

**Zagadnienia z przedmiotu**  
**EKSPLOATACJA SYSTEMÓW MECHATRONICZNYCH W ROLNICTWIE**  
**19,20-05-2020 r.**

Proszę zapoznać się z zagadnieniami. Następnie proszę sporządzić krótką notatkę do podanych niżej punktów. Wykonaną pracę proszę przesłać na mój adres mailowy w formie skan lub zdjęcie. Wykonana praca będzie podstawą obecności, będzie oceniana. W razie pytań lub jakichkolwiek trudności proszę o kontakt mailowy lub telefoniczny ( tel. 530 630 395). Jeśli ktoś ma zaległe pracę proszę również w miarę możliwości przesłać.

*Temat: Przetworniki*

- 1. Przetwornik potencjometryczny*
- 2. Przetwornik indukcyjny*
- 3. Przetworniki piezoelektryczne*
- 4. Wykorzystanie czujników piezoelektrycznych do pomiaru ciśnienia*
- 5. Przetworniki przyspieszenie*
- 6. Układy dotykowe*
- 7. Przetworniki wykorzystywane do pomiaru przepływu cieczy*
- 8. Przetworniki z czujnikiem zwężkowym*
- 9. Przetwornik turbinowy*

*Efekty pracy ( skany lub zdjęcia) proszę przesłać na mój adres mailowy:*

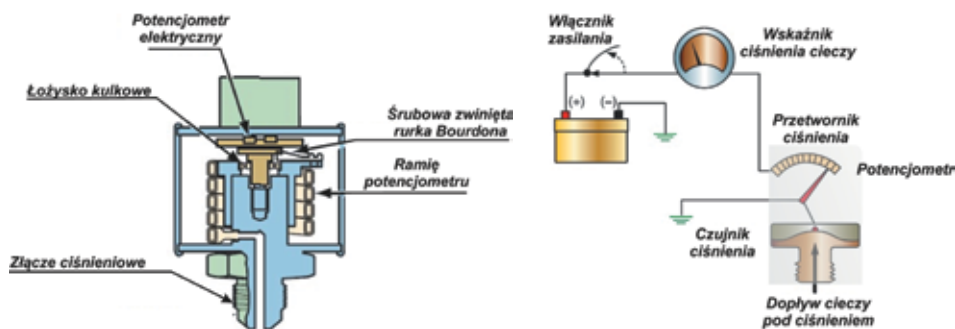
*[szpilapiotr@radymno.edu.pl](mailto:szpilapiotr@radymno.edu.pl)*

*Termin: 25-05-2020 r*

*Pozdrawiam serdecznie*

*Piotr Szpila*

**Przetwornik potencjometryczny** (potentiometric pressure sensor). Jednym z najstarszych przetworników ciśnienia są przetworniki wykorzystujące odkształcenie elementu sprężystego, jakim może być: rurka Bourdona, mieszek lub membrana. Przemieszczenie elementu sprężystego powoduje zmianę położenia przymocowanego do niego ramienia potencjometru elektrycznego. Przemieszczenie ramienia wpływa na zmianę rezystancji potencjometru, w efekcie ma wpływ na wartość spadku napięcia, prądu przepływającego przez potencjometr. Spadek napięcia jest proporcjonalny do wychylenia ramienia potencjometru. Spadek napięcia odczytywany jest bezpośrednio przez umieszczony w obwodzie woltomierz, wyskalowany w jednostkach ciśnienia. W tego typu przetworniku, czujnikiem jest rurka Bourdona, a część przetwarzającą stanowi potencjometr.

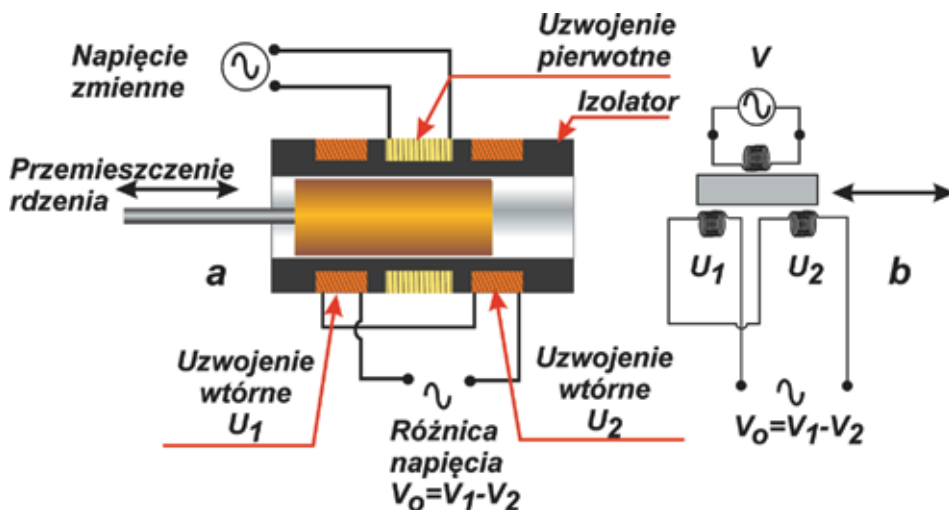


**Schemat i zasada działania czujnika potencjometrycznego, wyposażonego w rurkę Bourdona.**

**Przetwornik indukcyjny.** Drugim popularnym urządzeniem wykorzystywanym do pomiaru ciśnienia jest przetwornik mieszkowy wyposażony w czujnik indukcyjny. Budowa tego czujnika przedstawiona została na rysunku. Dzięki prostej budowie w grupie indukcyjnych przetworników ciśnienia dużą popularność zyskały przetworniki ciśnienia, które działają na zasadzie liniowego zmiennego transformatora różnicowego (LVDT). W tym przypadku elementem reagującym na ciśnienie jest bezpośrednio połączony z rdzeniem

liniowego transformator różnicowy. Przetwornik LVDT jest urządzeniem elektromechanicznym, które posiada wyjście elektryczne. Napięciowy sygnał wyjściowy z przetwornika, jest liniowo proporcjonalny do przemieszczenia ruchomego rdzenia.

