

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

ZAKŁAD ELEKTROWNI

LABORATORIUM POMIARÓW I AUTOMATYKI

W ELEKTROWNIACH

POMIAR CIŚNIENIA

MATERIAŁY POMOCNICZE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH

ŁÓDŹ 2011

Na podstawie:

Strzelczyk F.: Metody i przyrządy w pomiarach ciepłno-energetycznych,
Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Skrypt dla Szkół Wyższych, Łódź 1993;

Dokumentacje Techniczno-Ruchowe (DTR);

materiały internetowe;

SPIS TREŚCI

1. Rodzaje ciśnień i podział przyrządów do pomiarów ciśnień	3
2. Ciśnieniomierze hydrostatyczne	4
3. Ciśnieniomierze tłokowe	7
4. Ciśnieniomierze sprężyste.....	8
4.1. Zasada działania i budowa	8
4.2. Sprawdzanie ciśnieniomierzy sprężystych	11
5. Czujniki i przetworniki do pomiaru ciśnienia	12
5.1. Przetworniki indukcyjnościowe	12
5.2. Przetworniki pojemnościowe	14
5.3. Przetworniki z czujnikami krzemowymi	16
6. Wybór przyrządów do pomiarów ciśnień	20

1. RODZAJE CIŚNIEŃ I PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW DO POMIARÓW CIŚNIEŃ

W międzynarodowym układzie jednostek miar SI podstawową jednostką ciśnienia jest paskal $1 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ lub jednostki wielokrotnie większe: $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$, $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ oraz $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$.

Przyrządy do pomiaru ciśnienia mierzą nie jego wartość, lecz różnicę tej wartości i wartości ciśnienia odniesienia. Ciśnieniem odniesienia jest próżnia absolutna (bezwzględna) – przestrzeń wolna od powietrza lub ciśnienie barometryczne (atmosferyczne) – ciśnienie panujące aktualnie w miejscu pomiaru. Rodzaje ciśnień ilustruje rys. 1 a.

Ogólnie przyrządy do pomiaru ciśnień nazywają się ciśnieniomierzami. Przyrządy do pomiaru ciśnień absolutnych nazywają się barometrami i ciśnieniomierzami ciśnienia absolutnego, nadciśnień – manometrami, a podciśnień – wakuometrami (rys. 1 a). Poza tym wyróżnia się jeszcze ciśnieniomierze (manometry) różnicowe – do pomiaru różnicy ciśnień.

Ciśnienie hydrostatyczne p słupa cieczy o wysokości h i gęstości ρ_c wynosi

$$p = g \cdot h \cdot \rho_c \quad (1)$$

gdzie: g - przyspieszenie grawitacyjne, $g=9,80665 \text{ m/s}^2$.

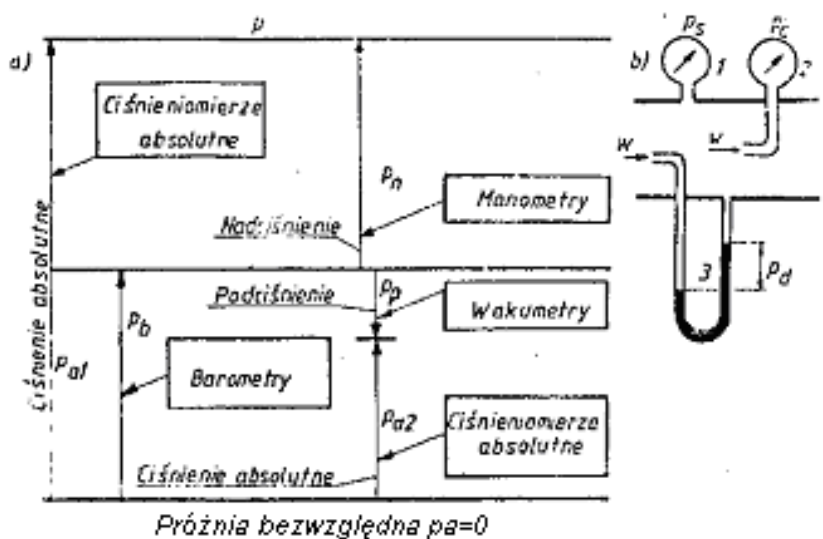
Manometr (1) (rys. 1b) mierzy ciśnienie statyczne p_s płynu (wektor prędkości w płynie jest styczny do otworu wlotowego manometru). Jeżeli otwór wlotowy manometru jest prostopadły do wektora prędkości w , to manometr (2) (rys. 1b) - wskaże wzrost ciśnienia, który jest wywołany zamianą energii kinetycznej płynu o prędkości w i gęstości ρ na energię potencjalną, jest ciśnieniem kinematycznym i zwyczajowo nazywany ciśnieniem dynamicznym:

