



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Akwizycja danych

dr inż. Mirosław Nejman





www.zaoios.pw.edu.pl

ZAIOS

PRACOWNICY

DYDAKTYKA

NAUKA

STUDIA PODYPLOMOWE

DOKUMENTY

KONTAKT

Strona główna

Wyszukiwanie w witrynie:

Szukaj

MENU:

- ZAIOS
- PRACOWNICY
- ▼ DYDAKTYKA
 - AUMON
 - AUTMO
 - CNCPR
 - EKBEM
 - HPM
 - KMPWN
 - KMPWNz
 - KOMWY
 - KOMWYz
 - LVIEW
 - MOMAS
 - Metrologia
 - NASTP
 - OBSKA
 - OBSKaz
 - PAUTO (AiR)
 - PAUTO (MiBM ZIP)
 - POMET

POMET - Podstawy Mechatroniki

kierownik przedmiotu: mgr inż. Grzegorz Lis

Wykład:

1. Wstęp
2. Podzespoły pneumatyczne
3. Układy pneumatyczne
4. Napędy hydrauliczne

materiały do pobrania

Uwaga! Materiały do pobrania będą się zmieniały, będą dostępne czasowo.

© Copyright by Zakład Automatykacji i Obróbki Skrawaniem

POMET

- Moje konto
- Wyloguj

user: pomet
pass: Industry4.0

<http://www.zaoios.pw.edu.pl>

Wstęp

Koncepcja Przemysłu 4.0 opiera się w dużej mierze na **akwizycji danych**. Co to oznacza?

- W wielu przypadkach przejście z dokumentacji papierowej na elektroniczną.
- Przejście z arkuszy kalkulacyjnych na aplikacje sieciowe z wielodostępnością do danych (bazy danych, aplikacje chmurowe).
- Wprowadzanie danych produkcyjnych wprost z linii produkcyjnych, najlepiej w sposób automatyczny:
 - Z czujników dwustanowych (np. fotokomórki, kontaktrony, itp.),
 - Z czujników analogowych (np. akcelerometry, siłomierze, itp.),
 - Informacje cyfrowe z układów sterowania:
 - Z portów cyfrowych (pojedyncze porty – sygnały True/False),
 - Poprzez protokoły komunikacyjne (PROFIBUS, MTConnect, i inne).

Literatura

1. *Miernictwo elektryczne wielkości nieelektrycznych*; M. Łapiński, W. Włodarski; Wydawnictwo Naukowo-Techniczne; Warszawa; 1968
2. *Sensory w obrabiarkach CNC*; W. Skoczyński; Wydawnictwo Naukowe PWN SA; Warszawa 2018
3. *Baza wiedzy firmy National Instruments* [http:// ni.com](http://ni.com)



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

1. Wstęp do pomiarów wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Pozyskiwanie danych

Dane w postaci analogowej – jak choćby pismo odręczne, pomiar czasu (zegarki), muzyka, informacje o otaczających nas zjawiskach fizycznych jak temperatura, ciśnienie, natężenie światła i wiele innych, zostały przeniesione do urządzeń elektronicznych.

Aby człowiek mógł skorzystać z tych danych, urządzenie elektroniczne, smartfon, lub komputer muszą te dane pozyskać. Albo z wbudowanych czujników, albo z baz danych poprzez Internet. Dane w bazach danych uzupełniane są automatycznie na podstawie sygnałów z czujników, albo z urządzeń lub wprowadzane są ręcznie.

Zadaniem wykładu jest wprowadzenie do automatycznego pozyskiwania informacji cyfrowych lub o zjawiskach fizycznych, a więc z wykorzystaniem przetworników tych zjawisk na sygnały kompatybilne z urządzeniami cyfrowymi.

Pozyskiwanie danych cyfrowych

Najprostsze pozyskiwanie informacji przychodzi poprzez sygnały dwustanowe. W dziedzinie pomiarów oznacza to z reguły poziom niski lub wysoki sygnału elektrycznego, napięcie 0 lub 5V. Urządzenia elektroniczne zamieniają tę informację przez odpowiednie wejście cyfrowe na cyfrową reprezentację informacji – 0 lub 1 (Low-High, lub True-False w zależności od konwencji nazewnictwa).

Pozyskiwanie danych analogowych

Otoczające człowieka zjawiska fizyczne z reguły mają charakter ciągły – np. temperatura, ciśnienie i inne. Dane w systemach komputerowych istnieją wyłącznie w formie cyfrowej. Rejestrowanie zjawisk fizycznych z wykorzystaniem komputera wymaga zatem co najmniej dwóch urządzeń:

- Przetwornika analogowo-cyfrowego
- Czujnika (przetwornika)

Zasada działania tych elementów zostanie omówiona później.

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Wiele znanych zjawisk fizycznych ma charakter nieelektryczny, np. siła, ciśnienie, temperatura, przemieszczenie, itd.

Jak zostało zasugerowane wcześniej, wprowadzenie informacji (sygnałów) do komputera oparte jest o pomiary wielkości elektrycznych. Urządzeniem zamieniającym amplitudę sygnału elektrycznego na wartość cyfrową jest przetwornik analogowo-cyfrowy.

Do akwizycji sygnałów konieczne są zatem przetworniki zjawisk fizycznych na sygnał elektryczny (napięcie lub prąd), gdyż te dwa parametry elektryczności jesteśmy w stanie bardzo precyzyjnie i powtarzalnie mierzyć.

Stąd dziedzina tego typu pomiarów została nazwana **pomiarami wartości nieelektrycznych metodami elektrycznymi**.

Zastosowanie pomiarów elektrycznych metodami nieelektrycznymi

Pomiary elektryczne stosowane są prawie w każdej dziedzinie nauki i techniki, takich jak fizyka, chemia, metrologia, biologia, medycyna, komunikacja, elektronika, energetyka, itd.

```
139         title="Pomiar"
140         target="_blank"
141         rel="noopener"
142         href={trackUrl(url)}
143     >
144         Instagram
145     </a>
146 </li>
147 </ul>
148 </div>
149 );
150 }
151
152 renderWhatsNewLinks() {
153     return (
154         <div className={styles.whatsNewLinks}>
155             <h4 className={styles.whatsNewLinksTitle}>
156                 Nowe
157             </h4>
158             {this.renderWhatsNewLink(1)}
159             {this.renderWhatsNewLink(2)}
160             {this.renderWhatsNewLink(3)}
161             {this.renderWhatsNewLink(4)}
162             {this.renderWhatsNewLink(5)}
163             {this.renderWhatsNewLink(6)}
164             {this.renderWhatsNewLink(7)}
165         </div>
166     );
167 }
168
169 renderWhatsNewItem(title, url) {
170     return (
171         <li className={styles.whatsNewItem}>
172             <a
173                 href={trackUrl(url)}
174                 target="_blank"
175                 rel="noopener noreferrer"
176             >
177                 {title}
178             </a>
179         </li>
180     );
181 }
182
183 renderFooterSub() {
184     return (
185         <div className={styles.footerSub}>
186             <Link to="/" title="Home - Unsplash">
187                 <Icon
188                     type="logo"
189                     className={styles.footerSubLogo}
190                 />
191             </Link>
192             <span className={styles.footerSlogan}>
193                 Unsplash
194             </span>
195         </div>
196     );
197 }
198
199 render() {
200     return (
201         <footer className={styles.footerGlobal}>
202             <div className="container">
203                 {this.renderFooterMain()}
204                 {this.renderFooterSub()}
205             </div>
206         </footer>
207     );
208 }
209
```



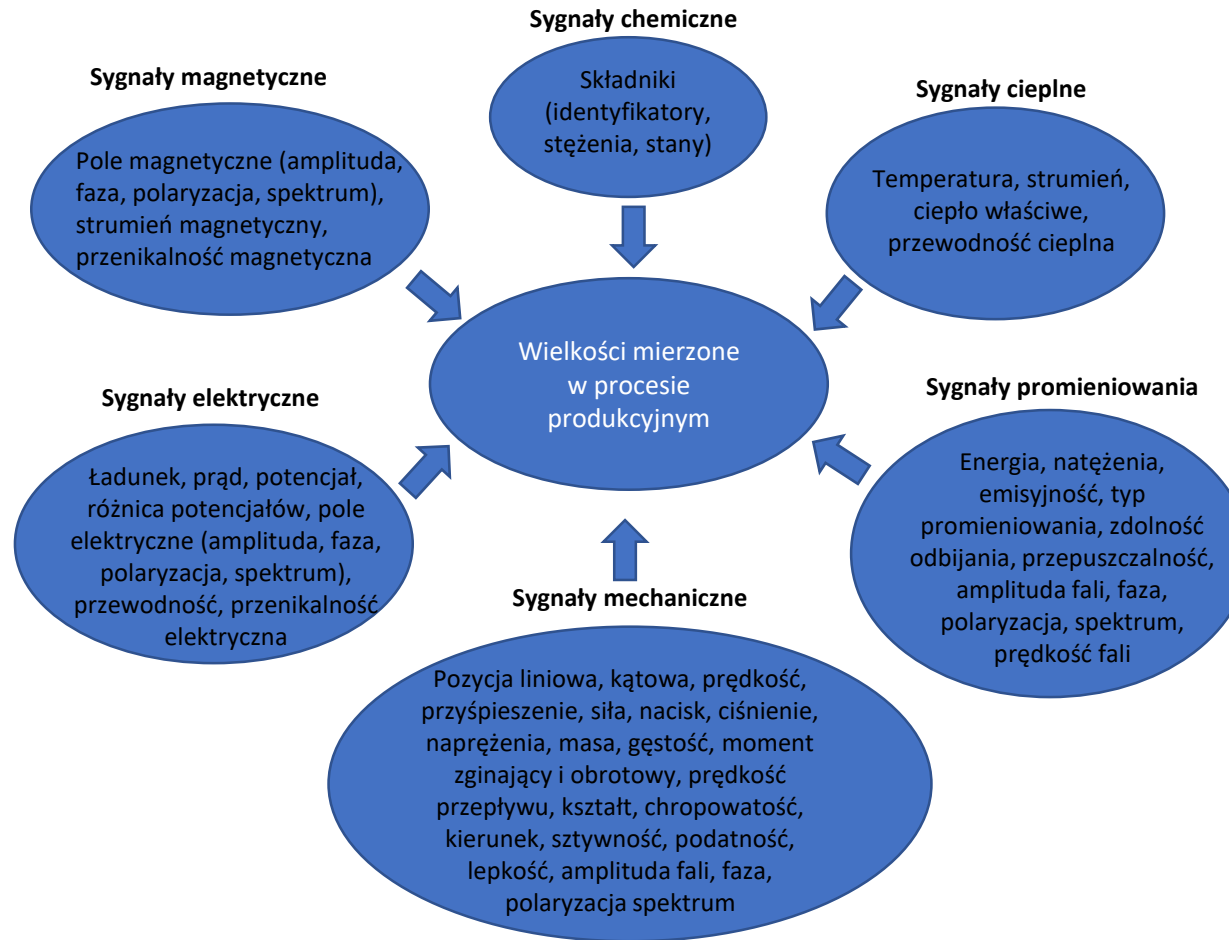
Wielkości nieelektryczne, które można mierzyć

- Czas i częstotliwość – rozumiane zarówno jako proste zliczanie odstępów czasu po badanie okresowości zjawisk fizycznych.
- Wymiary geometryczne – długość, odległość, grubość, wysokość, poziom, chropowatość, falistość, objętość, kąty, czy defektoskopia.
- Siły i momenty – statyczne i dynamiczne, liniowe i obrotowe.
- Ciśnienie (statyczne, uderowe) – stan próżni, ciśnienie gazów i cieczy, ciśnienie akustyczne.
- Prędkość i przyspieszenie – liniowe i obrotowe.
- Moc, praca, energia, sprawność (mechaniczna, cieplna).
- Ciepło – ilość ciepła, przepływ ciepła, temperatura.
- Energia promienista – strumień, natężenie, jasność, jaskrawość promieniowania, ilość substancji w roztworze (kalorymetria), nefelometria, analiza spektralna (skład substancji).
- Własności fizyko-chemiczne materii – zawartość domieszek, izotopów, kwasowość, wilgotność, lepkość, itp.



Wielkości nielektryczne, które można mierzyć

Wielkości mierzone w procesie produkcyjnym i związane ze stosowanymi sensorami typy sygnałów



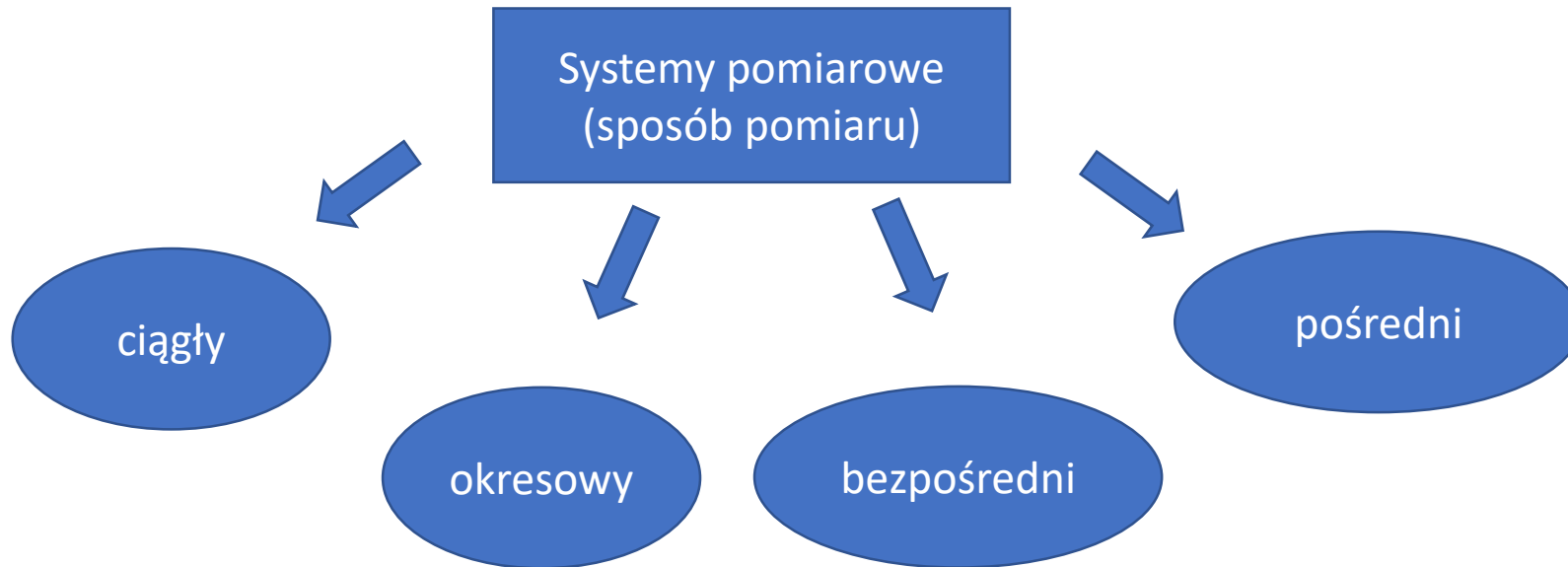


Monitorowanie systemów wytwórczych

Monitorowanie systemów wytwórczych powinno spełniać trzy podstawowe role:

1. Wykrywanie niepożądanych usterek, które mogą wystąpić podczas realizacji każdego z etapów procesu wytwarzania.
2. Informowanie systemu, czy monitorowane parametry mogą być wykorzystane do optymalizacji procesu (np. zmniejszenia kosztów wytwarzania lub czasu obróbki).
3. Dostarczenie informacji na temat relacji zachodzących pomiędzy wyjściami i wejściami procesu, co jest przydatne do utworzenia bazy danych, która jest niezbędna do określania wstępnych parametrów procesu

Do monitorowania procesu produkcyjnego są stosowane systemy pomiarowe.



Do monitorowania procesu produkcyjnego są stosowane systemy pomiarowe.

- Pomiar ciągły – czujniki mierzą zmienne parametry podczas ciągłego procesu obróbki
- Pomiar okresowy – systemy pomiarowe rejestrują zmierzoną zmienną tylko podczas przerw w procesie obróbki
- Pomiar bezpośredni – wykorzystują rzeczywistą wielkość mierzonej zmiennej, np. zużycie narzędzi
- Pomiar pośredni – realizują pomiar wielkości pomocniczych (jak drgania, siły), a następnie na ich podstawie szacowana jest faktycznie analizowana wielkość przez empiryczną korelację (zużycie narzędzia, stan łożysk, itp.)

1. Przykładowe pytania



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

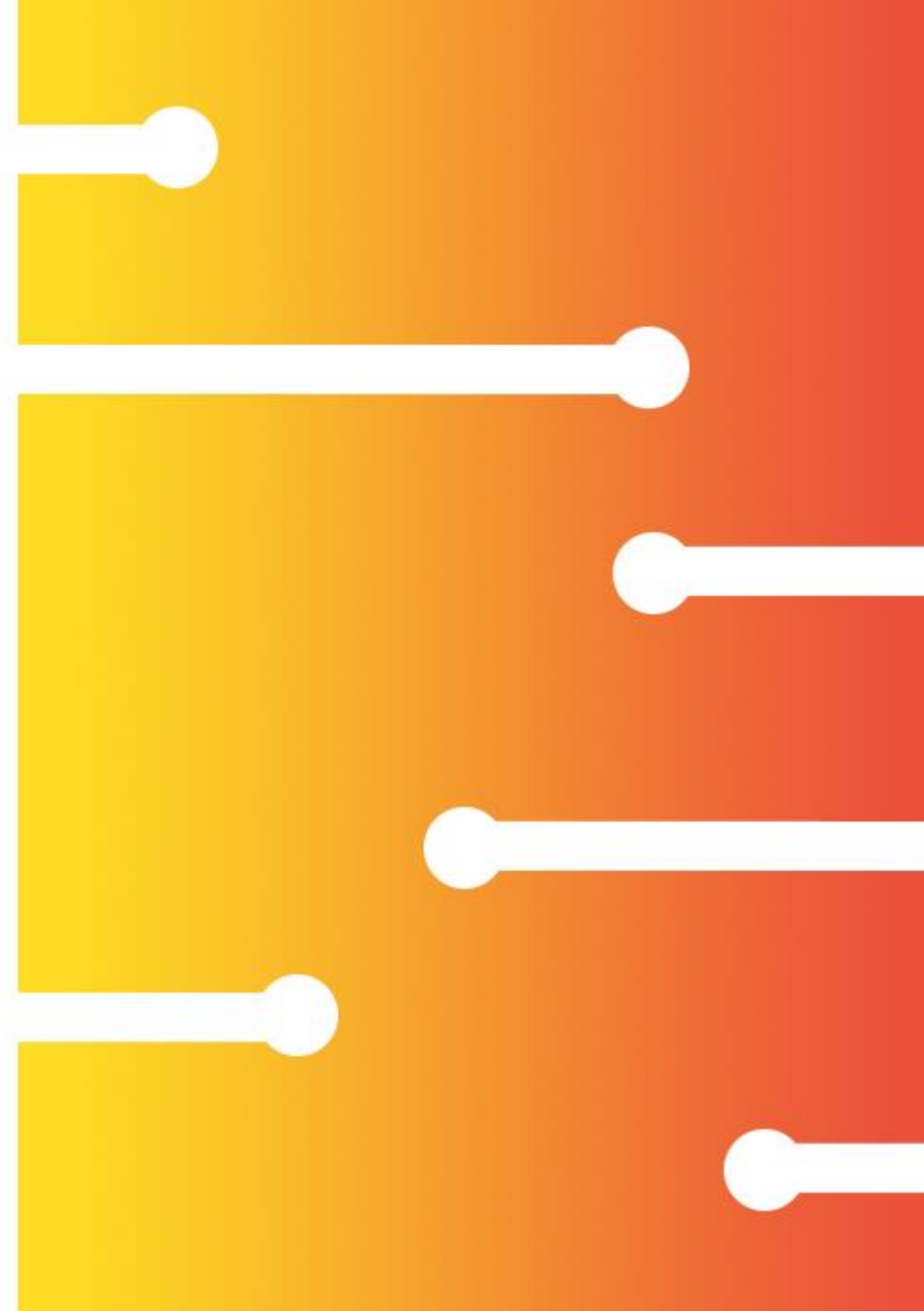


1. Co to jest akwizycja danych?
2. Jakie wielkości nieelektryczne można mierzyć?
3. Jaka jest rola systemów monitorowania?



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

2. Przetwarzanie analogowo- cyfrowe – pojęcia podstawowe

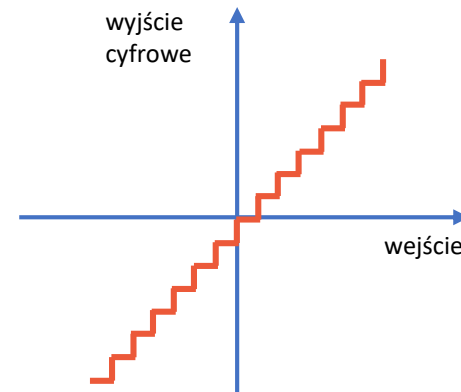
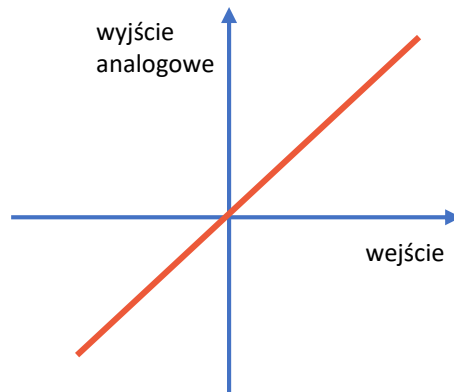




Pojęcia podstawowe akwizycji danych

Próbkowanie – (ang. sampling) polega na pobieraniu próbek sygnału w konkretnych chwilach czasowych, z ustaloną częstotliwością.