Budowa: Przetwornik składa się z cewki pierwotnej oraz dwóch cewek pełniących funkcję uzwojenia wtórnego, umieszczonymi po obu stronach cewki pierwotnej. Miękki rdzeń magnetyczny w kształcie pręta wewnątrz zespołu cewki zapewnia zmianę strumienia magnetycznego wpływającego na wartość indukcji w cewkach uzwojenia wtórnego.



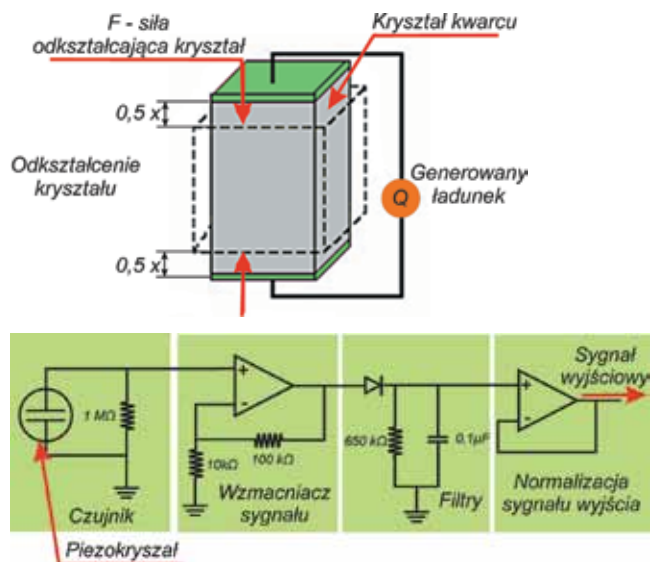
Indukcyjny czujnik przemieszczenia, a) konstrukcja czujnika, b) schemat elektryczny.

Gdy cewka pierwotna jest zasilana prądem przemiennym, w dwóch cewkach wtórnych indukowane są napięcie. Cewki wtórne są połączone szeregowo, przy czym początek każdego uzwojenia jest połączony ze sobą. Układ ten w położeniu neutralnym, wytwarza zerowe napięcie wyjściowe, będące sumą dwóch napięć składowych pochodzących z dwóch cewek. Jest to spowodowane indukowaniem równego, co do wartości napięcia w każdej cewce. Ten stan występuje, gdy rdzeń jest umieszczony centralnie między dwoma wtórnymi. Przemieszczenie rdzenia prowadzi do zwiększenia sprzężenia magnetycznego z cewką w kierunku ruchu i zmniejszenia sprzężenia magnetycznego z drugą cewką, wytwarzając sygnał wyjściowy z połączonych części wtórnych różny od zera. Ruch w przeciwnym kierunku daje identyczne wyjście sygnału, ale w przeciwnym znaku. Zdecydowaną zaletą stosowania przetwornika LVDT

jest to, że ruchomy rdzeń nie styka się z innymi elementami elektrycznymi zespołu, jak ma to miejsce w przypadku np. układu potencjometrycznego. Oznacza to, że przetwornik LVDT oferuje wysoką niezawodność i długą żywotność. Aby utworzyć przetwornik ciśnienia, przemieszczenie rdzenia LVDT jest wymuszane przez ruch metalowej membrany reagującej na ciśnienie.

**Przetworniki piezoelektryczne (piezokrystaliczne)** – czujniki piezoelektryczne są wykorzystywane do pomiaru ciśnienia, przyspieszenia i sił dynamicznych takich jak: drgania, uderzenia lub szybkozmiennego naprężenia w materiale. Czujnik zbudowany jest z anizotropowego kryształu np. kwarcu. W przypadku działania siły lub ciśnienia, materiał jest odpowiednio ściskany lub rozciągany. W trakcie deformacji, jedna z części kryształu staje się ujemnie naładowaną, druga dodatnio (rys. 2.4.19). Ładunek zgromadzony na brzegach kryształu jest proporcjonalny do jego deformacji. Deformacja, zaś jest zależna od przyłożonej siły. Dlatego funkcję przetwarzania tego typu czujnika można zapisać wzorem:  $Q = kx = AF$