$$p_d = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (2)$$

Ciśnienie wskazane przez manometr (2) nazywa się ciśnieniem całkowitym:

$$p_c = p_s + p_d \quad (3)$$

Jeżeli nie ma ruchu płynu, to: $p_c = p_s$.



Rys. 1. Rodzaje ciśnień

Przyrządy do pomiaru ciśnień ze względu na rodzaj (zasadę pracy) czujnika pomiarowego (pierwotnego przetwornika pomiarowego) można podzielić na:

- hydrostatyczne (cieczowe),
- tłokowe,
- sprężyste,
- parametryczne.

W poszczególnych grupach występuje dalszy podział zależnie od sposobu równoważenia siły ciśnienia oraz dalsze stopnie przetwarzania.

Ciśnieniomierzami (manometrami) nazywa się zwyczajowo czujniki ciśnienia z wyjściowym sygnałem mechanicznym w postaci przemieszczenia lub odkształcenia, natomiast przyrządy pomiarowe, w których sygnały z dowolnych czujników ciśnienia zostaną przetworzone odpowiednim przetwornikiem na sygnał elektryczny lub pneumatyczny, nazywa się przetwornikami ciśnienia.

W przyrządach parametrycznych wykorzystuje się zjawiska, w których wartość określonego parametru danej wielkości zmienia się wraz z ciśnieniem płynu oddziałującego bezpośrednio na element czujnika (przetwornika). Mogą to być przyrządy do pomiaru bardzo wysokich ciśnień (np. wykorzystujące zmianę rezystancji drutu manganowego, zmiany właściwości dielektrycznych ściskanej cieczy, ultradźwiękowe) oraz do pomiarów niskich próżni (np. wykorzystujące zjawisko prądu jonowego w rozrzedzonych gazach itp.). Przetworniki parametryczne ciśnieniowe nie znalazły szerszego zastosowania w technice pomiarów przemysłowych.

2. CIŚNIENIOMIERZE HYDROSTATYCZNE

Ciśnieniomierze hydrostatyczne działają na zasadzie określonej wzorem (1). Mierzone ciśnienie p jest równoważone przez słup cieczy manometrycznej o gęstości ρ_c . W zależności od sposobu odczytu wysokości (różnicy wysokości) słupów cieczy wyróżnić można ciśnieniomierze hydrostatyczne:

- szklane - z bezpośrednim odczytem,
- inne, w których różnica słupów cieczy jest przetwarzana na przesunięcie liniowe lub kątowe elementu pośredniczącego; w tej grupie jest szereg rozwiązań ciśnieniomierzy (rys. 4÷6).

Ciecz manometryczna powinna posiadać następujące cechy: nie mieszać się i nie wchodzić w reakcje chemiczne z innymi płynami, a w przypadku ciśnieniomierzy szklanych powinna tworzyć wyraźny menisk i nie zwilżać szkła oraz posiadać mały współczynnik rozszerzalności objętościowej. Najczęściej stosuje się rtęć, bromoform, wodę, alkohol etylowy lub olej silnikowy.

