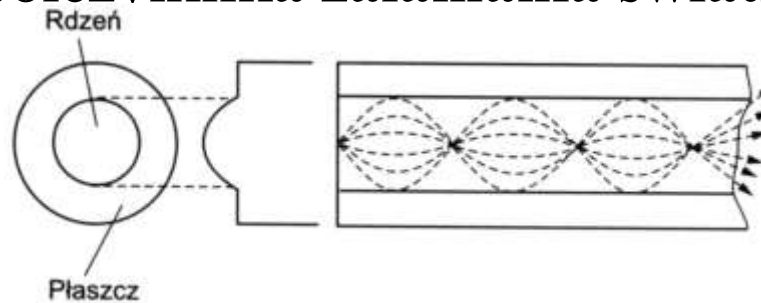
Światłowod jednomodowy



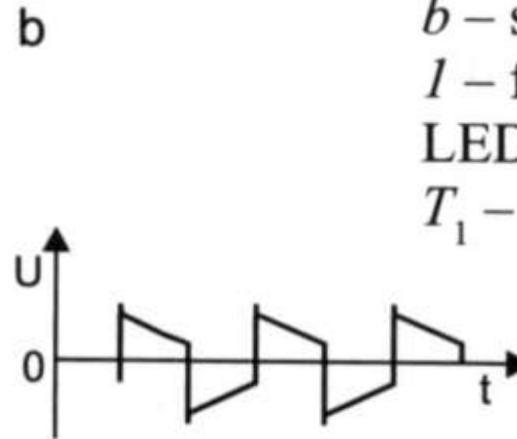
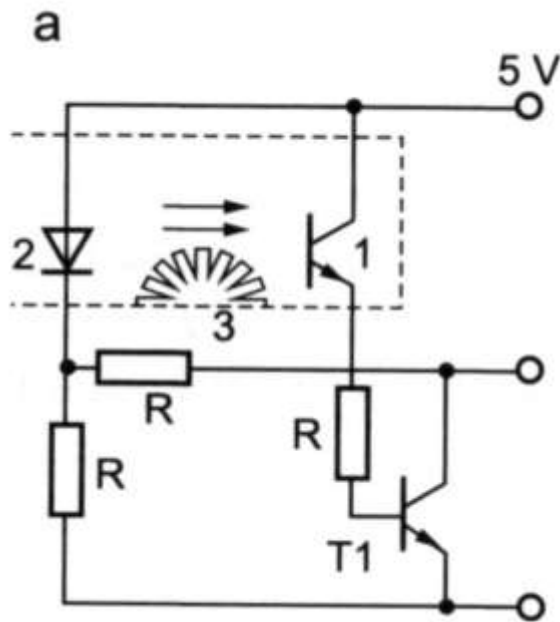
Światłowod wielomodowy



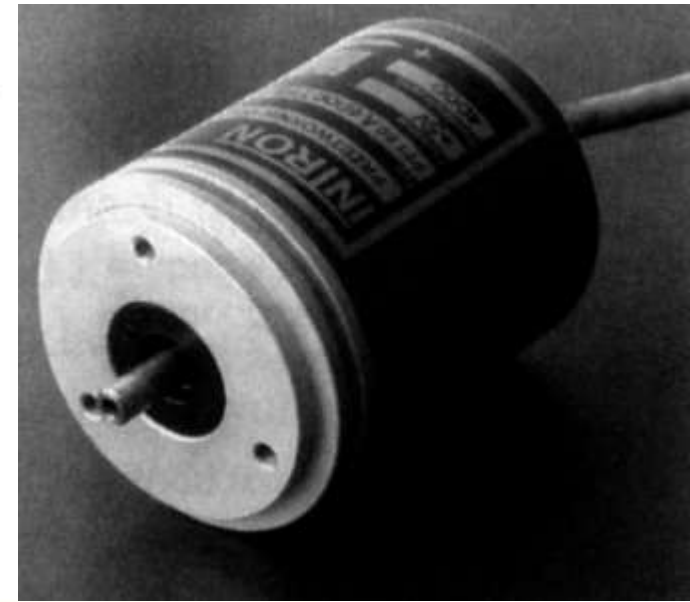
Światłowod jednomodowy o płynnej zmianie współczynnika załamania światła



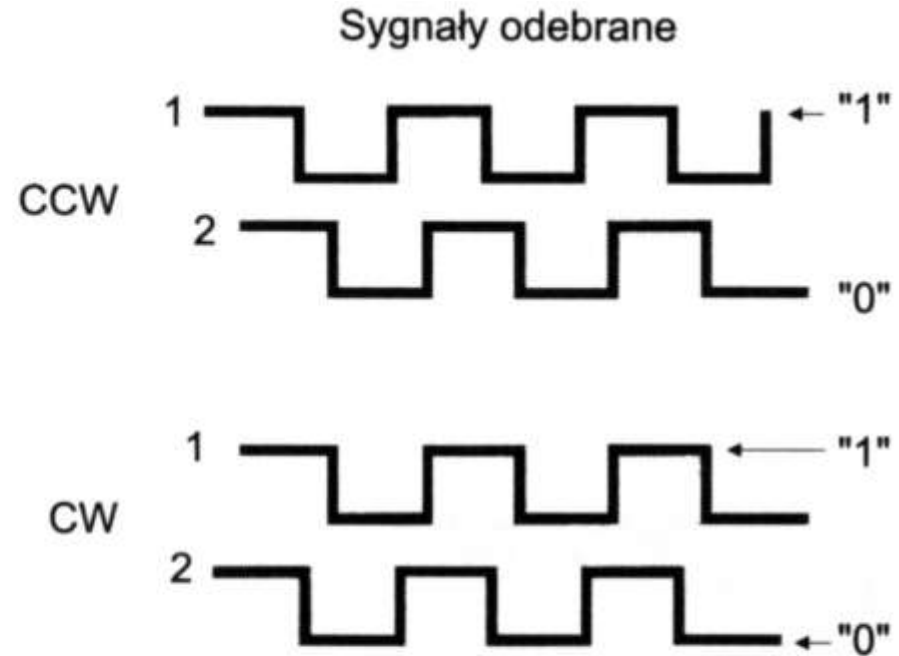
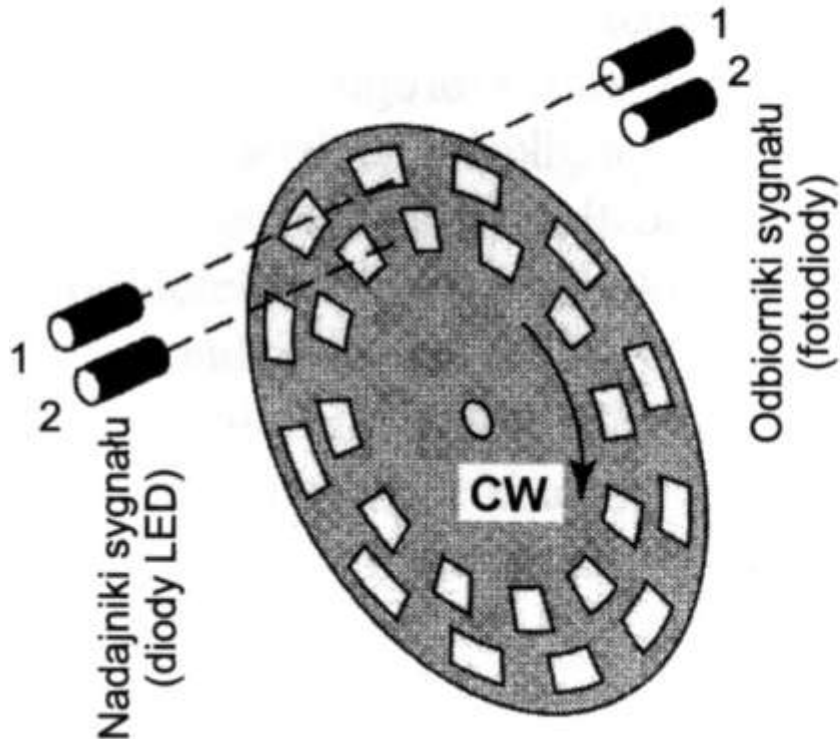
Czujnik prędkości obrotowej i położenia kątownego (enkoder optoelektroniczny)



a – schemat ideowy przełącznika
b – sygnał wyjściowy
1 – fototranzystor, *2* – dioda LED, *3* – koło z nacięciami,
 T_1 – tranzystor, R – rezystory

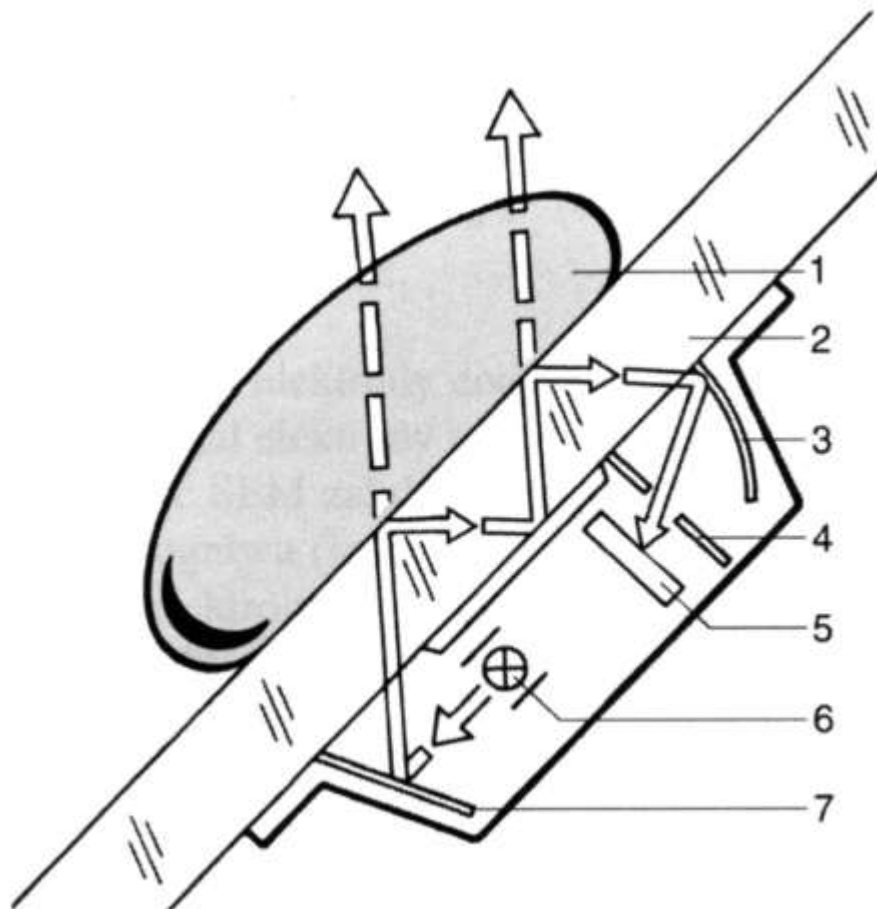


Enkoder optyczny z wykrywaniem kierunku obrotu

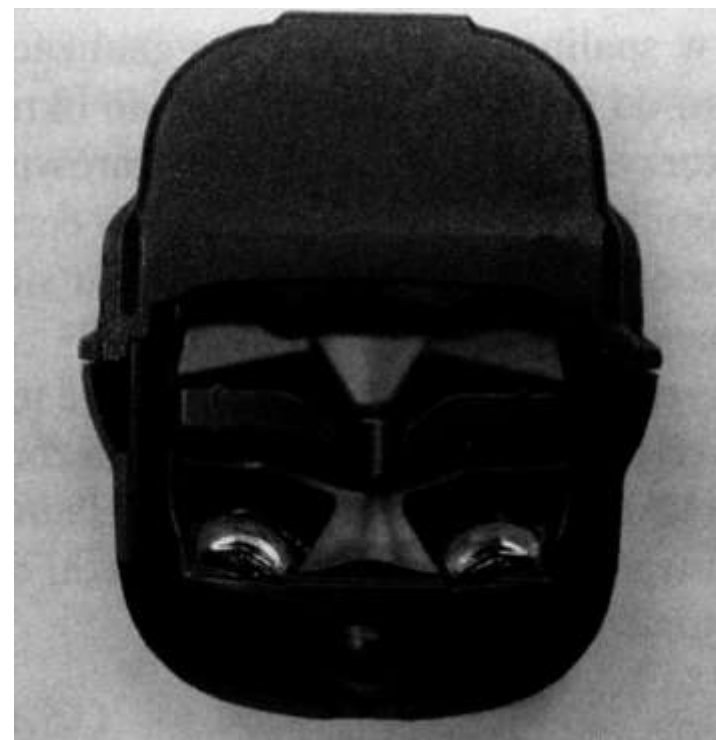


CW – kierunek obrotu zgodny z ruchem wskazówek zegara
 CCW – kierunek obrotu niezgodny z ruchem wskazówek zegara