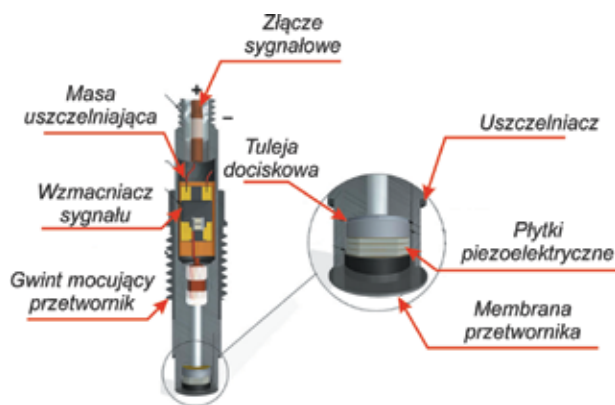
Gdzie  $Q$  jest ładunkiem elektrycznym generowanym na okładzinach kryształu,  $k$  jest współczynnikiem sprężystości kryształu,  $x$  – przedstawia odkształcenie materiału pod wpływem działania siły  $F$ , wartość oznaczona literą  $A$ , jest stałą opisującą czułość piezo-kryształu. Piezoelektryczne czujniki siły stosowane są do pomiarów szybkozmiennych. Graniczna częstotliwość pomiarowa czujników piezoelektrycznych dochodzi do 100 kHz.



**Zasada działania i schemat elektryczny przetwornika piezoelektrycznego.**

Ze względu na charakter sygnału podłączenie czujnika piezoelektrycznego wymaga zastosowania wzmacniaczy pomiarowych. Schemat toru pomiarowego wykorzystywanego przy pomiarach czujnikami piezoelektrycznymi przedstawiono na rysunku

**Wykorzystanie czujników piezoelektrycznych do pomiaru ciśnienia.** Piezoelektryczne czujniki ciśnienia, mierzą ciśnienie dynamiczne. Zasadniczo, nie nadają się one do pomiarów ciśnienia statycznego, ponieważ polaryzacja kryształu piezoelektrycznego może zanikać w warunkach statycznych. W większości przypadków, jako czujniki wykorzystywane są kryształy kwarcu, co zapewnia ich stabilną i powtarzalną pracę.



Przetwornik piezoelektryczny, a) przekrój przez typowy piezoelektryczny czujnik ciśnienia, b) zasada podłączenia.

Zasada działania. Jeżeli kryształ poddany zostanie naciskowi, na powierzchni kryształu pojawia się ładunek elektryczny  $Q$ . W celu uzyskania wysokiej dokładności dołączony do wyjścia kryształu układ wzmacniacza musi

charakteryzować się wysoką impedancją (opornością) wejściową. Zgodnie z prawem Ohma, napięcie na wejściu wzmacniacza jakie się pojawi w chwili pojawienia się ładunku elektrycznego  $Q$  wynosi:  $U = \frac{Q}{t} \cdot R$ . Gdzie  $R$  – jest opornością wejściową wzmacniacza, zaś  $t$  – jest czasem przepływu ładunku elektrycznego. Wysoka wartość oporności wejściowej, najczęściej jest osiągnięta przez umieszczenie wewnątrz przetwornika, krótkich przewodów o wysokiej impedancji. Ze względu na małą wartość ładunku wytwarzanego przez kryształ, w kablach i połączeniach należy utrzymywać wysoką rezystancję izolacji, aby uniknąć upływności ładunku do masy przetwornika.

Podstawową funkcją wzmacniacza ładunku elektrycznego jest przekształcenie dzięki wysokiej impedancji wejściowej, stosunkowo małego ładunku elektrycznego na użyteczny sygnał napięciowy. Niestety nawet w przypadku zastosowania izolacji o wysokiej rezystancji elektrycznej, ładunek elektryczny jest powoli rozpraszany, zjawisko to nazywane jest upływnością elektryczną. Szybkość, z jaką zanika ładunek elektryczny, zależy od rezystancji izolacji elektrycznej. Dlatego czujniki tego typu nadają się do pomiarów szybkich zmian ciśnienia. Graniczna częstotliwość zmian ciśnienia możliwa do zarejestrowania przez współczesne przetworniki piezoelektryczne wykorzystywane do pomiaru zmian ciśnienia nie przekracza 80 kHz.

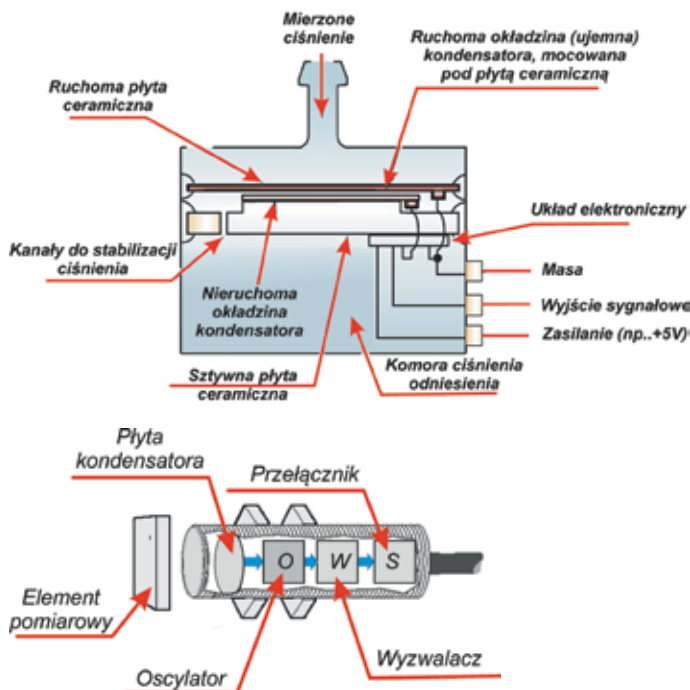
**Przetworniki pojemnościowe** (capacitive pressure sensor) – Pojemnościowe przetworniki ciśnienia wykorzystują zmianę pojemności elektrycznej kondensatora pomiarowego. W przetwornikach tego typu czujnikiem jest kondensator, którego jedną z okładzin stanowi cienka membrana. Mierzone ciśnienie powoduje odchylenie membrany, powodując zmianę odległości pomiędzy okładzinami kondensatora, wpływając na jego pojemność wyjściową. Zmiana pojemności w zależności od przemieszczenia membrany może mieć charakter liniowy lub nieliniowy. Wynosi ona zazwyczaj nie więcej niż kilku pikofaradów przy całkowitej pojemności kondensatora pomiarowego wynoszącej 50-100 pF. Zmiana pojemności może być wykorzystana do sterowania częstotliwością oscylatora lub do zmiany przełożenia w cewce pomiarowej prądu zmiennego. Elektronika do kondycjonowania sygnału pomiarowego powinna znajdować się blisko elementu czujnika, aby zapobiec błędom spowodowanym rozproszeniem pojemności. Pojemność kondensatora z płytą równoległą opisana jest następującym równaniem:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_d \cdot A}{d},$$