Przykłady ciśnieniomierzy hydrostatycznych szklanych podano na rys. 2. Barometr (rys. 2a) wykorzystuje się do pomiarów ciśnień barometrycznych. W zbiorniku (1) jest wstawiona szklana rurka manometryczna (2) napełniona uprzednio całkowicie rtęcią. W przestrzeni między górnym zamkniętym jej końcem a meniskiem słupa rtęci panuje próżnia Torricellego - próżnia bezwzględna (absolutna). Położenie słupa rtęci określa ciśnienie barometryczne p_b .

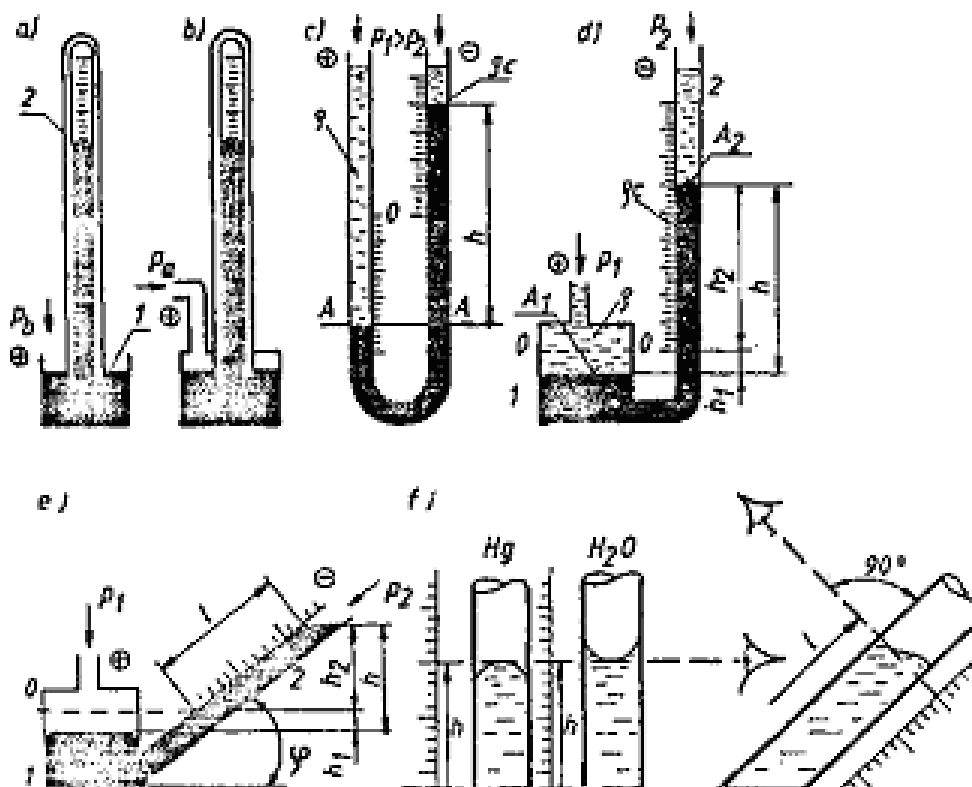
Na takiej samej zasadzie działa ciśnieniomierz absolutny (rys. 2b), który służy do pomiaru ciśnienia absolutnego p_{a1} lub p_{a2} (rys. 1). Wartość ciśnienia absolutnego p_{a2} (np. w skraplaczu turbiny) można również wyznaczyć jako różnicę ciśnienia barometrycznego p_b i podciśnienia p_p , podobnie wartość ciśnienia p_{a1} jako sumę ciśnienia p_b i nadciśnienia p_n .