Kwantowanie – (ang. quantization) polega na przypisywaniu każdej próbce pewnej wartości ze zbioru skończonego N wartości, na który podzielono zakres przetwarzania (pomiarowy)

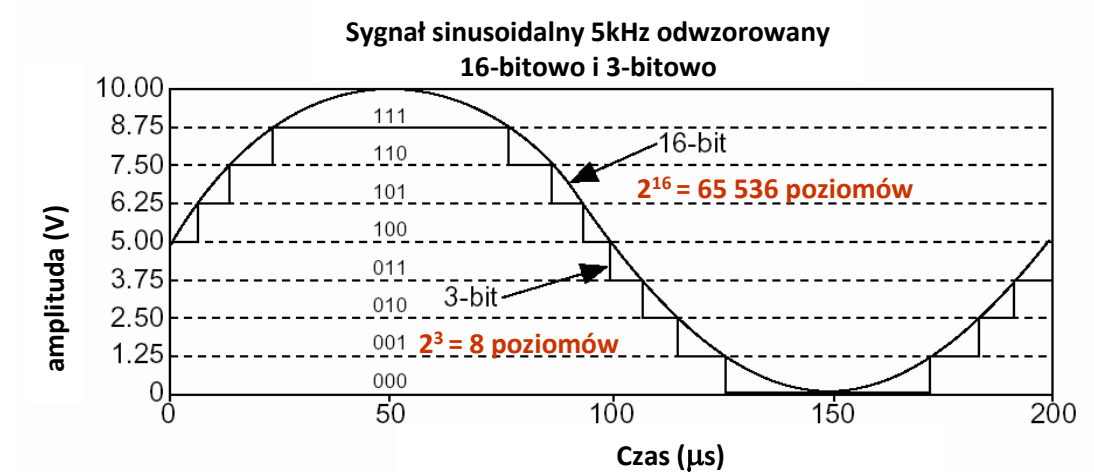
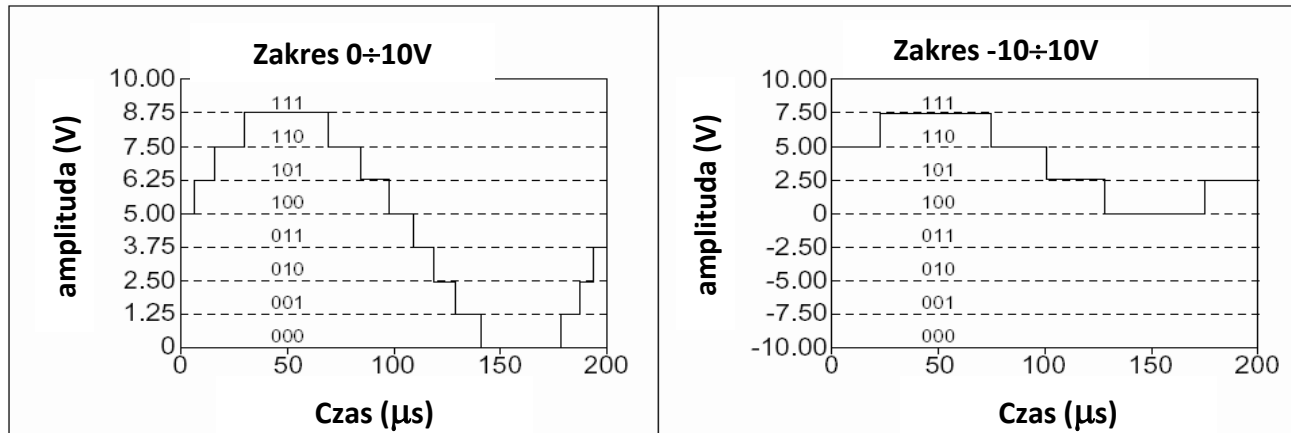




Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Zakres pomiarowy – (ang. range) czujnika jest różnicą między minimalnym a maksymalnym poziomem sygnału wejściowego, który daje poprawny sygnał wyjściowy

Rozdzielczość – (ang. resolution) czujnika określa najmniejszą możliwą wartość, która może być wykryta i przetworzona przez czujnik na sygnał wyjściowy





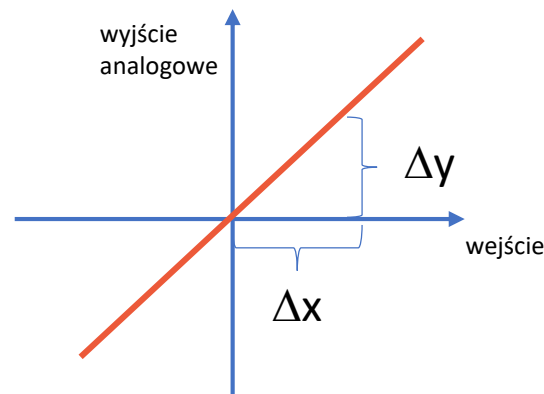
Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Zakres pomiarowy – (ang. range) czujnika jest różnicą między minimalnym a maksymalnym poziomem sygnału wejściowego, który daje poprawny sygnał wyjściowy

Rozdzielczość – (ang. resolution) czujnika określa najmniejszą możliwą wartość, która może być wykryta i przetworzona przez czujnik na sygnał wyjściowy

Czułość – (ang. sensitivity) czujnika określana jest jako zmiany wartości sygnału wejściowego do wejściowego (nachylenie charakterystyki):

$$s = \Delta y / \Delta x$$

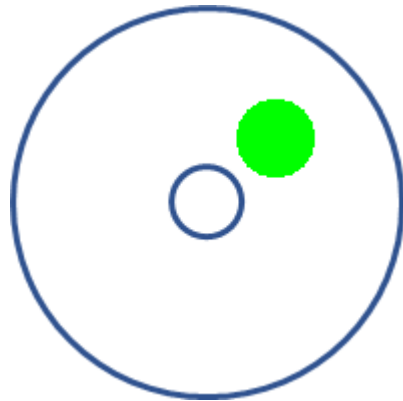


Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

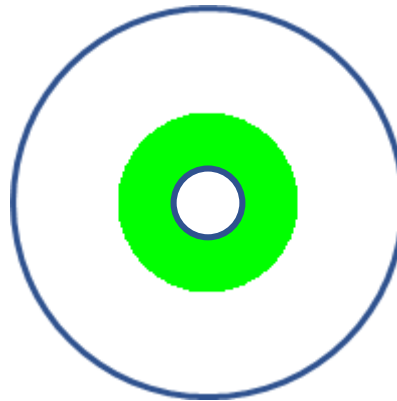
Powtarzalność – (ang. repeatability) zdolność czujnika do takich samych sygnałów wyjściowych w odpowiedzi na kolejne identyczne sygnały wejściowe

Dokładność – (ang. accuracy) jest maksymalnym odchyleniem wartości mierzonej od rzeczywistej

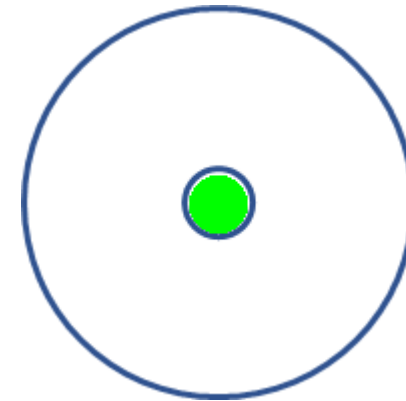
Precyzja – (ang. precision) granica, w której sygnał może być odczytany



Precyzja bez
dokładności



Dokładność bez
precyzji



Precyzja i
dokładność

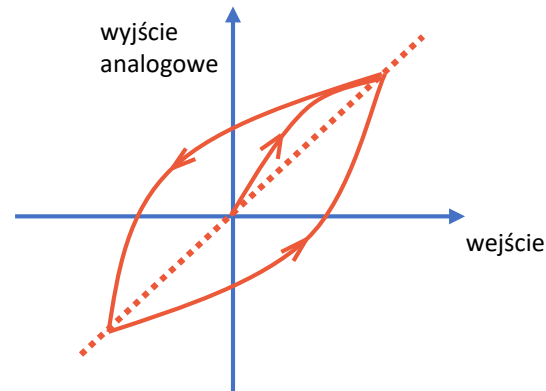


Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Liniowość – (ang. linearity) większość charakterystyk czujników daje się aproksymować linią prostą. Jeśli występuje różnica między charakterystyką a idealną linią prostą określana jest jako błąd kalibracji, wyrażana najczęściej w stosunku do zakresu pomiarowego.

$$\Delta_{lin} = \frac{\max |x_{lin} - x_{pom}|}{x_{max} - x_{min}}$$

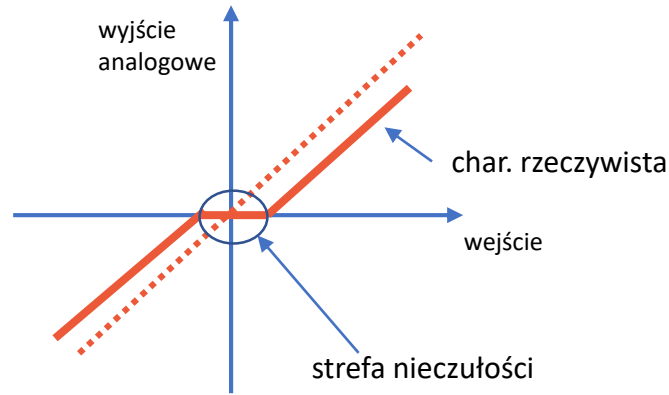
Histereza – (ang. hysteresis) gdy kształt charakterystyki różni się przy przeciwnych kierunkach działania czujnika (np. przy ściskaniu i rozciąganiu)



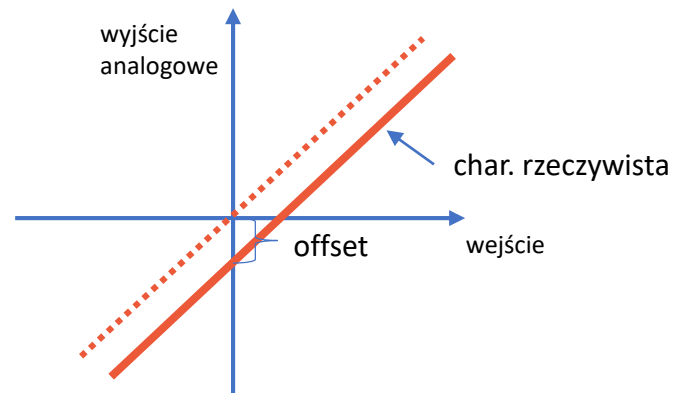


Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Strefa nieczułości (martwa strefa) – (ang. dead band) jest rodzajem nieliniowości, kiedy czujnik lub system pomiarowy nie reaguje na sygnał wejściowy, dopóki nie przekroczy on określonego poziomu



Offset – przesunięcie charakterystyki czujnika w górę lub w dół, występowanie niezerowej wartości na wyjściu, gdy wartość na wejściu równa 0





Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Dryft (pełzanie) – (ang. drift) określa zmianę sygnału wyjściowego z czujnika lub przetwornika, podczas gdy nie wystąpiła żadna zmiana sygnału wejściowego

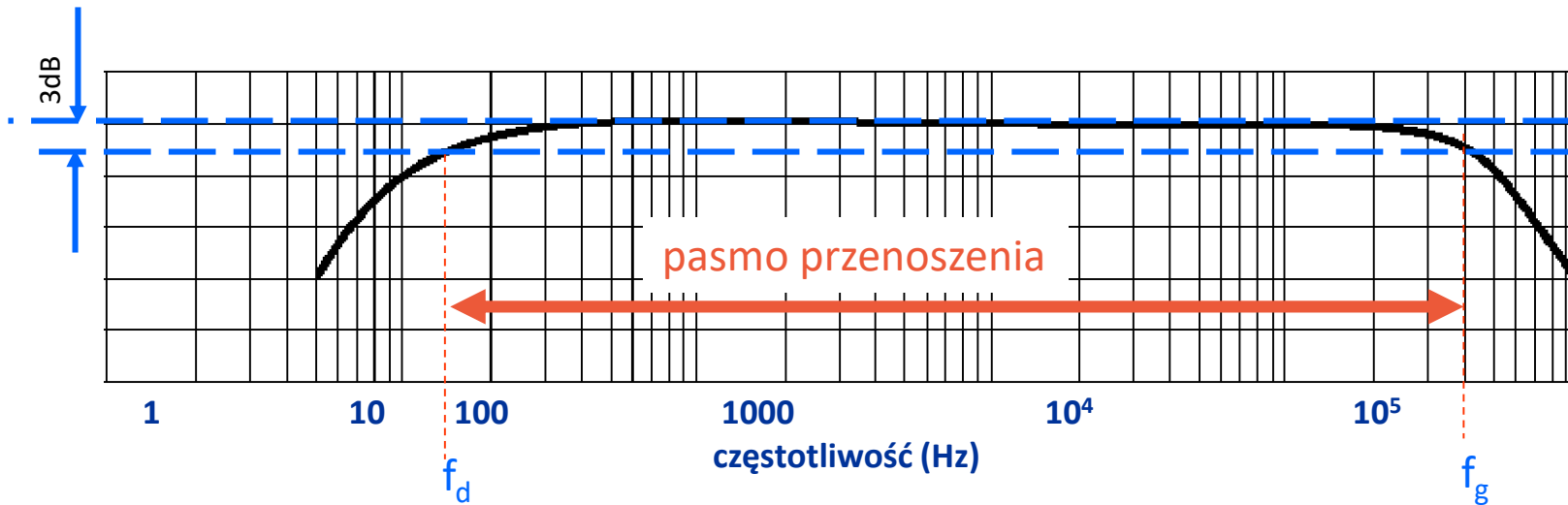
Szybkość odpowiedzi – (ang. speed of response) lub inne określenie czas odpowiedzi – wskazuje jak szybko układ pomiarowy reaguje na zmiany wartości wejściowej

Do przedstawienia właściwości dynamicznych czujnika w dziedzinie częstotliwości służą:

- Charakterystyki amplitudowo-fazowe
- Charakterystyki amplitudowe
- Charakterystyki fazowe
- Logarytmiczne charakterystyki amplitudowe
- Logarytmiczne charakterystyki fazowe

Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Pasmo przenoszenia – (ang. frequency response) Zakres częstotliwości, w którym stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do mierzonego nie spada poniżej założonego poziomu (zwykle 3dB)

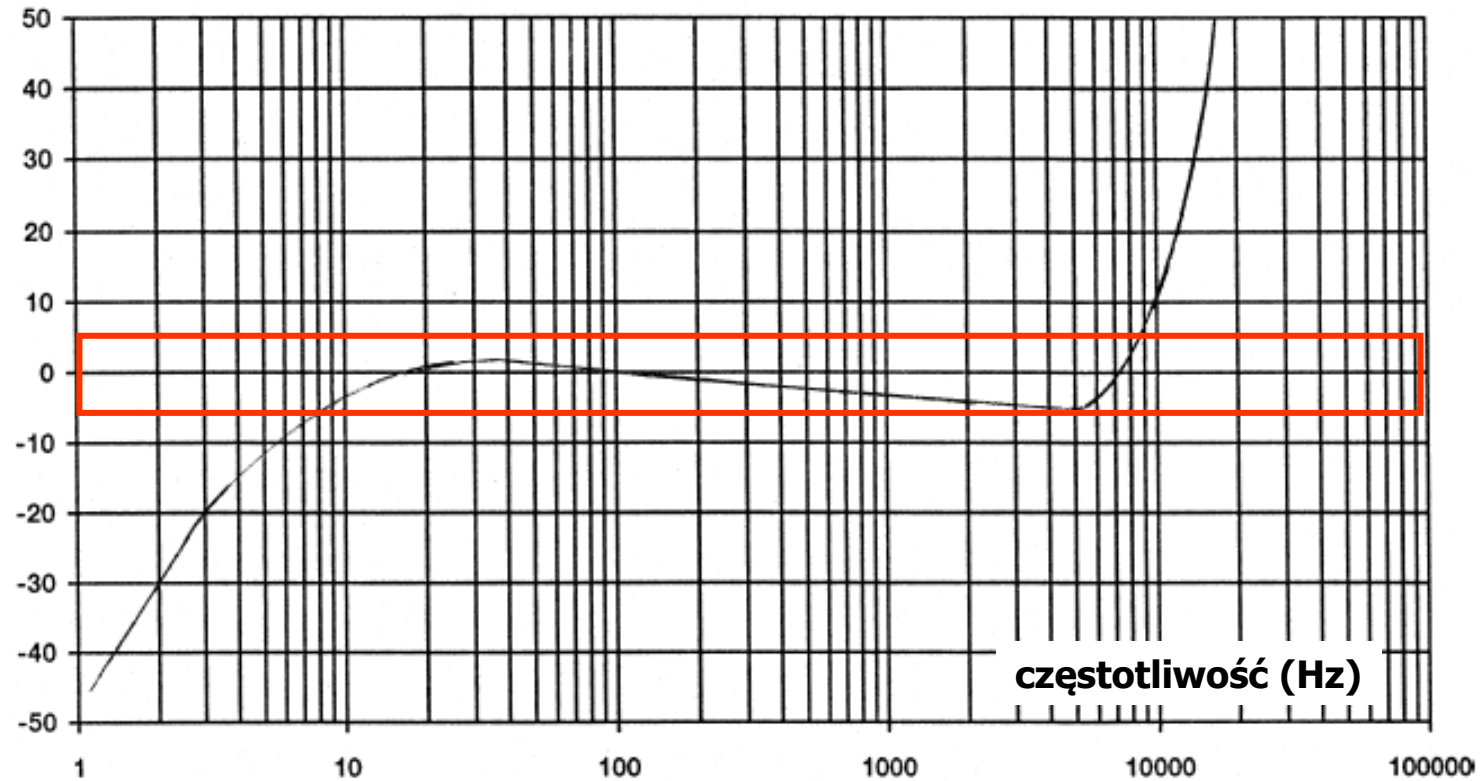


Pasmo użyteczne – zakres częstotliwości, w którym stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do mierzonego zawiera się w zadanych granicach



Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Pasmo użyteczne – zakres częstotliwości, w którym stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do mierzonego zawiera się w zadanych granicach

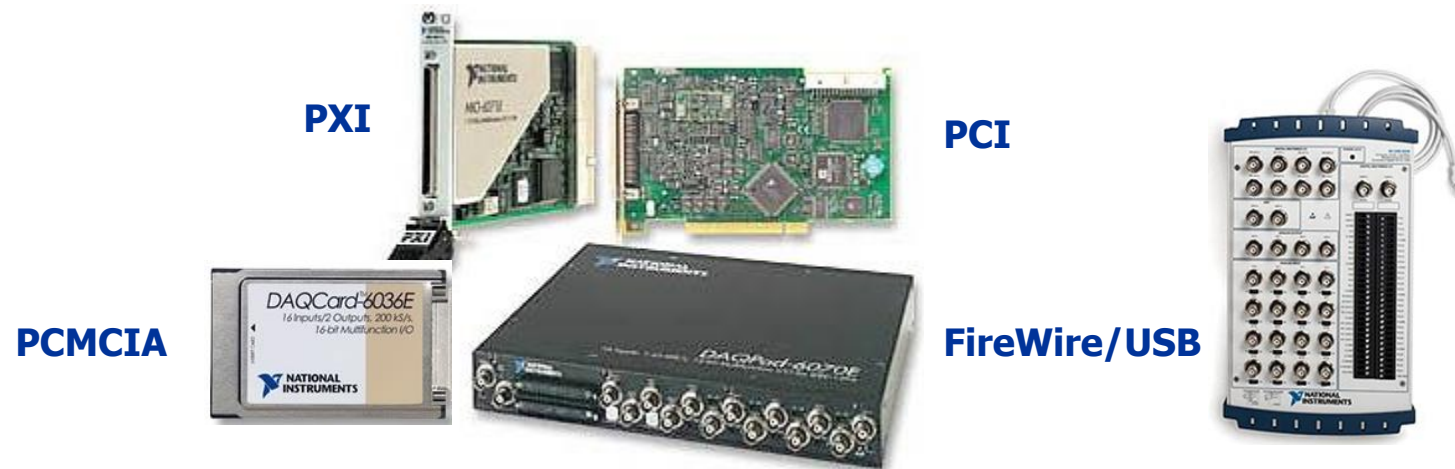




Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

Akwizycja danych – (DAQ - Data Acquisition) to zbieranie sygnałów elektrycznych z czujników (zwykle za pośrednictwem układów wstępnego przygotowania sygnału) i wprowadzenie uzyskanych danych do komputera w celu ich dalszego przetworzenia.

Urządzenia (karty) DAQ – zwykle są bezpośrednio połączone z wewnętrzną szyną danych komputera przez gniazdo (plug-in slot). Karta DAQ nie wykonuje obliczeń, nie wyznacza miar sygnału, pozostawiając to zadanie oprogramowaniu rezydującemu w komputerze.



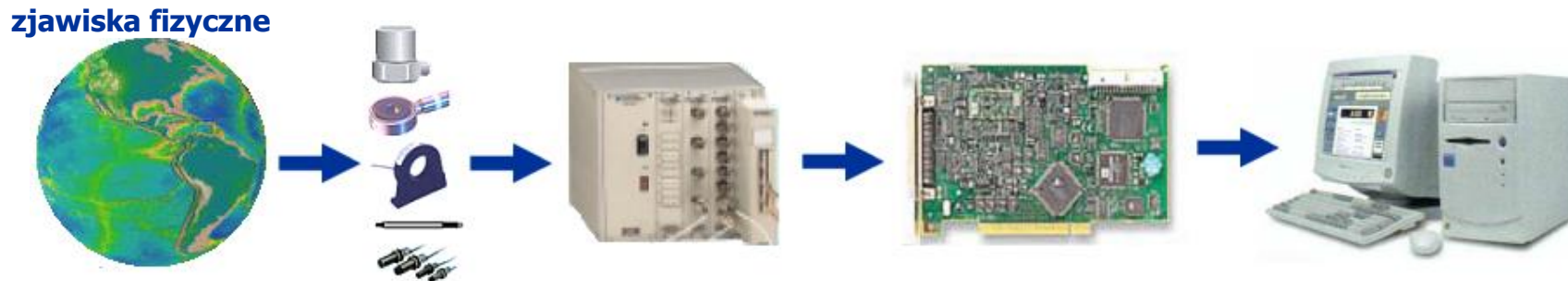


Przetwarzanie analogowo-cyfrowe – pojęcia podstawowe

System akwizycji danych pomiarowych (system pomiarowy) jest zespołem urządzeń objętych wspólnym sterowaniem i przeznaczonym do realizacji w sposób automatyczny procesu pomiarowego.

Prezentacja danych to środki do łatwego, intuicyjnego komunikowania się z systemem, w celu uzyskiwania informacji w dogodnej, zrozumiałej formie.

Przetwarzanie danych przekształca surowe dane w pełne znaczenia informacje. Obejmuje takie techniki jak filtrowanie cyfrowe, analizy częstotliwościowe, statystyczne i wiele innych operacji matematycznych



Przykładowy tor pomiarowy pomiaru sił firmy KISTLER oraz karta pomiarowa firmy National Instruments

Sensor - KISTLER 9017C



KISTLER

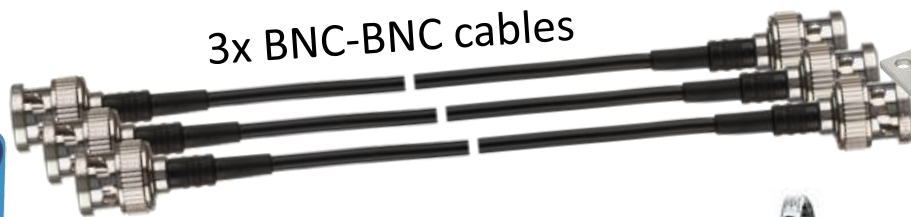
Connecting Cable, Multi-Wire, 1698ACSP5



Distributor Box, High Impedance
Fischer 9 pin neg. - 3 x BNC. neg.



3x BNC-BNC cables



Industrial Charge Amplifier -
KISTLER 5073A311

Self made cable-adaptor



Connector Block -
BNC Terminal BNC-
2110



Data acquisition card
NI PCIe-6351



Cable - Shielded
SHC68-68-EPM Cable



2. Przykładowe pytania

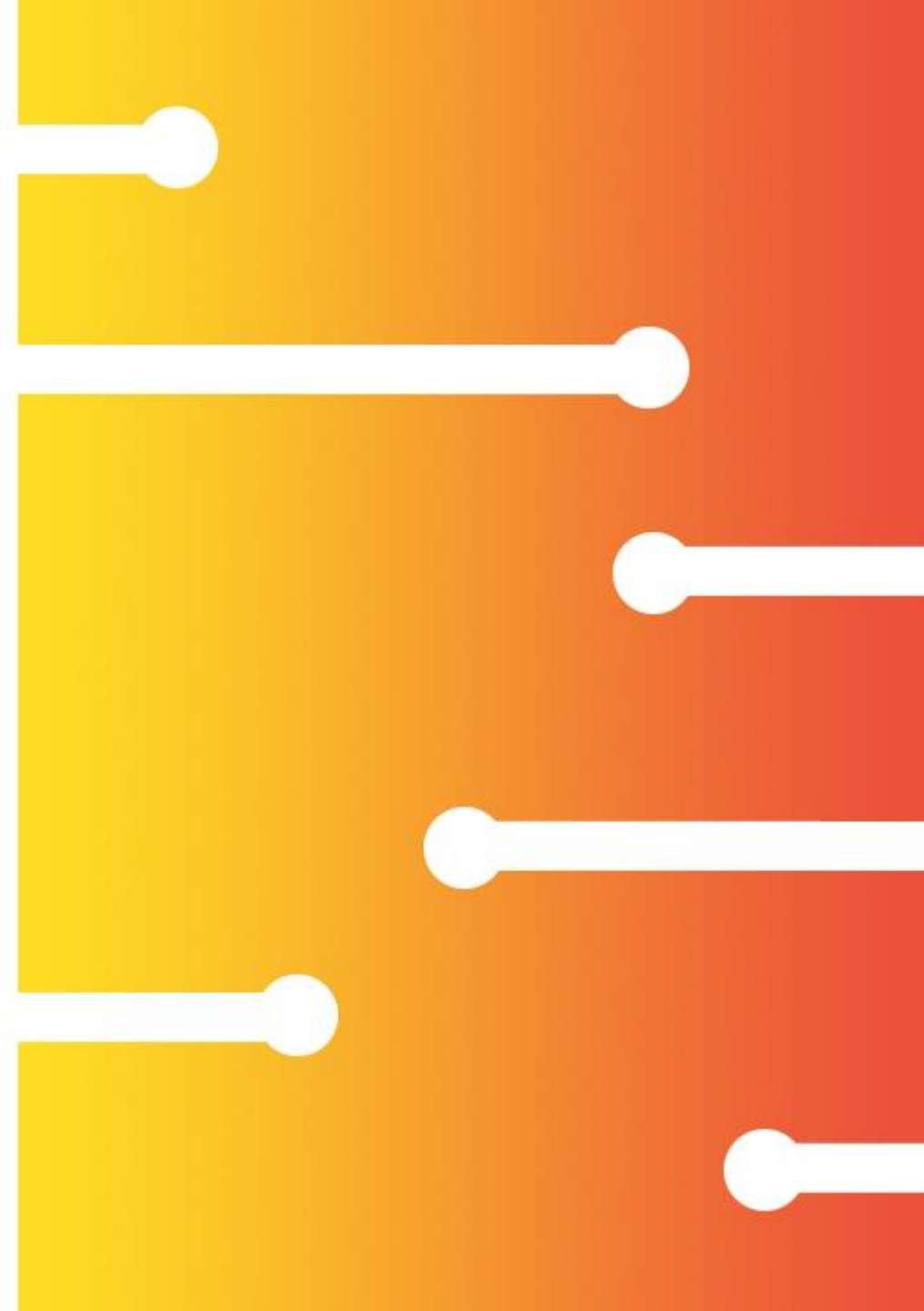


1. Co to jest charakterystyka czujnika?
2. Wymienić podstawowe parametry czujnika?
3. Co to jest karta akwizycji danych?



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

11. Czujniki przemieszczenia





Czujniki przemieszczenia

Do czujników przemieszczenia, położenia, odległości, kąta można zaliczyć:

- LVDT/RVDT (Linear/Rotational Voltage Differential Transformer – różnicowy przetwornik przemieszczeń liniowych/kątowych)
- Rezolwer
- Potencjometr
- Enkodery
- Sondy dotykowe
- Czujniki indukcyjne bezdotykowe
- Czujniki pojemnościowe
- Czujniki ultradźwiękowe
- Czujniki fotoelektryczne
- Interferometry laserowe
- Czujniki odległości dla robotów
- Czujniki drutowe

