



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Urszula Ran

Badanie czujników i przetworników przemysłowych

311[07].Z3.01

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2006**

Recenzenci:
dr inż. Jan Diaczuk
mgr inż. Igor Lange

Opracowanie redakcyjne:
mgr inż. Danuta Paweńczyk

Konsultacja:
mgr inż. Gabriela Poloczek

Korekta:
mgr inż. Agnieszka Ambrożejczyk- Langer

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[07].Z3.01 „Badanie czujników i przetworników przemysłowych” zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik elektronik.

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006

Podział i przeznaczenie czujników temperatury

Stosowane są stykowe i bezstykowe metody pomiarów temperatury. Wyróżnia się następujące rodzaje termometrów:

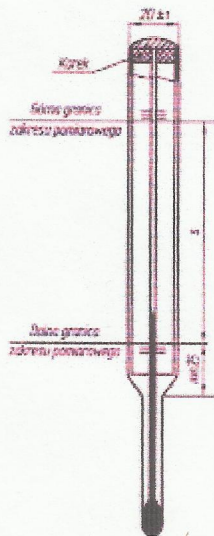
1. stykowe (wymagane jest, aby czujnik bezpośrednio stykał się z mierzonym obiektem):
 - rozszerzalnościowe: cieczowe i metaliczne (bimetaliczne i dylatacyjne),
 - ciśnieniowe (manometryczne): cieczowe, gazowe, parowe,
 - oporowe (rezystancyjne): metalowe, półprzewodnikowe (termistory),
 - termoelektryczne;
2. bezstykowe (czujnik nie styka się z mierzonym obiektem):
 - pirometryczne: radiacyjne, monochromatyczne, bichromatyczne.

Tabela 1. Zakresy pomiarowe termometrów

Rodzaj termometru	Zakres pomiarowy (°C)
Rozszerzalnościowy	-200 ÷ 1000
Manometryczny	-160 ÷ 600
Rezystancyjny (oporowy)	-200 ÷ 850
Termoelektryczny	-200 ÷ 1700
Pirometr	-100 ÷ 5000

Termometry rozszerzalnościowe

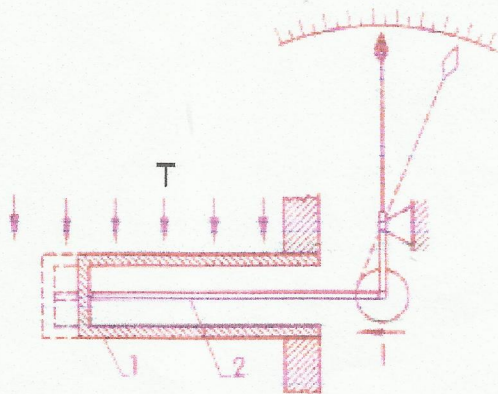
W termometrach rozszerzalnościowych cieczowych szklanych (rys.1) wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieczy termometrycznej od temperatury. Ciecze te charakteryzują się dużym współczynnikiem rozszerzalności objętościowej, temperatury ich krzepnięcia i wrzenia znajdują się poza zakresem pomiarowym oraz niezwilżają szkła (rtęć) albo słabo zwilżają (alkohol, pentan, toluen).



Rys. 1. Termometr cieczowy szklany [5, s. 80]

W termometrach rozszerzalnościowych metalicznych wykorzystuje się zjawisko różnicy temperaturowej rozszerzalności dwóch materiałów:

- w dylatacyjnych (rys. 2): pręt -1 z materiału o małym liniowym współczynniku rozszerzalności liniowej α_p (porcelana, kwarc, inwar) znajduje się w tulei -2 z materiału o dużym współczynniku rozszerzalności liniowej α_t (glin, miedź, nikiel);

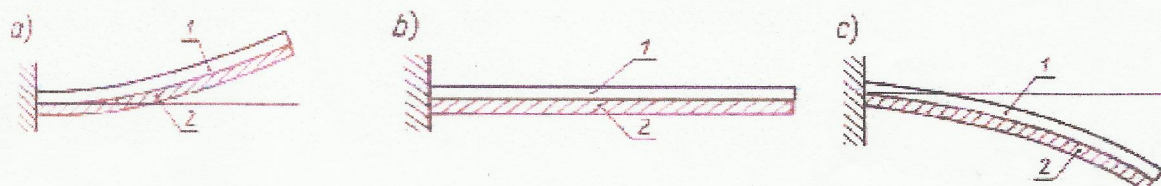


$$l = l_0 (\alpha_t - \alpha_p) \Delta T,$$

gdzie: l_0 czynna długość pręta i tulei

Rys. 2. Zasada działania termometru dylatacyjnego [12 s. 75]

- w bimetalowych (rys.3): płytka lub taśma składająca się z dwóch połączonych ze sobą warstw metali o różnych współczynnikach rozszerzalności liniowej, zamocowana jest jednym końcem nieruchomo; drugi koniec swobodny (przez odpowiedni układ mechanizmów połączony ze wskazówką) ulega odkształceniu pod wpływem temperatury. Element bimetaliczny jest przeważnie zwinięty w kształcie spirali.