Manometr dwuramienny czyli tzw. U-rurkę przedstawiono na rys. 2c. Jeżeli nad cieczą manometryczną (np. rtęcią) w U-rurce znajduje się inna ciecz (np. woda) o gęstości ρ , wówczas z równowagi sił dla przekroju A-A różnica ciśnień wynosi:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = g \cdot h \cdot (\rho_c - \rho) \quad (4)$$

Jeżeli nad cieczą manometryczną znajduje się gaz o gęstości $\rho_g \ll \rho_c$, to wzór (4) upraszcza się do postaci:

$$\Delta p = g \cdot h \cdot \rho_c \quad (4a)$$



Rys. 2. Ciśnieniomierze hydrostatyczne szklane: a) barometr, b) ciśnieniomierz absolutny, c) ciśnieniomierz dwuramienny (U-rurka), d) ciśnieniomierz jednoramienny (naziemniowy), e) ciśnieniomierz jednoramienny z rurką pochyłą, f) sposoby odczytu słupów cieczy manometrycznej

W manometrze jednoramiennym (rys. 2d) pod wpływem różnicy ciśnień:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = g \cdot (h_1 - h_2) \cdot (\rho_c - \rho) \quad (5)$$

w zbiorniku (1) poziom obniży się o h_1 , a w rurce (2) wzrośnie o h_2 ($A_2 < A_1$), przy czym zachodzi relacja:

$$A_1 \cdot h_1 = A_2 \cdot h_2 \quad (6)$$

W wykonaniach technicznych odczytu słupa cieczy dokonuje się na skali h_2 , odpowiednio nanoszonej, zgodnie z zależnością:

$$\Delta p = g \cdot h_2 \cdot \left(1 + \frac{A_2}{A_1}\right) \cdot (\rho_c - \rho) \quad (7)$$

co wynika z uwzględnienia w równaniu (5) wyrażenia (6). Jeżeli $A_2/A_1 = 0,1$, to na długości np. 10 mm zamiast 10-ciu będzie naniesione 11 podziałek elementarnych.

Odczyt dwuramiennego manometru składa się z odczytu dwu poziomów słupa cieczy górnego i dolnego, przez to manometr jednoramienny jest wygodniejszy w użyciu, a ponadto U-rurka jest elementem oscylacyjnym drugiego rzędu. Ciecz manometryczna jest nieściśliwa, więc wahania mierzonego ciśnienia powodują wahania słupów cieczy, utrudniając odczyt. Wady tej nie wykazuje manometr jednoramienny (rys. 2d), w którym zbiornik (1) o dużej powierzchni A_1 większej od powierzchni A_2 rurki pionowej (2), powoduje duże tłumienie wahań słupa cieczy w rurce (2).

Ciśnieniomierze szklane odznaczają się prostą konstrukcją i umożliwiają uzyskanie dużej dokładności pomiaru; są stosowane przede wszystkim w laboratoriach. Zakres pomiarowy ciśnienia lub różnicy ciśnień nie przekracza 0,2 MPa (wynika z długości rurek). W pomiarach różnicy wysokich ciśnień bezwzględnych (np. ciśnienia dynamicznego p_d cieczy o ciśnieniu statycznym $p_s = 1$ MPa) stosuje się manometr, w którym rurka szklana jest osłonięta częściowo rurką metalową w celu zabezpieczenia wykonującego pomiar w przypadku jej pęknięcia. Rurka metalowa ma szczelinę wzdłużną do odczytu słupa cieczy manometrycznej.

Błąd pomiaru ciśnieniomierza hydrostatycznego zależy od zmian gęstości cieczy ρ_c w wyniku zmian temperatury otoczenia oraz niedokładności odczytu wysokości słupa. W pierwszym przypadku rzeczywistą wysokość słupa cieczy h_t w temperaturze t można przeliczyć do temperatury odniesienia według wzoru:

$$h_0 = h_t \cdot [1 - (\beta - \alpha) \cdot t] \quad (8)$$

gdzie: α - współczynnik rozszerzalności liniowej (szkła, stali itp.),

β - współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy manometrycznej.