Różnicowy przetwornik przemieszczeń liniowych - (Linear Voltage Differential Transformer (LVDT))

- Czujnik do pomiaru przemieszczeń liniowych
- Składa się z nieruchomej obudowy i ruchomego rdzenia
- Obudowa zawiera uzwojenie pierwotne i dwa uzwojenia wtórne, ma przelotowy otwór wewnątrz
- Rdzeń jest stalowym lub ferrytowym prętem o silnych właściwościach magnetycznych (magnes stały), o średnicy nieco mniejszej niż otwór w obudowie – porusza się wewnątrz niej bez kontaktu – bez tarcia i zużycia
- Zakres pomiarowy $\pm 125 \mu\text{m}$ to $\pm 150 \text{ mm}$



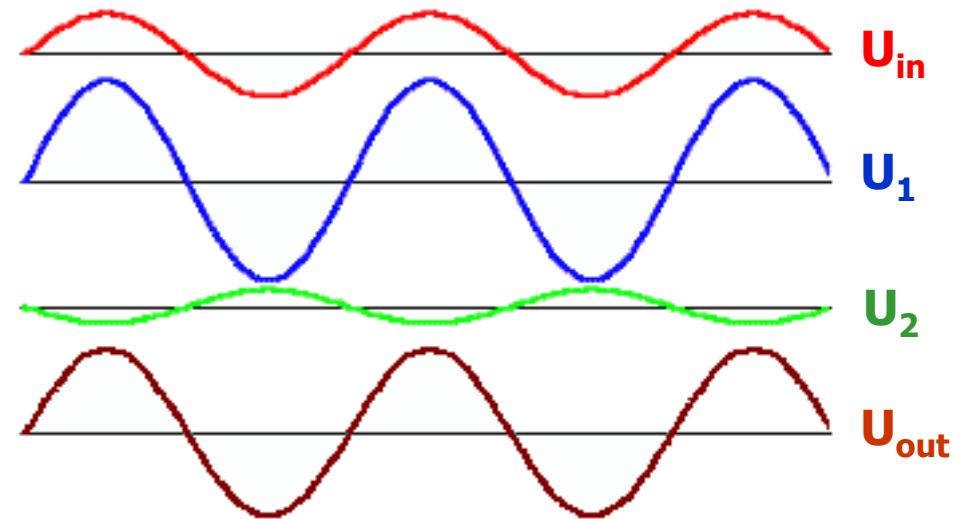
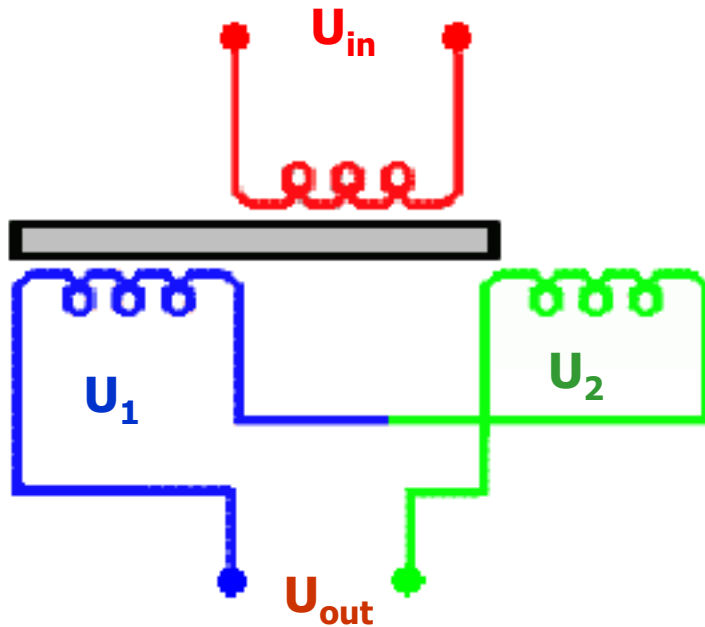
Czujniki przemieszczenia

Zasada działania przetwornika LVDT

Przesunięcie rdzenia w głąb uzwojenia w_1 (na zewnątrz w_2):

- zwiększa amplitudę napięcia U_1 zgodnego w fazie z U_{in}
- zmniejsza amplitudę napięcia U_2 przeciwnego w fazie do U_{in} .

Powoduje to, że suma napięć z tych uzwojeń (napięcie wyjściowe U_{out}) jest zgodna w fazie z napięciem zasilającym



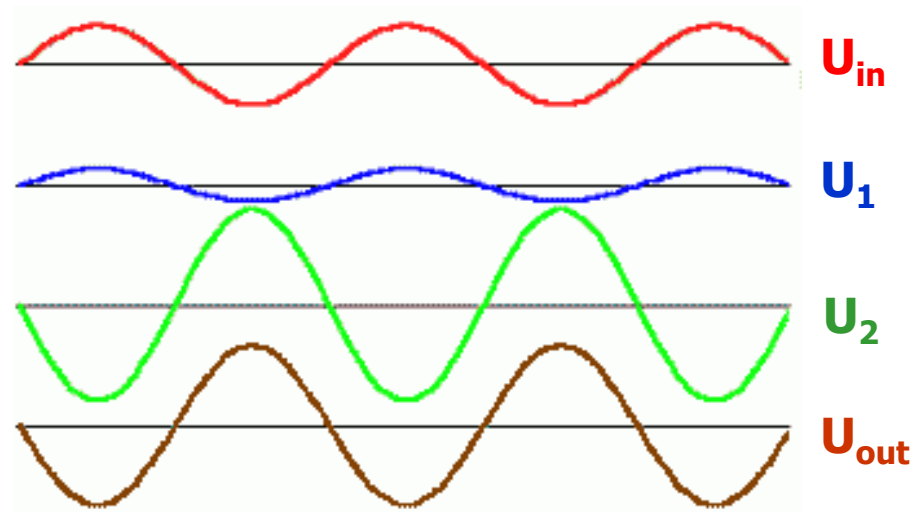
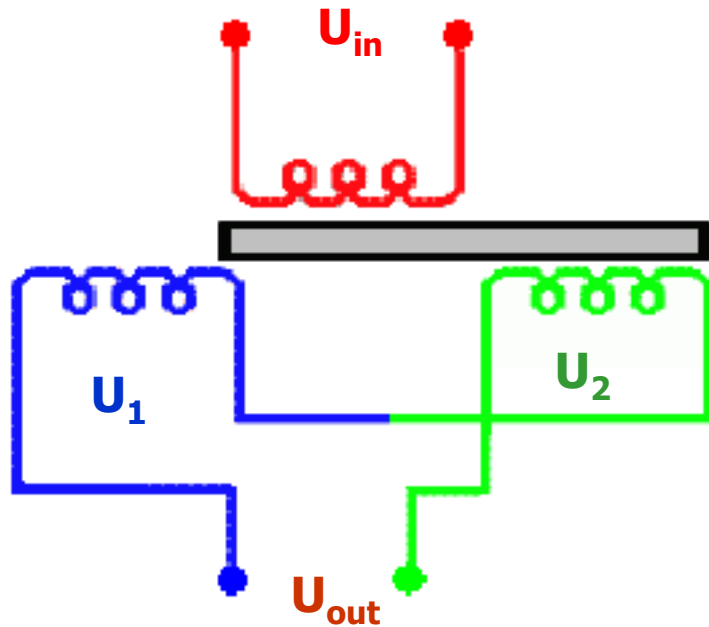
Czujniki przemieszczenia

Zasada działania przetwornika LVDT

Przesunięcie rdzenia w głąb uzwojenia w_2 (na zewnątrz w_1):

- zwiększa amplitudę napięcia U_2 przeciwnego w fazie względem U_{in}
- zmniejsza amplitudę napięcia U_1 zgodnego w fazie z U_{in} .

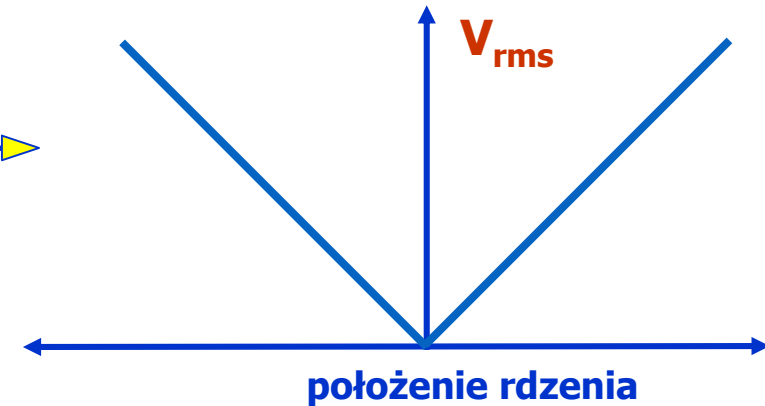
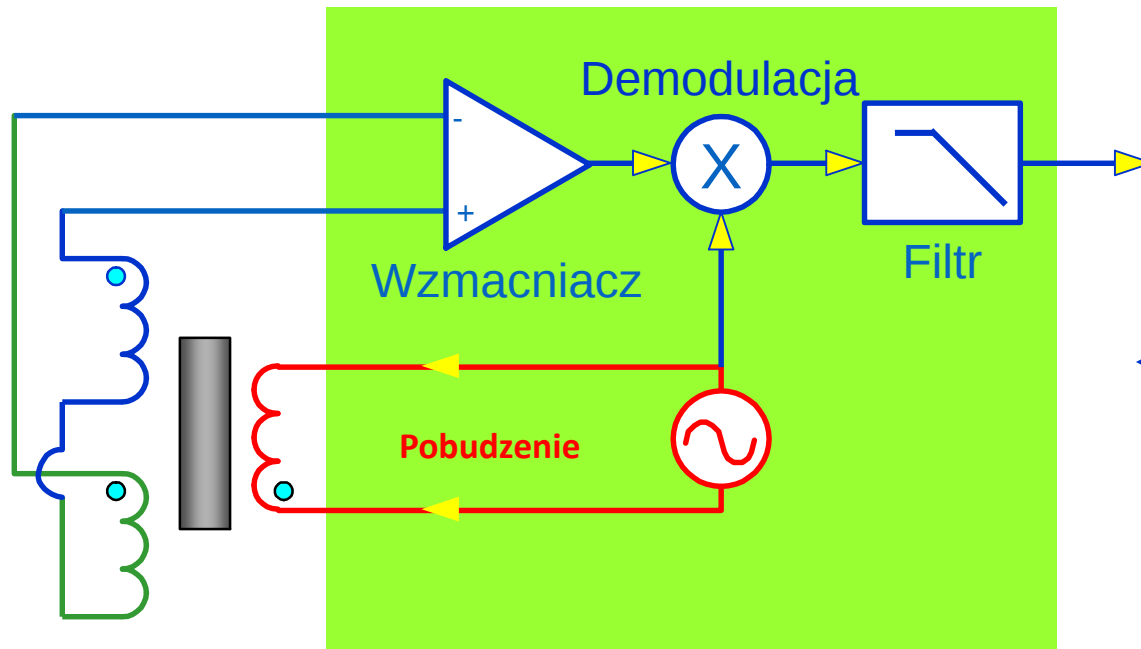
Powoduje to, że suma napięć z tych uzwojeń (napięcie wyjściowe U_{out}) jest w przeciwna fazie z napięciem zasilającym



Czujniki przemieszczenia

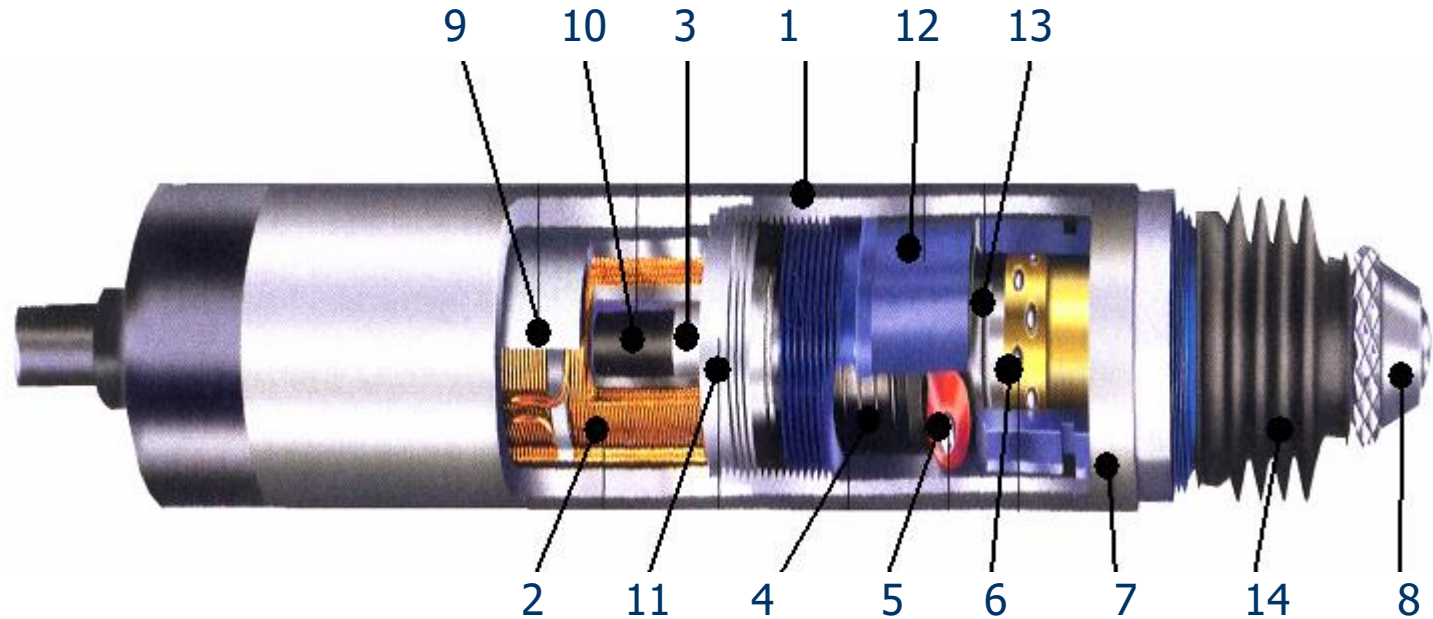
Zasada działania przetwornika LVDT z układem kondycjonującym

- Napięcie wyjściowe proporcjonalne do przemieszczenia rdzenia.
- Znak wynika porównania fazy z napięcia zasilającego z wyjściowym



Czujniki przemieszczenia

Przykład czujnika LVDT



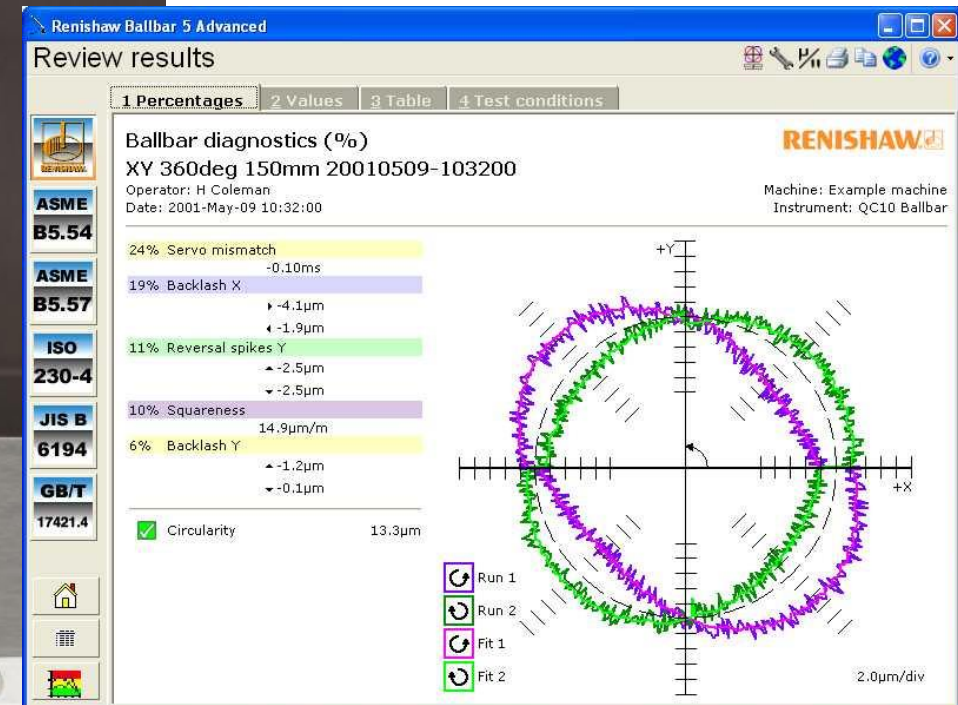
- | | |
|--|---|
| 1. Obudowa, trzpień mocujący, | 8. Końcówka dotykowa, |
| 2. System cewek elektrycznych, | 9. Osłona uzwojenia elektrycznego, |
| 3. Element korygujący zmiany temperatury i odkształcenia termiczne czujnika, | 10. rdzeń ferromagnetyczny, |
| 4. Sprężyna powodująca nacisk pomiarowy, | 11. Sprężyna zabezpieczająca przed przeciążeniem, |
| 5. System zapobiegający obrotom rdzenia, | 12. Prowadnica dla łożyska kulkowego |
| 6. Łożysko kulkowe, | 13. Trzpień pomiarowy |
| 7. Ogranicznik przemieszczenia końcówki pomiarowej, | 14. Gumowa uszczelka |



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Czujniki przemieszczenia

Przył





Czujniki przemieszczenia

Zalety czujnika LVDT

- odporne na trudne warunki (zanieczyszczenia) otoczenia,
- duża trwałość, brak tarcia (zużycia i histerezy),
- dotykowe pomiary niewielkich (poniżej ok. 1mm) odległości wymiarów, przemieszczeń,
- pomiary przemieszczeń do ok. 1 m



Czujniki przemieszczenia

Rezolwer (selsyn przelicznikowy) należy – podobnie jak LVDT – do czujników indukcyjnych

Jest popularnym układem pomiaru ruchu obrotowego, bardzo często wykorzystywanym także do pośredniego pomiaru drogi liniowej

Umieszcza się go zwykle na wałku silnika serwomechanizmowego lub śruby tocznej i mierzy drogę kątową wałka

Mogą być jednoobrotowe lub wieloobrotowe



Czujniki przemieszczenia

Induktosyn to resolver rozciągnięty na płaszczyźnie

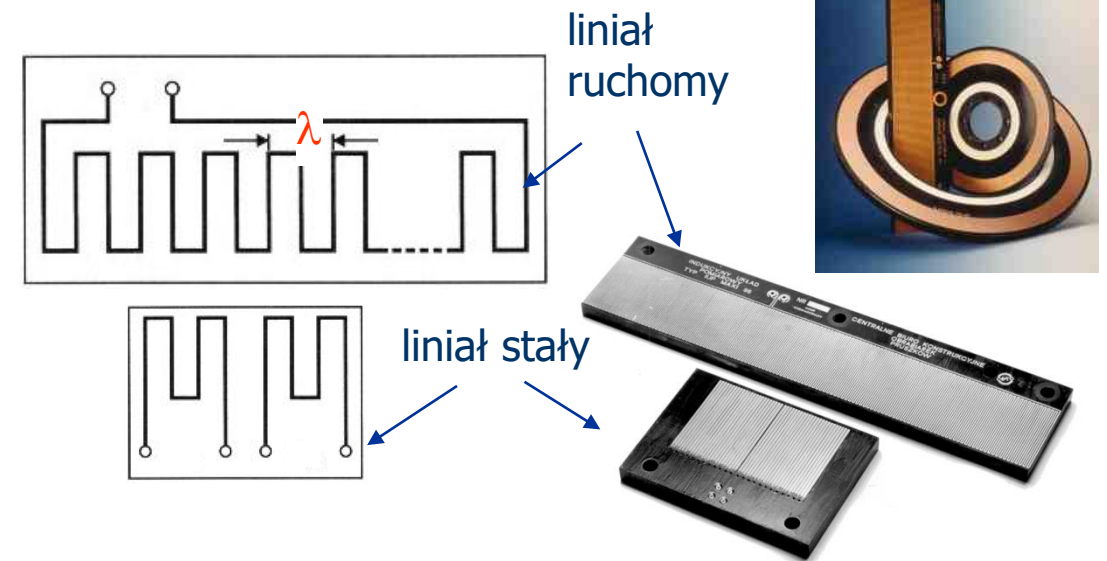
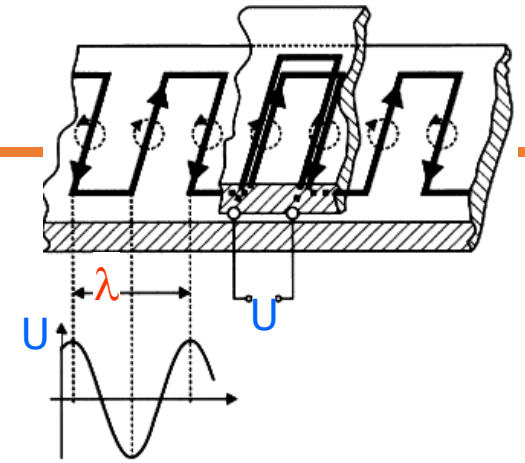
Składa się z dwóch liniałów z naniesionymi meandrującymi przewodnikami:

- długiego, zwykle zamocowanego na elemencie ruchomym obrabiarki, np. stole, na całej długości pomiarowej
- krótkiego, zwykle zamocowanego na elemencie stałym (np. korpusie)

Przemieszczanie elementu ruchomego nad nieruchomym powoduje zmienne napięcie, pozwalające na określenie wzajemnego położenia w ramach jednej podziałki λ

Dokładność może sięgać $1\mu\text{m}$

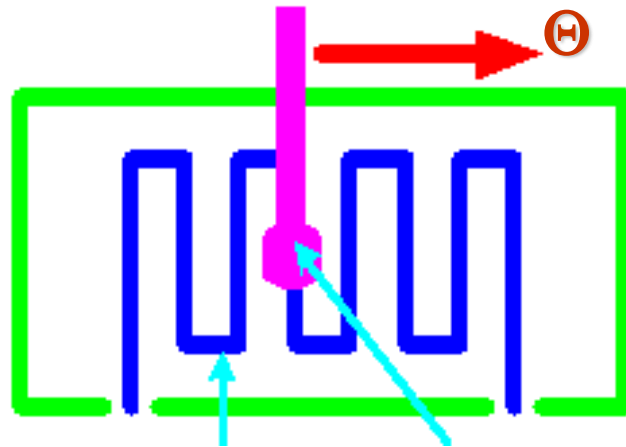
Istnieją także induktosyny obrotowe



Czujniki przemieszczenia

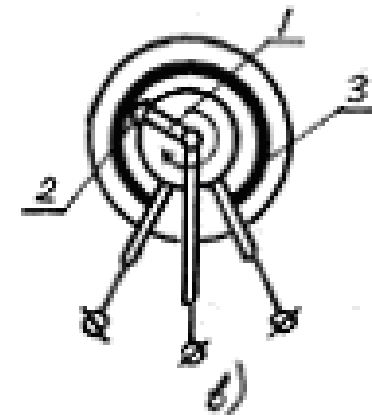
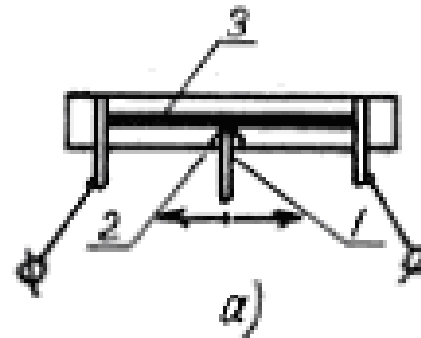
Potencjometr

- Przetwarza zmiany położenia końcówki pomiarowej (1) na zmiany oporu, a pośrednio napięcia
- Dostępne w wersji liniowej (a) lub kątowej (b)
- Suwak lub szczotka (2) zwykle samoczyszcząca
- Element oporowy (3) - zwój drutu (lepsza liniowość) lub przewodzący plastik (lepsza rozdzielczość)



element oporowy

suwak





Czujniki przemieszczenia

Przetworniki fotoelektryczne (enkodery)

Układy pomiarowe z modulacją strumienia świetlnego,
wykorzystujące zjawiska fotoelektryczne

Przesłanianie części strumienia świetlnego padającego na element fotoelektryczny powoduje zmianę SEM na wyjściu fotoelementu

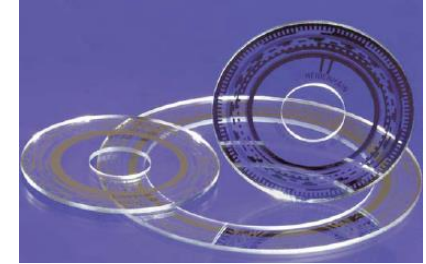
Analogowy sinusoidalny sygnał wyjściowy może być zamieniany na postać cyfrową – impulsy prostokątne, zliczane w liczniku

Mogą pracować w układzie:

- przyrostowym (mierzą zmiany położenia)
- absolutnym (podają bezwzględną wartość kąta obrotu lub przesunięcia)