Gdzie  $A$  – stanowi powierzchnię okładzin kondensatora,  $d$  – jest odległością pomiędzy płytkami  $\epsilon_0$ , – jest przenikalnością elektryczną próżni  $\epsilon_d$ , opisuje względną przenikalność elektryczna izolatora, dla próżni wartość  $\epsilon_d = 1$ .

Jeśli stała dielektryczna materiału umieszczonego pomiędzy płytami kondensatora będzie ulegała zmianom, mogą pojawiać się zmiany jego pojemności. Z tego powodu, najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie pojemnościowych czujników ciśnienia absolutnego z próżnią między płytami. Ponieważ w przypadku kondensatora próżniowego, pojemność czujnika zależy tylko od parametrów fizycznych okładzin kondensatora, czujniki o wysokiej dokładności muszą być skonstruowane przy użyciu materiałów o niskich wartościach współczynnika rozszerzalności cieplnej. Na rysunku , przedstawiono budowę prostego czujnika ciśnienia, wykorzystującego zmianę pojemności elektrycznej kondensatora.

Bardzo często czujniki pojemnościowe pełnią funkcję czujników zbliżeniowych, pełniąc funkcje wyzwalacza układu zliczającego obroty lub sygnalizatora osiągnięcia pewnego położenia przez element ruchomy. W tym przypadku czujnik pojemnościowy działa jak prosty kondensator. Metalowa płytka na powierzchni czujnika est elektrycznie połączona z obwodem wewnętrznego oscylatora, a element, którego zbliżenie ma być wykryte (wyzwalacz) działa, jako druga płyta kondensatora. W przeciwieństwie do



**Przetwornik pojemnościowy a) ciśnienia – podłączenie czujnika, b)przekrój włącznika pojemnościowego.**

czujnika indukcyjnego, wytwarzającego pole elektromagnetyczne czujnik pojemnościowy wytwarza pole elektrostatyczne. Zmiana pojemności elektrycznej czujnika występująca w chwili zbliżenia elementu pomiarowego do wewnętrznej płyty czujnika ma wpływ na pojemność sprzężenia zwrotnego w obwodzie oscylatora.

W czasie, kiedy wyzwalacz, którym może być nawet fragment śruby umieszczony na obwodzie koła pojazdu, zbliża się do czujników, częstotliwość drgań w układzie rezonansowym przetwornika zwiększają się, aż osiągną poziom progowy i aktywują wyjście, powodując zwarcie biegunów przełącznika umieszczonego w przetworniku. W tym momencie na wyjściu przetwornika pojawia się impuls elektryczny. Tego typu czujniki montowane są w ciągnikach rolniczych i wykorzystywane do pomiarów liczby obrotów kół napędowych. Czujniki pojemnościowe są również odpowiednie do bezdotykowego wykrywania ciał stałych wykonanych ze szkła, drewna, metalu, tworzyw sztucznych, materiałów kompozytowych, cieczy i materiałów sypkich.

### **Przetwornik przyspieszenia**

Przetworniki przyspieszenia wykorzystywane są do pomiarów drgań elementów maszyn roboczych lub przypadku oceny stopnia obciążenia urządzeń. W przetworniku tego typu przetworników w ogromnej większości przypadków wykorzystywane czujniki, które są czujnikami bezwładnościowymi. W czujnikach przyspieszenia, na środku elastycznej membrany umieszczona jest masa pomiarowa. Przyspieszenie powoduje powstanie siły bezwładności, która odkształca membranę. Do pomiaru tego odkształcenia można wykorzystać przynajmniej trzy rozwiązania. W pierwszym, w membranę w procesie technologicznym wbudowane są elementy piezorezystancyjne. Ich rezystancja zmienia się podczas odkształcania membrany. Sygnałem wyjściowym są zmiany rezystancji elementów piezorezystancyjnych (zwykle czterech w połączeniu mostkowym). Przyrządy tego typu nie weszły jednak do masowej produkcji ze względu na znaczne wymiary (jak na elementy półprzewodnikowe), trudności z umieszczeniem towarzyszącego układu elektronicznego na tej samej płytce krzemowej oraz trudności związanych ze stabilnością i kalibracją.