W drugim przypadku można zwiększyć wysokość słupa cieczy - stosując ciecz o mniejszej gęstości. Zdecydowane zwiększenie dokładności można uzyskać stosując manometr z rurką pochyłą (rys. 2e), w którym zamiast wysokości słupa h_2 odczytuje się jego długości:

$$l = \frac{h_1 + h_2}{\frac{A_2}{A_1} + \sin(\varphi)} \quad (9)$$

Uwzględniając we wzorze (5) zależności (9) otrzymuje się:

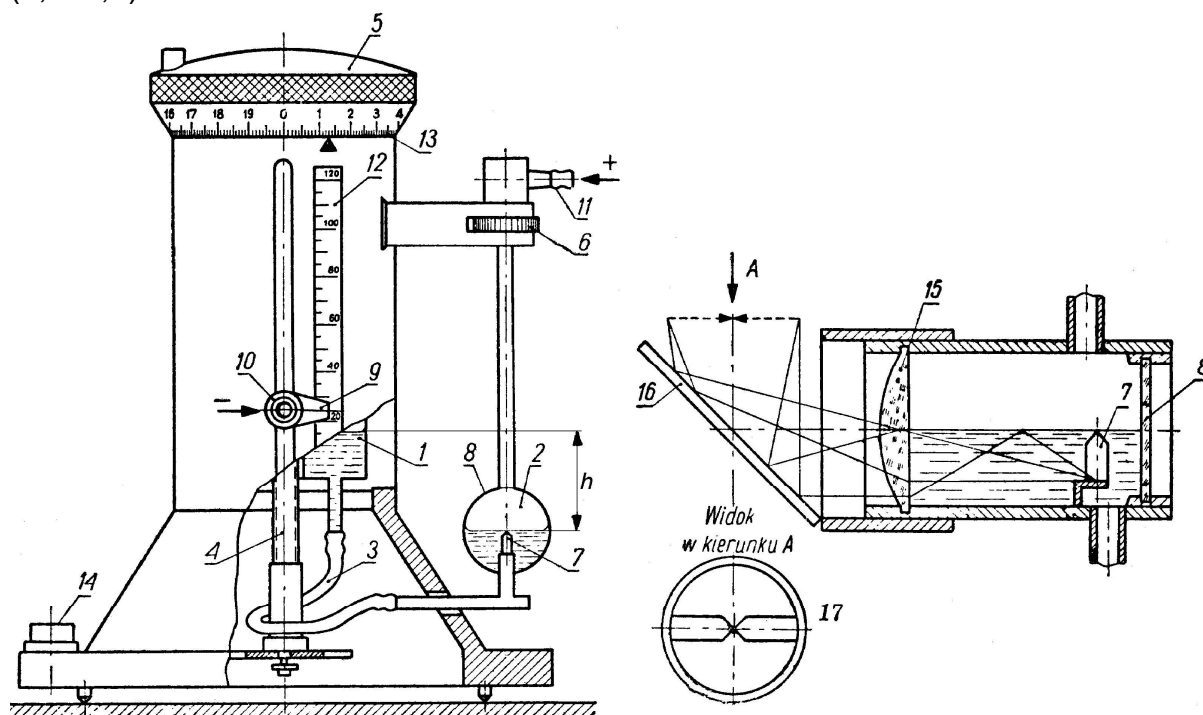
$$\Delta p = g \cdot (\rho_c - \rho) \cdot l \cdot \left(\frac{A_2}{A_1} + \sin(\varphi) \right) \quad (10)$$

gdzie: A_2 i A_1 jak na rys. 2d.