Czujnik deszczu

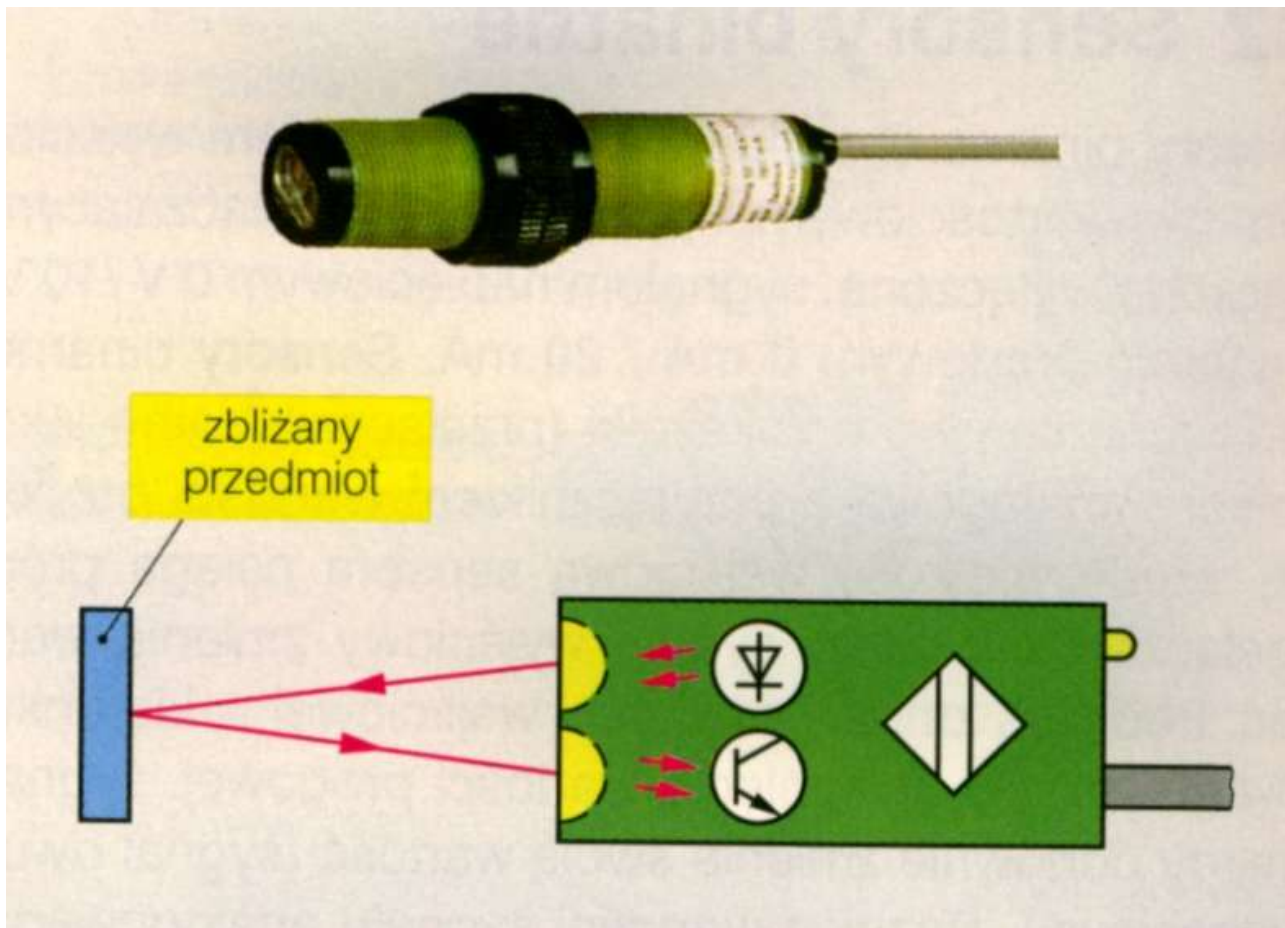


1 – kropla deszczu, 2 – szyba przednia pojazdu, 3 – zwierciadło wklęsłe, 4 – przesłona, 5 – odbiornik światła (fotodioda), 6 – źródło światła (dioda LED), 7 – zwierciadło płaskie



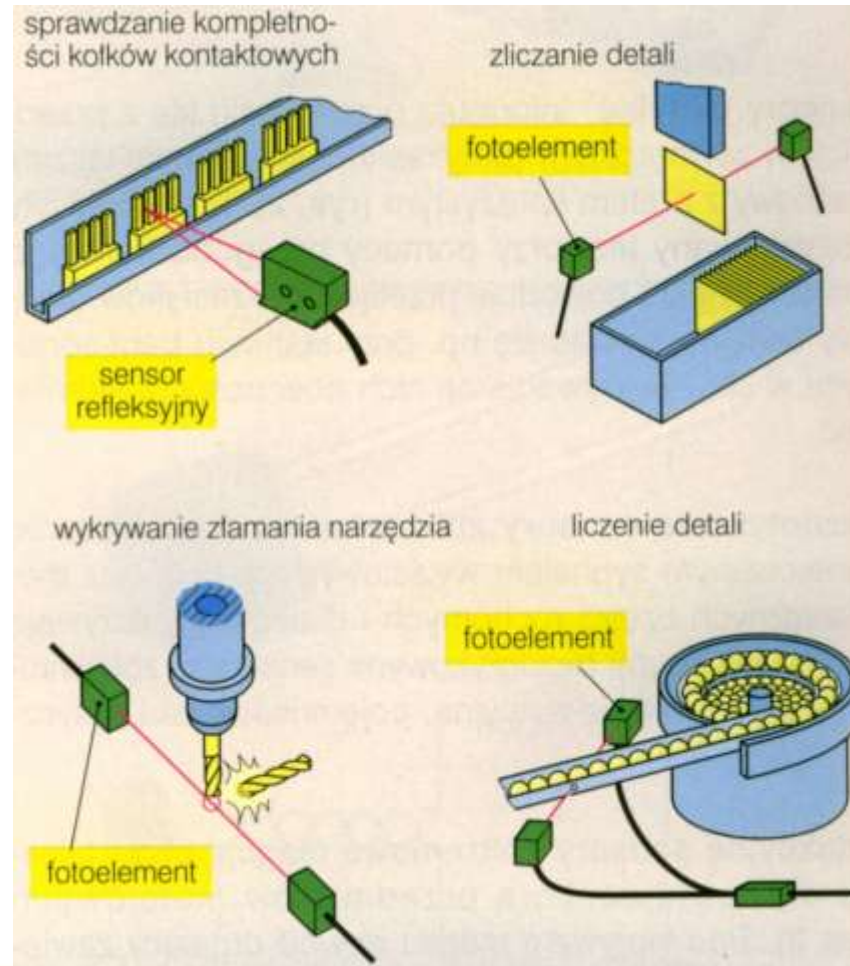
Bezdotykowe sensory zbliżeniowe

Optyczny sensor zbliżeniowy

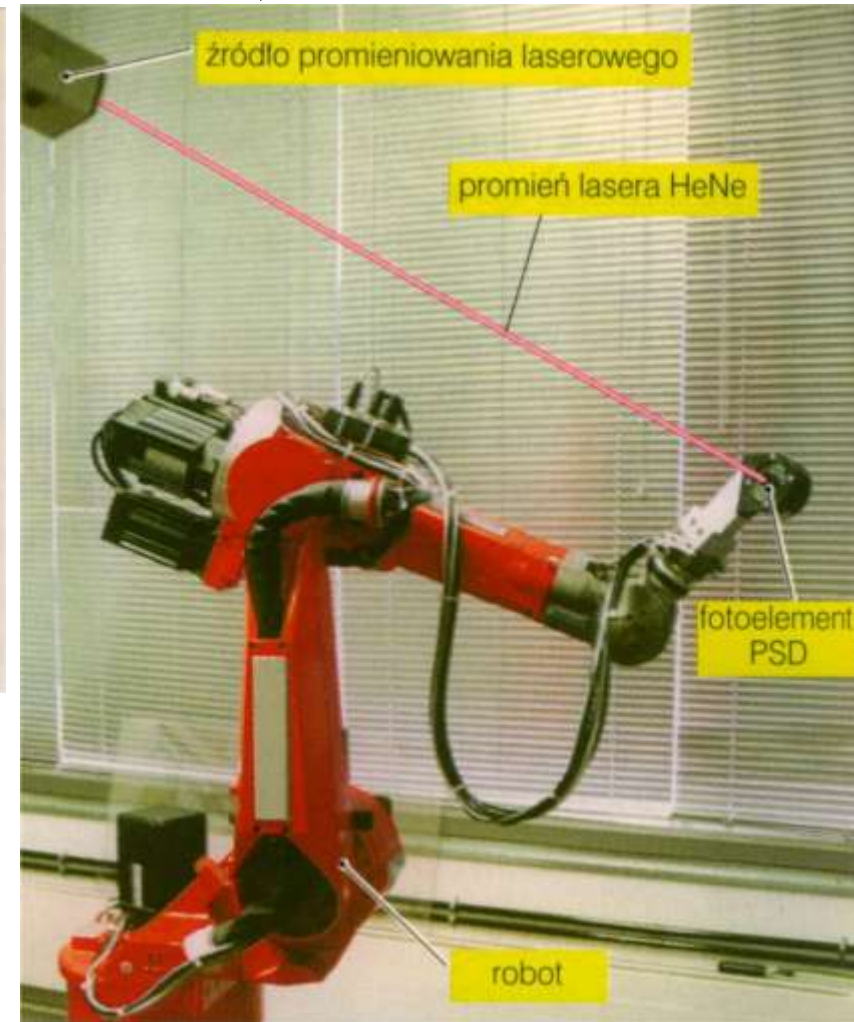
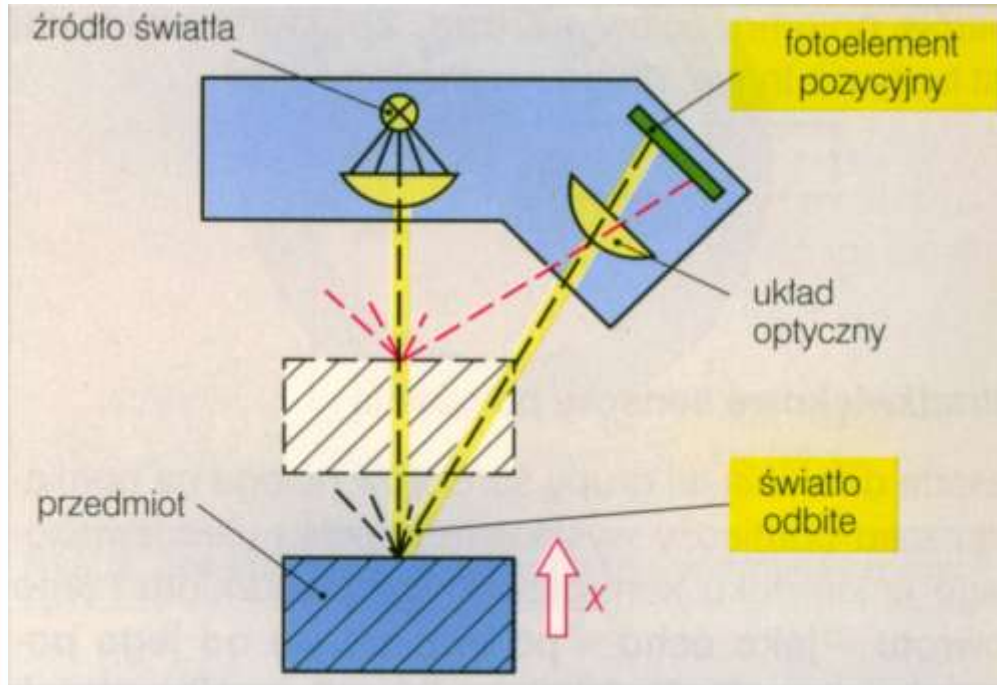


Optyczny sensor zbliżeniowy

Przykłady zastosowań



Optyczny sensor położenia z fotoelementem PSD (Position Sensitive Device)



Czujniki rezystancyjne

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

ρ – rezystywność [$\Omega \cdot m$],

l – odległość elektrod czujnika [m],

S – przekrój materiału aktywnego [m^2].

Pomiar siły elektromotorycznej (SEM)

$$SEM = E_1 - E_2$$

E_1 – potencjał elektrody dodatniej ogniwa względem elektrolitu,
 E_2 – potencjał elektrody ujemnej ogniwa.

E_e – siła elektromotoryczna półogniwa, różnica potencjałów między elektrodą a roztworem,

E_0 – standardowy (początkowy) potencjał elektrody,

R_g – stała gazowa,

T – temperatura [K],

z – wartościowość jonu,

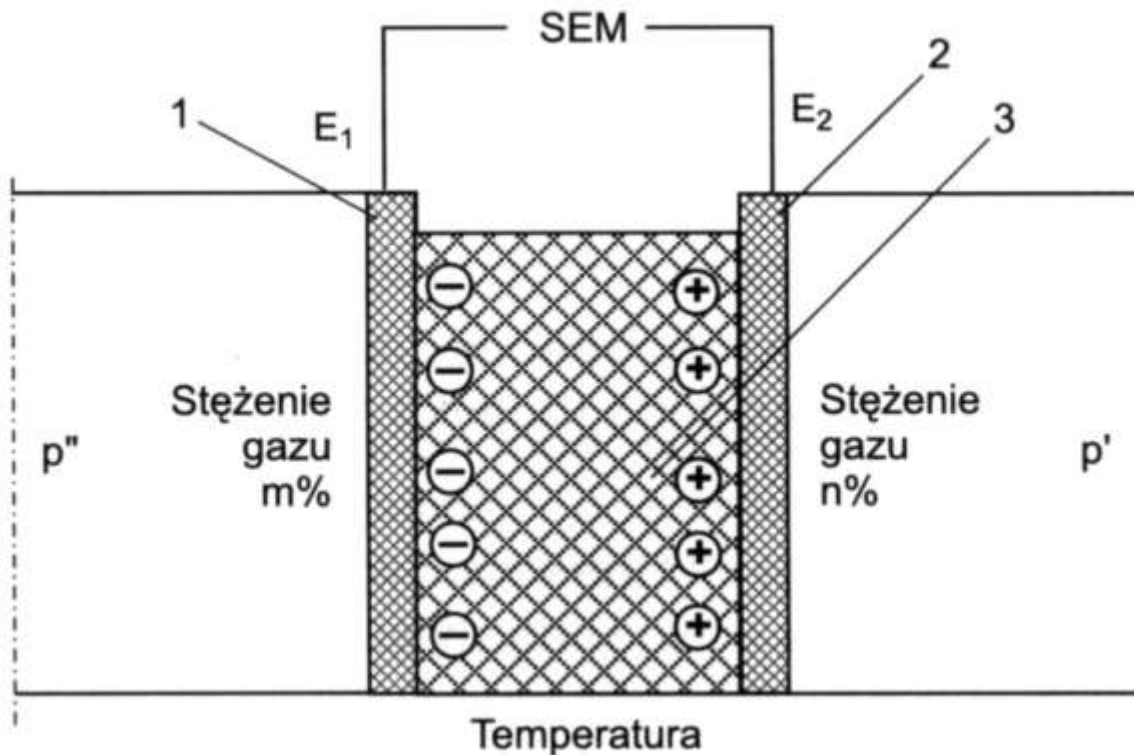
F – stała Faradaya [C/kmol],

a – stężenie jonów w roztworze.