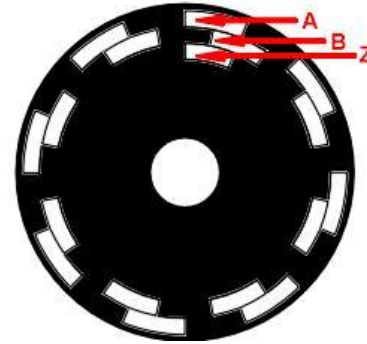
Przetworniki fotoelektryczne są budowane w postaci:

- obrotowej (przetwornik obrotowo – impulsowy, enkoder obrotowy)
- liniowej (przetwornik liniowo – impulsowy, enkoder liniowy)

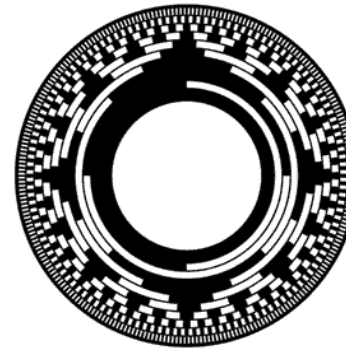


Enkoder przyrostowy:

- Jedno kanałowy
- Dwukanałowy
- Dwukanałowy z indeksem



Enkoder absolutny

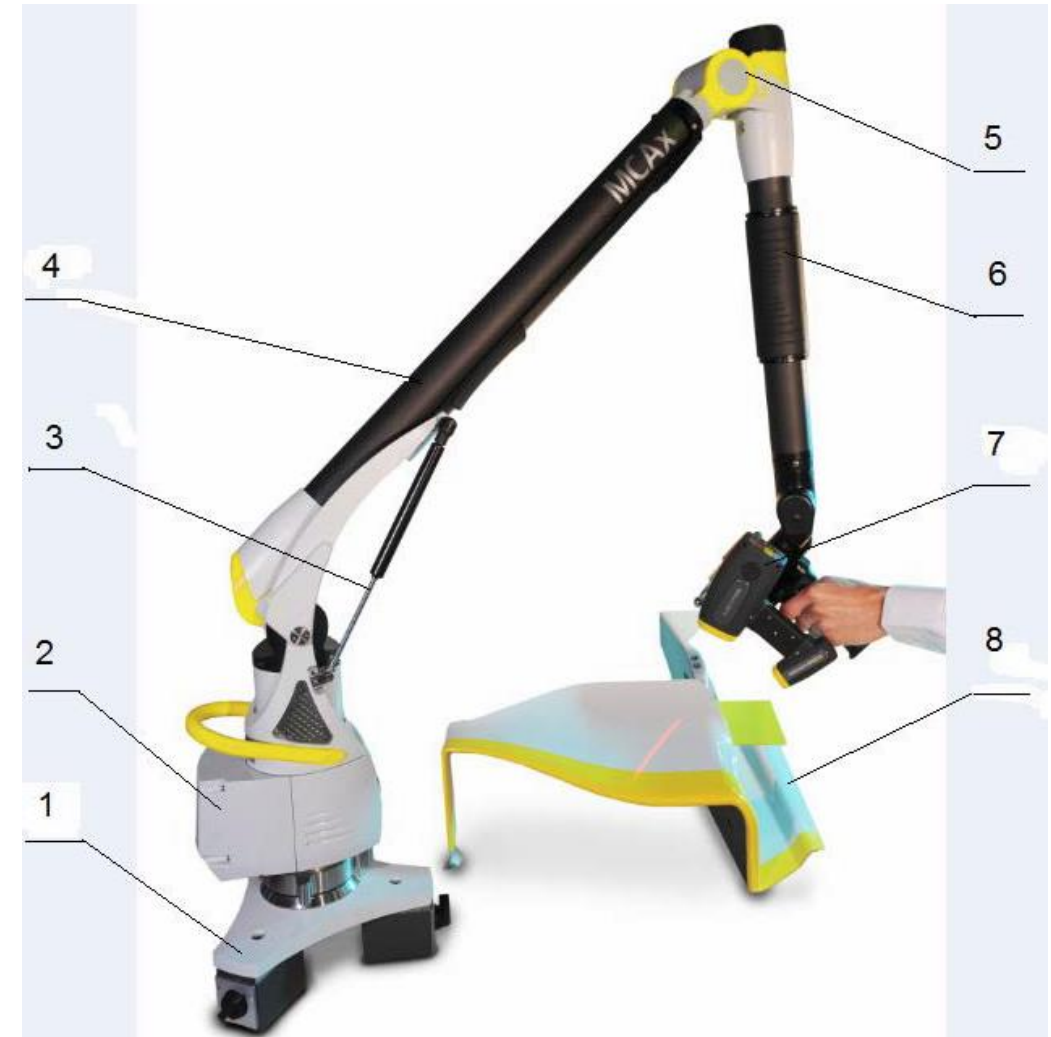


Enkodery przyrostowe są tańsze i prostsze niż absolutne, ale wymagają zewnętrznej obróbki (zliczania) impulsów



Współrzędnościowe ramiona pomiarowe

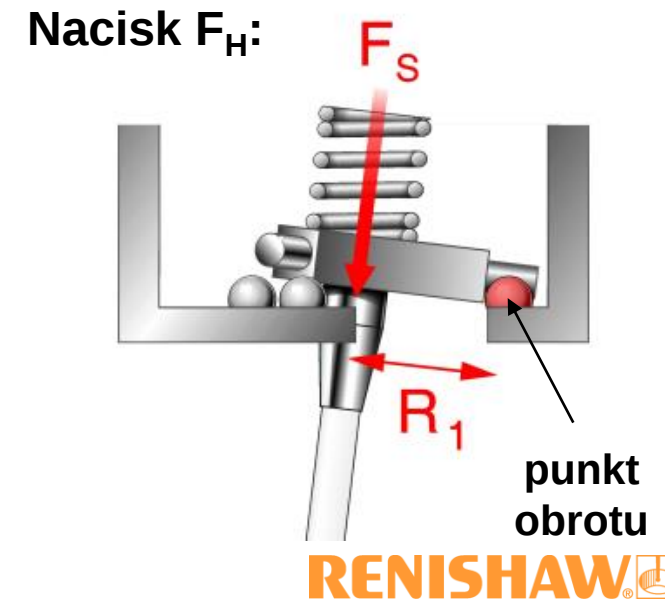
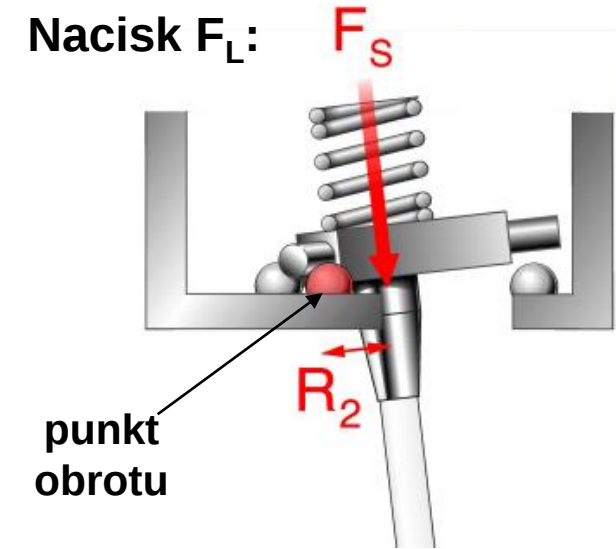
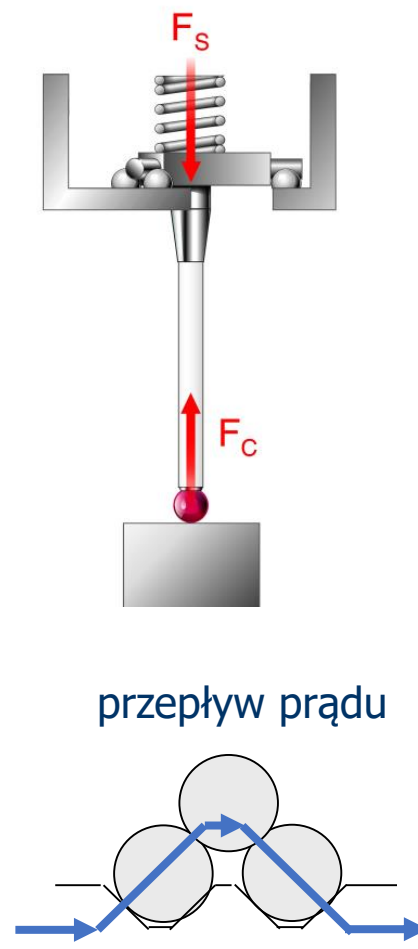
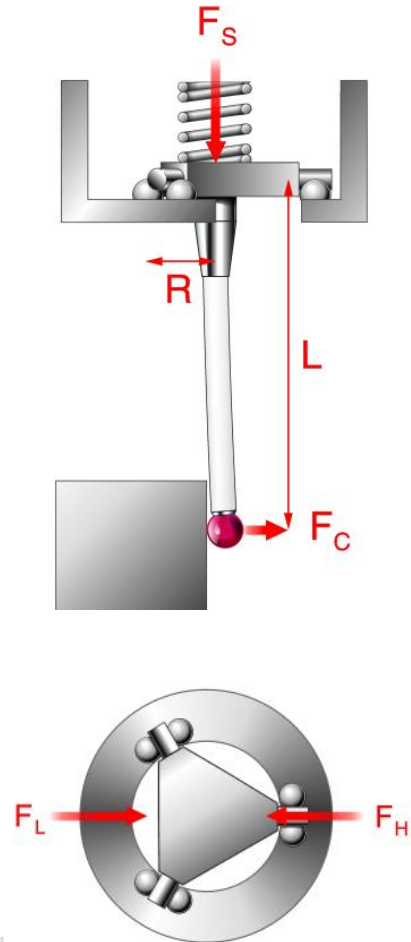
1. podstawa umożliwiająca mocowanie ramienia do powierzchni stołu lub statywu poprzez łączenie magnetyczne lub śrubowe lub podciśnieniowe,
2. korpus zapewniający łączność bezprzewodową (Wi-Fi) oraz zasilanie bateryjne (Li-Ion),
3. podpórkakompensująca masę ramienia i tym samym zwiększająca komfort pracy operatora przy wykonywaniu przemieszczeń kątowych ramienia,
4. tuby ramienia wykonane z włókien węglowych zapewniające stosunkowo małą podatność na wpływy temperatury i odznaczające się wysoką sztywnością i małą masą,
5. obrotowy przegub zapewniający płynny obrót ramienia w dwóch płaszczyznach; w poszczególnych przegubach zamontowane są po dwa **enkodery kątowe**,
6. obrotowy uchwyt ułatwiający przemieszczanie ramieniem izolując zarazem ramię od ciepła ręki operatora,
7. głowica, która może być wyposażona w głowicę stykową lub laserową głowicę skanującą tworząc zintegrowany układ
8. mierzony przedmiot (w tym przypadku mierzony głowicą laserową)





Czujniki przemieszczenia

Dotykowa sonda pomiarowa





PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Czujniki przeszerzenia

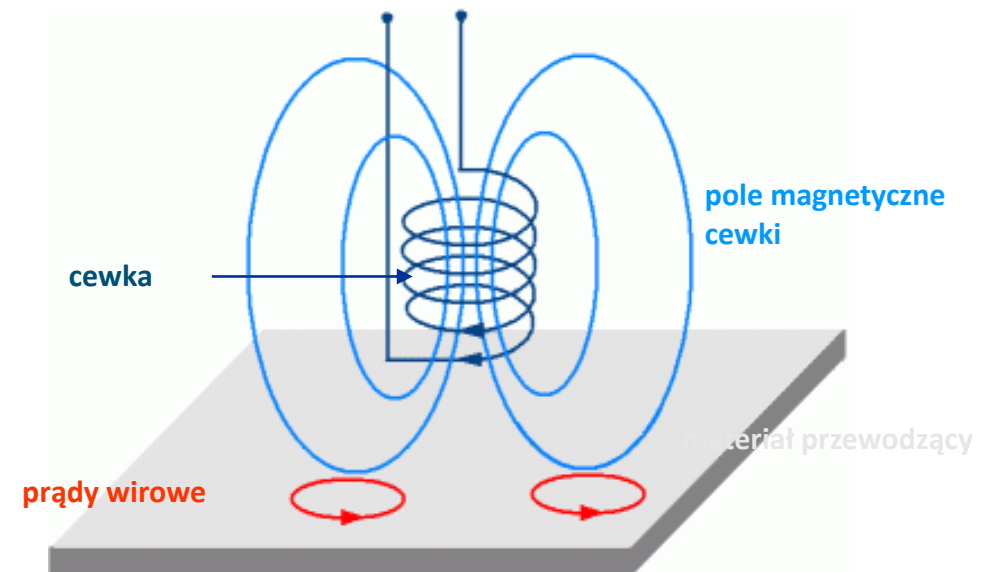
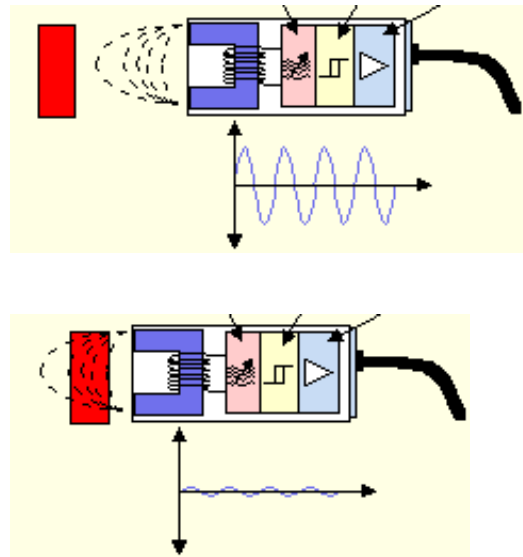
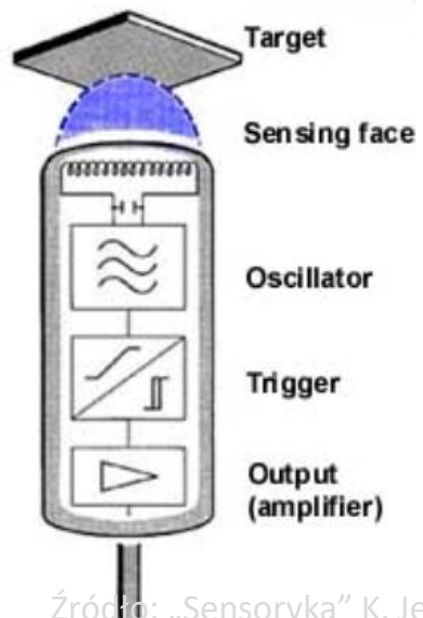
Dotykowe sondy narzędziowe



Czujniki przemieszczenia

Czujniki indukcyjne – zasada pracy

- Oscylator wywołuje zmienny prąd w cewce, który tworzy pole elektromagnetyczne.
- Pole indukuje prądy wirowe w przewodniku, o kierunku przeciwnym do płynącego w cewce.
- Prądy te również tworzą pole elektromagnetyczne, przeciwne do pola cewki, co pochłania energię, a co za tym idzie powoduje obniżenie amplitudy zmian prądu.





Czujniki przeszerzenia

Czujniki indukcyjne – zalety

- Eliminują potrzebę kontaktu – współpracują z ruchomymi powierzchniami (dotyczy wszystkich czujników bezdotykowych)
- Wykrywają metal nawet przez barierę niemetaliczną
- Odporne na trudne warunki środowiskowe
- Mały czas odpowiedzi
- Duża trwałość , praktycznie nieskończona liczba cykli pracy

Czujniki indukcyjne – wady

- Wykrywają jedynie metal
- Ograniczenia wymiarowe (omówione)
- Stosunkowo mały zakres – zwykle 30% średnicy cewki, max 50% średnicy

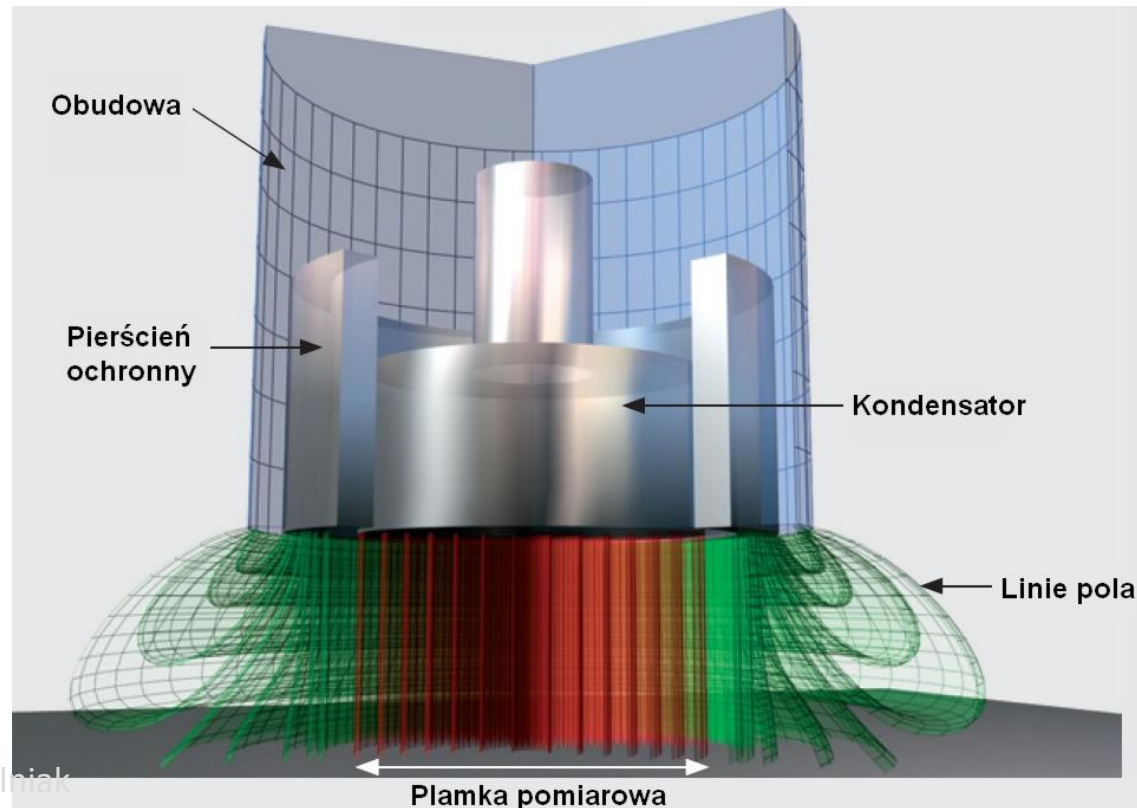
- Pomiary mogą być zakłócone przez wiórki metalowe zbierające się na powierzchni pomiarowej czujnika



Czujniki przeszerzenia

Czujniki pojemnościowe mierzą odległość między czujnikiem a przedmiotem wykrywając zmiany pojemności szczeliny powietrznej.

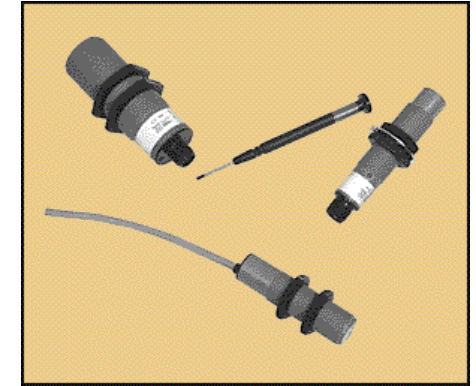
Pojemność jest właściwością elektryczną szczeliny między dwoma przewodnikami.



Czujniki przemieszczenia

Czujniki pojemnościowe – zalety

- Mogą wykryć praktycznie wszystko
- Mogą wykrywać ciecz przez barierę niemetaliczną (szkło, plastik itd.)
- Dokładne w czystym środowisku
- Krótki czas odpowiedzi
- Wykrywają nie tylko obecność (odległość) lecz także rodzaj materiału
- Duża trwałość, praktycznie nieskończona liczba cykli pracy



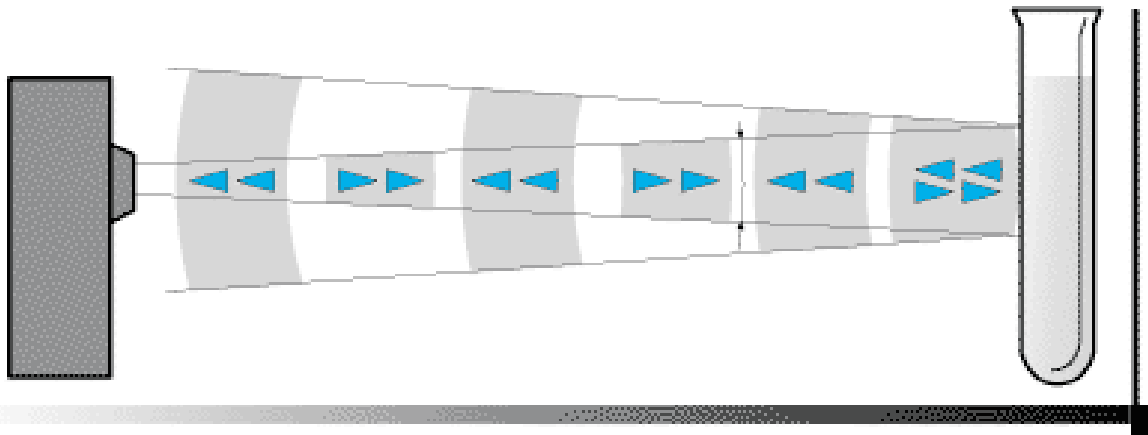
Czujniki pojemnościowe – wady

- Zwykle mały zakres pomiarowy (mniej niż 15mm)
- Zakłócają je zanieczyszczenia, zmiany temperatury, wilgotności powietrza czy otoczenia
- Czułość zależy od kształtu i rodzaju materiału

Czujniki przemieszczenia

Czujniki ultradźwiękowe – zasada pracy

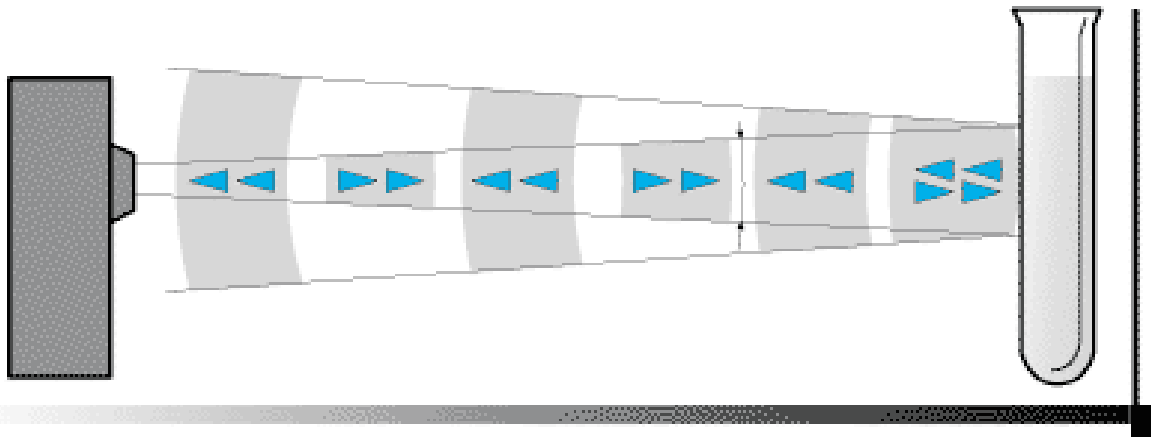
- Wysyłają fale dźwiękowe powyżej pasma słyszalnego (ultradźwięki, $f > 20\text{kHz}$, typowo 40-250kHz) i odbierają ich odbicie.
- Wykorzystują pomiar zwłoki czasowej i szybkość dźwięku w powietrzu do określenia odległości od obiektu.
- Można również wykorzystać je do sprawdzenia obecności obiektu.



Czujniki przeszczenia

Czujniki ultradźwiękowe – zasada pracy

- Wysyłają fale dźwiękowe powyżej pasma słyszalnego (ultradźwięki, $f > 20\text{kHz}$, typowo 40-250kHz) i odbierają ich odbicie.
- Wykorzystują pomiar zwłoki czasowej i szybkość dźwięku w powietrzu do określenia odległości od obiektu.
- Można również wykorzystać je do sprawdzenia obecności obiektu.





Czujniki przemieszczenia

Czujniki ultradźwiękowe – zalety

- Wykrywają więcej rodzajów obiektów niż którykolwiek z pozostałych trzech (nieomal wszystko)
- Duży zakres odległości – większy niż dla czujników indukcyjnych i pojemnościowych, do ok. 10 m
- Duża trwałość, praktycznie nieskończona liczba cykli pracy
- Odporne na trudne warunki środowiskowe
- Niska cena

Czujniki ultradźwiękowe – wady

„Martwa strefa” blisko czujnika – nie mogą wykrywać bliskich obiektów

Nie mogą wykrywać małych obiektów

Gładkie powierzchnie muszą być umieszczone prostopadle do czujnika, w przeciwnym razie echo

Niezbyt duża dokładność ($0.1 \div 2\%$ zakresu pomiarowego)

Niezbyt duża prędkość obiektu





Czujniki przemieszczenia

Czujniki fotoelektryczne – zasada działania

Czujnik fotoelektryczny - czujnik reagujący na zmianę intensywności docierającego do niego strumienia światła.