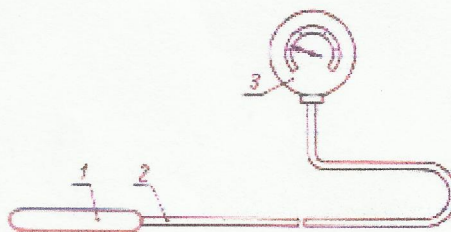


Rys. 3. Zasada działania termometru bimetalicznego w temperaturze: a) podwyższonej, b) normalnej, c) obniżonej [6, s. 110]

Termometry ciśnieniowe

W termometrach ciśnieniowych (manometrycznych) wykorzystano zasadę, że przy stałej objętości, ciśnienie gazu lub cieczy zależy od temperatury (rys. 4). W zależności od użytego czynnika termometrycznego można je podzielić na:

- cieczowe (układ pomiarowy wypełniony rtęcią),
- gazowe (układ pomiarowy wypełniony azotem),
- kondensacyjne (czujnik wypełniony częściowo cieczą o niskiej temperaturze wrzenia - acetonem - a częściowo parą nasyconą, reszta układu parą nasyconą lub cieczą pośredniczącą - gliceryną).



Rys. 4. Termometr manometryczny: 1 – czujnik, 2 – kapilara, 3 – manometr [6, s. 111]

Termometry oporowe

W termometrach oporowych (rezystancyjnych) zasada ich działania wykorzystuje zależności rezystancji niektórych metali i półprzewodników od temperatury. W pewnym zakresie

temperatury zależność rezystancji od temperatury dla danego przewodnika jest praktycznie liniowa:

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha \Delta t)$$

gdzie: R_2 – rezystancja przewodnika w temperaturze t_2 ,

R_1 – rezystancja przewodnika w temperaturze t_1 ,

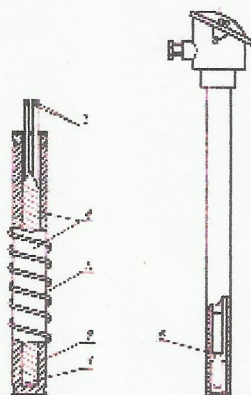
Δt – różnica temperatur $t_2 - t_1$,

α – współczynnik temperaturowy rezystancji.

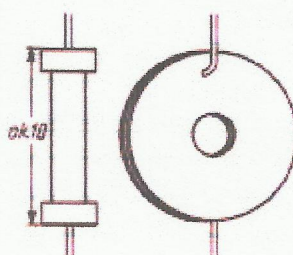
W termometrach oporowych metalicznych (rys.5) stosuje się najczęściej platynę, nikiel oraz miedź. Metale te charakteryzują się stałością charakterystyki rezystancji w funkcji temperatury, dużym współczynnikiem temperaturowym oraz odpornością na wpływ czynników zewnętrznych.

Czujniki termistorowe (rys.5) są wykonane z tlenków metali (żelaza, manganu, litu i tytanu) w postaci niewielkich elementów (płytek, prętów i kulek) z metalowymi wyprowadzeniami. Charakteryzują się one dużym ujemnym współczynnikiem temperaturowym, a ich charakterystyka temperaturowa rezystancji jest nieliniowa (rys.6). Największą ich zaletą jest duża czułość.

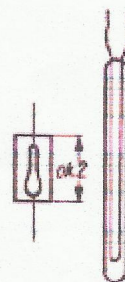
a)



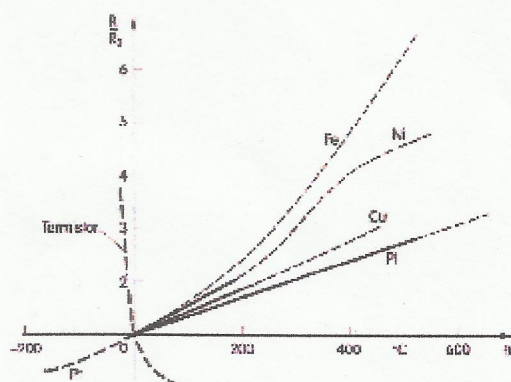
b)



c)