Błąd pomiaru maleje wraz ze zmniejszeniem kąta pochylenia rurki (2), gdyż określonej wartości Δp odpowiada coraz większa długość słupa cieczy 1. Stosowane są ciśnieniomierze o stałym i nastawialnym kącie φ . W tych ostatnich skala jest wykonana dla jednej wartości kąta φ , a dla pozostałych odczytana wartość jest przeliczana zgodnie ze wzorem (10). Przy posługiwaniu się ciśnieniomierzem z rurką pochyłą należy zwracać szczególną uwagę na poziom ustawienia naczynia (1). Ciśnieniomierze te wyposażone są w poziomice. Sposób odczytu położenia słupa cieczy manometrycznej wynika z rys. 2f.

Na rysunku 3b przedstawiono manometr laboratoryjny zwany mikromanometrem wzorcowym. Zasada pracy mikromanometru jest taka sama jak U-rurki (rys. 3a,a'), której ramiona - zbiorniczki (1) i (2) są połączone elastycznym przewodem (3). Przesuwanie zbiorniczka (1) w górę lub w dół pozwala niezależnie

od wartości różnicy ciśnień zawsze sprowadzić poziom zbiorniczka (2) do tej samej wartości. Wartość przesunięcia naczynia (1) względem zbiorniczka (2) jest wartością mierzonej różnicy ciśnień. Wewnątrz zbiorniczka (1) umieszczono nakrętkę, przez którą przechodzi śruba mikrometryczna (4). Obrót głowicy (5) powoduje przesunięcie zbiorniczka (1) wzdłuż osi śruby. Nakrętka (6) służy do dokładnego ustawienia zbiorniczka (2) w położeniu zerowym. Przed przystąpieniem do pomiaru manometr poziomuje się poziomką (14). Wskazówka (9) i głowica (5) są ustawione na kreskach zerowych. Ciśnienie wyższe przyłącza się do końcówki (11), a niższe do końcówki (10). Pod wpływem różnicy ciśnień poziom wody w zbiorniku (2) obniża się, a w zbiorniku (1) podnosi. Obracając głowicę (5) przesuwa się w górę zbiorniczek (1), aż ostrze wskaźnika (7) zetknie się z poziomem wody (ostrze wskaźnika styka się z ostrzem swego odbicia (17)), co można zaobserwować w układzie optycznym: soczewka (15) - lustro (16), oświetlonym przez matową szybę (8). Wartość przesunięcia h wyznacza się za pomocą podziałki (12) i noniusza (13). Zakres odchylenia $h = (0 \div 150)$ mm, a błąd odczytu $(0,02 \div 0,05)$ mm i jest stały dla całego zakresu. Gdy cieczą manometryczną jest woda, wówczas błąd odczytu wynosi $(0,2 \div 0,5)$ Pa.



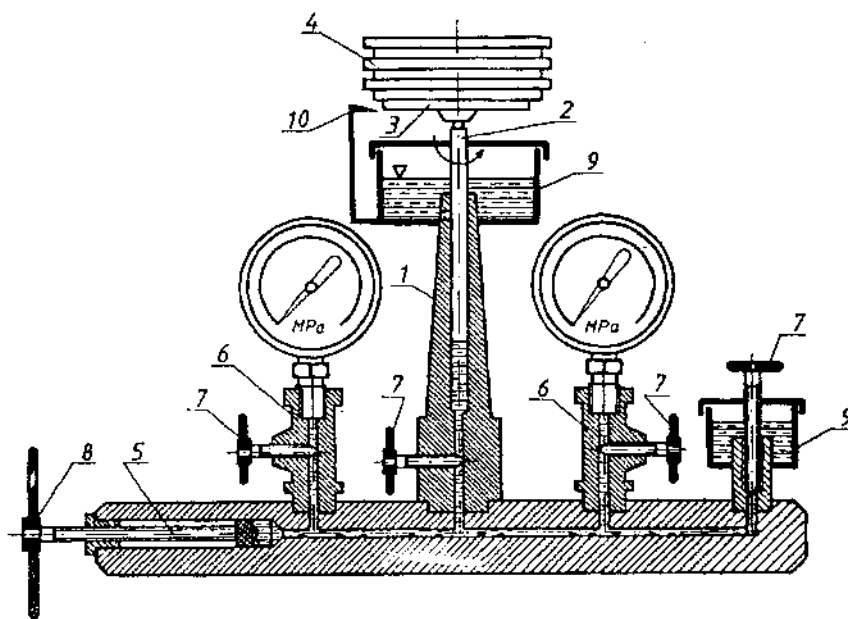
Rys. 3. Mikromanometr hydrostatyczny typu Askania: budowa i układ odczytu