Może być wykorzystywane zarówno światło widzialne jak również podczerwone lub laserowe.

W zależności od tego, na jakim elemencie oparta jest budowa czujnika, inna wielkość elektryczna jest zmieniana:

- jeśli czujnik zbudowano w oparciu o fototranzystor - zmienia się napięcie,
- jeśli fotorezystor - zmienia się oporność,
- jeśli fotodiody - prąd.



11. Przykładowe pytania

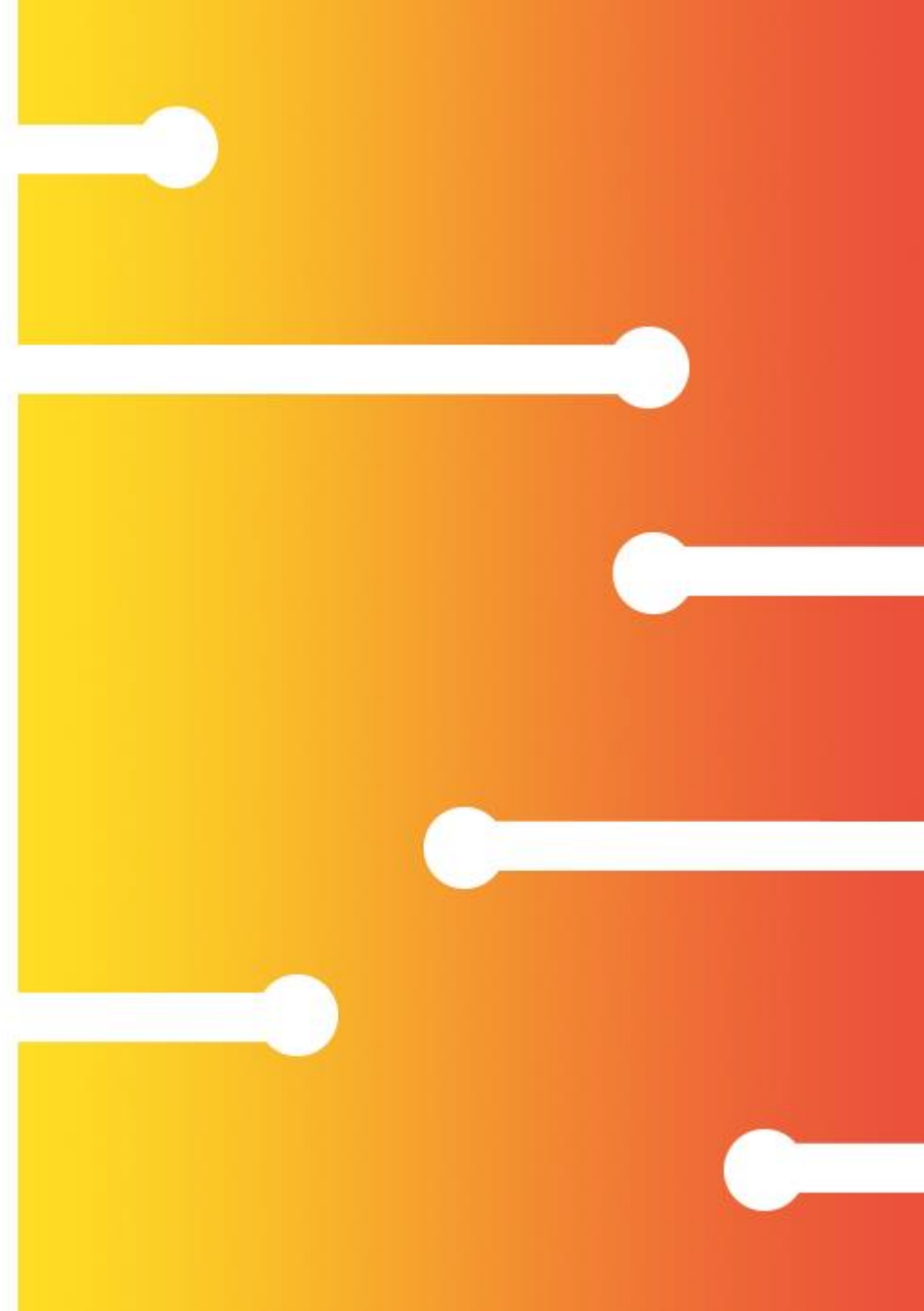


1. Jakie zjawiska fizyczne wykorzystywane są w czujnikach przemieszczeń?
2. Zasada działania enkoderów.
3. Porównać czujniki pojemnościowe i indukcyjne.



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

12. Czujniki drgań





Czujniki drgań

Drgania to oscylacyjne zmiany położenia.

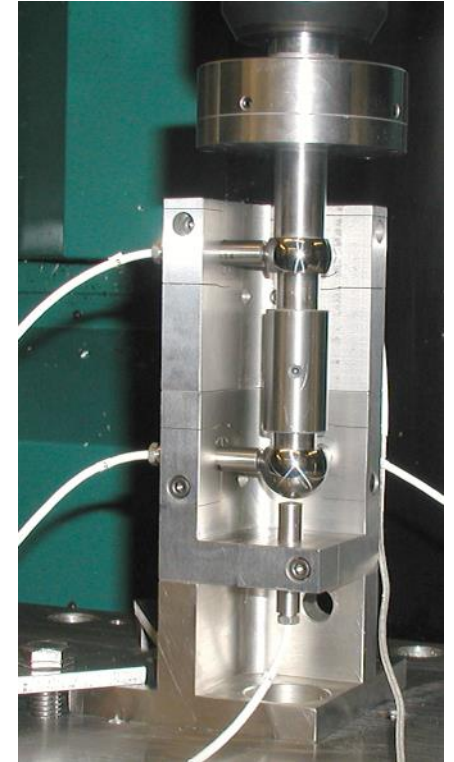
Spotykamy je na co dzień

- czasem są niszczące lub dokuczliwe..
- a czasem są wywoływane celowo

Drgania są spowodowane przez zmienne siły pochodzące od ruchomych elementów maszyn

Drgania powodują zużycie z zmęczenie części maszyn

Często są odpowiedzialne za uszkodzenie maszyny



Do badania drgań, zwłaszcza gdy badany element się obraca, można stosować omówione wcześniej bezdotykowe czujniki przemieszczeń (indukcyjne lub pojemnościowe).

Pomiar przemieszczeń w ruchu drgającym wymaga niezależnego układu odniesienia

Laserowe czujniki triangulacyjne

Wykorzystują precyzyjną matrycę CMOS. Odległość od obiektu, zakres pomiarowy, rozdzielczość, kąt między promieniami są ze sobą powiązane.

Wibrometria laserowa

- Nowa technik badań konstrukcji, która pozwala na przeprowadzenie bezdotykowych pomiarów drgań konstrukcji.
- Systemy oferowane obecnie na rynku umożliwiają skanowanie całych powierzchni badanych elementów oraz rejestrowanie drgań w trzech kierunkach.
- Pomiary bazują na porównywaniu wiązki lasera docierającej do foto detektora (odbijanej od badanego modelu) ze znanym sygnałem referencyjnym.
- istotny jest typ badanego materiału oraz ilość światła odbitego

Wibrometry Laserowe Dopplera

Gdy światło odbija się od ruchomego obiektu, jego częstotliwość zmienia się nieznacznie

Precyzyjny interferometr wykrywa te niewielkie zmiany częstotliwości.

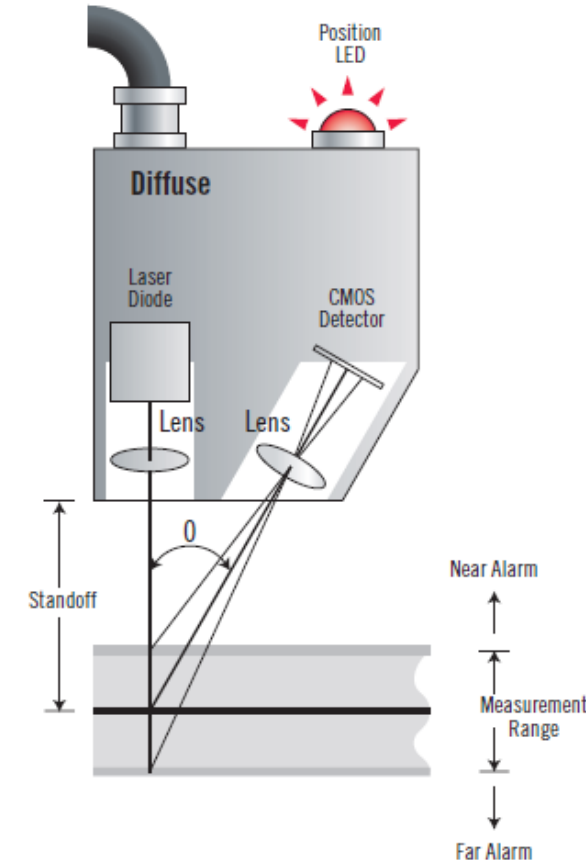
Promień lasera rozdzielany jest na dwie części:

- promień odniesienia jest kierowany bezpośrednio na fotodetektor
- promień pomiarowy jest kierowany na obiekt badany....
- ...gdzie odbija się od drgającej powierzchni.

W zależności od prędkości i położenia obiektu odbite światło ma zmienioną fazę i częstotliwość

Superpozycja obu promieni tworzy sygnał zmodulowany z dopplerowskim przesunięciem częstotliwości

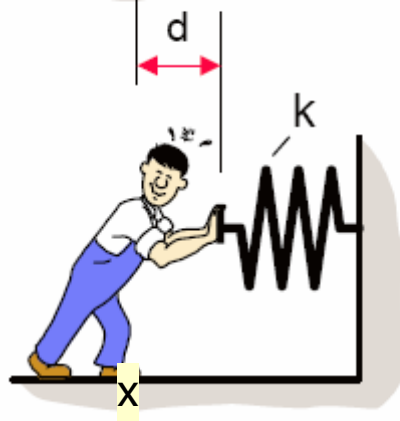
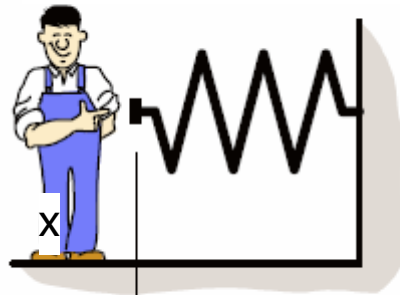
Przetwarzanie sygnałów umożliwia dokładne określenie prędkości i przemieszczenia badanego obiektu



Czujniki drgań

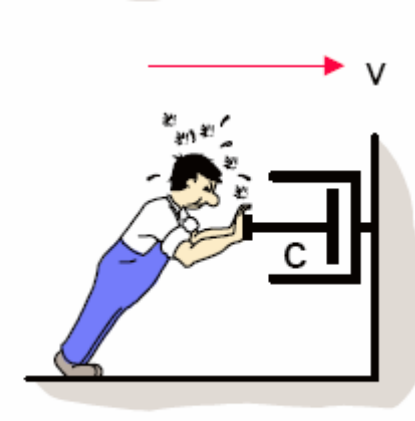
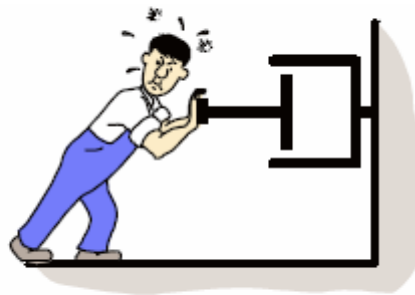
Przemieszczenie – prędkość – przyspieszenie

przemieszczenie



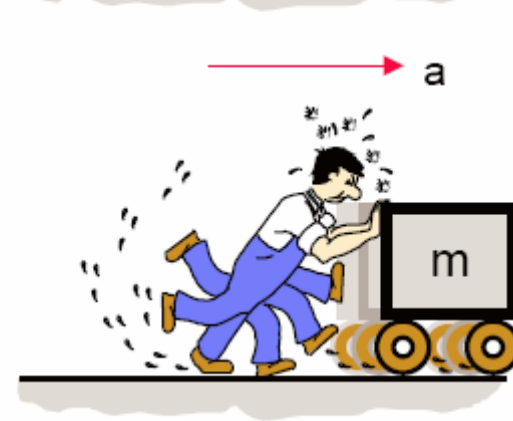
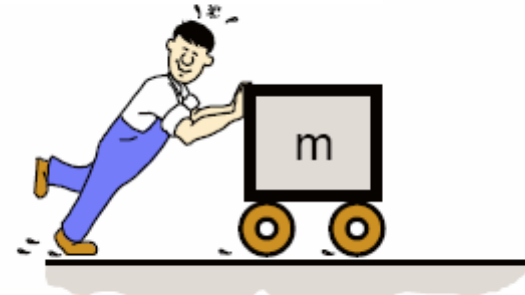
$$F = k \times d$$

prędkość



$$F = c \times v$$

przyspieszenie



$$F = m \times a$$



Czujniki drgań

Akcelerometr jest czujnikiem, którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do **przyspieszenia**, jakiemu poddany jest czujnik zamocowany do obiektu badanego.

Zastosowanie akcelerometrów:

- Diagnostyka maszyn
- Wyrównoważanie
- Analiza wpływu drgań zewnętrznych
- Wykrywanie nadmiernych drgań maszyn
- Aktywna redukcja drgań
- Badanie charakterystyk dynamicznych maszyn i urządzeń
- Badanie uderu
- Diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawania (DNiPS)



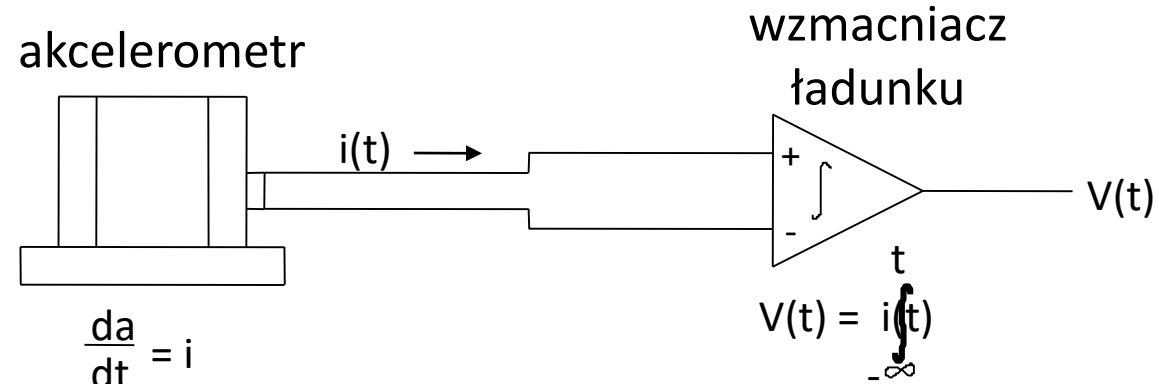
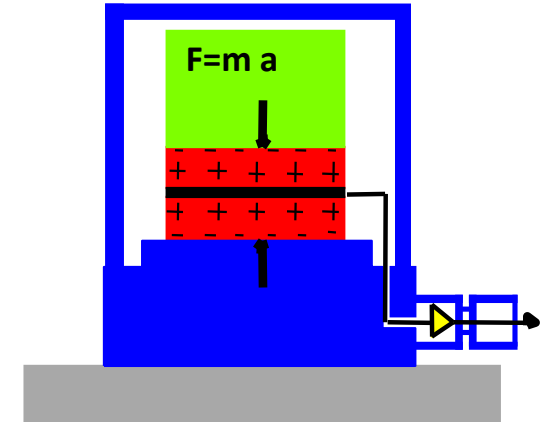


Typy akcelerometrów

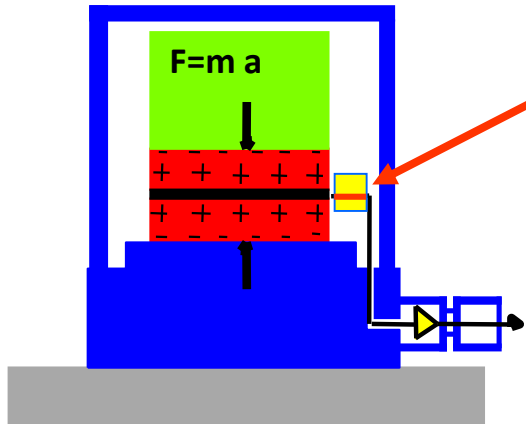
- Z punktu widzenia zastosowanej technologii, można wyróżnić trzy podstawowe typy przetworników wykorzystywanych w akcelerometrach:
- piezoelektryczne (piezoelectric PE)
- piezoporowe (piezoresistive PR)
- pojemnościowe (variable capacitance VR)
- Piezoelektryczne wykorzystują kryształy o właściwościach piezoelektrycznych – naturalne lub sztuczne, odpowiadające powstaniem ładunku elektrycznego na obciążenie mechaniczne
- Piezoporowe zmieniają swój opór elektryczny w wyniku obciążenia - jak tensometry
- Pojemnościowe oparte są na zmianie pojemności zbliżających się do siebie pod wpływem przyspieszenia płytek
- Dwa ostatnie typy występują szczególnie w mikroakcelerometrach (MicroElectroMechanical systems MEMS)

Akcelerometry bierny

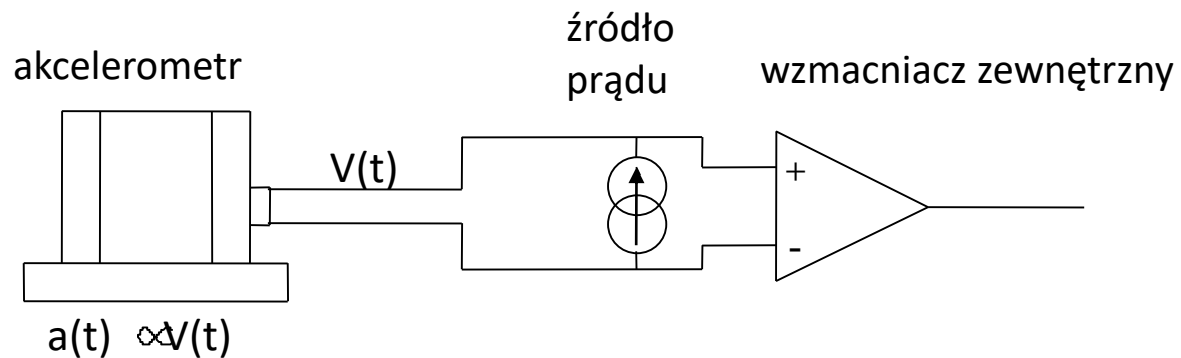
- sygnałem jest ładunek
- musi być podłączony do wzmacniacza ładunku
- dostępny w wersji ściskanej i ścinanej
- Wzmacniacz ładunku całkuje prąd na jego wejściu.
- Zmiana siły (przyspieszenia) działającej na element piezoelektryczny powoduje powstanie ładunku, który jest odbierany przez wzmacniacz.
- Przy stałej sile działającej na element (stałym przyspieszeniu) nie powstaje nowy ładunek, nie ma prądu...
 - całka z 0 jest stałą, układ całkujący pozostaje na osiągniętym przy zmianie przyspieszenia poziomie.
 - stąd mogą być mierzone zarówno stałe jak zmienne przyspieszenia.



Akcelerometry aktywne (IEPE)



- budowa podobna do biernych, ale wzmacniacz ładunku jest wbudowany
- zasilany prądem stałym
- Wbudowany wzmacniacz ładunku zmienia swoją impedancję w zależności od ładunku,
- Czujnik potrzebuje jedynie dwóch przewodów służących jednocześnie do zasilania prądem i wyprowadzenia napięciowego sygnału wyjściowego, który jest odbierany przez różnicowy wzmacniacz zewnętrzny





Czujniki drgań

Porównanie akcelerometrów aktywnych i biernych

Bierne

Zalety

- zmienny zakres sygnału (czułość)
- zakres temperatur zależny jedynie od materiału piezoelektrycznego (do 600°C)

Wady

- wrażliwe na zakłócenia
- konieczny zewnętrzny wzmacniacz ładunku

Aktywne

Zalety

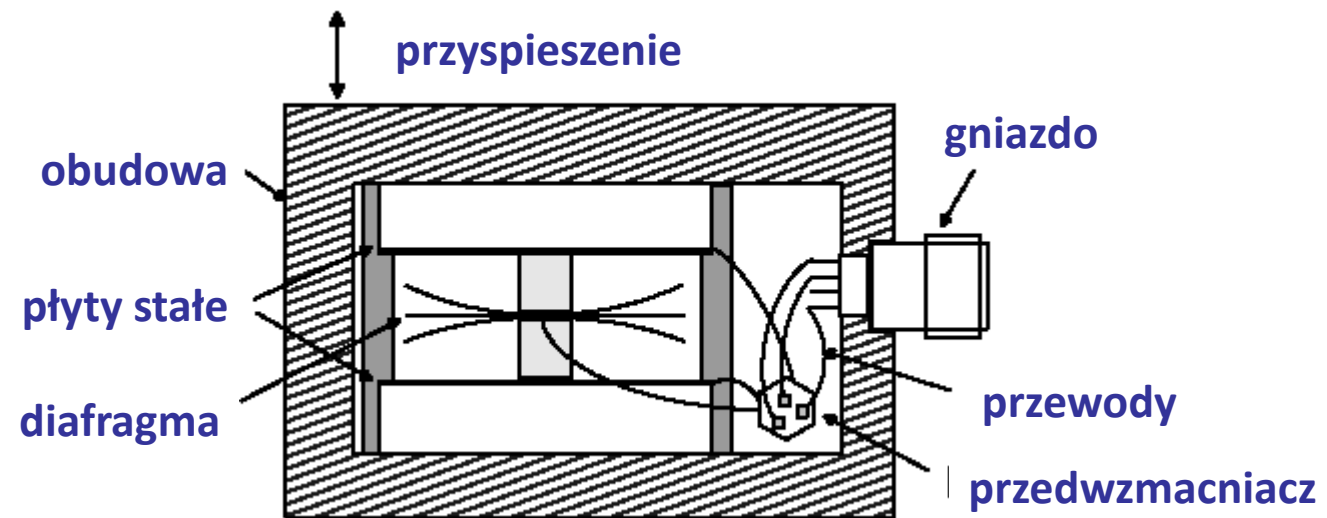
- prostsza obsługa sygnału wyjściowego
- mniejsze zakłócenia

Wady

- ustalony zakres sygnału (czułość)
- ograniczony zakres temperatur (do ok. 250°C)
- ograniczony zakres przyspieszeń
(przesterowanie wzmacniacza wewnętrznego)

Akcelerometr pojemnościowy

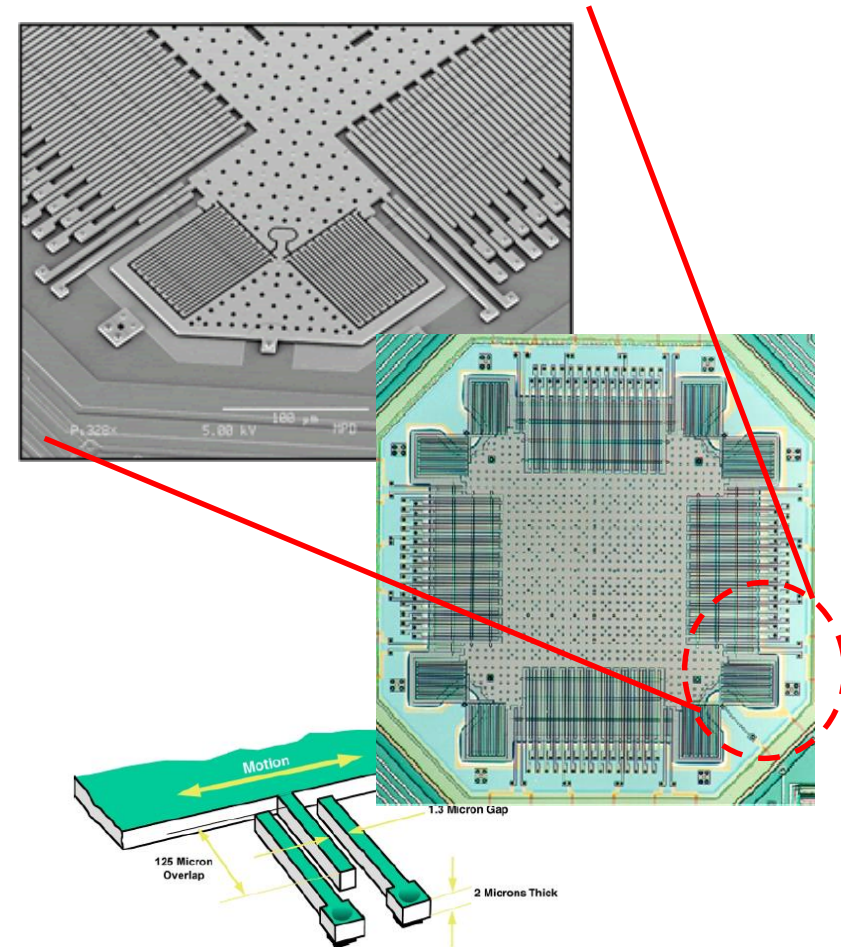
Szczególnie przydatne do badania małych przyspieszeń – małe amplitudy drgań, bardzo niskie częstotliwości, praktycznie od 0Hz



Czujniki drgań

Krzemowy mikroakcelerometr pojemnościowy

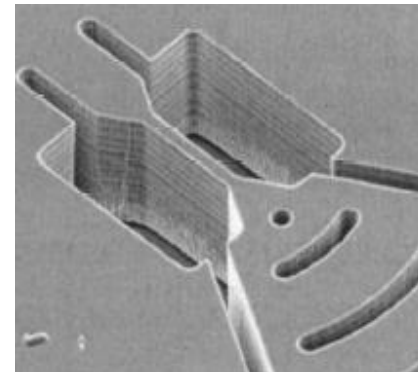
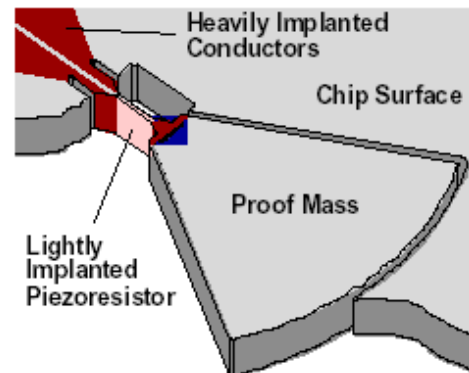
- Precyzyjny, dwukierunkowy akcelerometr pojemnościowy, z układem przygotowania sygnału (wyjście napięciowe), całość z monolitycznego krystalu krzemu
- Czułość 20 – 10000 mV/g
- Wysoka dokładność
- Wysoka stabilność termiczna
- Niska moc zasilania (mniej niż 700mA)
- 5 mm x 5 mm x 2 mm LCC (Leadless Ceramic Carrier)
- Niski koszt (\$5-\$14/ sztukę w 2004)



Courtesy of Analog Devices, Inc.