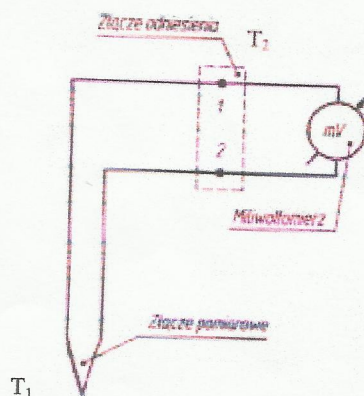
Rys. 5. Budowa termometru: a) rezystancyjnego metalicznego; b) termistorów masywnych niehermetyzowanych; c) termistorów perełkowych zatapiających w szkło 1 - listwa izolacyjna, 2 - drut oporowy, 3 - przewody wyprowadzające, 4 - przekładki mikowe, 5 - taśma metalowa, 6 - osłona ceramiczna [6, s. 115 i 116]



Rys. 6. Charakterystyki $R_2/R_1 = f(t)$ wybranych metali i półprzewodników [10, s. 243]

Do pomiaru rezystancji czujnika, która jest miarą temperatury stosuje się mierniki ilorazowe - logometry lub mostki Wheatstone'a. Czujniki rezystancyjne łączy się z tymi przyrządami za pomocą dwóch lub trzech przewodów. Przy połączeniu trójprzewodowym kompensują się uchyby dodatkowe pochodzące od wahań rezystancji doprowadzeń (rys.7).

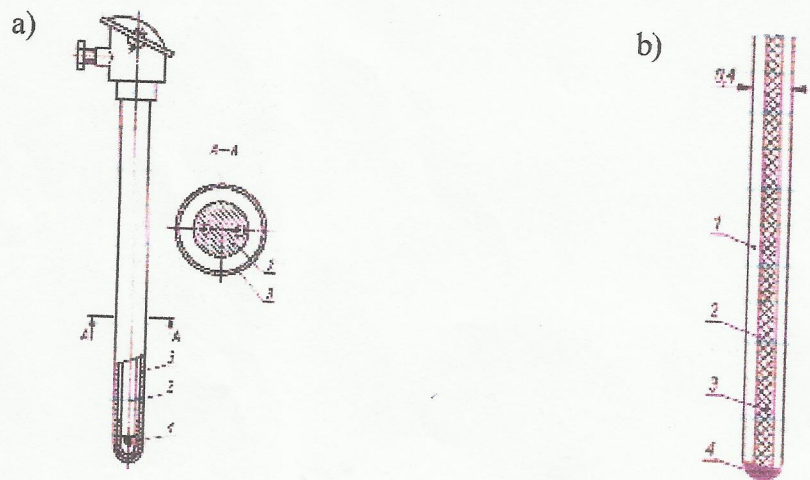
T_1 - jest temperaturą mierzoną (tzw. gorące końce),
 T_2 - jest temperaturą odniesienia (tzw. zimne końce).



Rys. 10. Schemat termoelektrycznego przetwornika temperatury (termoelementu) [5, s. 96]

W nazwach termoelementów na pierwszym miejscu podawana jest elektroda dodatnia. Najczęściej stosowane termoelementy to : platynorod – platyna (PtRh-Pt); nikielchrom – nikiel (NiCr-Ni); żelazo - konstantan (Fe-konstantan); miedź – konstantan (Cu-konstantan).

Konstrukcja termoelementów zależy od ich przeznaczenia, np. typu przemysłowego charakteryzuje się dużą bezwładnością cieplną, a typu specjalnego do pomiarów powierzchniowych - bardzo małą bezwładnością cieplną (rys.11).

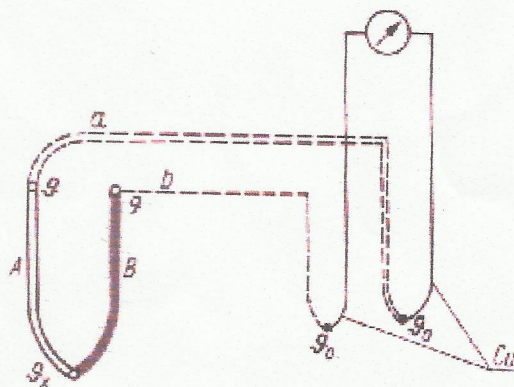


Rys. 11. Schemat budowy czujnika z termoelementem: a) o dużej bezwładności cieplnej; b) o małej bezwładności cieplnej. 1 – spoina pomiarowa, 2 – osłona ceramiczna, 3 – rurka z metalu A, 4 – tuleja pomiarowa, 5 – głowica, 6 – pręt z metalu B, 7 – izolacja [6, s. 118]