Drugim sposobem pomiaru przemieszczenia masy pomiarowej i membrany jest potraktowanie ich jako środkowej elektrody kondensatora różnicowego. Generalną zasadę działania przetwornika ilustruje rysunek. W spoczynku pojemności kondensatorów  $C_1$  i  $C_2$  są równe, natomiast, gdy działa siła związana z przyspieszeniem, pojemności te ulegają zmianie.

Jeszcze innym rozwiązaniem miernika przyspieszenia jest umieszczenie masy pomiarowej na kryształach piezoelektrycznych. Masa

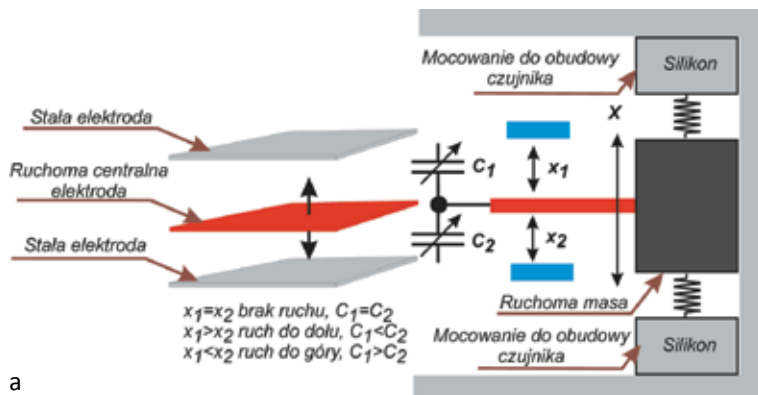


umieszczona jest w ten sposób, że jest dociskana do kryształów za pomocą śruby regulacyjnej, ustalającej wstępny nacisk na kryształ. Dzięki czemu możliwy jest pomiar przy dwukierunkowym odkształceniu kryształu. Poddanie przetwornika przyspieszeniu powoduje zmianę siły nacisku masy na kryształ i wytworzenie na powierzchni kryształu ładunków, które są zbierane przez elektrodę i kierowane do wyjścia przetwornika. Najistotniejsze jest to, że cały ten mikromechanizm wytwarzany jest w typowym procesie produkcji układów scalonych. Tym samym zarówno ruchomy czujnik pomiarowy, jak i współpracujące obwody elektroniczne wykonywane są w jednym procesie technologicznym, co znacznie zmniejsza ich rozmiary. Czujniki przyspieszenia budowane są, jako układy wykrywające przyspieszenie w trzech osiach, w takich przypadkach czujnik 3D składa się z trzech przetworników ustawionych wzdłuż mierzonych osi.

Rozwinięciem funkcjonalnym czujników przyspieszenia są czujniki żyroskopowe. Różnica pomiędzy czujnikiem przyspieszenia i czujnikiem żyroskopowym polega tym, że czujniki przyspieszenia mierzą przyspieszenie liniowe (określone w  $mV / a$ ) wzdłuż jednej lub kilku osi. Żyroskop mierzy prędkość i przyspieszenie kątowe (określone w  $mV / e$ ). Gdzie  $a$  – jest wartością przyspieszenia liniowego,  $e$  – jest wartością przyspieszenia kąтового.

Przetworniki przyspieszenia i żyroskopowe, znalazły szerokie zastosowanie we współczesnych rozwiązaniach rolniczych. Jednym z zastosowań jest wykorzystanie czujnika do pomiaru kąta pochylenia pojazdu i maszyny w czasie prac polowych prowadzonych na zboczach. Pomiar pochylenia ciągnika lub maszyny, koniecznym jest do wprowadzenia poprawki do systemu prowadzenia równoległego pojazdu.

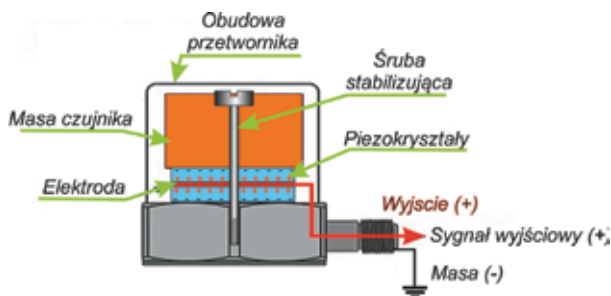
Akcelerometr jest szczególną odmianą czujnika żyroskopowego, w tym przypadku służy do pomiaru kąta nachylenia przetwornika w stosunku do wektora siły grawitacji Ziemi. Ze względu na zasadę pomiaru akcelerometru jego wskazania są niestety często zakłócone przez naturalne zmiany kierunku jazdy i drgania poprzeczne. Przez co, uzyskana informacja o nachyleniu może być nieprecyzyjna. Jak wspomniano wcześniej, żyroskop jest urządzeniem mierzącym mogącym mierzyć prędkość kątową (w stopniach na sekundę), a zatem może być używany do wykrywania zmiany kąta nachylenia pojazdu w czasie prac na stoku. W celu poprawnego określenia kąta pochylenia maszyn pracujących na pochyłościach, wymagane jest stosowanie zarówno czujników przyspieszenia, jak i żyroskopu. Generalnie zasada jest taka, że dla pomiaru statycznego kąta nachylenia używany jest czujnik przyspieszenia, a żyroskop służy do kompensacji przemieszczeń kątowych ciągnika, widocznych, jako sygnał nakładający się na sygnał uzyskany z akcelerometru, dzięki czemu możliwe jest prowadzenie dynamicznych pomiarów nachylenia pojazdu.