Krzemowy mikroakcelerometr oporowy

- element masowy (proof mass) jest przymocowany do krzemowego gniazda za pośrednictwem krótkiego, podatnego łącznika
- element pokryty jest cienką warstwą materiału piezo-oporowego
- naprężenia w tej warstewce wynikające z uginania się łącznika powodują powstanie ładunków elektrycznych



Courtesy of JP Lynch, U Mich.

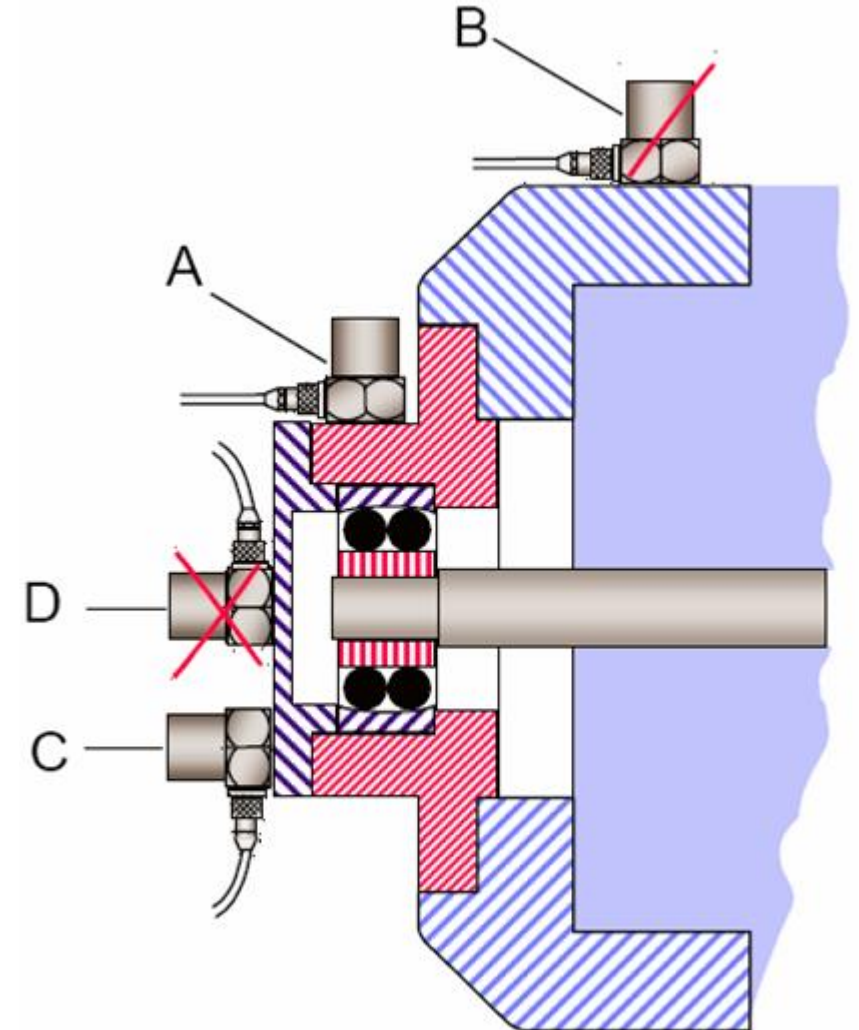
Czujniki drgań

Miejsce zamocowania akceleratoru

- Akcelerator powinien być mocowany tak, by oś jego czułości pokrywała się z kierunkiem mierzonych drgań
- czułość skrośna jest zwykle niewielka, może być pominięta
- Akcelerator A mierzy głównie drgania łożyska, dominujące nad drganiami pozostałych części maszyny
- Akcelerator B mierzy drgania łożyska zniekształcone przez połączenia oraz zakłócone przez inne drgania maszyny
- Akcelerator C mierzy drgania wzdłużne łożyska lepiej, niż akcelerator D

Bardzo trudno jest sformułować ogólne zasady rozmieszczania akceleratorów, jako że drgania układów mechanicznych są bardzo złożone.

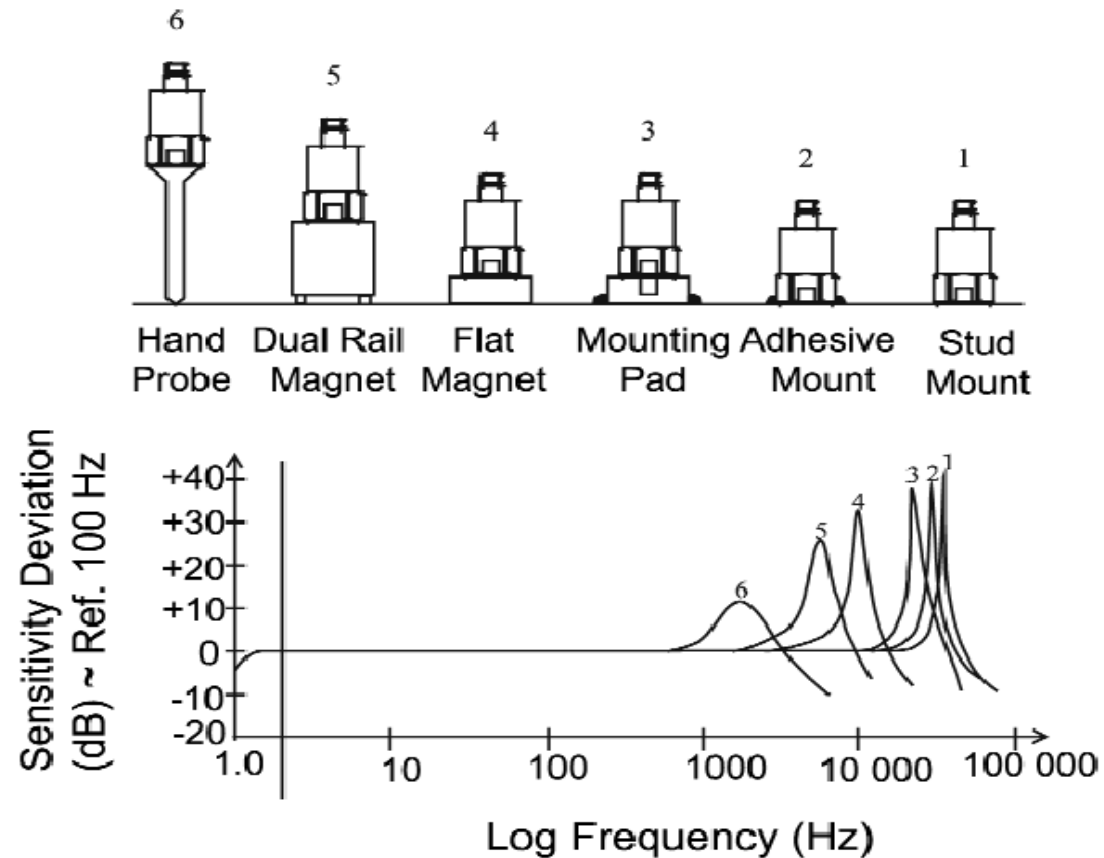
Akcelerometry umieszczone nawet bardzo blisko mogą wskazywać bardzo różne poziomy drgań, zwłaszcza w wyższych pasmach częstotliwości





Czujniki drgań

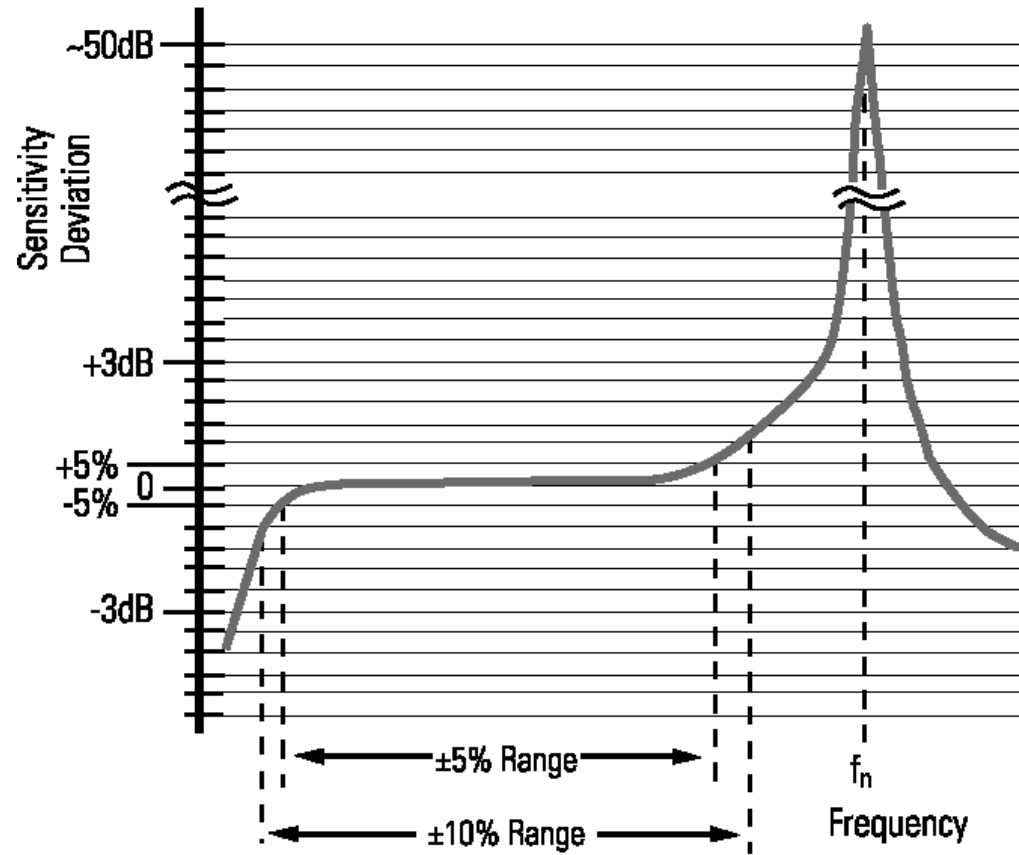
Wpływ sposobu mocowania na częstotliwość rezonansową akceleratoru





Czujniki drgań

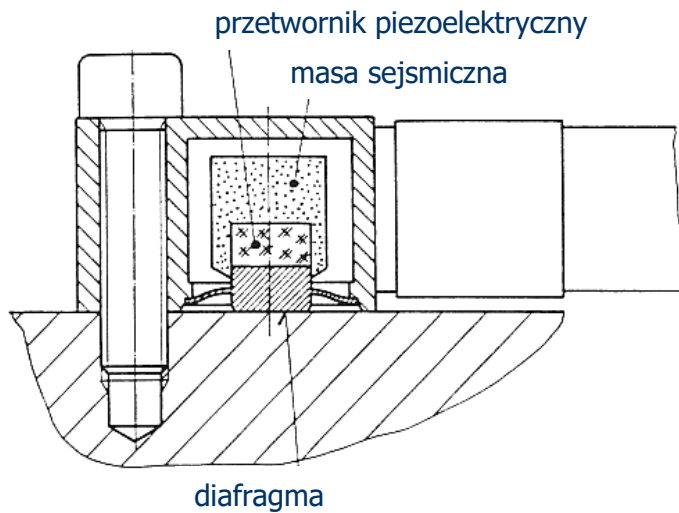
Pasmo użyteczne akcelerometru



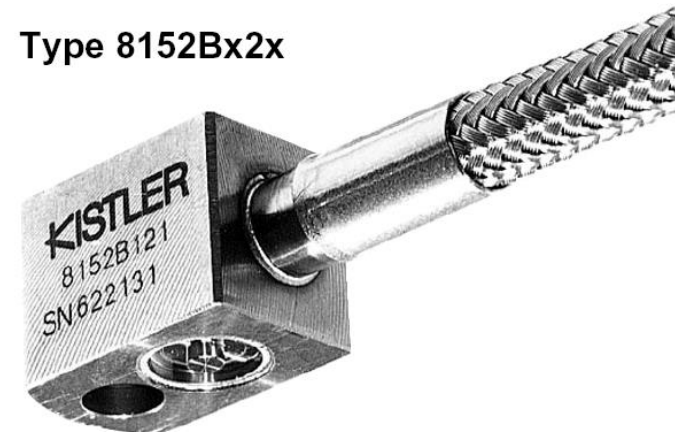
Czujniki drgań

Emisja akustyczna – definicja

Emisja akustyczna to zanikająca fala sprężysta, będąca efektem gwałtownego wyzwolenia energii nagromadzonej w materiale przez propagujące się mikro uszkodzenia (wzrost mikro szczelin, ruch grup dyslokacji) w materiale.



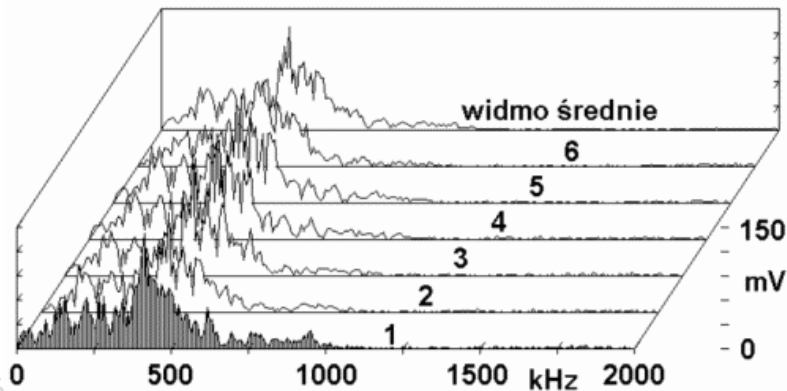
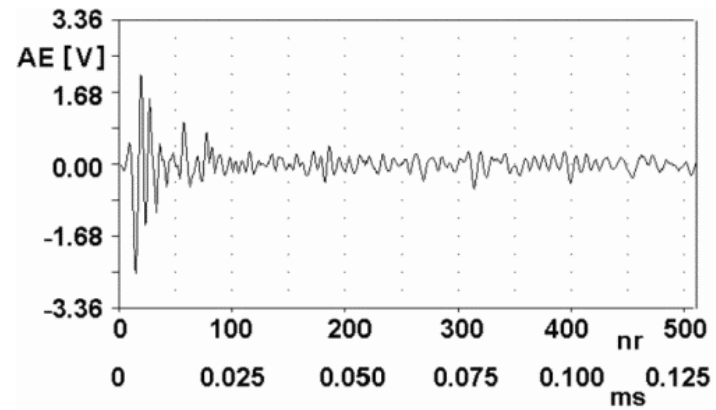
Type 8152Bx2x



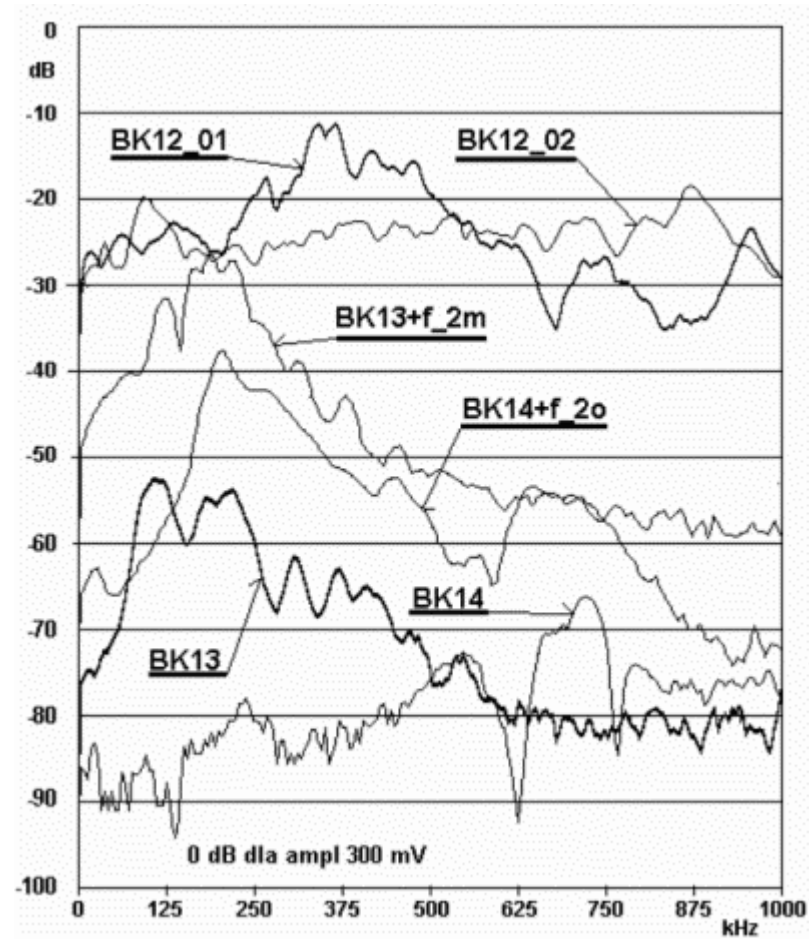


Czujniki drgań

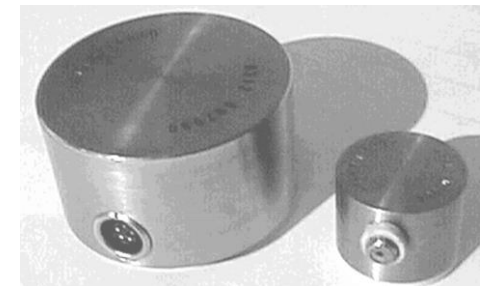
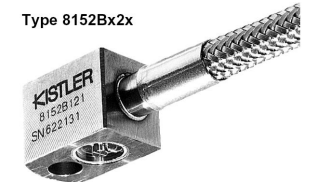
Badanie charakterystyk czujników AE



Źródło: „Sensoryka” K. Jędraszak



Type 8152Bx2x



12. Przykładowe pytania

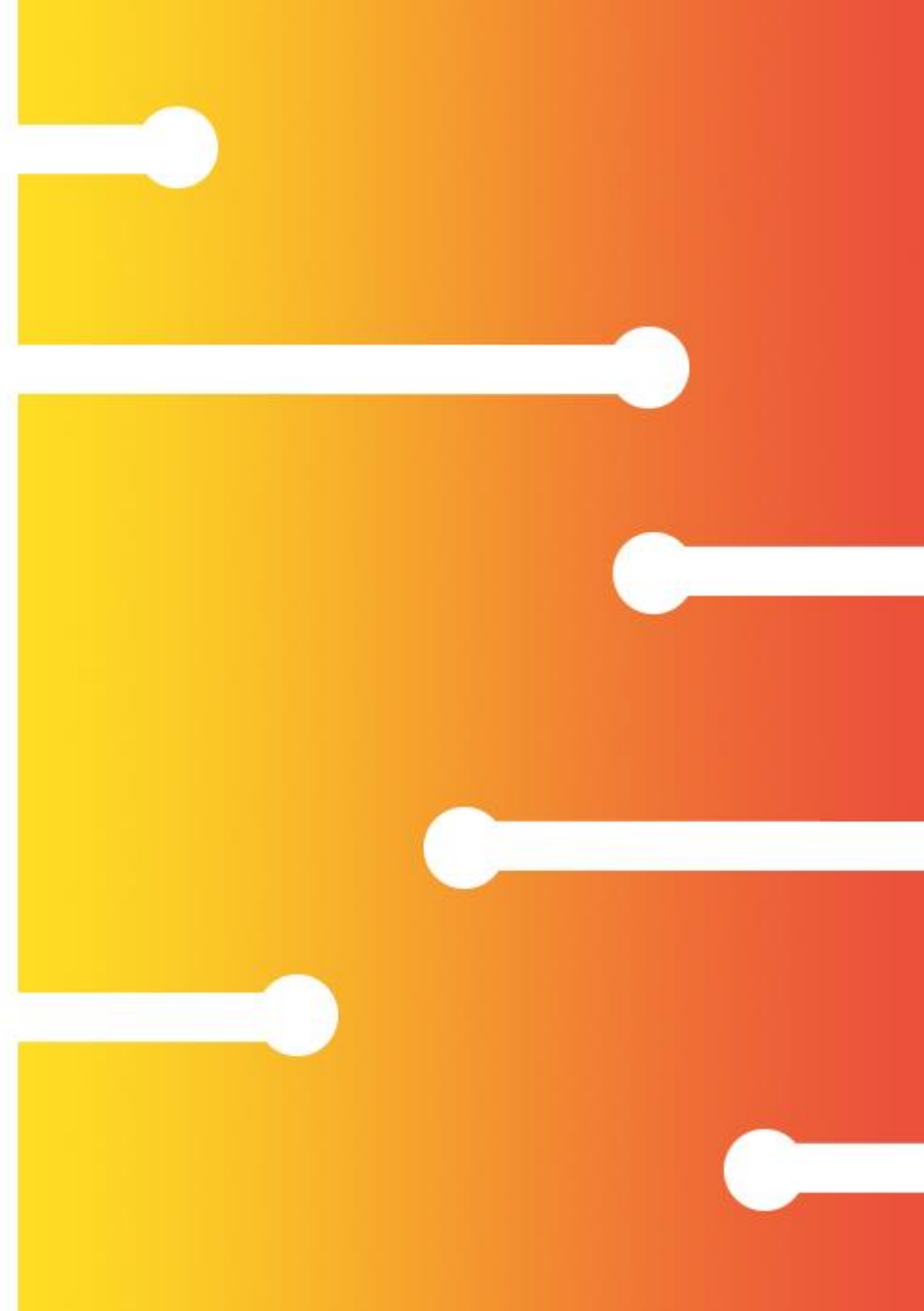


1. Jakie zjawiska fizyczne towarzyszą drganiom?
2. Jakich przetworników używa się do budowy czujników drgań?
3. Co to jest emisja akustyczna?