$$E_e = E_0 - \frac{R_g T}{zF} \ln a$$

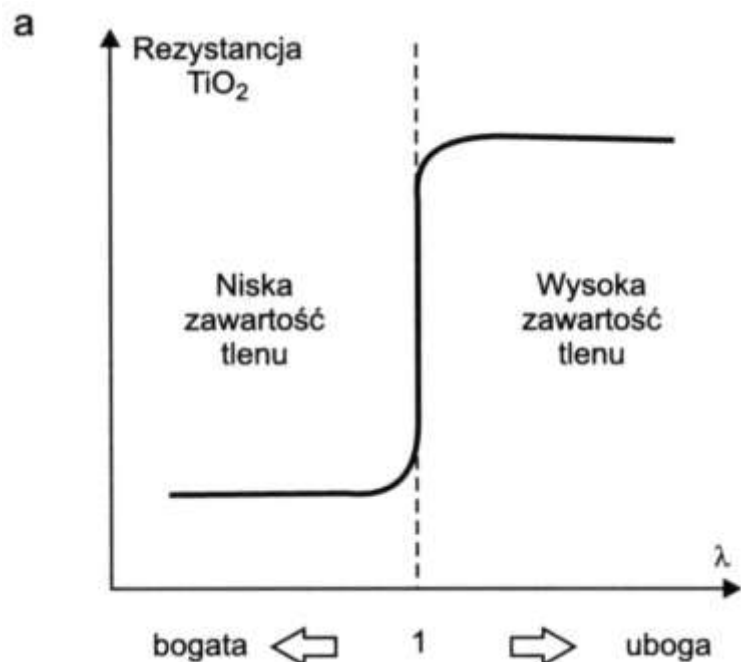
Czujnik z elektrolitem stałym i pomiarem SEM ogniwa

$$E = \frac{R_g T}{4F} \ln \frac{p'_{O_2}}{p''_{O_2}} \quad \text{gdzie } p'_{O_2} \text{ i } p''_{O_2} \text{ to ciśnienia cząstkowe tlenu po obu stronach przetwornika, przy czym } p'_{O_2} < p''_{O_2}.$$



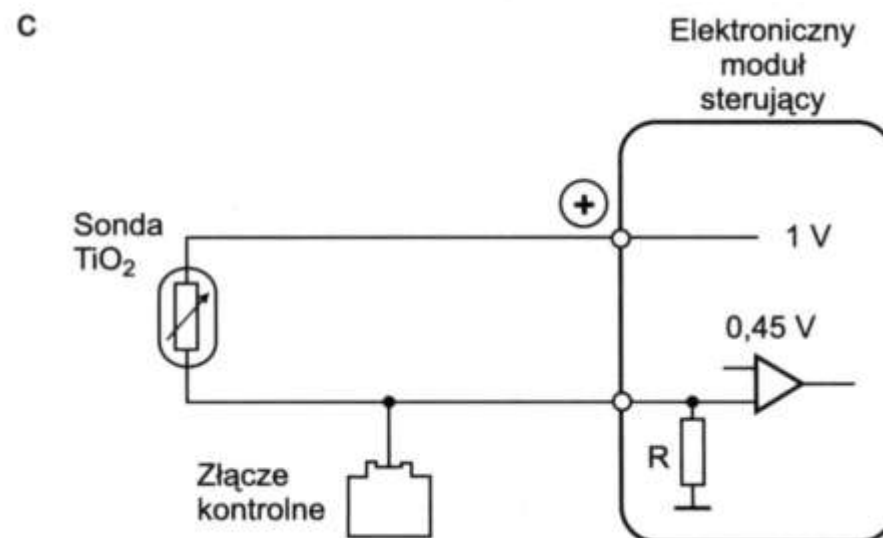
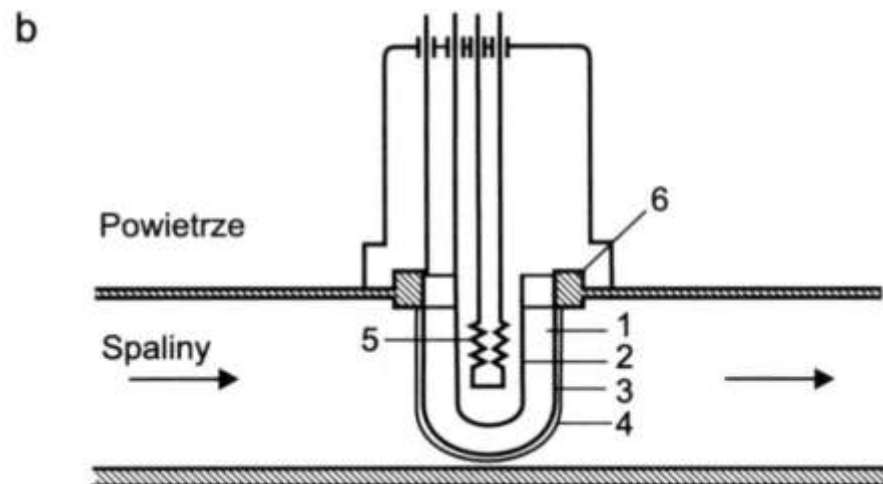
1 i 2 – porowate elektrody,
3 – elektrolit stały
 $m\%$ i $n\%$ – procentowe stężenia
gazu w przestrzeni odniesienia m
i po stronie badanej n ($m > n$),
 p' i p'' – odpowiadające
im ciśnienia cząstkowe

Rezystancyjna sonda lambda (tytanowa)

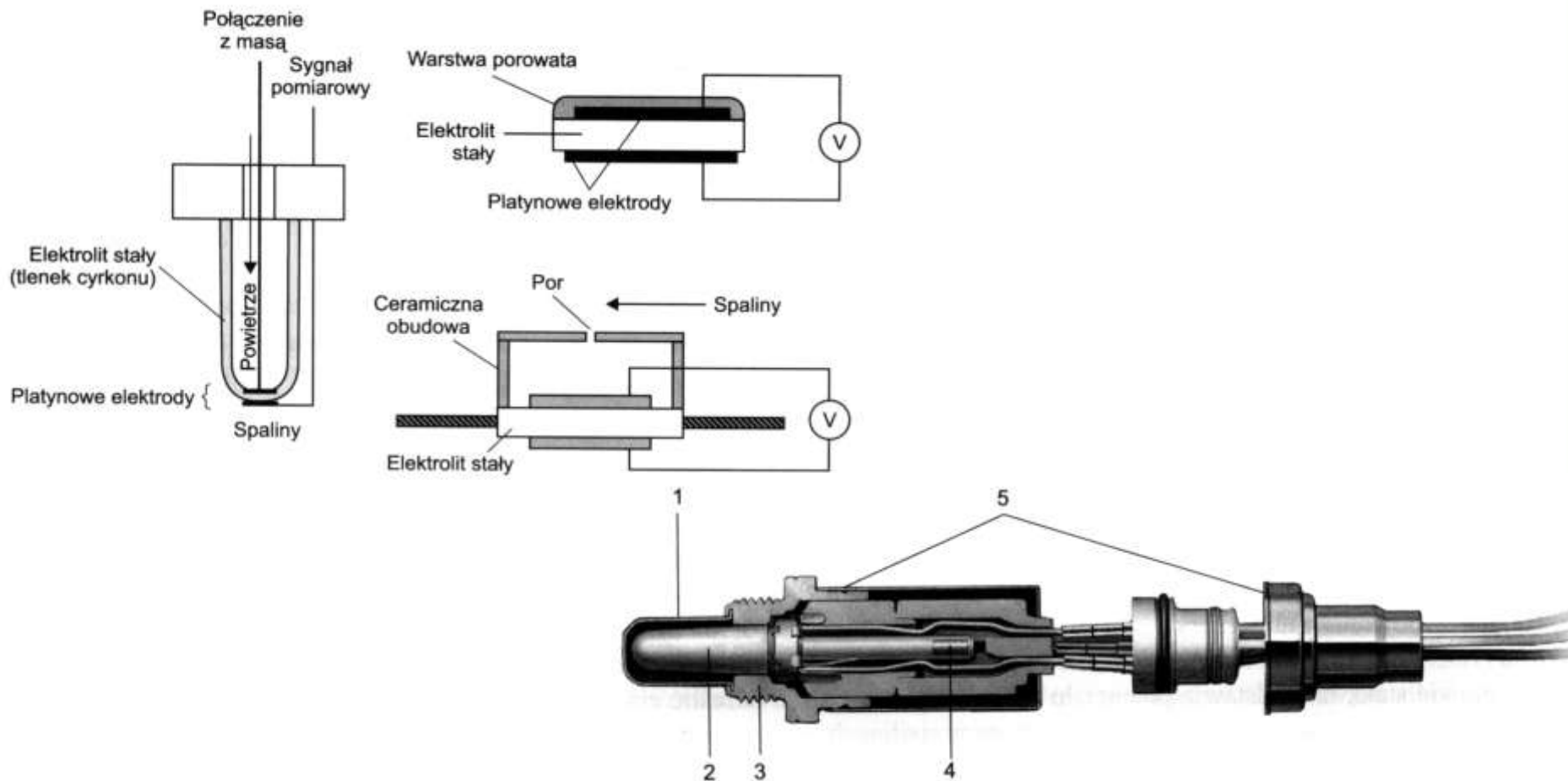


a – charakterystyka sondy w funkcji składu mieszanki w silniku, *b* – schemat sondy *c* – zasada pomiaru spadku napięcia

1 – materiał TiO_2 ,
2 i 3 – elektrody platynowe,
4 – osłona, 5 – grzałka,
6 – obudowa,

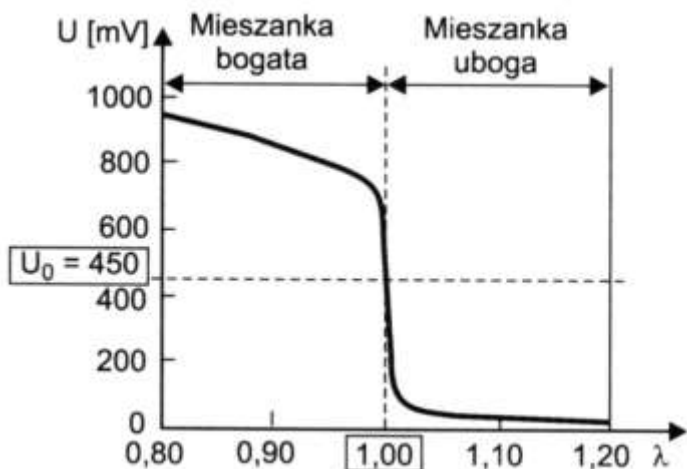


Napięciowa dwustanowa sonda lambda (cyrkonowa)

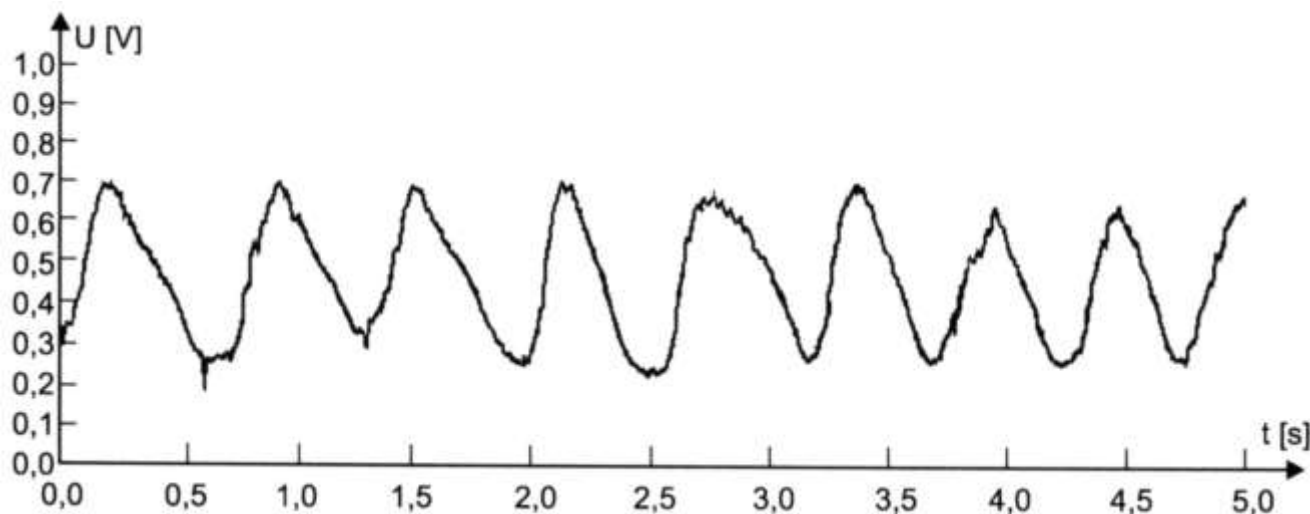


1 – osłona zabezpieczająca z nacięciami przepuszczającymi spaliny, 2 – kubkowy element ceramiczny, 3 – gwintowana obudowa, 4 – grzałka, 5 – osłona stalowa z uszczelnieniem

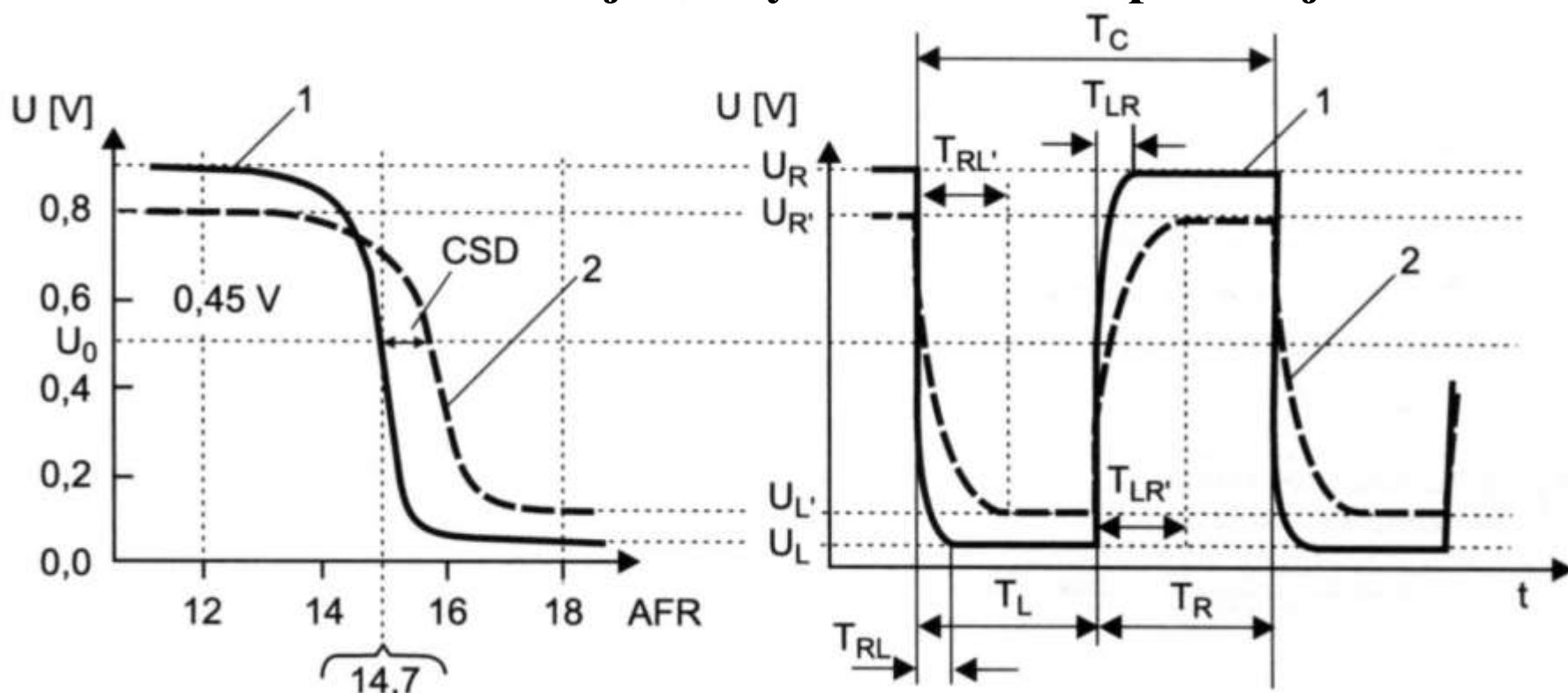
Napięciowa dwustanowa sonda lambda (cyrkonowa)