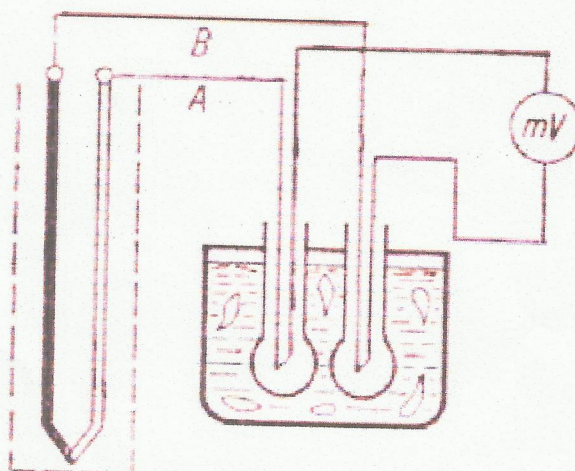
Układy pomiarowe z termoelementami

Przy pomiarach temperatury z użyciem czujników termoelektrycznych największym źródłem niedokładności pomiarów są zmiany temperatury odniesienia T_2 . W celu wyeliminowania tych niedokładności stosuje się:

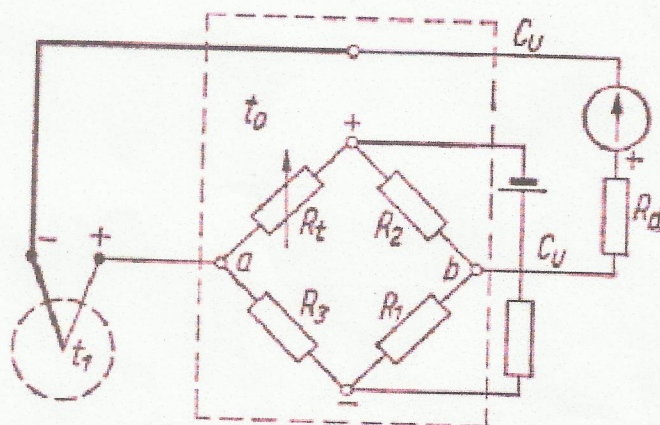
- odsunięcie złącza odniesienia od miejsca pomiaru (rys.12) – stosuje się wówczas tzw. przewody kompensacyjne,
- stabilizację temperatury złącza odniesienia (termostatowanie - rys.13),
- kompensację zmian temperatury odniesienia (rys.14).



Rys. 12. Układ termoelementu z przewodami kompensacyjnymi [6, s. 120]



Rys. 13. Układ połączenia ogniwa termoelektrycznego z termostatem [9, s. 297]



Rys. 14. Układ do pomiaru siły termoelektrycznej termoelementu z kompensacją wpływu zmian temperatury węzła odniesienia z miliwoltomierzem [8, s. 284]

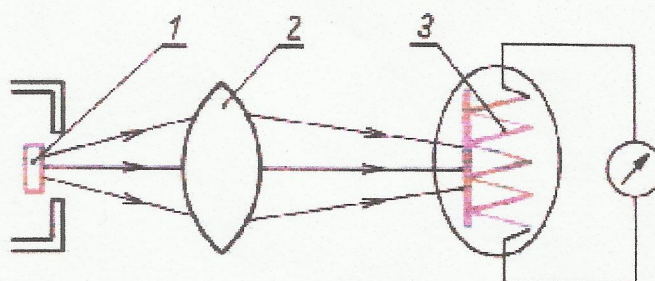
Dodatkowe siły termoelektryczne (oprócz termoelementu AB powstały dwie dodatkowe A-Cu i B-Cu) są kompensowane przez napięcie w przekątnej a-b mostka. Zmiana wartości rezystancji termorezystora R_T , który jest czuły na zmiany temperatury odniesienia, powoduje zmianę napięcia kompensującego.

Pirometry

Do pomiaru temperatury za pomocą pirometrów wykorzystano zależność między strumieniem energii wypromieniowanym przez rozżarzone ciało a jego temperaturą.

Ze względu na sposób działania rozróżnia się trzy podstawowe typy pirometrów:

- radiacyjne (pirometry całkowitego promieniowania), stosowane do pomiaru energii wypromieniowanej w całym zakresie widma (rys.15),
- monochromatyczne, stosowane do pomiaru temperatury w wąskim monochromatycznym paśmie widma,
- barwowe (dwu- lub trójbarwowe), w których mierzone są i porównywane ze sobą dwie (trzy) składowe promieniowania.