a



b



c

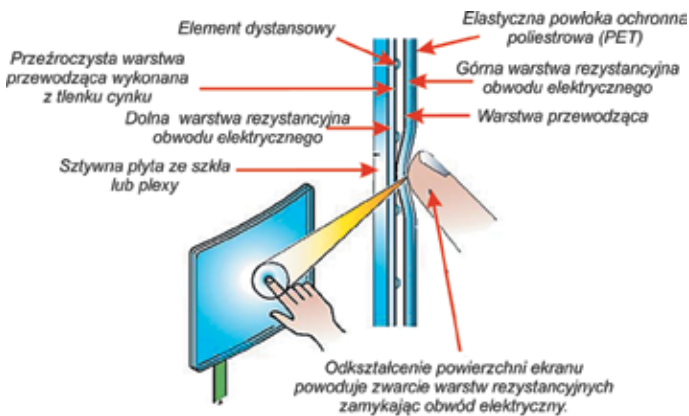
**Przetwornik przyspieszenia, a) zasada działania pojemnościowego czujnika, b) widok czujnika piezoelektrycznego, c) zasada działania piezoelektrycznego czujnika przyspieszenia.**

**Układy dotykowe – czujniki dotykowe.** Stosowane są w monitorach i układach elektroniki pokładowej. Ze względu na wygodę obsługi zastąpiły one klasyczne wyświetlacze, gdzie ze względu na cenę w wielu przypadkach stanowią dużą konkurencję dla mechanicznych przełączników. Monitory ze względu na zasadę działania, można podzielić na cztery grupy:

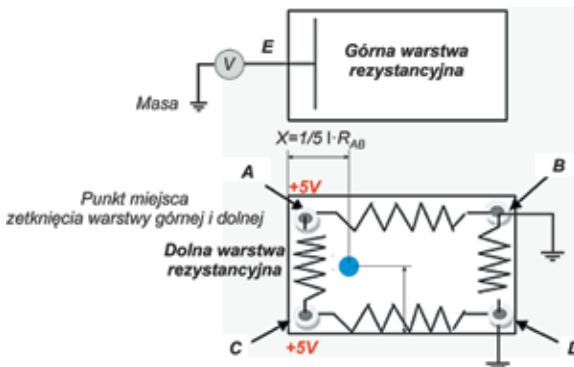
- rezystancyjne (opornościowe),
- wykorzystujące powierzchniową falę akustyczną,
- powierzchniowo pojemnościowe,
- wykorzystujące promieniowanie podczerwone.

W wyświetlaczach umieszczonych w pojazdach nadal najczęściej spotykanymi rozwiązaniami czujników dotykowymi są panele opornościowe (rezystancyjne). Wyświetlacz zbudowany jest z kilku wrażliwych na dotyk elastycznych warstw. Funkcjonalnie, najważniejszymi z nich są dwie przewodzące warstwy, oddzielone wąską pustą przestrzenią. Kiedy fragment ekranu zostanie przy-

ciśnięty zewnętrzną warstwą odkształca się i uginając jedną z przewodzących warstw, powoduje jej zetknięcie z warstwą przewodzącą leżącą niżej. W miejscu dotyku następuje zamknięcie obwodu elektrycznego i przepływ prądu przez złącza wyjściowe do kontrolera. Położenie punktu nacisku rozpoznawane jest przez zmianę napięcia wyjściowego oddzielnie dla współrzędnej x i y. Panele opornościowe są generalnie prostymi i tanimi rozwiązaniami. Ze względu na reakcję panelu na nacisk, możliwe jest używanie do jego obsługi palca chronionego rękawiczką lub wskaźnika, np. w postaci ołówka. Kilka warstw przewodzących stanowiących elementy monitora, powoduje jednak obniżenie przezroczystości i ograniczoną dokładność przy wykrywaniu miejsca dotyku. Elastyczna powierzchnia zewnętrzna umieszczona ze względu na zasadę pracy tego typu monitorów, powoduje niską ich odporność na uszkodzenia mechaniczne, w konsekwencji łatwo mogą ulec uszkodzeniu na skutek działania ostrych przedmiotów.