U_0 – próg referencyjny sondy



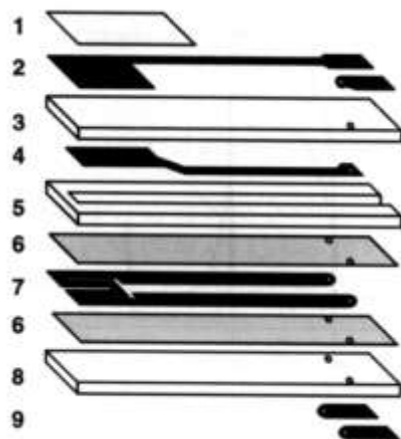
Napięciowa dwustanowa sonda lambda (cyrkonowa) – zmiana czasów reakcji sondy w okresie eksploatacji silnika



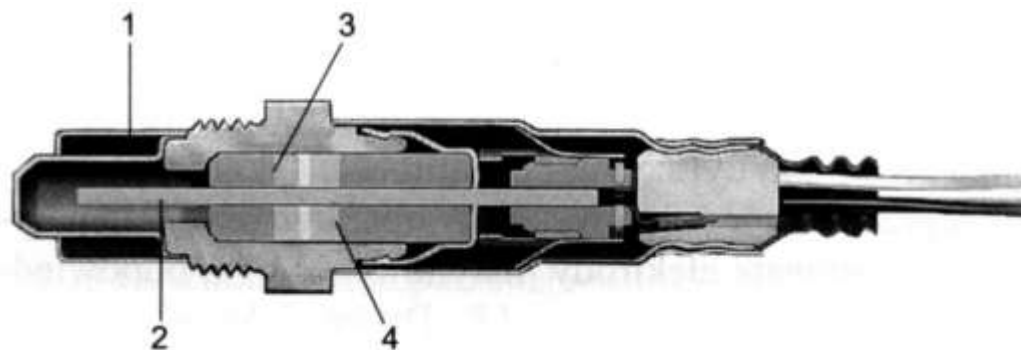
1 – sonda nowa, 2 – sonda zużyta

CSD – przesunięcie wartości stosunku masy powietrza do masy paliwa AFR dla napięcia odniesienia (referencyjnego), T_{RL} – czas zmniejszania napięcia, T_{LR} – czas narastania napięcia, T_C – czas trwania cyklu, U_R i U_L – napięcie maksymalne i minimalne odpowiadające mieszance bogatej i ubogiej, U_0 – napięcie odniesienia

Planarna (płaska) sonda lambda (cyrkonowa)

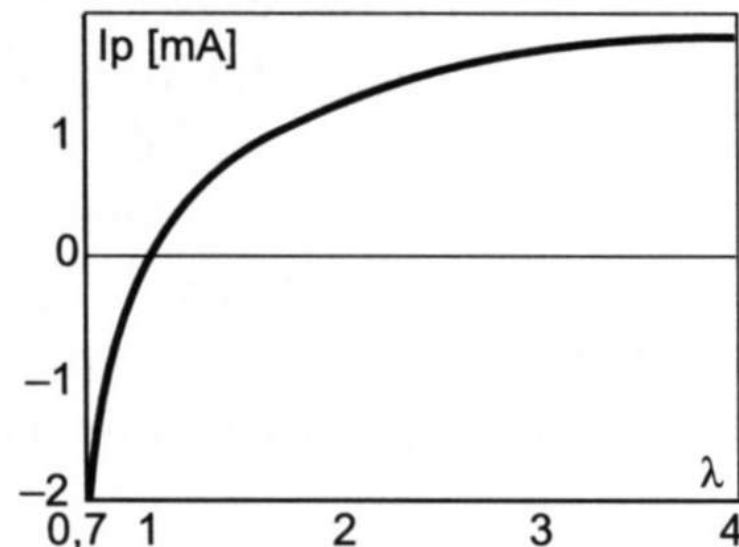
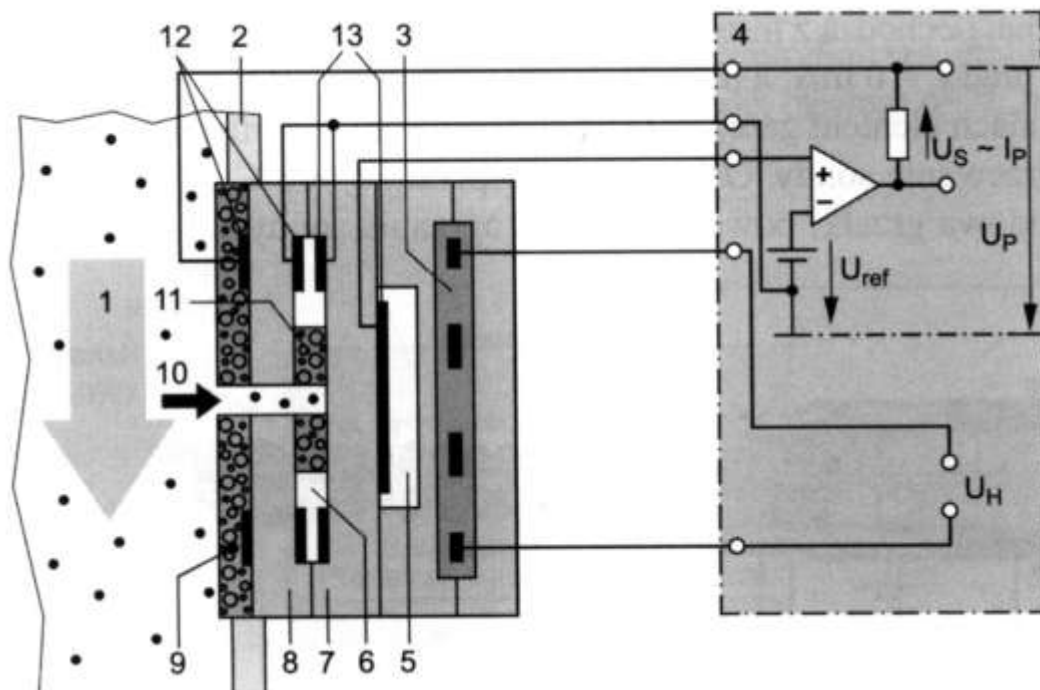


1 – porowata warstwa ochronna, 2 – elektroda zewnętrzna, 3 – ogniwo pomiarowe ZrO_2 , 4 – elektroda wewnętrzna, 5 – wkład dystansowy z kanałem powietrza atmosferycznego, 6 – warstwa izolacyjna, 7 – płaski element grzejny, 8 – folia elementu grzejnego, 9 – złącza elektryczne



1 – osłona zabezpieczająca z otworami przepuszczającymi spaliny, 2 – płaski element pomiarowy, 3 – ceramiczna tulejka mocująca, 4 – uszczelnienie

Szerokopasmowa sonda lambda



1 – spaliny, 2 – układ wylotowy, 3 – podgrzewacz sondy z układem stabilizacji temperatury, 4 – układ elektroniczny zasilania i pomiaru sygnału, 5 – komora powietrzna, 6 – warstwa (przestrzeń) dyfuzyjna, 7 – ogniwo Nernsta, 8 – pompa jonów tlenu, 9 – porowata warstwa ochronna, 10 – kanał dolotowy spalin do przegrody dyfuzyjnej, 11 – porowata przegroda dyfuzyjna, 12 – elektrody pompy tlenowej, 13 – elektrody ogniwa Nernsta

Szerokopasmowa sonda lambda

$$I_{\max} = \frac{4FDS}{L} C(0)$$

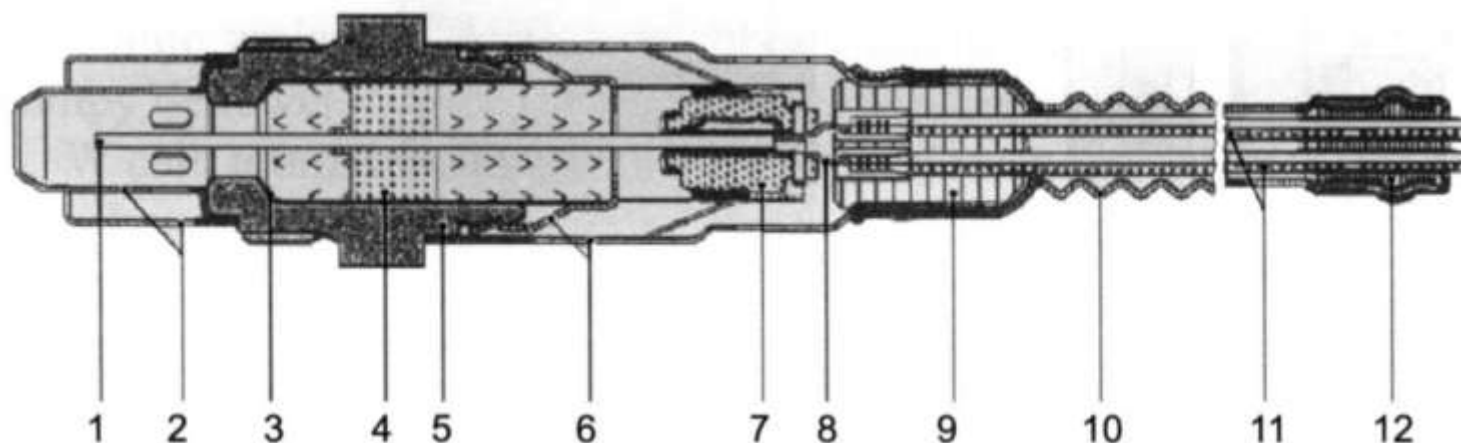
F – stała Faradaya,

D – współczynnik dyfuzji tlenu w danej temperaturze,

S – pole powierzchni bariery dyfuzyjnej,

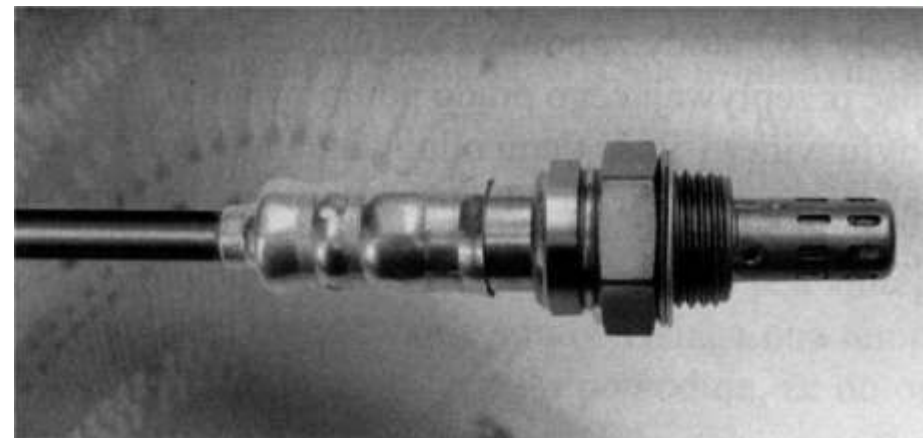
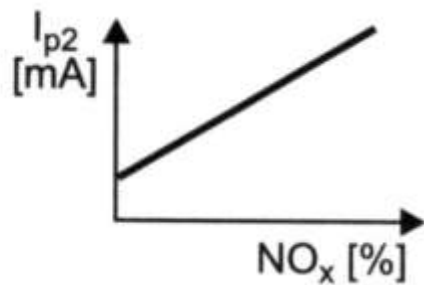
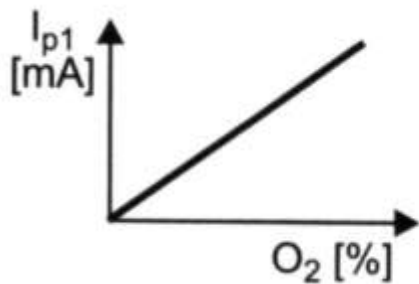
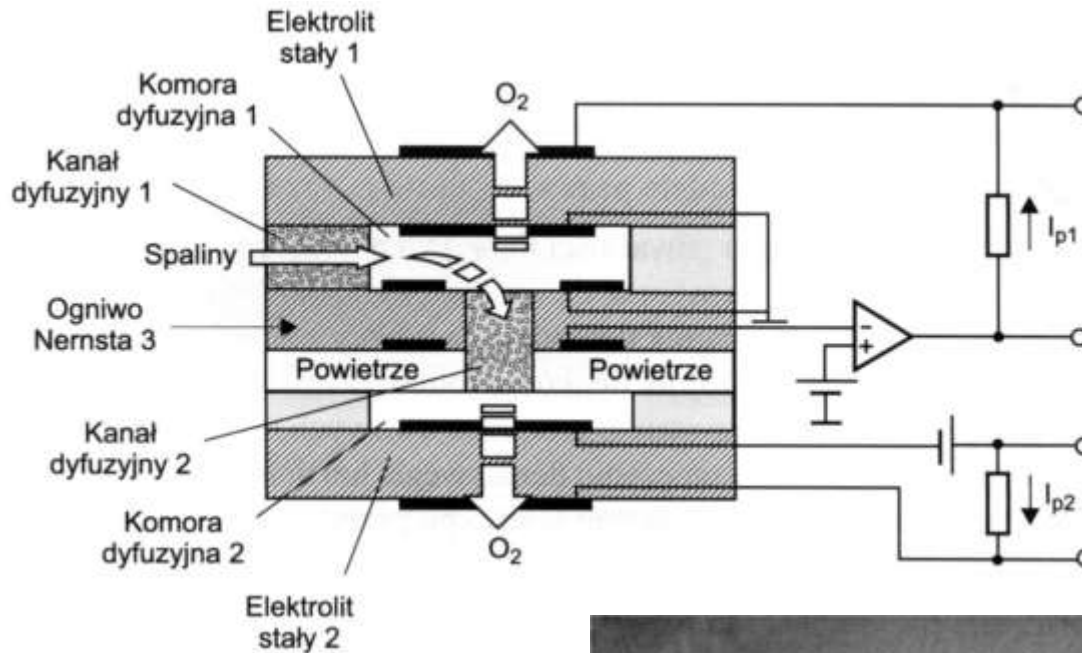
$C(0)$ – początkowa zawartość tlenu w gazie otaczającym,

L – grubość bariery dyfuzyjnej.