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

13. Czujniki sił i momentów





Czujniki sił

Tensometry elektrooporowe

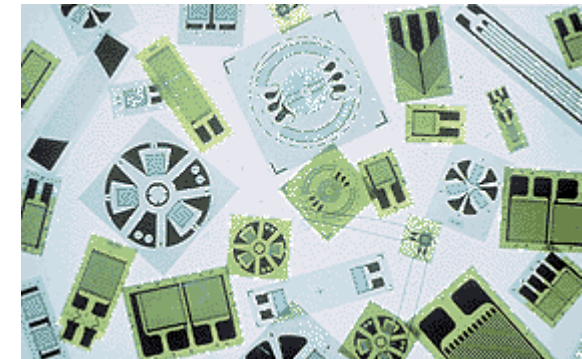
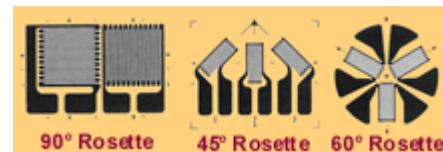
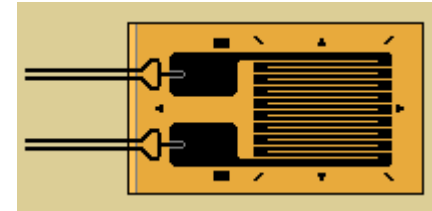
Tensometr to metalowy meander na elastycznym podłożu

Przykleja się go na powierzchni deformowanego obiektu

Dostępny handlowo w wielu geometriach

Wykorzystywane do:

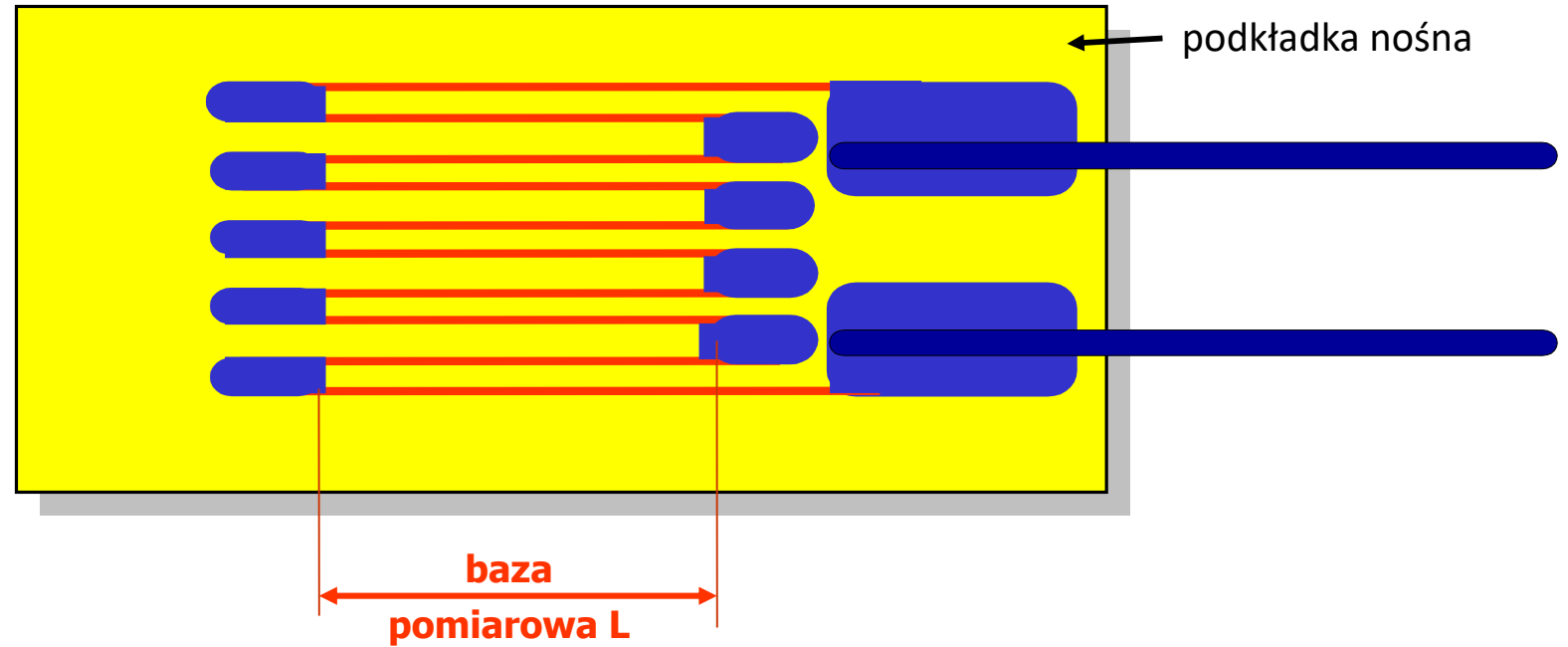
- analizy odkształceń
- samolotów
- samochodów
- maszyn
- pomiarów ciężaru (wagi)
- pomiaru siły





Czujniki sił

Tensometry elektrooporowe



Opór elektryczny tensometru: $R = \rho \frac{L}{A}$

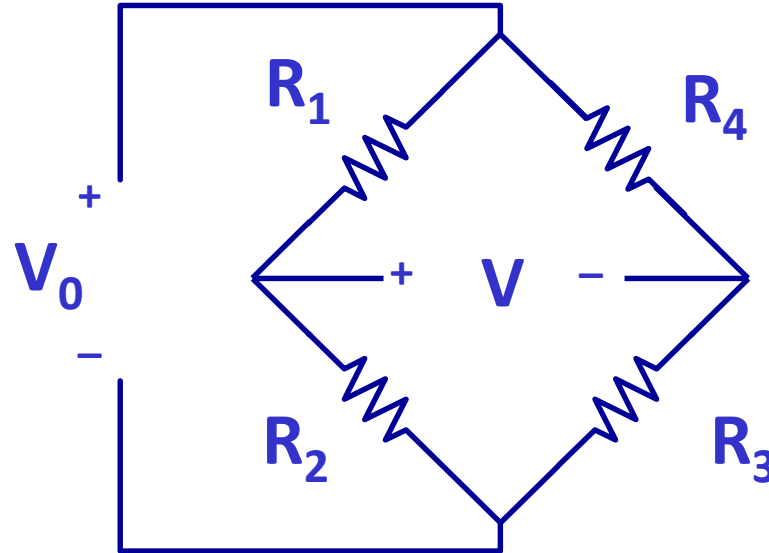
ρ – opór właściwy

L – długość czynna (baza pomiarowa)

A – pole przekroju poprzecznego drutu



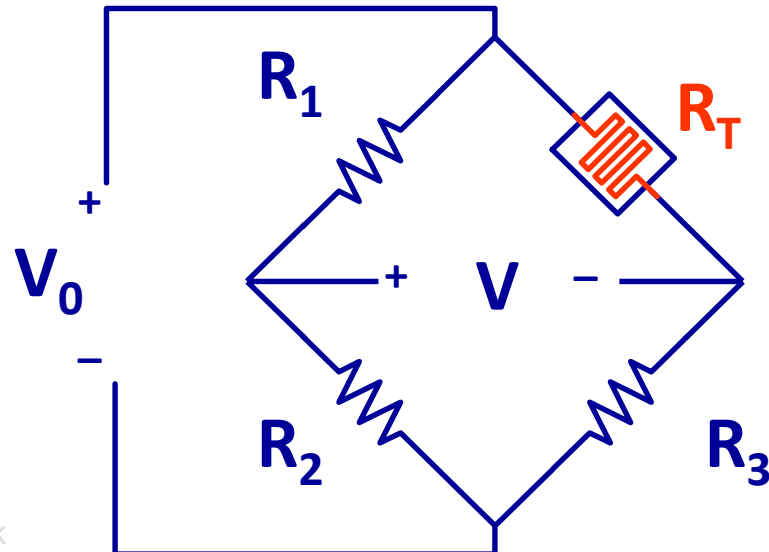
Tensometry elektrooporowe – Mostek Wheatstone'a



$$V = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] V_0$$

Warunek równowagi ($V=0$):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$



Niech $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ oraz niech 4-ty opornik będzie tensometrem R_T , którego opór zmienia się w wyniku wydłużenia na $R_T + \Delta R_T$

$$dV = \frac{V}{V_0} \frac{R_T}{2 R_T + \Delta R_T} \frac{1}{2}$$



Tensometry elektrooporowe – Mostek Wheatstone'a

Przyczyny błędów pomiarów

Związane z temperaturą

- Nie skompensowany wpływ temperatury
- Silne samo nagrzewanie mostka
- Złe połączenie przewodów

Mechaniczne

- Złe przyklejenie
- Złe usytuowanie względem kierunków wrażliwych

Unikanie problemów z samonagrzewaniem

Używaj minimalnego, wystarczającego napięcia zasilającego. Wskazówka:

stal – 0.3 - 0.8 W / cm²

aluminium – 0.8 - 1.6 W / cm²

Ustal to doświadczalnie

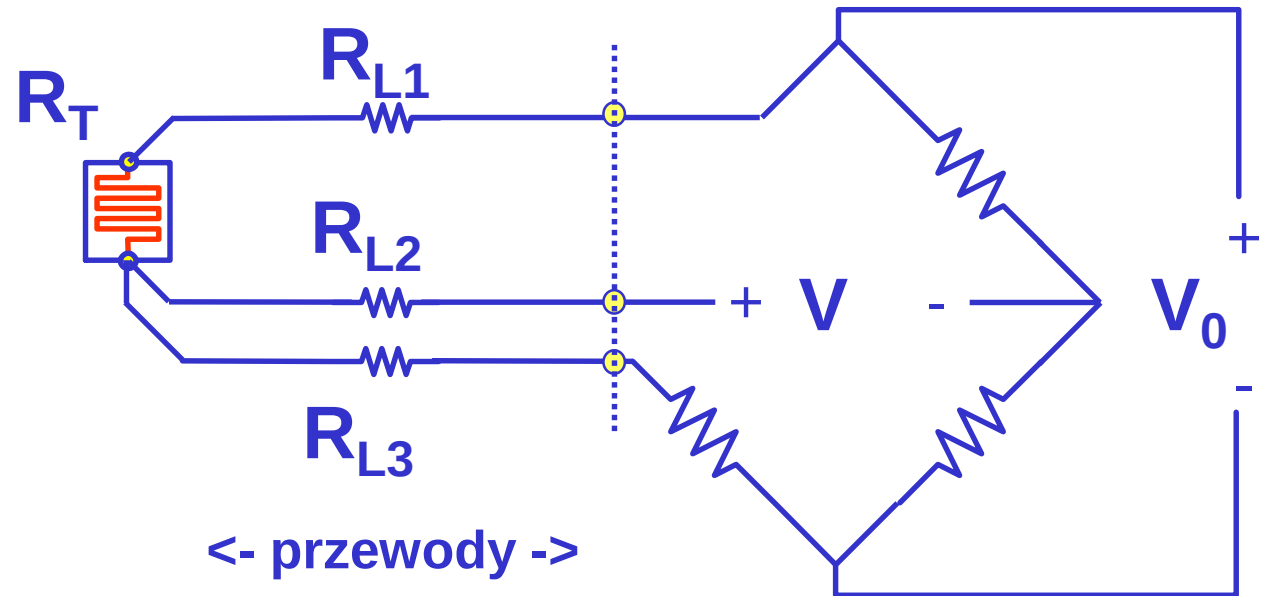
Większy tensometr = mniej ciepła

Stosuj tensometry 350 W, a nie 120 W

Tensometry elektrooporowe

Właściwe połączenie przewodów

Zastosowanie trzech, zamiast dwóch przewodów, pozwala na uniknięcie wpływu zmian temperatury przewodów doprowadzających.



Mocowanie tensometrów:

- Przygotowanie powierzchni
- Cyjanoakryl (super glue) – szybki i łatwy do zadań krótkoterminowych
- Klej epoksydowy (dwu składnikowy) – potrzebne odczekanie kilku – kilkunastu godzin
- W trudnych warunkach tensometry zamocowane na cienkich paskach stali, przylutowanych do badanego elementu



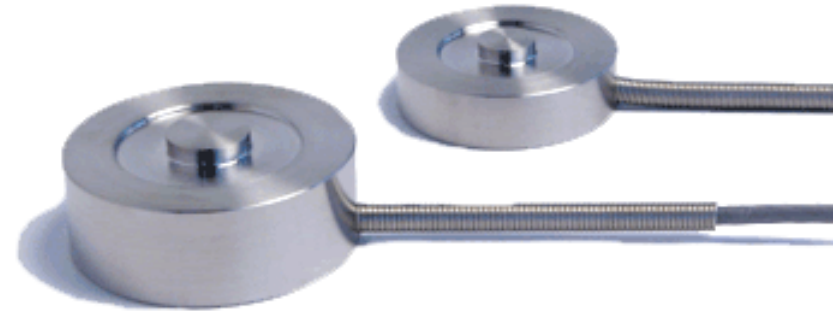
PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Tensometry elektrooporowe

Przemysłowe tensometryczne czujniki sił



S-kształtne



okrągłe



belkowe



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Tensometryczne czujniki momentu skręcającego

Tensometryczne czujniki momentu skręcającego

obrotowe



nieruchome

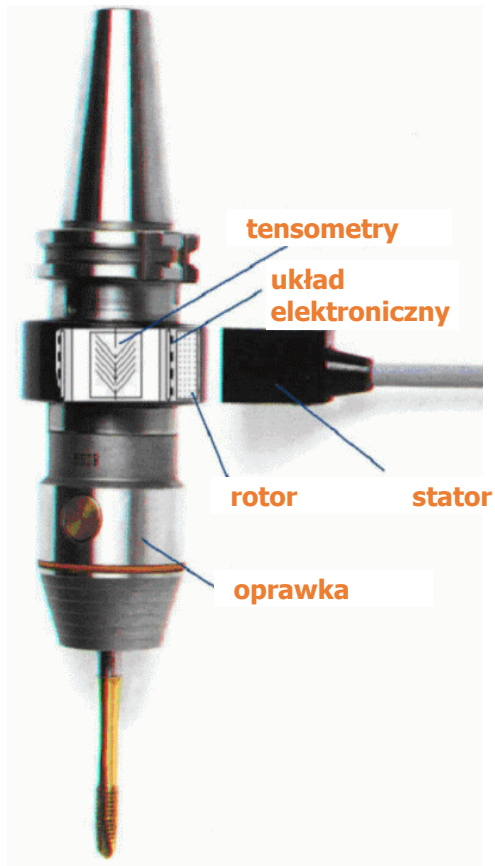




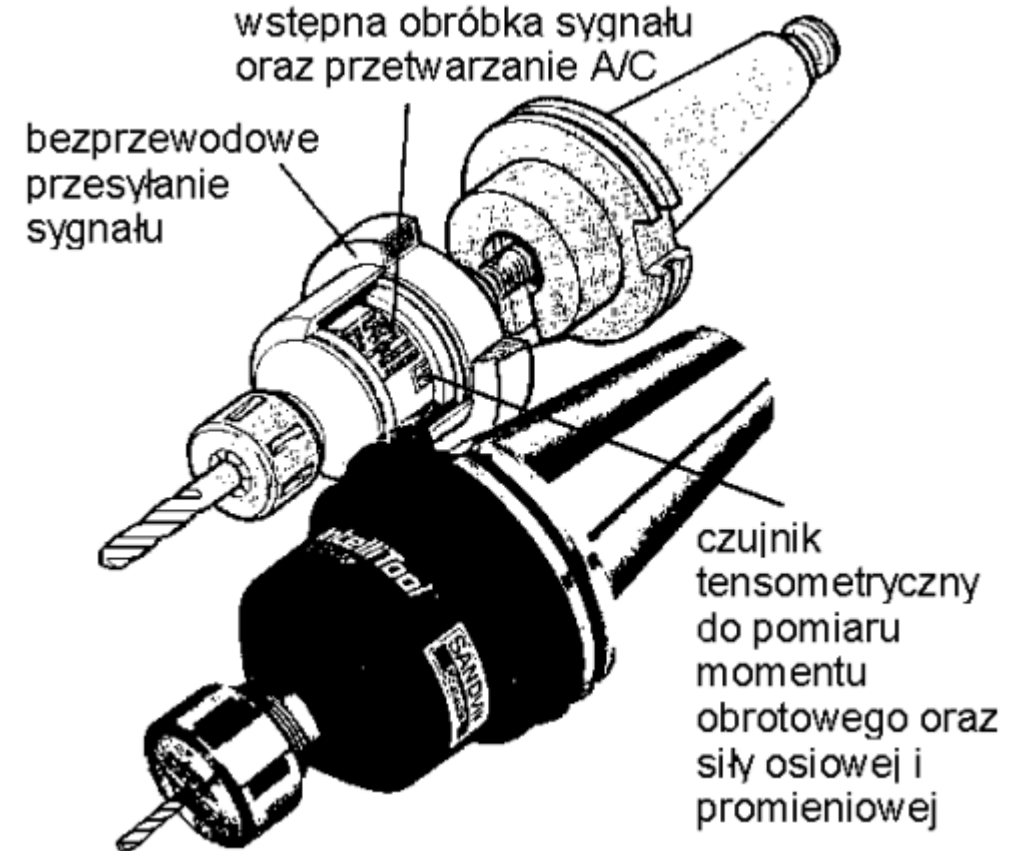
PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Tensometryczne czujniki momentu skręcającego

Tensometryczne czujniki momentu i siły osiowej



AccuTorque™ Shown
in Milling Application

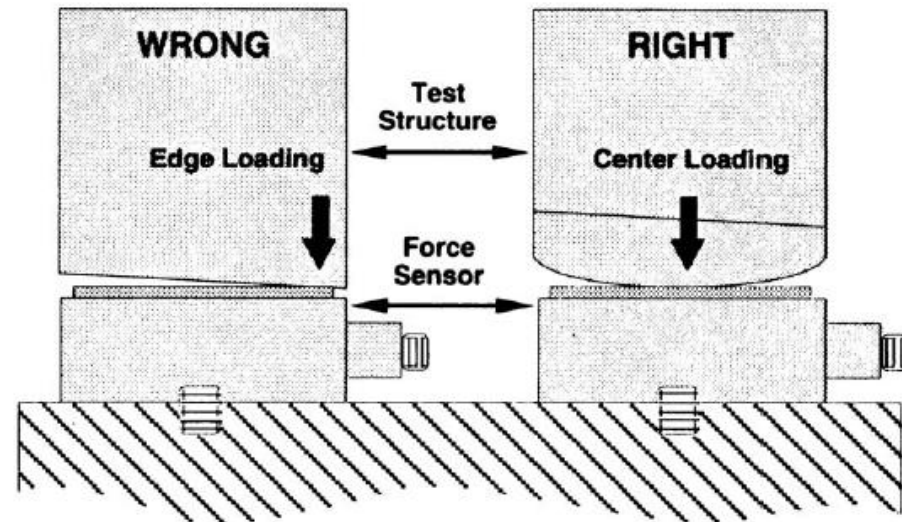
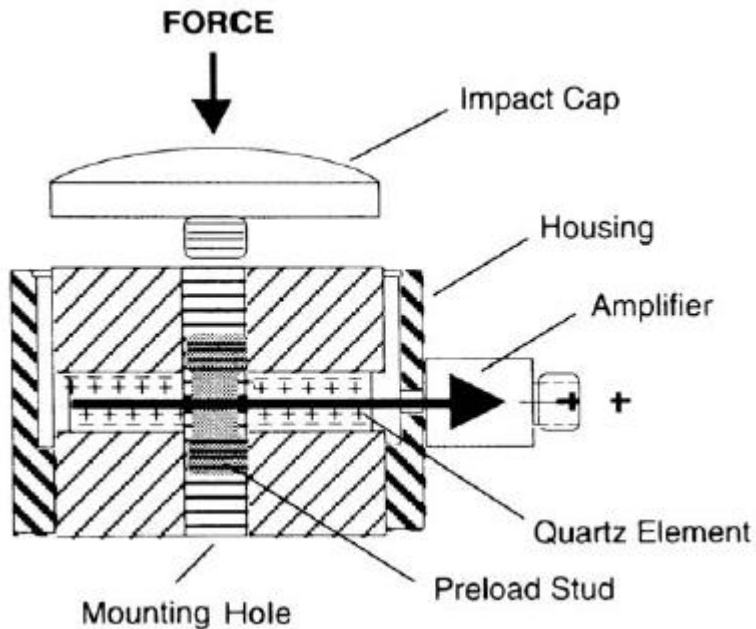




Piezoelektryczne czujniki sił

Dobrze przystosowane do pomiarów dynamicznych – zmiennych sił, uderzeń

Mała bezładność (niski czas odpowiedzi), wysoka sztywność, szeroki zakres pomiarowy, zdolność do pomiaru obciążeń quasi statycznych



Piezoelektryczne czujniki sił

Siłomierze są używane do mierzenia sił oddziaływujących między narzędziem a przedmiotem obrabianym w czasie skrawania

Są dwa różne typy siłomierzy:

Siłomierz stacjonarny	Siłomierz obrotowy
	

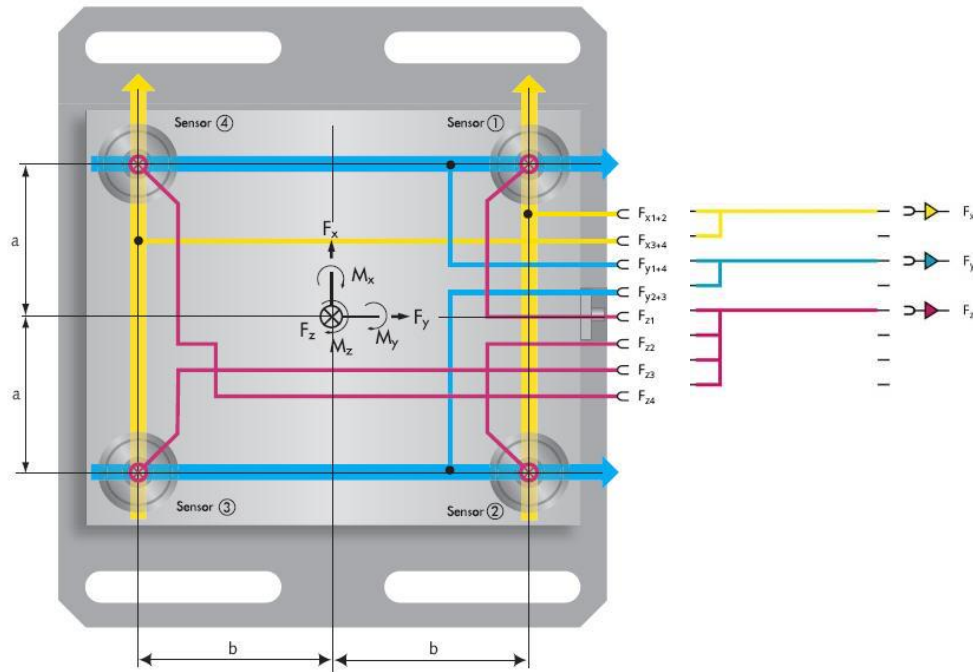


PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Piezoelektryczne czujniki sił

Zalety siłomierzy piezoelektrycznych

- Szeroki zakres pomiarowy
- Wysoka sztywność → wysoka częstota rezonansowa
- Szerokie pasmo przenoszenia (możliwość pomiaru dynamicznych zmian sił o wysokich częstotliwościach)
- Małe sprzężenia skrośne (<1%)
- Zwarta budowa
- Nieograniczona trwałość
- Odporne na działanie chłodziwa
- Prosta obsługa

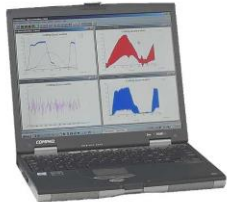




PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Piezoelektryczne czujniki sił

Typowy tor pomiarowy siłomierzy stacjonarnych

Dynamometer	Cable (high-impedance)	Charge Amp.	Cable (low-impedance)	DAQ-System	DynoWare
					
9129AA or 9255B or ...	1687B5 or 1677A5	5070A... or 5080A...	1200A27 and 1700A111A2	5697A... (USB-Connection Cable to PC is provided in package)	PC or Notebook with DynoWare (DynoWare is provided in package)



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Piezoelektryczne czujniki sił

Siłomierze laboratoryjne do pomiaru sił skrawania



Type 9256C2





PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

Piezoelektryczne czujniki sił

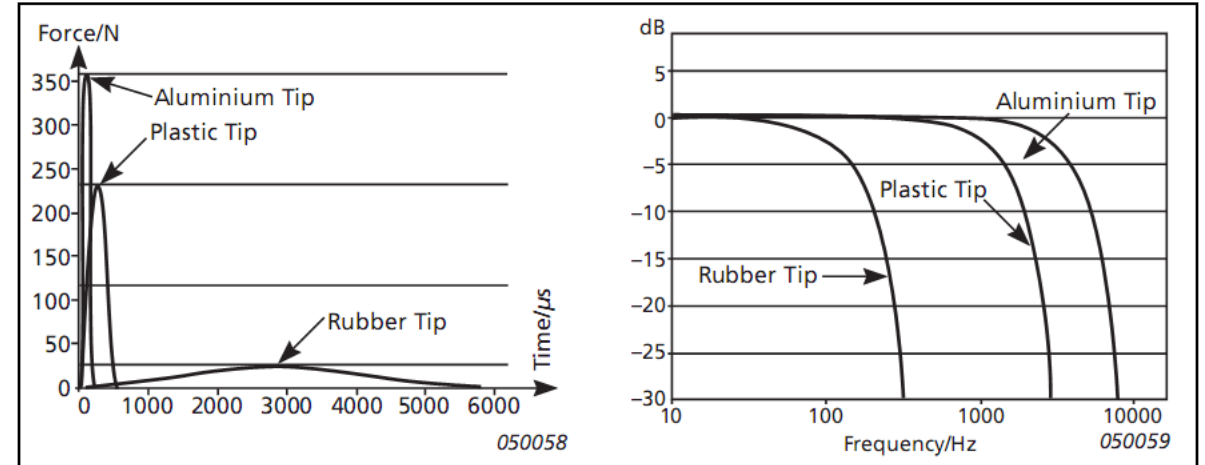
Młotek modalny Brüel & Kjær 8206-03



Specifications – Impact Hammers Types 8206, 8206-001, 8206-002 and 8206-003

	Units	8206	8206-001	8206-002	8206-003
Dynamic Characteristics					
Voltage Sensitivity (typical)	mV/N (mV/lbf)	22.7 (100)	11.4 (50)	2.27 (10)	1.14 (5)
Full Scale Force Range Compression	N (lbf)	220 (50)	445 (100)	2200 (500)	4448 (1000)
Linear Error at Full Scale	% full scale	<±1			
Electrical Characteristics					
Full Scale Output Voltage	V	+5			
DC Output Bias Voltage	V	10 ±1			
Output Impedance	Ω	<100			
Power Supply	mA	2 to 20			
Voltage Range	V DC	+18 to +30			
Environmental Characteristics					
Temperature Range	°C (°F)	-73 to +60 (-100 to +140)			
Max. Force Compression	N (lbf)	4448 (1000)			8896 (2000)
Physical Characteristics					
Dimensions		See outline drawing			
Overall Length	mm (in.)	221.5 (8.72)			
Effective Seismic Mass	gram (oz.)	100 (3.53)			
Sensor Housing Material		Stainless steel (17-4 PH)			
Handle Material		Fibreglass			
Connector		BNC			