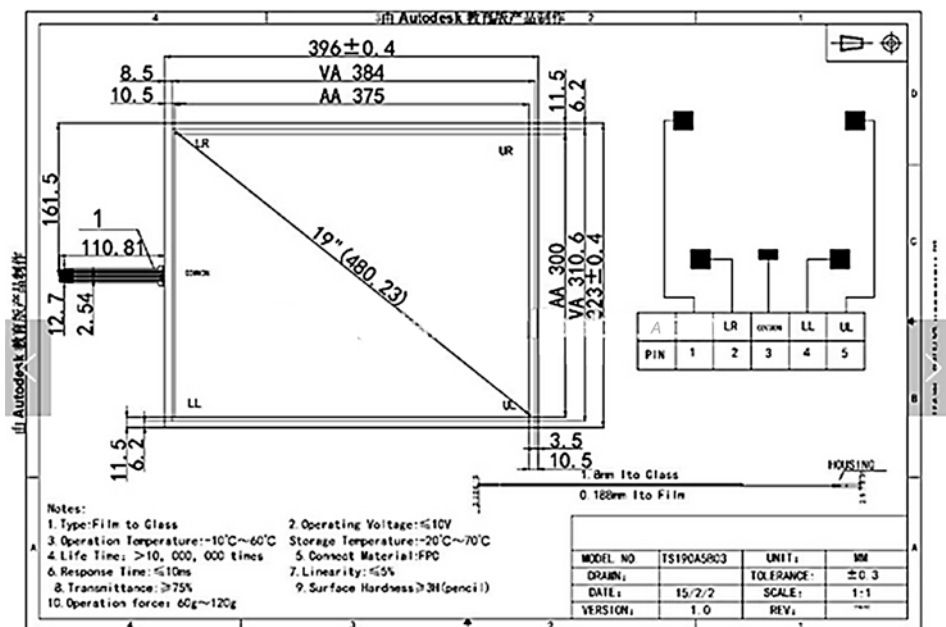
a



b

asada działania rezystancyjnych monitorów dotykowych (5 przewodowych).

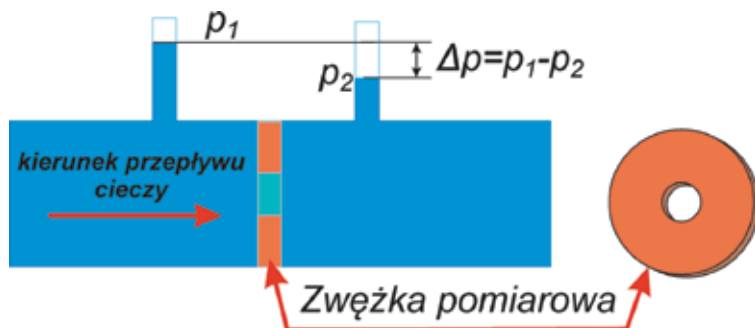
Na rysunku przedstawiono schemat elektryczny opornościowego panelu dotykowego. Napięcie zasilania wynoszące zazwyczaj 5V (standard TTL) doprowadzone jest do złącza A i C. Z drugiej strony panelu znajdują się złącza B i D połączone z biegunem ujemnym (masą). Górna warstwa oznaczona, E jest podłączona z miernikiem napięcia. Podłączenie miernika napięcia do górnej warstwy, charakteryzującego się wysoką opornością wejściową, oznacza, że przez warstwę E praktycznie nie płynie prąd. Jeżeli panel nie zostanie naciśnięty, spadek napięcia pomiędzy punktami A-B i C-D jest taki sam i wynosi 5V. Wyznaczenie położenia wciśniętego punktu na ekranie od lewej krawędzi ekranu (oznaczonego jako X), polega na pomiarze spadku napięcia pomiędzy linią zasilania (A,C) i miejscem zwarcia warstw przewodzących. Naciśnięcie ekranu w środkowej jego części, spowoduje, że napięcie zmierzone na elektrodzie E wyniesie 2,5V. Jeżeli zostanie wciśnięty punkt w odległości 1/5 długości ekranu od krawędzi AC (4/5 odległości od BD), do elektrody E zostanie doprowadzone napięcie 1 V, wynika to z wartości spadku napięcia pomiędzy punktem A i miejscem dotyku warstwy E. Podobnie mierzona jest koordynata współrzędnej Y. Na rysunku umieszczono dokumentację techniczną panelu dotykowego. Umieszczono na nim parametry panelu oraz oznaczenia przyłączy oraz parametry zasilania.



Dokumentacja techniczno ruchowa monitora dotykowego.

**Przetworniki wykorzystywane do pomiaru natężenia przepływu cieczy.** W układach hydraulicznych pomiar natężenia przepływu cieczy jest jednym z najbardziej istotnych pomiarów wykonywanych w czasie eksploatacji i diagnostyki układu. Dlatego w zależności od wielkości mierzonego przepływu oraz wartości ciśnienia przepływającej cieczy stosowanych jest kilka różnych rozwiązań konstrukcyjnych przetworników pomiarowych.

**Przetwornik z czujnikiem zwężkowym** jest pomiarem pośrednim i polega na pomiarze różnicy ciśnienia przed i za zwężką. Zwężka jest ciekłą kryzą z centralnym otworem, przez który przepływa ciecz. Kryza umieszczana jest wewnątrz przewodu, w którym mierzone jest natężenie przepływu. Przed kryzą i bezpośrednio za nią umieszczone są czujniki mierzące ciśnienie cieczy w przewodzie. Zmierzona różnica ciśnienia jest zależna od natężenia przepływu cieczy przez zwężkę. Metoda zwężkowa zapewnia dostateczną dokładność pomiaru dla warunków warsztatowych wynoszącą 1,5%, przy jednocześnie niskich kosztach oprzyrządowania.