Rys. 15. Schemat ideowy radiacyjnego pirometru termoelektrycznego: 1 – obiekt badany, 2) – układ optyczny, c) – termistor [6, s. 122]

4.1.2. Pytania sprawdzające

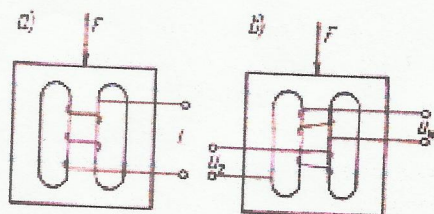
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest temperatura?
2. W jaki sposób można dokonać pomiaru temperatury?
3. Jaka zależność istnieje pomiędzy temperaturą wyrażoną w skali [K] a [°C]?
4. Jak została wyznaczona Międzynarodowa Skala Temperatur?
5. Jaka jest różnica między czujnikiem a przetwornikiem?
6. Jakie znasz przyrządy (klasyfikacja) do pomiaru temperatury?
7. Które termometry mają największy zakres pomiarowy?
8. Jakie właściwości powinna mieć ciecz termometryczna stosowana w termometrach cieczowych?
9. Czym różnią się termometry rozszerzalnościowe metaliczne: dylatacyjny od bimetalowego?
10. Co może być czynnikiem termometrycznym w termometrach manometrycznych?
11. Jaka jest zasada działania termometrów oporowych?
12. Jakie materiały stosuje się na termometry rezystancyjne i dlaczego?
13. Co to są termistory?
14. Jakie znasz układy pomiarowe z termometrami oporowymi?
15. Kiedy stosuje się układ z kompensacją wpływu zmian rezystancji przewodów łączących?
16. Jakie zjawisko wykorzystano w termometrach termoelektrycznych?
17. Od czego zależy siła termoelektryczna w obwodzie z termoelementem?
18. Do czego służą przewody kompensacyjne w układach z termoelementami?
19. Jaka rolę spełnia termorezystor w układzie z kompensacją zmian temperatury złącz odniesienia?
20. Jaka jest zasada działania pirometrów?

Czujniki magnetosprężyste

W czujnikach magnetosprężystych wykorzystane jest zjawisko magnetosprężyste, polegające na tym, że podczas deformacji (np. ściskaniu, skręcaniu, zginaniu) materiałów ferromagnetycznych (żelazo, nikiel, kobalt), w granicach odkształceń sprężystych, zmienia się ich przenikalność magnetyczna. Zjawisko to jest ściśle związane ze zjawiskiem magnetostrykcji polegającym na deformacji mechanicznej w materiale wzdłuż pola przy zmianie natężenia pola magnetycznego działającego na ten materiał.

Czujniki magnetosprężyste mogą pracować jako cewki indukcyjne o zmiennej indukcyjności własnej (czujniki dławikowe) lub jako transformatory o zmiennej indukcyjności wzajemnej (czujniki transformatorowe - rys.18).

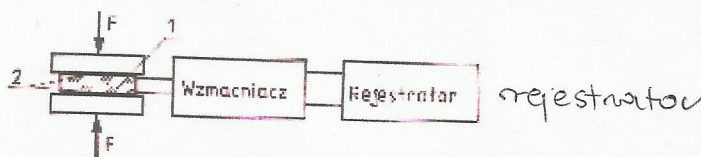


Rys. 18. Schemat budowy czujnika magnetosprężystego: a) dławikowego; b) transformatorowego [6, s. 65]

Czujniki piezoelektryczne

W czujnikach piezoelektrycznych wykorzystano zjawisko piezoelektryczne polegające na tym, że podczas deformacji w granicach sprężystości pewnych kryształów pojawiają się na odpowiednich ściankach ładunki elektryczne. Występuje również zjawisko odwrotne, które polega na tym, że doprowadzone ładunki elektryczne do elektrod przylegających do ścianek kryształu powodują zmianę jego wymiarów. Zjawisko to nazywamy elektrostrykcją.

Jako piezoelektryk stosuje się kryształy kwarcu, ze względu na dużą wytrzymałość mechaniczną, dużą rezystywność oraz małą zależność zjawiska piezoelektrycznego od temperatury. Czujniki piezoelektryczne kwarcowe stosuje się do pomiarów sił szybkozmiennych (rys.19).