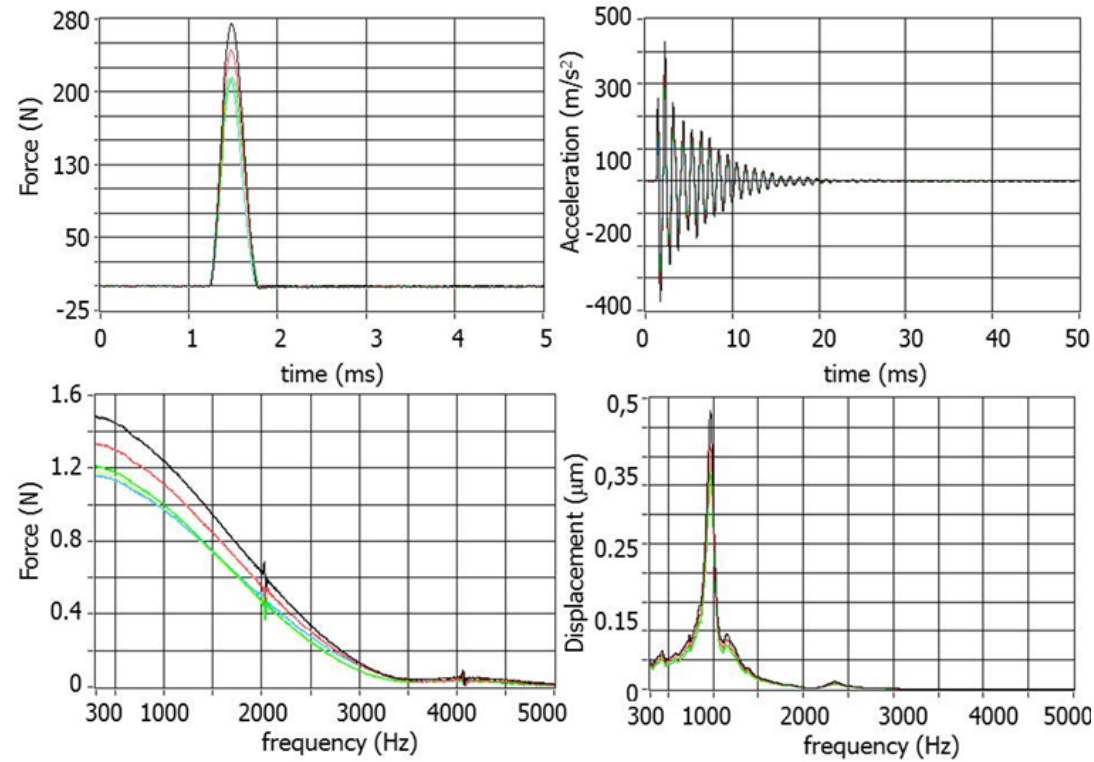
All values are typical at 25°C (77°F) unless measurement uncertainty is specified



Piezoelektryczne czujniki sił

Młotek modalny Brüel & Kjær 8206-03

Przebiegi czasowe i ich widma w teście impulsowym



13. Przykładowe pytania



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0



1. Zasada działania tensometru.
2. Budowa siłomierza tensometrycznego.
3. Zalety siłomierzy piezoelektrycznych.



PLATFORMA PRZEMYSŁU 4.0

14. Czujniki temperatury

Co to jest temperatura?

Subiektywnie temperatura obiektu to odczucie ciepła lub chłodu odczuwana przy jego dotknięciu

Obiektywnie temperatura to miara energii kinetycznej cząsteczek materii, wyrażona w stopniach umownej skali

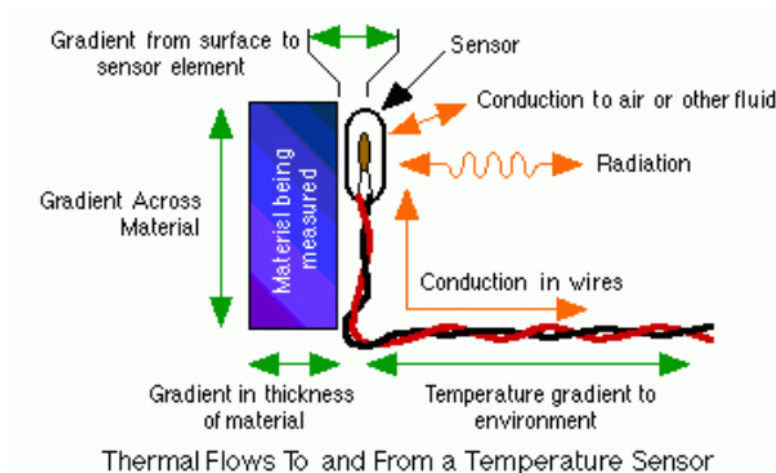
Trudności związane z pomiarem temperatury

Pomiary temperatury mogą być bardzo proste lub bardzo złożone, zależnie od zastosowania i wymagań.

Osiągnięcie dokładności lepszej niż 0.2°C wymaga szczególnej staranności.

Źródłami błędów mogą być:

- gradient temperatury
- nieliniowości
- zły kontakt termiczny
- dryft kalibracji
- energia promieniowania
- samo-nagrzewanie

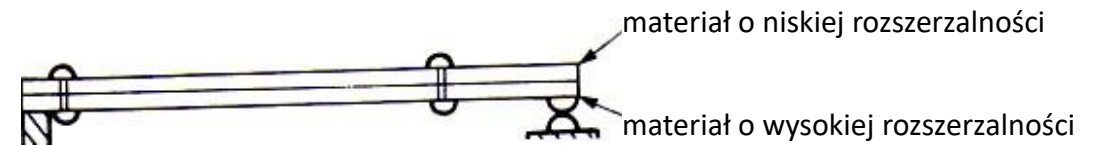


Czujniki temperatury

Klasyczne czujniki temperatury

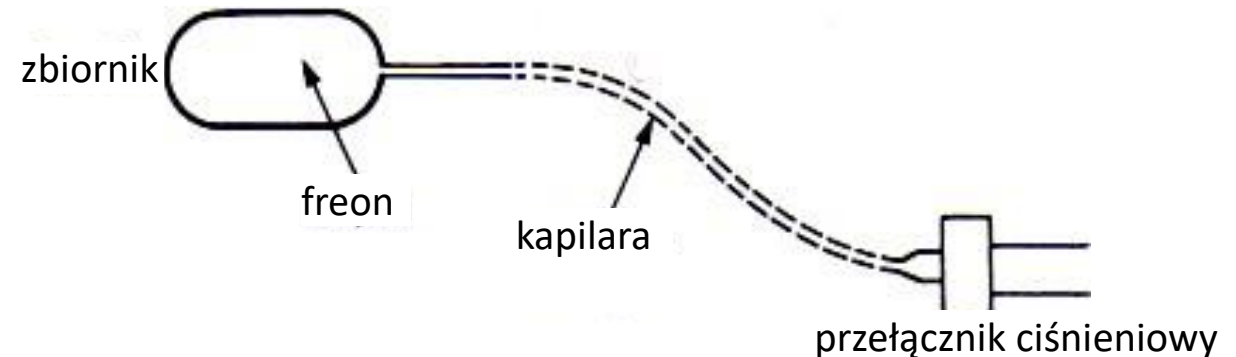
- Czujnik bimetaliczny - to klasyczna metoda oparta na rozszerzalności cieplnej metali $\delta l / l = 1 \dots 2 \cdot 10^{-5} / K$

- Wciąż używana w prostych termometrach i termostatach
- Ma dużą histerezę
- Stosuje się w MEMS
- Istnieje wiele niechcianych połączeń bimetalicznych, powodujących naprężenia termiczne



- Czujniki oparte na rozszerzalności cieczy lub gazów

- Konwencjonalny termometr rtęciowy lub alkoholowy
- Termometr gazowy jako przełącznik w starszych lodówkach



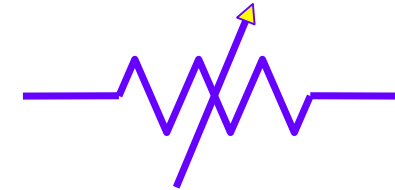
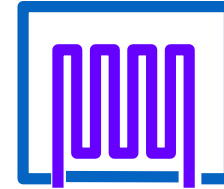


Czujniki temperatury

Termorezystory (RTD - Resistance Temperature Detector)

- Opór elektryczny metalu zależy od jego temperatury
- Opór metalu zależy od jego przekroju, długości i oporu właściwego:

$$R = \frac{L}{A} \rho$$



- Termorezystory wykonuje się z materiałów, których opór właściwy rośnie liniowo w funkcji temperatury (w ograniczonym zakresie temperatur):

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

gdzie α (1/°C) – współczynnik temperaturowy

Czujniki temperatury

Termorezystory (RTD - Resistance Temperature Detector)

Materiał na RTD powinien:

- być plastyczny, (cienkie druty)
- mieć stabilną i powtarzalną charakterystykę temperatura – opór
- być odporny na korozję
- powinien być niedrogi



Stosowane są: złoto, srebro, miedź, wolfram, nikiel, najczęściej platyna (Pt) – metal szlachetny, o wysokim oporze właściwym, liniowo zależnym od temperatury



Czujniki temperatury

Termorezystory (RTD - Resistance Temperature Detector)

mat.	zakres temperatur	opis
Pt	-200°C to 850°C	Najlepsza dokładność i stabilność, liniowa charakterystyka, najszerszy zakres temperatur, duża oporność: dostępne w wersjach 100Ω 200Ω 500Ω 1000Ω przy 0°C (Pt100-Pt1000); niewielka ilość potrzebna na czujnik. Stosowany najczęściej w laboratoriach i przemyśle.
Ni	-40°C to 300°C	Najwyższy współczynnik temperaturowy (najwyższy sygnał), gorsza stabilność niż Pt. Po przekroczeniu punktu Curie (352°C) nieprzewidywalna histereza. Spiralny przetwornik. Tani – stosowany klimatyzacja, sprzęt AGD
Cu	-73°C to 149°C	Najbardziej liniowa charakterystyka, lecz mały zakres temperatur. Bardzo niska oporność – potrzebny długi drut do stworzenia przetwornika (spiralą lub trawiona folia). Przetworniki miedziane rzadko. Stosowane, gdy uzwojenie i tak istnieje np. w silnikach i generatorach
Ni/Fe (70/30)	-46°C to 343°C	Wysoki współczynnik temperaturowy, zmienny od wytopu do wytopu (stop!). Przetwornik: spiralą lub trawiona folia. Jeszcze tańsze niż Ni



Czujniki temperatury

Termorezystory (RTD - Resistance Temperature Detector)

Zalety:

- Dokładne, powtarzalne, stabilne
- Szeroki zakres temperatur
- Silny sygnał wyjściowy
- Niewielki koszt okablowania
- Uśrednianie temperatury z pewnego obszaru
- Zunifikowane między dostawcami
- Szeroki asortyment obudów

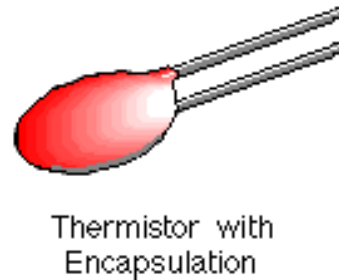
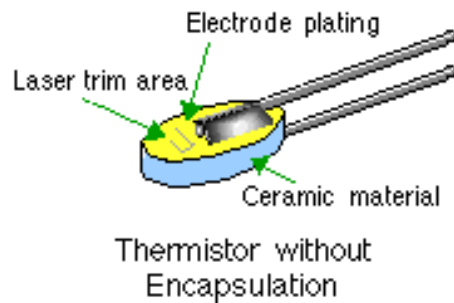
Wady:

- Drogie (zwłaszcza platynowe)
- Wymagają zasilania
- Mały opór,
- niewielka czułość ($0.4 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$)
- prądy pasożytnicze
- połączenie czterema kablami
- Samo-nagrzewanie
- Duży czas odpowiedzi

Czujniki temperatury

Termistor (Thermally sensitive resistor):

- półprzewodnik wykonany ze sprasowanych, spieczonych tlenków metali,
 - w postaci małego koralika,
 - dysku
 - lub w innym kształcie,
- pokryty tworzywem lub szkłem.
- Podobnie jak w termorezystorach, ich opór zależy od temperatury.





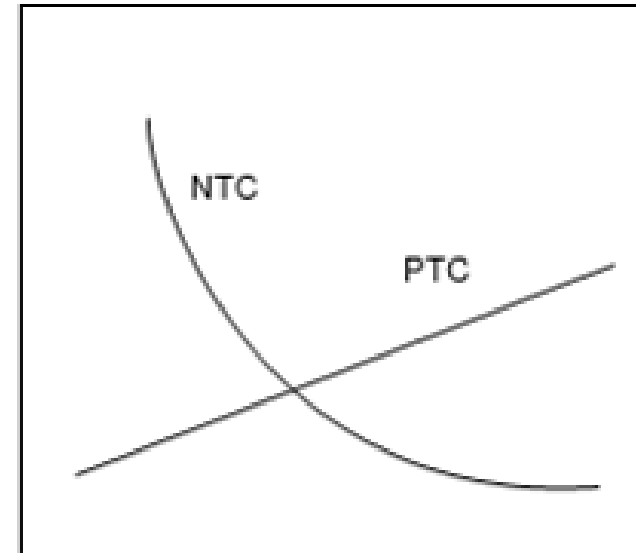
Czujniki temperatury

Termistor (Thermally sensitive resistor):

Są dwa rodzaje termistorów:

- o ujemnym współczynniku temperaturowym (*NTC – negative temperature coefficient*), których opór maleje z temperaturą silnie nieliniowo
- o dodatnim współczynniku temperaturowym (*PTC – positive temperature coefficient*), których opór rośnie proporcjonalnie do temperatury

opór



temperatura



Czujniki temperatury

Termistor (Thermally sensitive resistor)

Zalety:

- Niski koszt (bez obudowy)
- Wysoki opór
 - opór przewodów ma pomijalny wpływ
 - wystarczy połączenie dwuprzewodowe
- Wysoka dokładność i stabilność (0.1 °C)
- Wysoka czułość
- Niewielkie wymiary
 - niska masa termiczna
 - pomiary punktowe
 - niski czas odpowiedzi

Wady:

- Nieliniowość (zwłaszcza NTC)
- Słaba zamiennieść między producentami (ostatnio lepsza)
- Niewielkie natężenie prądu zasilającego (wysoki opór = silne samo-nagrzewanie)
- Niewielki zakres ze względu na temperaturę topnienia lutu (współcześnie pojawiają się luty wysokotemperaturowe)

Termistor (Thermally sensitive resistor)

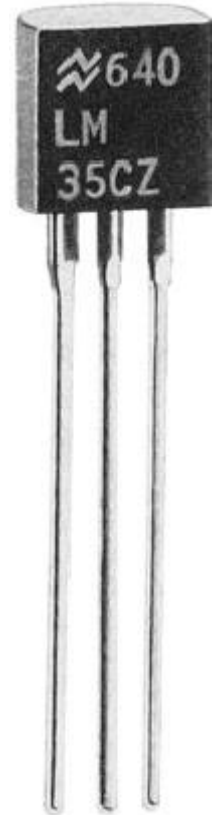
Parametr	Wartości
opór przy 25°C	2252Ω (dostępne 100 do 1M)
zakres pomiarowy	typowo -80 do +120°C (max 250°C)
zamiennność (tolerancja)	±0.1 lub ±0.2°C
stabilność przez 12 miesięcy	<0.02°C przy 25 °C, <0.25 °C przy 100 °C
stała czasowa	<1.0 s. w oleju, <60s w stojącym powietrzu
samonagrzewanie	0.13 °C/mW w oleju, 1,0 °C/mW w powietrzu
wymiary	koralik eliptyczny 2.5mm x 4mm



Czujniki temperatury

Termometry półprzewodnikowe (IC – integrated circuit)

- Wytwarzane jak inne obwody scalone (mikroprocesory)
- Dostępne u różnych dostawców – zupełna dowolność, brak unifikacji.
- Liniowe wyjście (linearyzacja wewnątrz), małe wymiary, ograniczony zakres temperatur (-40÷~150°C - krzem)
- Dostępne z wyjściem napięciowym, prądowym lub cyfrowym
- Tanie, ale delikatne. Najchętniej stosowane do pomiaru temperatury urządzeń elektronicznych, wewnątrz nich.





Termopara

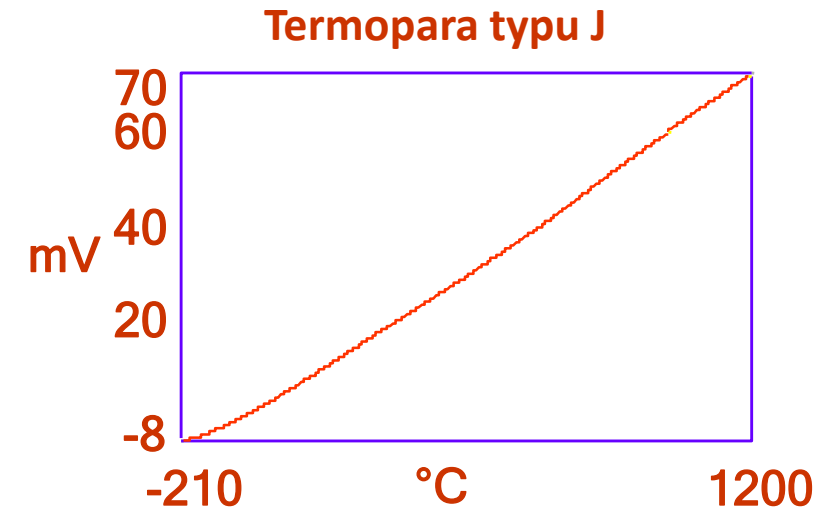
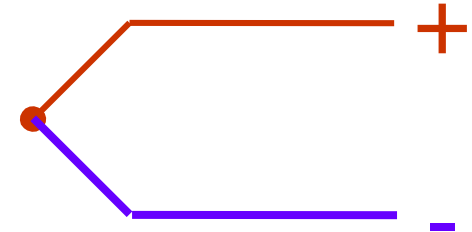
Termopary

Zjawisko termoelektryczne (Seebecka) - polegające na przepływie prądu elektrycznego w obwodzie utworzonym z dwóch różnych metali albo półprzewodników, których temperatury styków są różne.

- Najczęściej stosowany czujnik temperatur.
- Połączenie dwóch różnych metali.
- Siła elektromotoryczna E rośnie (nieliniowo) ze wzrostem temperatury gorących końców:

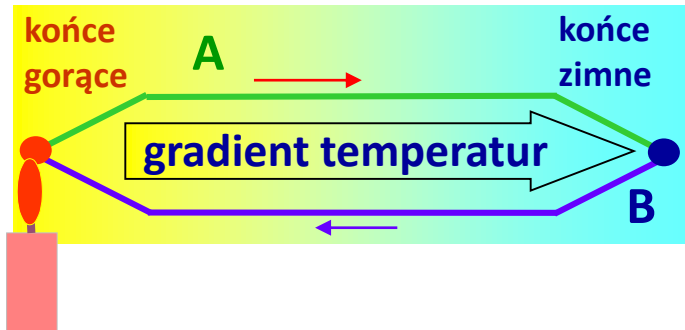
$$E = a + b\Delta T + c\Delta T^2$$

- Współczynnik Seebeck'a:
 $b = -7...+5 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ dla metali
 $b = -50...+50$ dla Si
- Wysoka dokładność rzędu $1,5^\circ\text{C}$

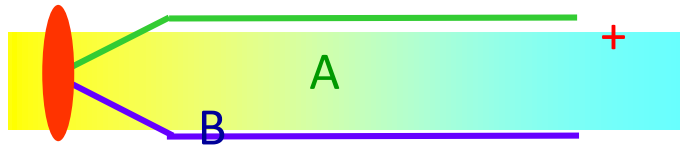




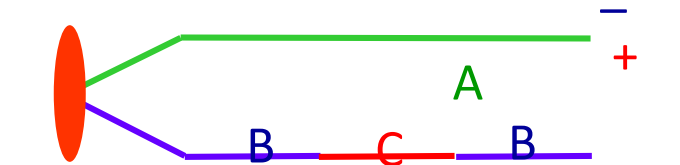
Termopara



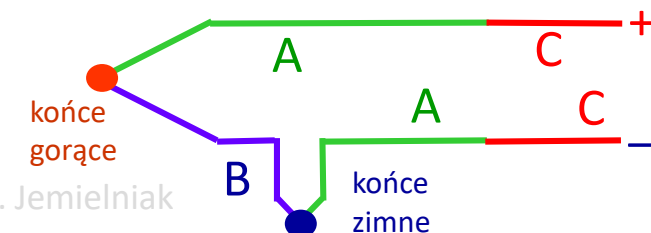
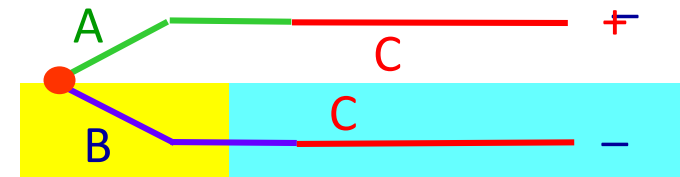
W przewodach wykonanych z różnych metali, (A i B) połączonych końcami umieszczonymi w różnych temperaturach, powstaje prąd proporcjonalny do różnicy temperatur



Napięcie (siłę elektromotoryczną) można zmierzyć wstawiając miernik między zimnymi końcami



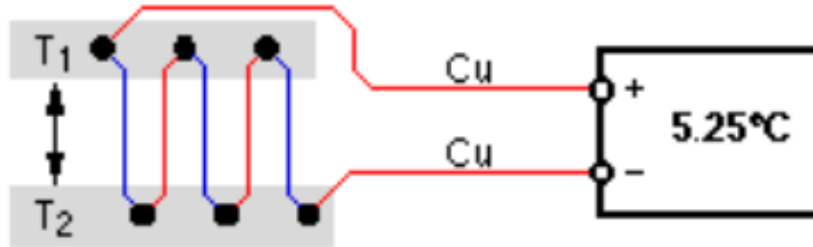
W pętłę termopary można wstawić trzeci metal bez wpływu na napięcie wyjściowe, pod warunkiem, że oba końce są w tej samej temperaturze. Materiał C to przewody doprowadzające



Można też tak

Termopara

- Termopara szczególnie nadaje się do pomiaru różnicy temperatur.
- W celu zwiększenia czułości, można zbudować bardzo czuły stos termoelektryczny:



- Wyjście stosu jest proporcjonalne do różnicy temperatur $T_1 - T_2$ przy czułości będącej wielokrotnością pojedynczej termopary (tu trzykrotnie)
- W praktyce stosy termoelektryczne sięgające 100 połączeń są wykorzystywane w radiometrii, miernikach przepływu ciepła, miernikach wilgotności
- Termopary w stosach mogą być drutami lub foliami drukowanymi czy trawionymi



Termopara

TYP	SKŁAD	ZAKRES POMIAROWY (°C)
J	Fe ↔ Cu-Ni	-210 ÷ 760
K	Ni-Cr ↔ Ni-Al	-270 ÷ 1372
T	Cu ↔ Cu-Ni	-270 ÷ 400
E	Ni-Cr ↔ Cu-Ni	-270 ÷ 1000
R	Pt-13% Rh ↔ Pt	0 ÷ 1768
S	Pt-10% Rh ↔ Pt	0 ÷ 1768
B	Pt-30% Rh ↔ Pt-6%Rh	0 ÷ 1820
C	W-5% Re ↔ W-26% Re	0 ÷ 2320
N	Ni-14.2% Cr-1.4% Si ↔ Ni-4.4% Si-0.1%Mg	-270 ÷ 1300

Najczęściej stosowane



Termopara

Zalety:

- nie potrzebują zasilania
- tanie
- wytrzymałe, odporne na drgania i inne zakłócenia mechaniczne
- szeroki zakres temperatur (do 1800 °C!)
- dostępne w różnych formach
- mogą stykać się bezpośrednio z badanym obiektem
- mogą mieć bardzo małe wymiary – niski czas odpowiedzi

Wady:

- niski sygnał wyjściowy
- niezbędny dodatkowy czujnik, mierzący temperaturę zimnych końców
- niestabilne
- dokładność różna między egzemplarzami

14. Przykładowe pytania



1. Co to jest termopara?
2. Co to jest czujnik Pt100?
3. Kiedy trzeba stosować czujniki półprzewodnikowe, a kiedy nie?