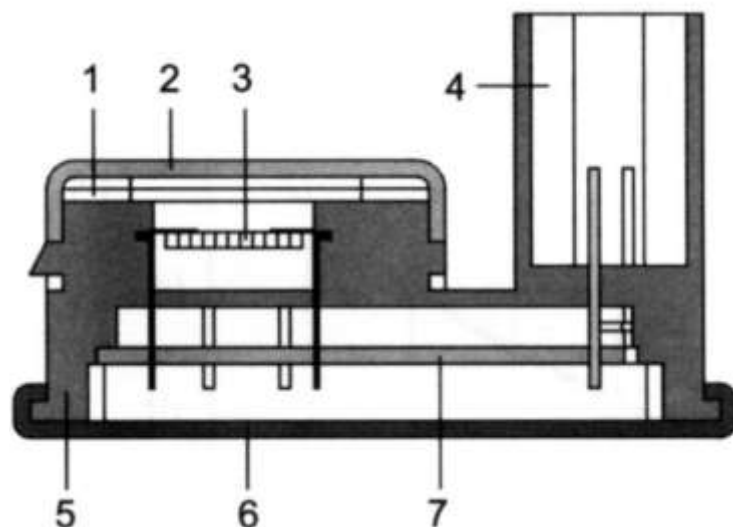


- 1 – element pomiarowy (kombinacja ogniwa Nernsta i pompy tlenu), 2 – podwójna osłona stalowa, 3 – pierścień uszczelniający, 4 – uszczelnienie wewnętrzne, 5 – obudowa sondy, 6 – tulejka ochronna, 7 – uszczelnienie, 8 – zaciski elektryczne, 9 i 10 – tulejka i osłona z PTFE, 11 – pięć przewodów łączących, 12 – uszczelnienie

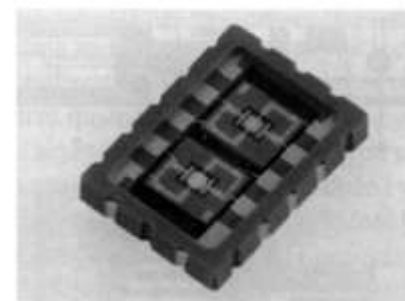
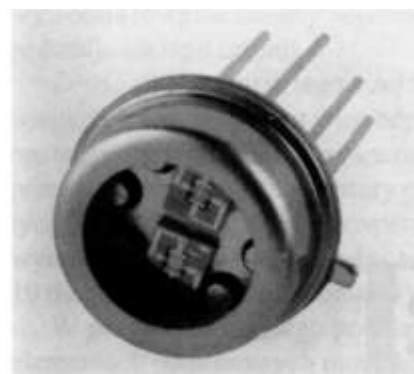
Szerokopasmowa sonda lambda z czujnikiem tlenków azotu



Czujnik jakości powietrza w układzie przewietrzania pojazdu



1 – membrana teflonowa, 2 – osłona mechaniczna przepuszczająca gaz,
3 – przetwornik pomiarowy NO_x/CO ,
4 – gniazdo wtykowe, 5 – obudowa czujnika,
6 – pokrywa z uszczelnieniem, 7 – płytki drukowana



Czujnik wilgotności

Wilgotność bezwzględna

$$Z = \frac{m_w}{m_{sg}} = \frac{M_w}{M_{SG}} \cdot \frac{p_w}{p - p_w} \cdot 100\%$$

m_w – masa wody,

m_{sg} – masa suchego gazu,

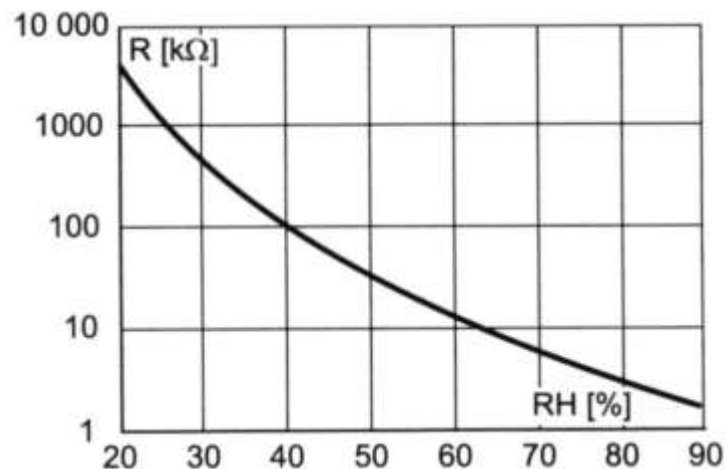
M_w – masa cząsteczkowa wody ($M_w = 18,015$),

M_{SG} – masa cząsteczkowa suchego gazu (dla powietrza $M_{SG} = 28,970$),

p – ciśnienie całkowite,

p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w gazie.

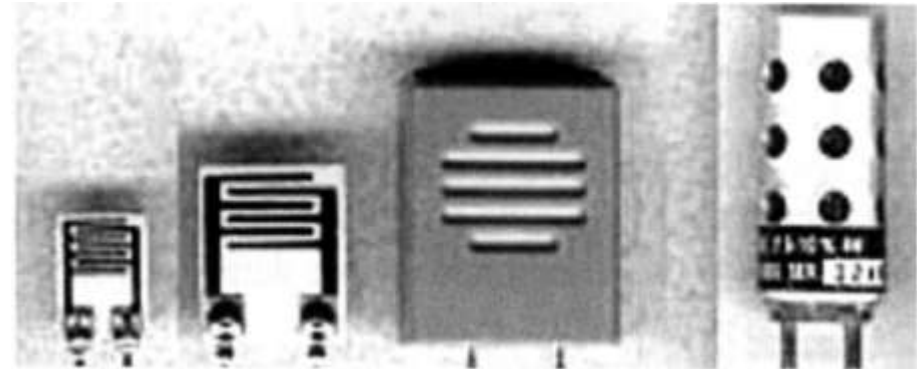
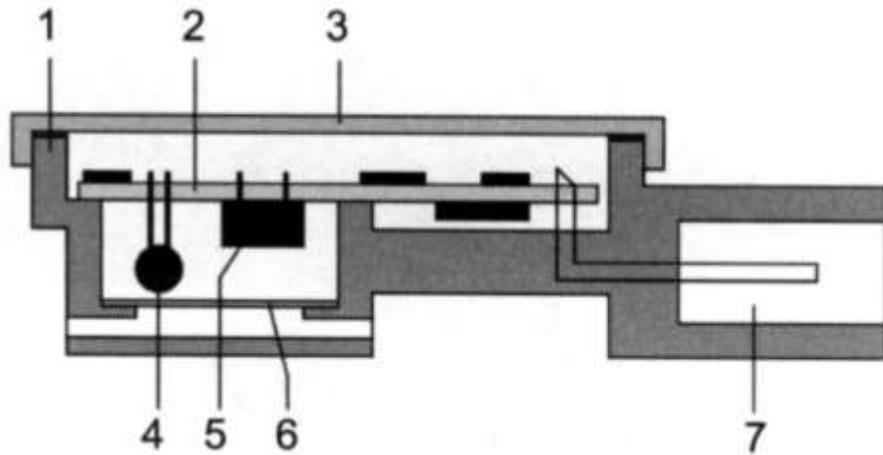
Wilgotność względna – RH (Relative Humidity)



$$\phi = \frac{p_w}{p_s} \cdot 100\%$$

p_s to ciśnienie pary wodnej w punkcie rosy.

Czujnik wilgotności



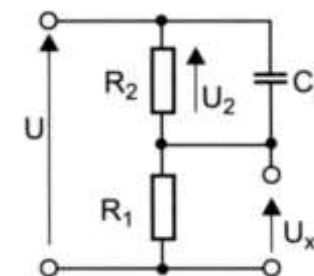
1 – obudowa, 2 – płytką pomiarowa, 3 – pokrywa z uszczelką, 4 – przetwornik temperatury, 5 – przetwornik pomiarowy wilgotności, 6 – membrana teflonowa, 7 – gniazdo wtykowe

Czujnik zawodnienia płynu hamulcowego (pomiar spadku napięcia)

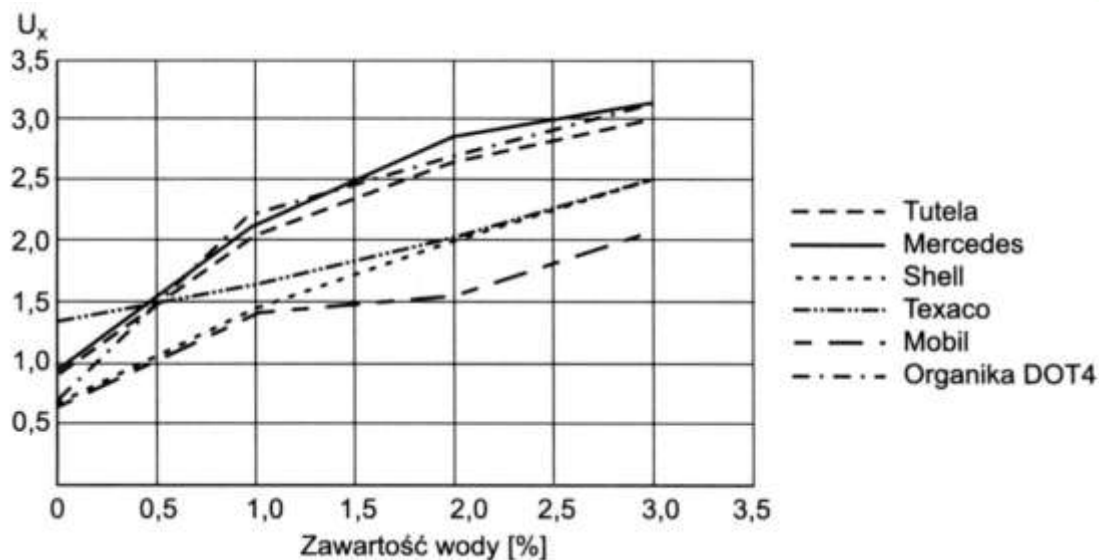
$$U_x = U - U_2$$

$$U_x = U \frac{R_1}{R_1 + \sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_2}\right)^2}} \quad \text{– Napięcie przemienne}$$

$$U_x = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{– Prąd stały}$$

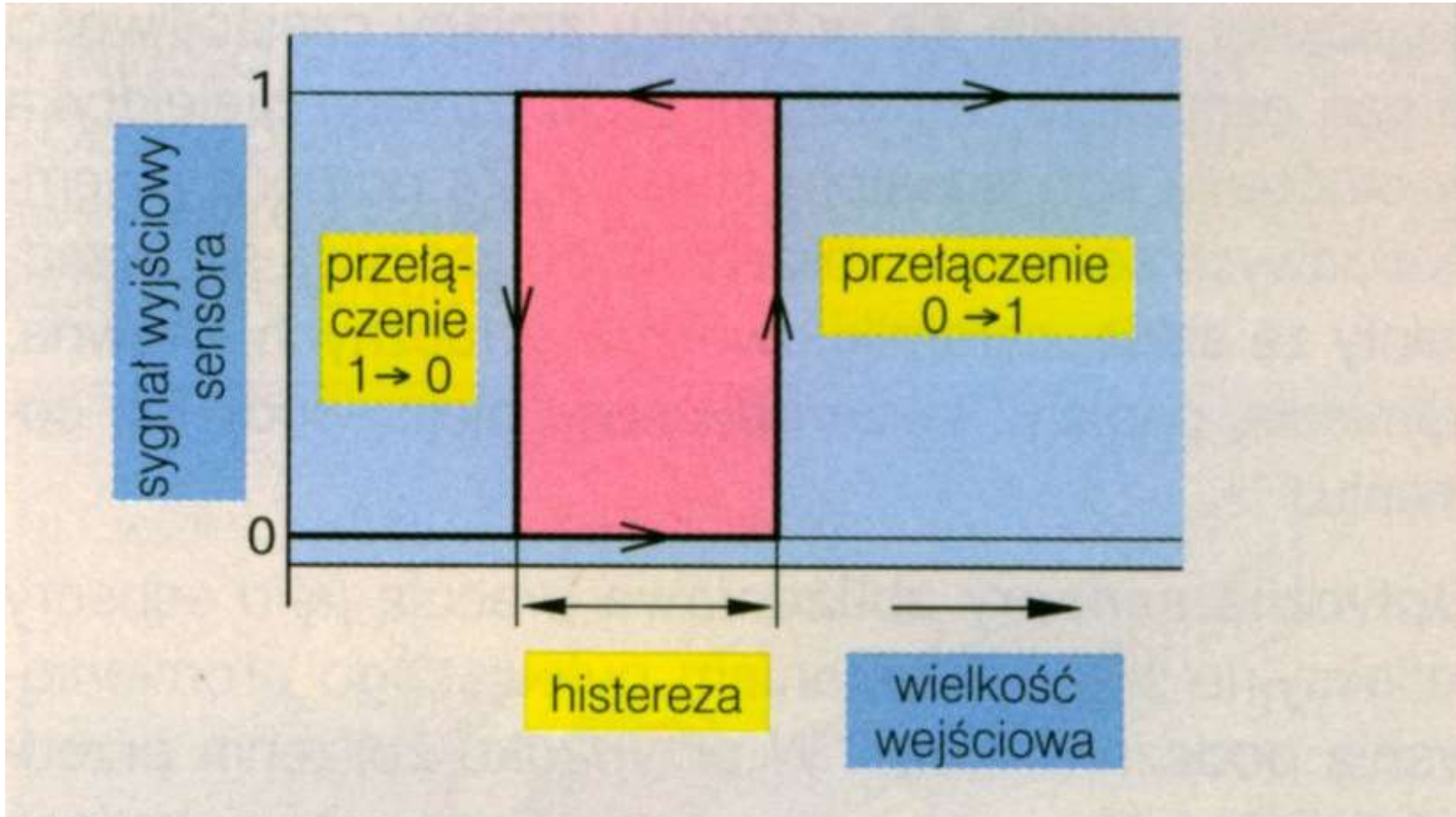


U – napięcie zasilania, R_2 i C_2 – elementy modelujące badany płyn, U_2 – spadek napięcia na rezystancji badanego płynu, R_1 – rezystor pomiarowy, U_x – mierzone napięcie