Rys. 19. Piezoelektryczny przetwornik siły [10, s.255]

Pod wpływem siły ściskającej F płytkę 1 z kryształu kwarcu powstaną na naciskanych powierzchniach 2 ładunki elektryczne Q o przeciwnych znakach. Wartość bezwzględna tego ładunku wynosi:

$$Q = k_p F,$$

gdzie k_p jest współczynnikiem piezoelektrycznym. Pomiar tego ładunku umożliwiają elektrody metalowe naparowane na powierzchni kryształu kwarcu.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest zasada pomiaru siły a jaka naprężenia mechanicznego?
2. Jak klasyfikuje się czujniki do pomiaru sił?
3. Jaka jest zasada działania tensometrów rezystancyjnych?

4.3. Pomiar ciśnienia

4.3.1. Materiał nauczania

Ciśnienie jest to skalarna wielkość fizyczna równa liczbowo, w przypadku stałej siły F działającej na płaską powierzchnię, stosunkowi tej siły do pola S powierzchni:

$$p = \frac{F}{S}$$

gdzie: p - ciśnienie [Pa], F - siła [N], S - pole powierzchni [m^2].

W układzie SI jednostką ciśnienia jest pascal, $1\text{Pa} = 1\text{N}/1\text{m}^2$.

Pomiar ciśnienia to pomiar siły wywieranej przez ciecze lub gazy na określoną powierzchnię. Najczęściej pomiar ciśnienia ma charakter względny odniesiony do ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli jest niższe od ciśnienia atmosferycznego to mierzymy podciśnienie, a jeżeli jest wyższe - to mierzymy nadciśnienie. Pomiar ciśnienia względem próżni to pomiar ciśnienia bezwzględnego (absolutnego).

Do pomiaru nadciśnienia stosujemy manometr, podciśnienia - wakuometr, ciśnienia atmosferycznego - barometr. Manowakuometr umożliwia pomiar zarówno nadciśnienia jak i podciśnienia.

Często występuje pomiar różnicy dwóch ciśnień, których wartości bezwzględne przewyższają znacznie wartość ciśnienia różnicowego. Przyrząd do pomiaru tego ciśnienia to manometr różnicowy.

Ciśnieniomierze ze względu na zasadę działania możemy sklasyfikować na:

- hydrostatyczne,
- z elementami sprężystymi,
- tensometryczne.

Ciśnieniomierze hydrostatyczne

Ciśnieniomierze hydrostatyczne działają na zasadzie równowagi ciśnień w naczyniach połączonych, to znaczy, że zmiany ciśnienia lub różnicy ciśnienia są przetwarzane na różnicę poziomów cieczy manometrycznej (rtęci, alkoholu, wody lub oleju). Rozróżniamy ciśnieniomierze hydrostatyczne: cieczowe - U-rurkowe i naczyniowe oraz obciążeniowe - waga pierścieniowa.

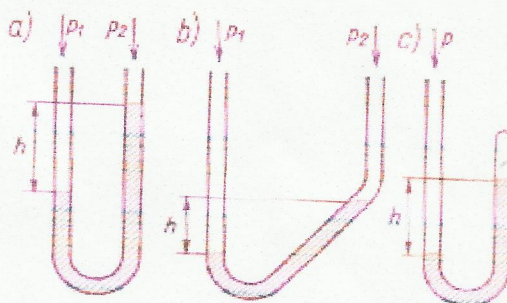
Rurka dwuramienna w kształcie litery U wypełniona częściowo cieczą to najprostszy manometr. Pochylając jedno z ramion rurki można otrzymać mikromanometr, charakteryzujący się dużą dokładnością odczytu różnicy poziomów. Zatapiając koniec jednego z ramion rurki i zachowując w nim próżnię otrzymamy barometr (rys.20).

$$p_1 - p_2 = \Delta p = h \cdot \gamma_c$$

gdzie: p_1, p_2 - mierzone ciśnienie [Pa],

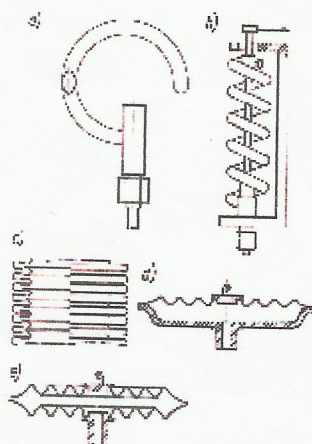
h - różnica poziomów cieczy [m],

γ_c - ciężar właściwy cieczy [$\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$].



Rys. 20. Zasada działania manometru U-rurkowego: a) różnicowego; b) mikromanometru; c) barometru.
[6, s. 88]

Manometry sprężyste mierzą zawsze różnicę między ciśnieniem panującym w naczyniu pomiarowym a ciśnieniem otoczenia.