**Zasada działania przepływomierza zwężkowego.**

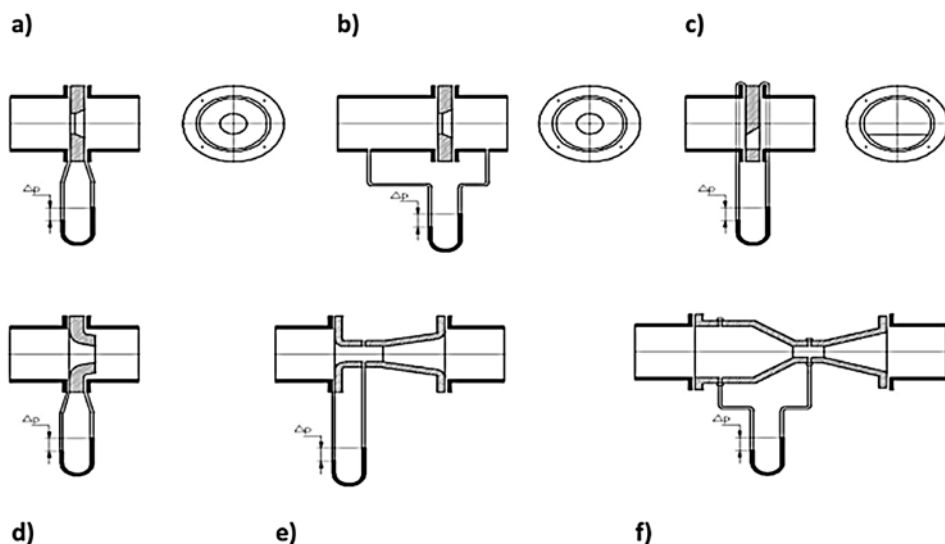
Cechą charakterystyczną przy doborze wymiarów zwężki, jest proporcja średnicy otworu zwężki do średnicy przewodu, w którym umieszczono zwężkę. Parametrem konstrukcyjnym zwężki jest jej przewężenie ( $\beta$ ) opisane zależnością:  $\beta = \frac{d}{D}$ , gdzie  $D$  – jest średnicą wewnętrzną przewodu hydraulicznego,  $d$  – średnicą otworu w zwężce.

Natężenie przepływu cieczy  $Q$  może być obliczone ze wzoru uzależniającego natężenie przepływu od wartości ciśnienia przed zwężką  $p_1$  i za zwężką  $p_2$  oraz gęstości cieczy  $\rho$ :

$$Q = A_z \cdot \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

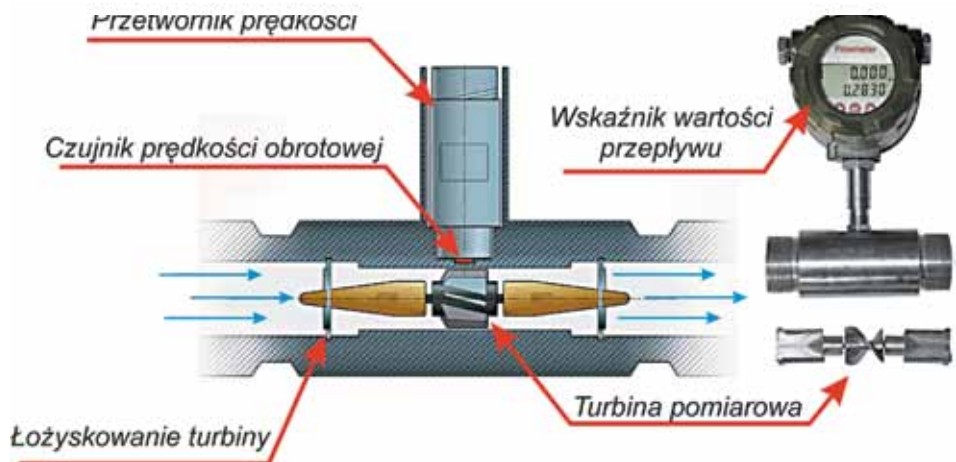
Pozostałe wielkości występujące w przedstawianym wyżej wzorze, to  $A_z = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ : jest polem powierzchni otworu w zwężce, C – współczynnik przepływu, zależnym od wartości liczby Reynoldsa i wartości przewężenia,  $\rho$  – jest gęstością mierzonej cieczy.

Zmierzone wartości różnicy ciśnienia zależą również od budowy kryzy i lepkości przepływającej cieczy. Dlatego do pomiarów stosowanych jest kilka rozwiązań konstrukcyjnych kryz, które przedstawione są na rysunku



**Rodzaje kryz pomiarowych stosowanych w przepływomierzach:**  
 a – kryza ISA z pomiarem przytarczowym, b – kryza ISA z pomiarem D i D/2,  
 c – kryza segmentowa, d – dysza ISA, e – dysza Venturiego, e – zwężka Venturiego.

**Przetwornik turbinowy** – jest miernikiem do pomiaru objętości przepływającego medium. Najczęściej stosowany jest do pomiaru natężenia przepływu cieczy o niskiej lepkości lub gazu. W porównaniu do przepływomierza zwężkowego miernik turbinowy jest miernikiem o wyższej dokładności. W przypadku pomiaru przepływu cieczy, przy wysokich prędkości przepływu, osiągnięte błędy pomiarowe nie przekraczają 0,3%. Turbinowy przetwornik pomiarowy składa się z wirnika umieszczonego wewnątrz kanału przepływowego zintegrowanego z zewnętrznym licznikiem obrotów. Pomiar natężenia przepływu cieczy polega na pomiarze prędkości obrotowej wirnika. Jako czujnik zliczający prędkość obrotową wirnika stosowane są najczęściej opisywane wcześniej, zbliżeniowe czujnik pojemnościowe lub indukcyjne.



przedstawiający zasadę pracy i widok turbinowego miernika przepływu i widok przykładowej konstrukcji.