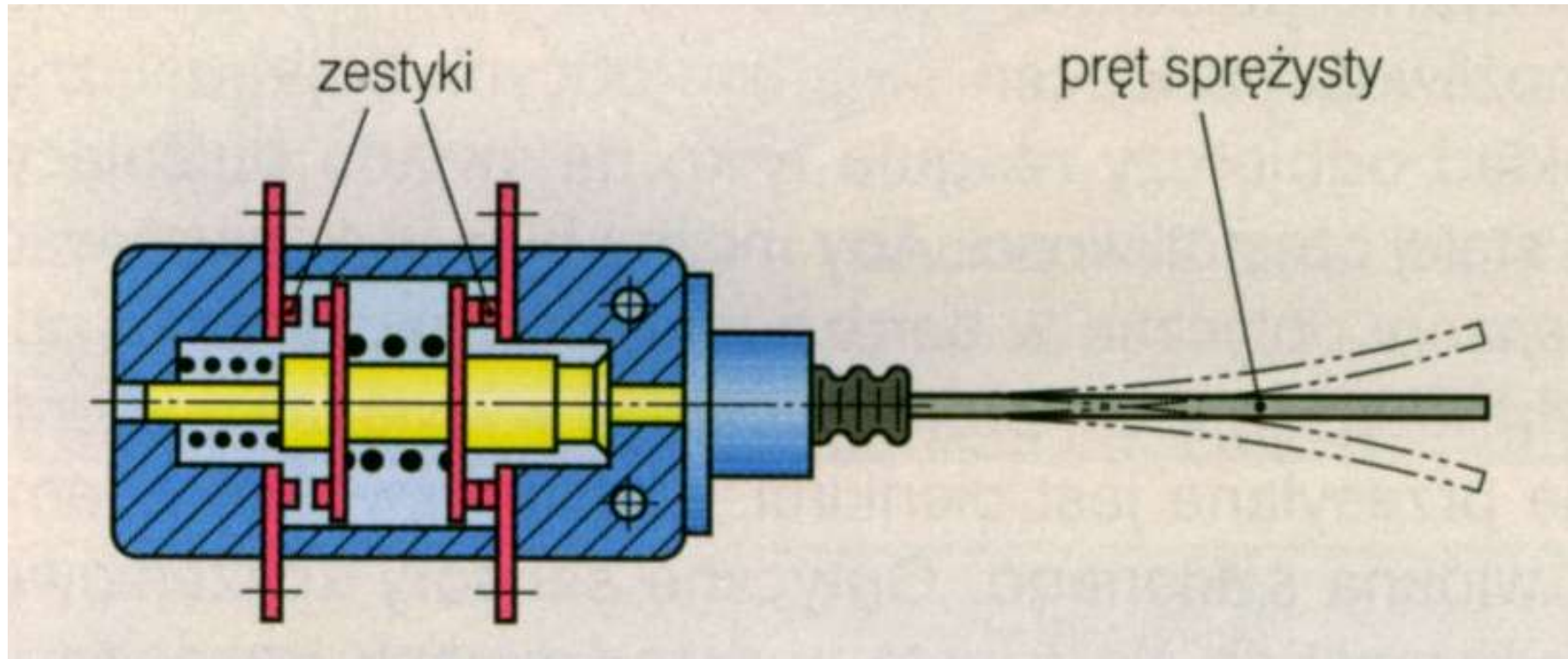


Sensory binarne

Histereza przełączania

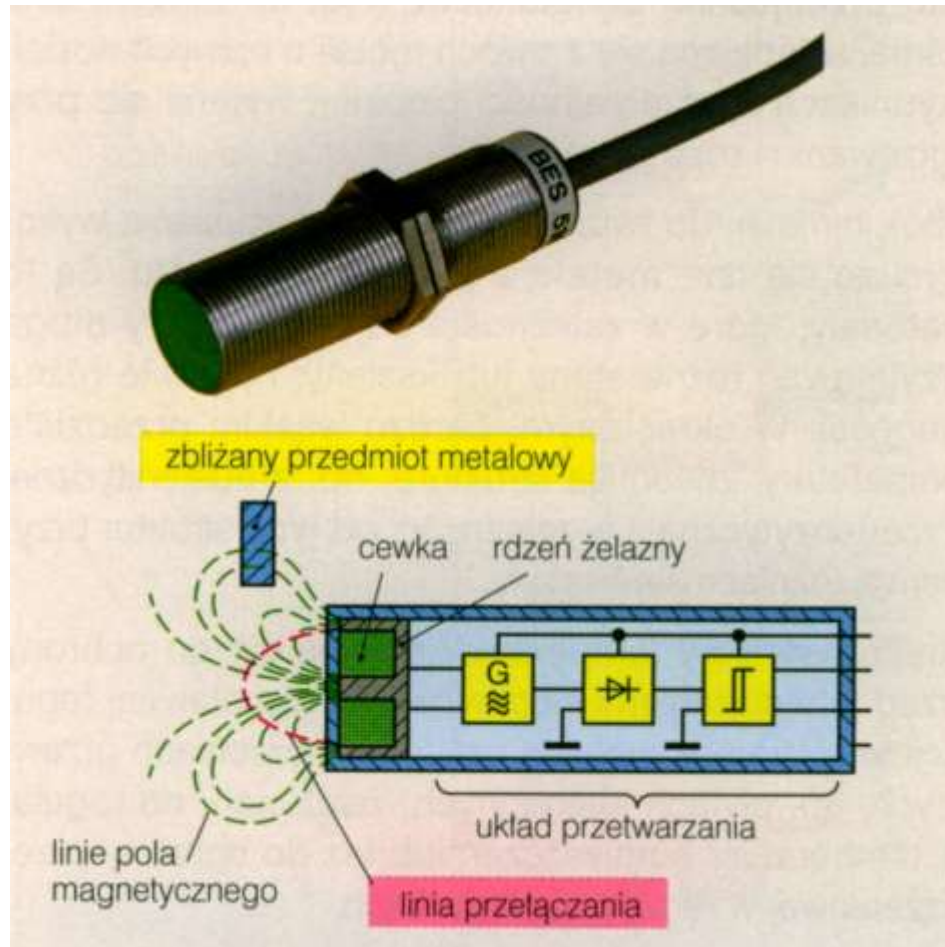


Sensor taktylny

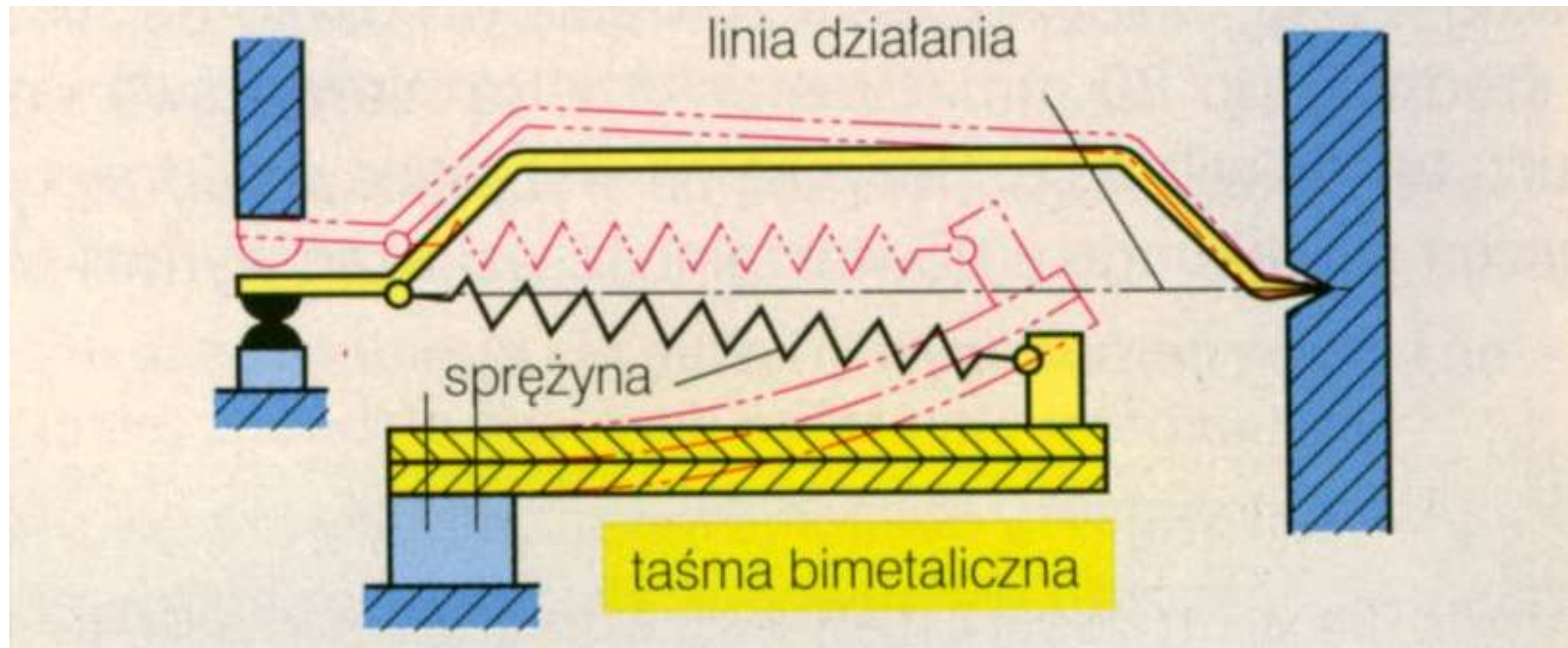


Bezdotykowe sensory zbliżeniowe

Indukcyjny sensor zbliżeniowy lub sensor pojemnościowy

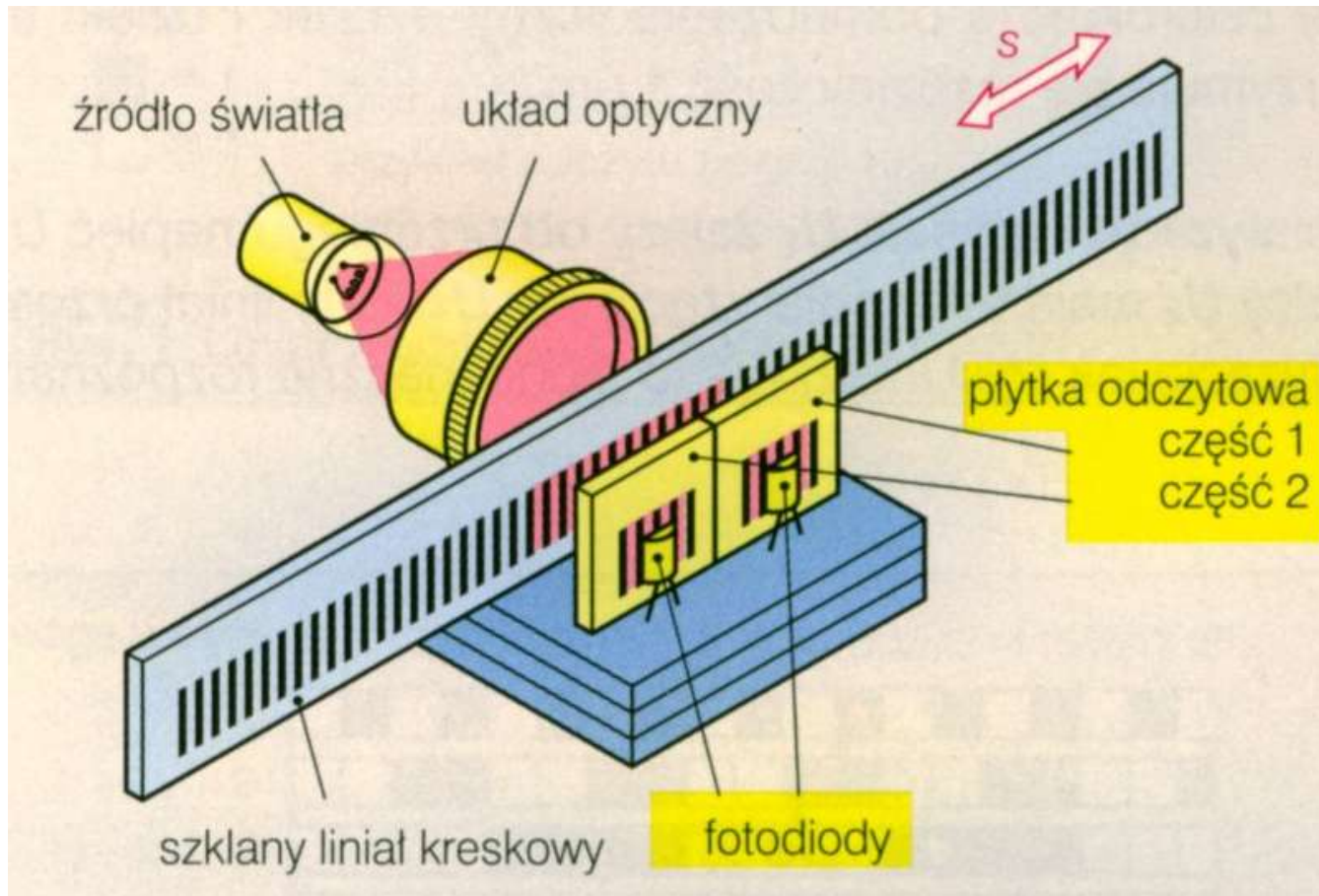


Binarny sensor temperatury

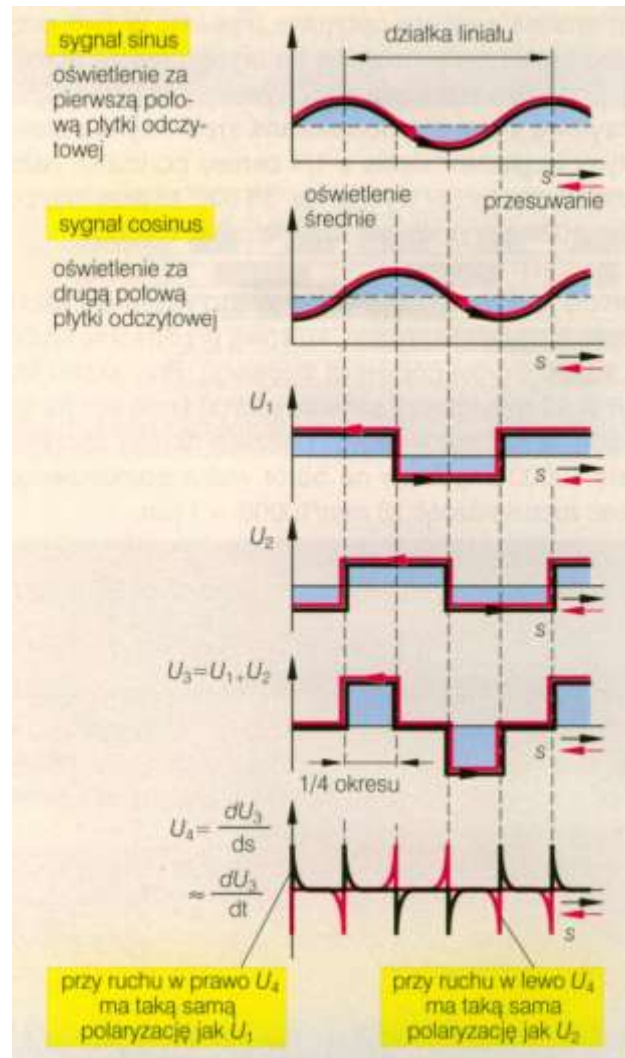


Sensory cyfrowe

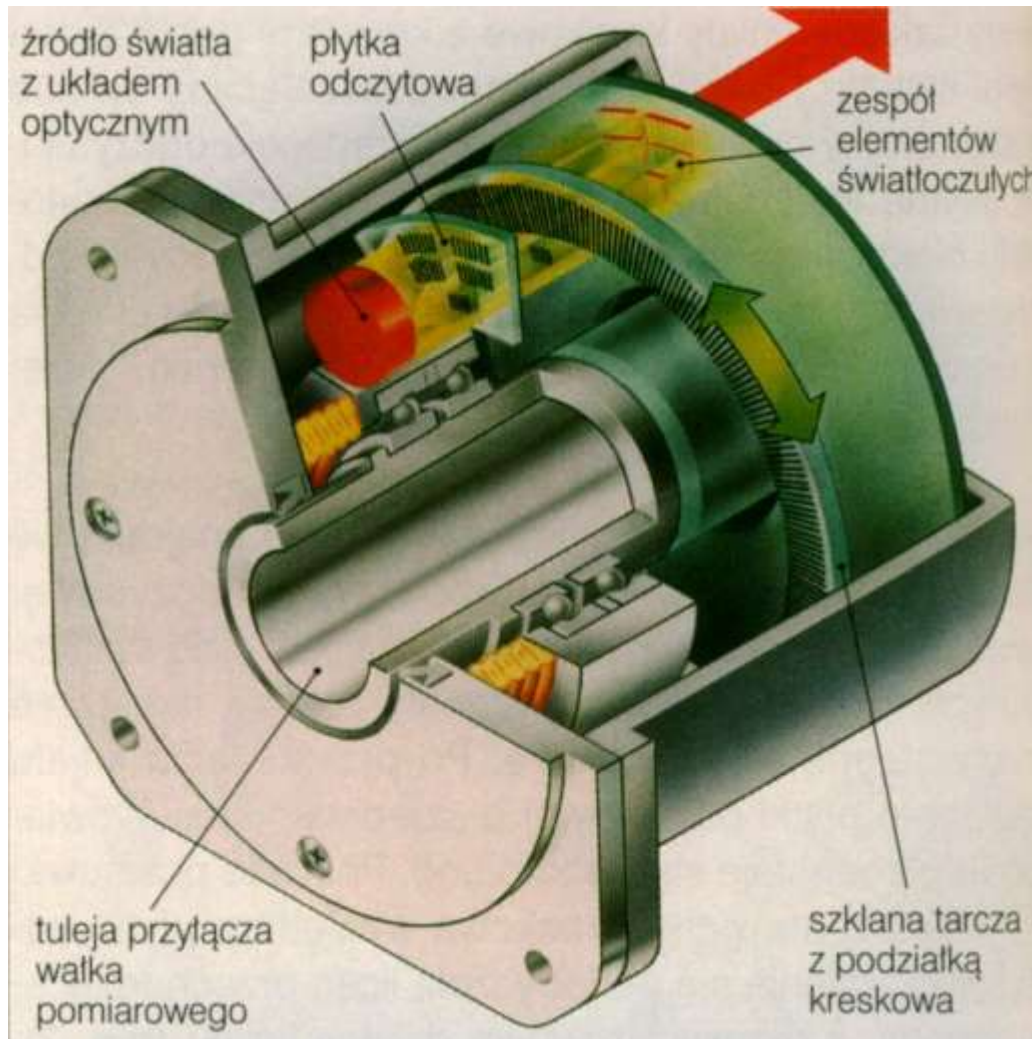
Inkrementalny sensor położenia liniowego



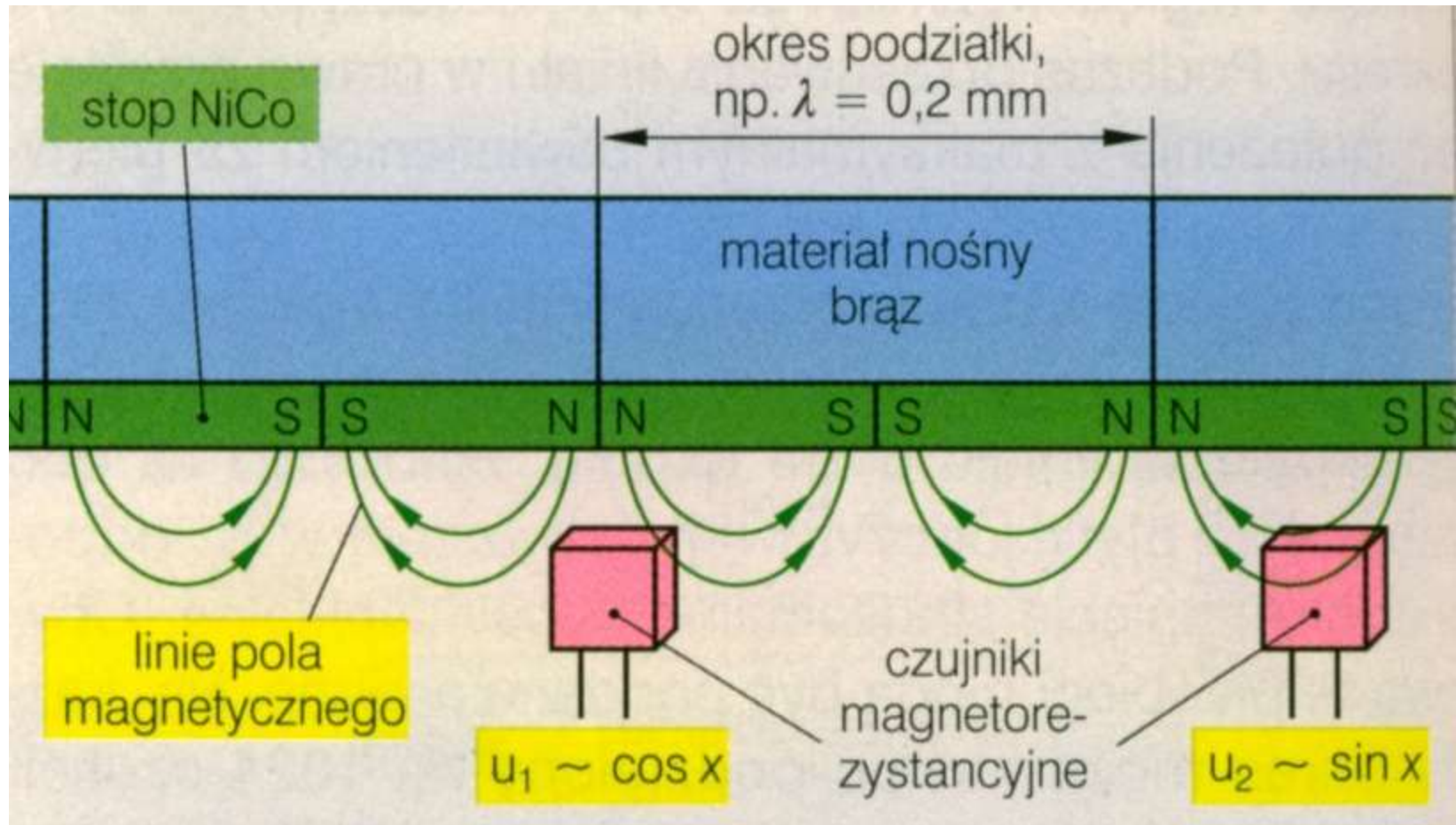
Przebiegi sygnałów w inkrementalnych sensorach położenia



Inkrementalny, optyczny sensor położenia kąowego



Magnetyczny sensor inkrementalny



Liniały i tarcze kodowe sensorów absolutnych