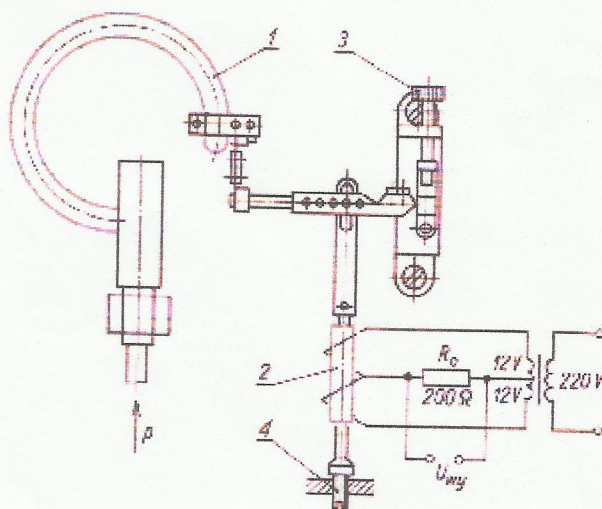
Rys. 23. Elementy sprężyste ciśnieniomierzy: a) rurka Bourdona; b) rurka spiralna; c) mieszek; d) membrana; e) pudełko [6, s. 89]

Należy tak dobierać zakresy pomiarowe manometrów z elementami sprężystymi, aby odkształcenia tych elementów były dużo mniejsze od granicy ich odkształcenia sprężystego. Przekroczenie tej granicy powoduje trwałe uszkodzenie manometru.

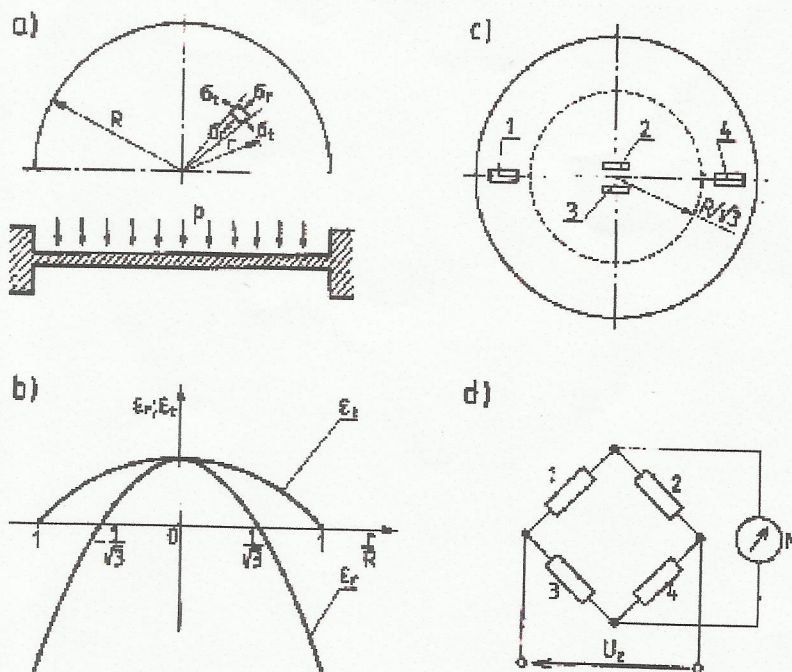
Ciśnieniomierze elektryczne

Przetwarzanie ciśnienia na sygnał elektryczny można uzyskać wykorzystując odkształcenia sprężystych elementów lub wykorzystując zjawiska, które związane są z powstawaniem naprężeń w materiałach (piezoelektrycznych, ferromagnetycznych i rezystancyjnych). Wyniki pomiarów ciśnienia za pomocą ciśnieniomierzy elektrycznych mogą być przesyłane na odległość.

Odkształcenia elementów sprężystych są mierzone za pomocą czujników przesunięcia, najczęściej indukcyjnymi (rys.24), pojemnościowymi (rys.25) lub potencjometrycznymi (rys.26).



Rys. 24. Manometr z rurką Bourdona i czujnikiem indukcyjnościowym do pomiaru odkształcenia końca rurki (1 – rurka Bourdona, 2 – czujnik, 3 – zerowanie, 4 – regulacja napięcia początkowego [6, s. 90]



Rys. 27. Tensometryczny membranowy przetwornik ciśnienia: a) płaska membrana, b) rozkład odkształcenia w membranie, c) zalecane rozmieszczenie tensometrów 1÷4, d) elektryczny układ pomiarowy [10, s. 252]