Liniał z podziałką w kodzie binarnym

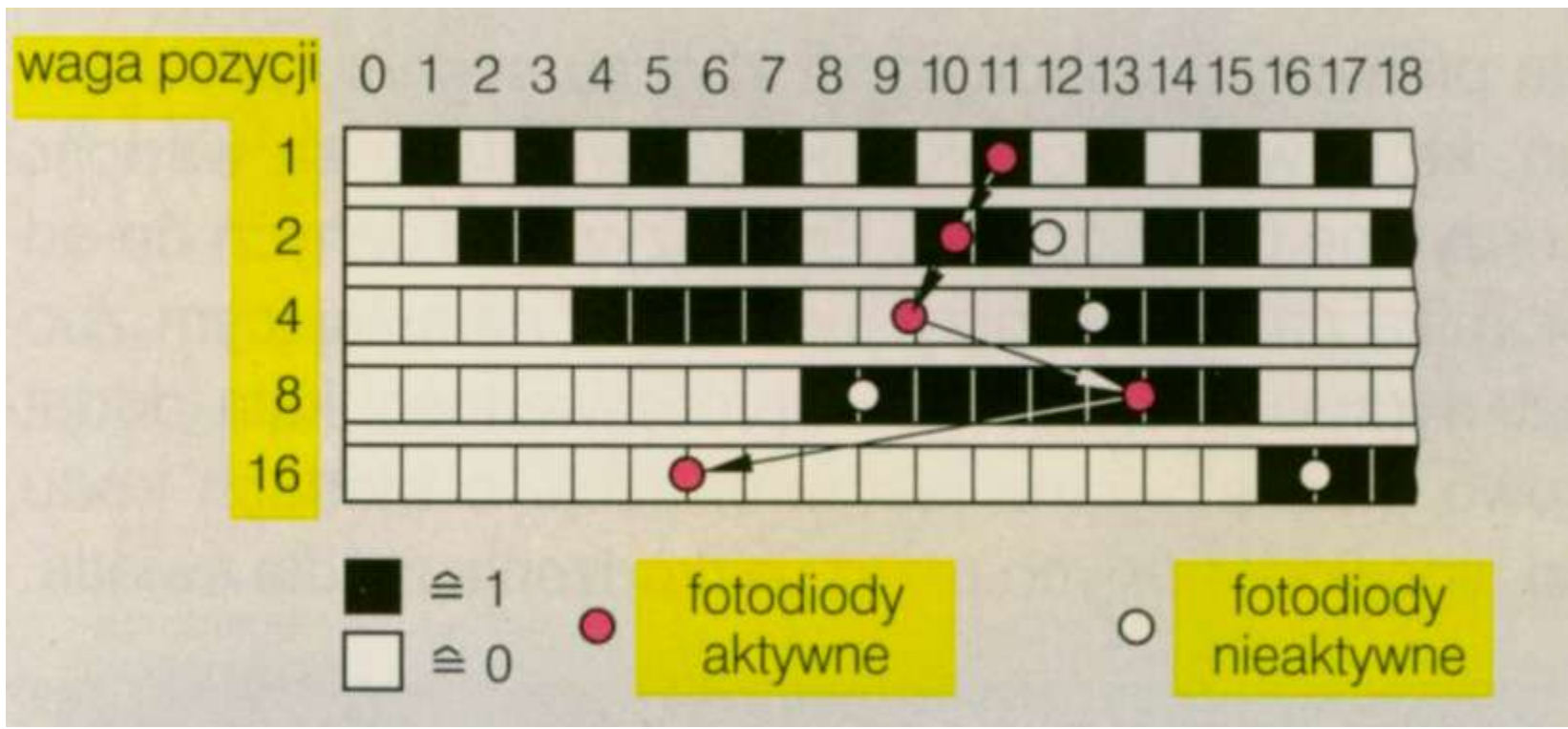
waga pozycji	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	nr ścieżki
$2^0 = 1$	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	○	█	█	█	█	█	0
$2^1 = 2$	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	●	█	█	█	█	█	1
$2^2 = 4$	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	○	█	█	█	█	█	2
$2^3 = 8$	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	●	█	█	█	█	█	3

liczba binarna	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

przykład odczytu pozycji 10:
 $10 \hat{=} 1010 \hat{=} 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 2 + 0$

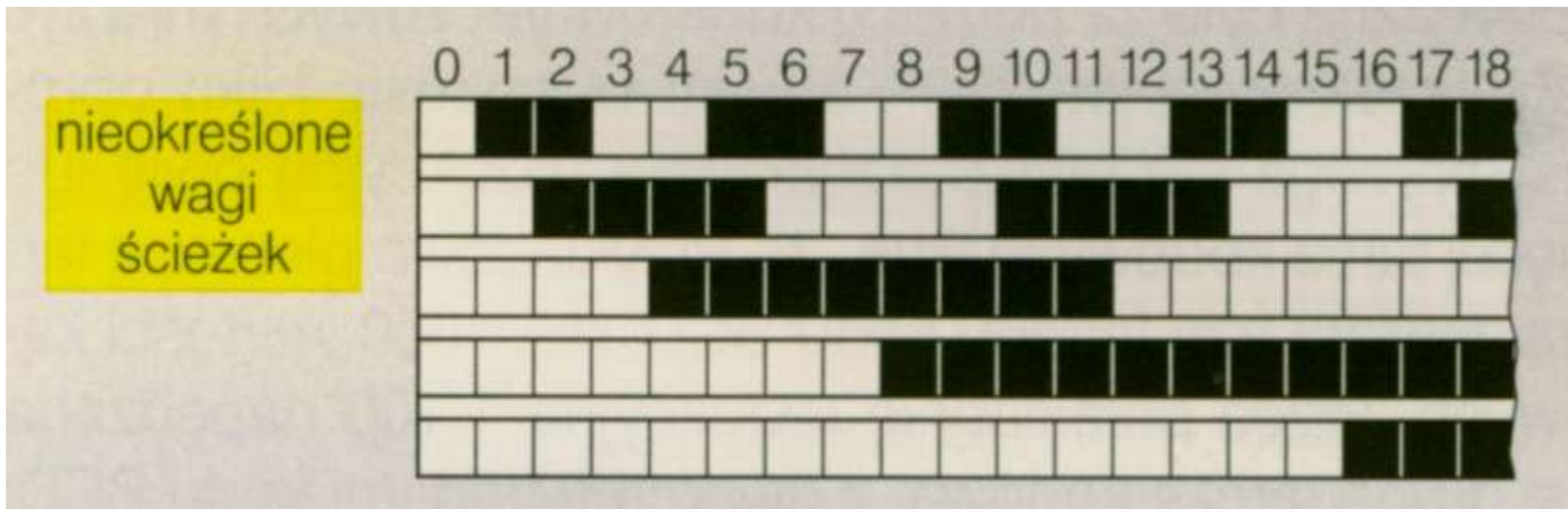
Liniały i tarcze kodowe sensorów absolutnych