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

- ✓ 1. Co to jest ciśnienie? 1
- ✓ 2. Co to jest ciśnienie absolutne, podciśnienie i nadciśnienie? 1
- ✓ 3. Jakimi ciśnieniomierzami służy do pomiaru podciśnienia a jakie nadciśnienia? 0,5
- ✓ 4. Jak klasyfikuje się ciśnieniomierze? 0,5
- ✓ 5. Wyjaśnij zasadę pomiaru ciśnienia manometrem U-rurkowym? 1
6. Jaka jest zaleta manometrów naczyniowych?
7. Wyjaśnij zasadę pomiaru różnicy ciśnień wagą pierścieniową?
- ✓ 8. Jakimi elementami sprężystymi stosuje się w ciśnieniomierzach? 0,5
- ✓ 9. Jaka jest zasada działania manometrów z elementami sprężystymi? 1
10. Jakimi zakresami pomiarowymi ciśnienia mają manometry z elementami sprężystymi?
- ✓ 11. Jakimi zjawiskami wykorzystywane są w manometrach elektrycznych? 1
- ✓ 12. Jakimi czujnikami są wykorzystywane na przekształcenie przesunięcia elementów sprężystych w przetwornikach ciśnienia na sygnał elektryczny? - indukcyjne, pojemnościowe, potencjometryczne 0,5
13. Jaka jest zasada działania przetwornika różnicy ciśnień produkcji MERA-PNEFAL S.A. (firmy ROSEMOUNT)?
14. Jak działa czujnik ciśnienia oleju FCCO 5?
15. Dlaczego często stosuje się do pomiarów ciśnienia mostki tensometryczne?
16. Jak działa piezorezystancyjny czujnik różnicy ciśnień serii 41 firmy MERA- PNEFAL S.A.?
17. Które z poznanych ciśnieniomierzy umożliwiają przesył wyników pomiarów na odległość?

4.4. Pomiar poziomu

4.4.1. Materiał nauczania

Podział poziomomierzy

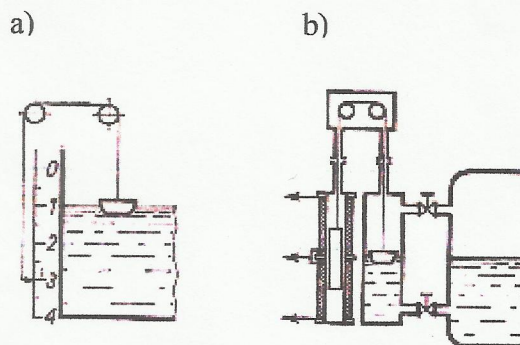
Pomiar poziomu cieczy i materiałów sypkich ma na celu określenie poziomu ich w zbiorniku lub wskazanie odchylenia od wartości zadanej: minimalnej lub maksymalnej. Przyrządy do pomiaru poziomu nazywamy poziomomierzami, a do wskazania odchylenia – sygnalizatorami.

Do najważniejszych przemysłowych mierników poziomu zaliczamy:

- pływakowe (ze stałym zanurzeniem pływaka; nurnikowe – ze zmiennym zanurzeniem),
- hydrostatyczne (z manometrem różnicowym, pneumatyczne),
- elektryczne (pojemnościowe, rezystancyjne),
- ultradźwiękowe,
- izotopowe.

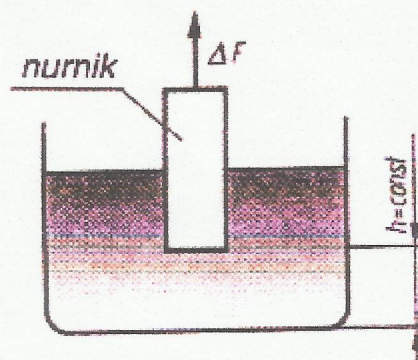
Poziomomierze pływakowe

Warunkiem wykonania pomiaru poziomu z pływakiem o stałym zanurzeniu jest określone i niezmiennie pionowe położenie pływaka w stosunku do lustra cieczy, ponieważ zmiana położenia pływaka jest bezpośrednim sygnałem wyjściowym [rys.28]. Aby zwiększyć dokładność pomiaru stosuje się pływaki płaskie, charakteryzujące się dużymi zmianami siły wyporu przy zmianach zanurzenia.



Rys. 28. Schematy pływakowych mierników poziomu. a) prosty wskaźnik poziomu, b) miernik z przetwornikiem indukcyjnościowym [11, s.192]

W poziomomierzach z nurnikiem zmiana poziomu cieczy jest przetwarzana na zmiany siły wyporu pływaka zanurzonego częściowo w cieczy na niezmiennie wysokości (rys. 29).



Rys. 29. Schemat działania poziomomierza nurnikowego [5, s. 65]