Układ odczytu metodą V



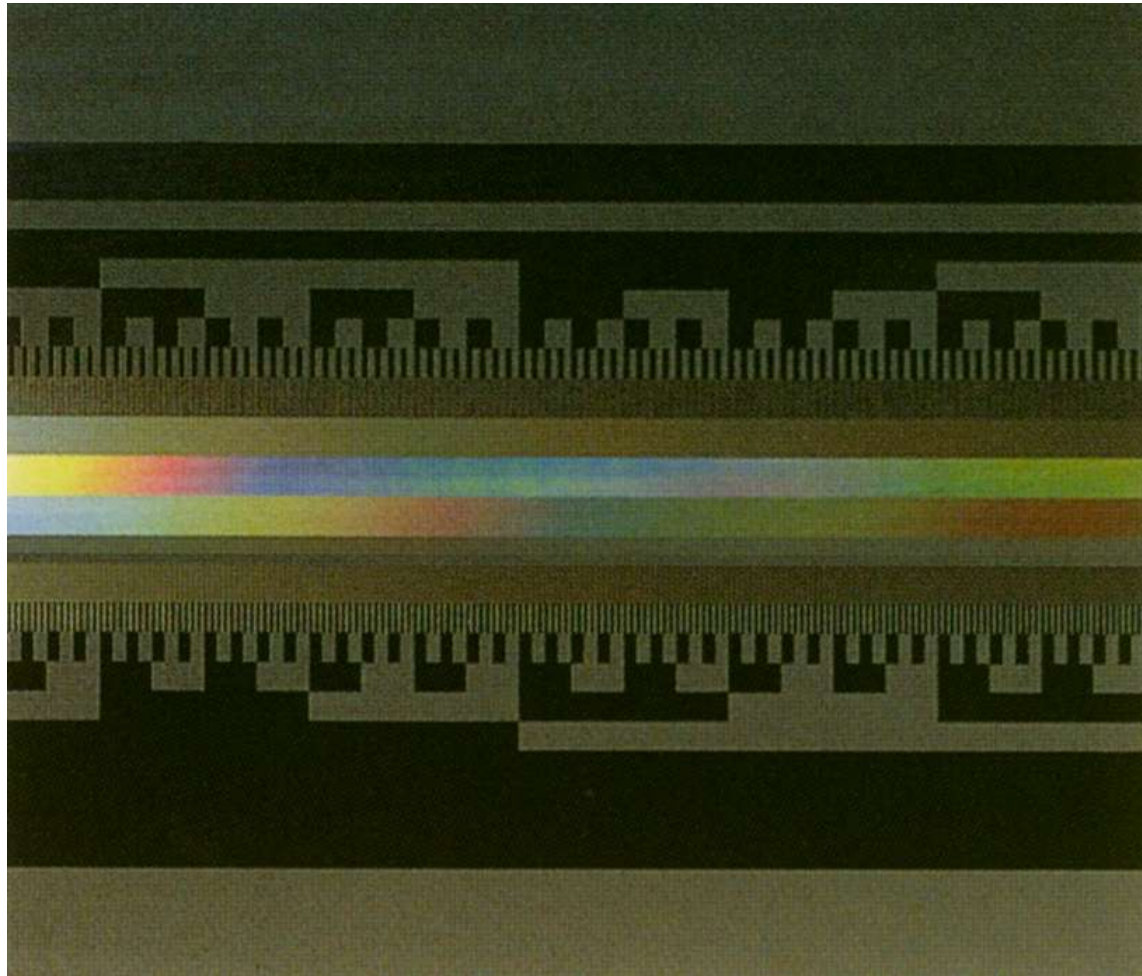
Liniały i tarcze kodowe sensorów absolutnych

Liniał z kodem Graya



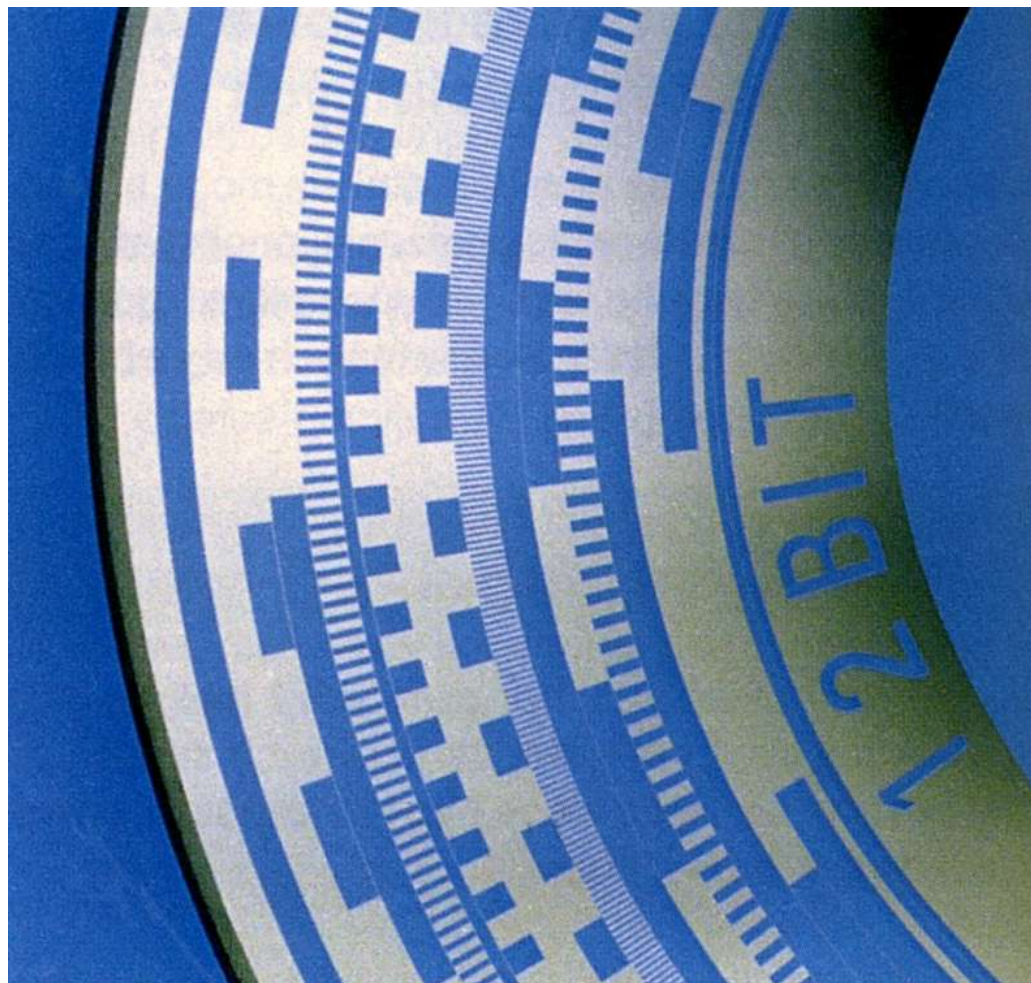
Liniały i tarcze kodowe sensorów absolutnych

Liniał kodowy



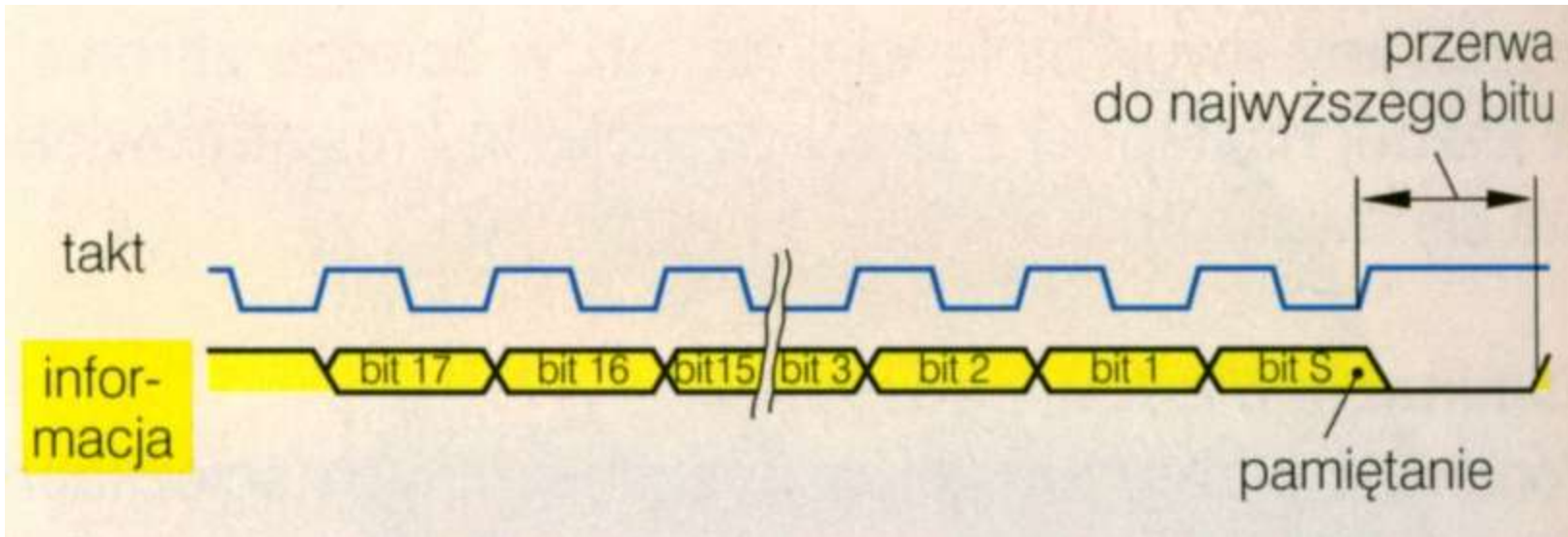
Sensory położenia kąтового z obrotowymi tarczami kodowymi

Tarcza kodowa

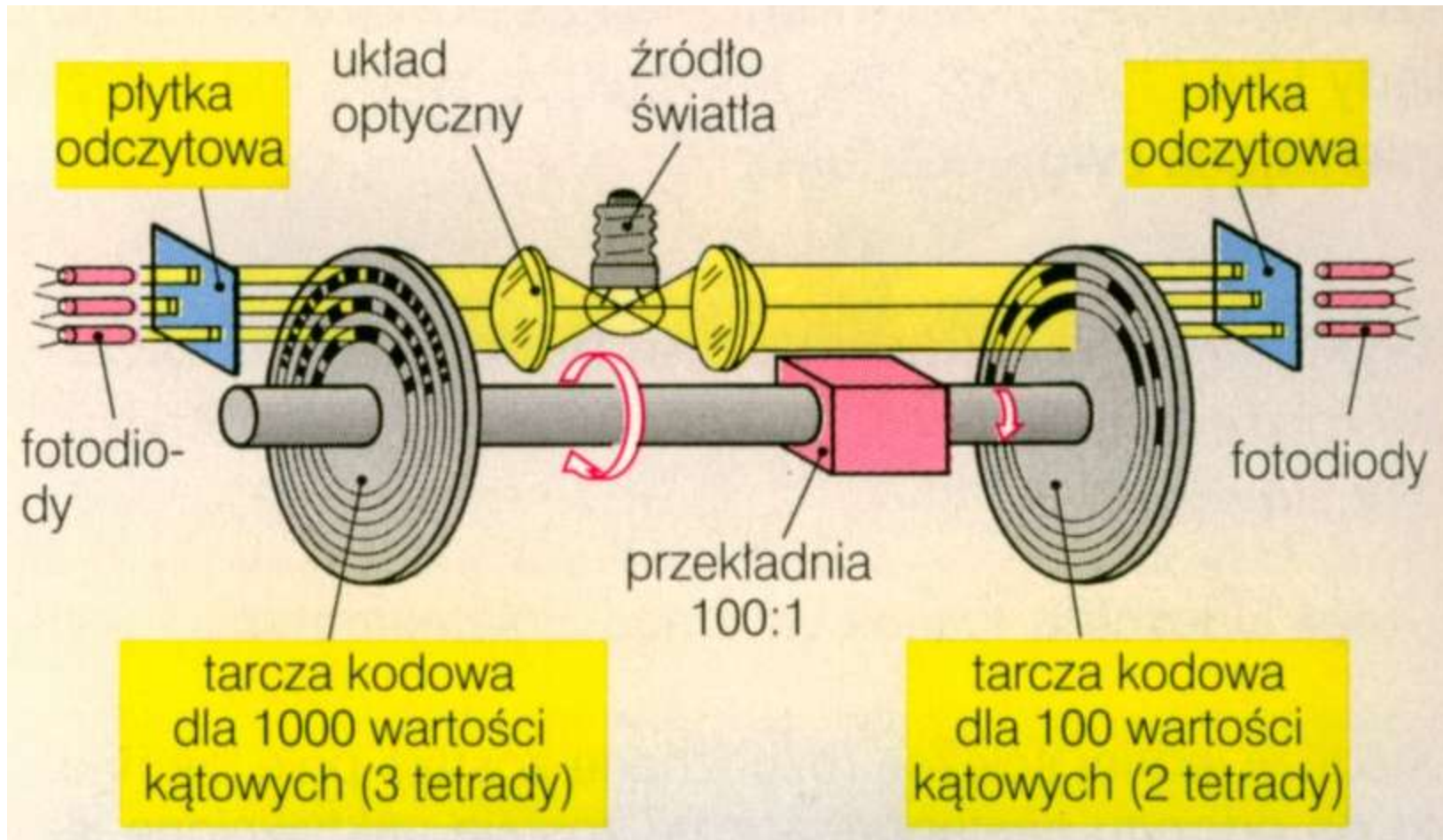


Sensory położenia kąтового z obrotowymi tarczami kodowymi

Sterowanie cyklem przesyłania informacji



Koder wielotarczowy do pomiaru kąta w zakresie 100 obrotów po 1000 wartości kątowych na jeden obrót



Pomiary grubości za pomocą sensorów promieniowania radioaktywnego