3. CIŚNIENIOMIERZE TŁOKOWE

Ciśnieniomierz tłokowy jest przyrządem czułym i o dużej dokładności (klasy dokładności 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2). Tłok umieszczony w pionowym cylindrze stanowi zamknięcie oleju, na który oddziałuje mierzone ciśnienie. Siły ciśnienia działające na tłok poprzez olej są równoważone bądź siłą ciężenia masy odważników, bądź siłą rozciąganej sprężyny. W przypadku drugim, proporcjonalne do zmian ciśnienia odchylenie tłoka jest przetwarzane na sygnał elektryczny.

Zasadę działania ciśnieniomierza tłokowego z pierwszym sposobem równoważenia tłoka stosuje się we wzorcowych manometrach obciążnikowo-tłokowych (rys. 7), wykorzystywanych do zadawania wzorcowej wartości ciśnień (jako tłokowe wzorce ciśnienia) przy sprawdzeniu ciśnieniomierzy sprężystych oraz

przetworników ciśnienia. Manometr obciążnikowo-tłokowy jest urządzeniem, którego celem jest wytwarzanie, utrzymanie oraz pomiar zadanego ciśnienia. Manometr obciążnikowo-tłokowy mierzy ciśnienie na zasadzie wzoru: $p = g m/A$, gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, m - masa sumaryczna obciążników, A - pole przekroju tłoka. Jest to bezwzględna metoda pomiarowa. Dlatego niepożądane są siły tarcia tłoka (2) w cylindrze (1) i stąd najważniejszym zespołem manometru jest układ tłok-cylinder. Między powierzchnią zewnętrzną tłoka a cylindrem jest szczelina (0,005 mm) umożliwiającą ruch obrotowy i pionowy tłoka. Wyciekający olej wskutek nieszczelności tłoka zbiera się w zbiorniczku (11). Do króćca (6) jest przyłączony sprawdzany ciśnieniomierz. Po przesunięciu tłoka (5) prasy hydraulicznej napelnia się prasę olejem z naczynia (9). Dla zadanej wartości ciśnienia nakłada się na talerzyk (3) (obciążnik podstawowy) odpowiednią masę obciążników (4). Zwiększając pokrętką (8) ciśnienie oleju należy doprowadzić do takiego stanu, że unoszący się tłok (2) w cylindrze (1) osiągnie zawsze na stałej wysokości stan równowagi - wskaźnik (10). Wówczas ciśnienie hydrostatyczne słupów cieczy pod tłokiem i pod sprawdzanym ciśnieniomierzem są sobie równe. Jeżeli sprawdzany ciśnieniomierz znajduje się na innej wysokości niż dolna powierzchnia tłoka (2), należy uwzględnić ciśnienie odpowiedniego słupa cieczy. W celu zmniejszenia wpływu sił tarcia tłok (2) należy obracać. W manometrach wysokiej klasy ruch obrotowy tłoka jest wywołany specjalnym układem napędowym. Prędkość obrotowa w czasie pomiaru powinna być stała. Zaworami (7) odcina się, w zależności od potrzeb, rozptyw oleju w poszczególnych kanałach prasy.



Rys. 7. Manometr obciążnikowo - tłokowy-

4. CIŚNIENIOMIERZE SPRĘŻYSTE

4.1. Zasada działania i budowa

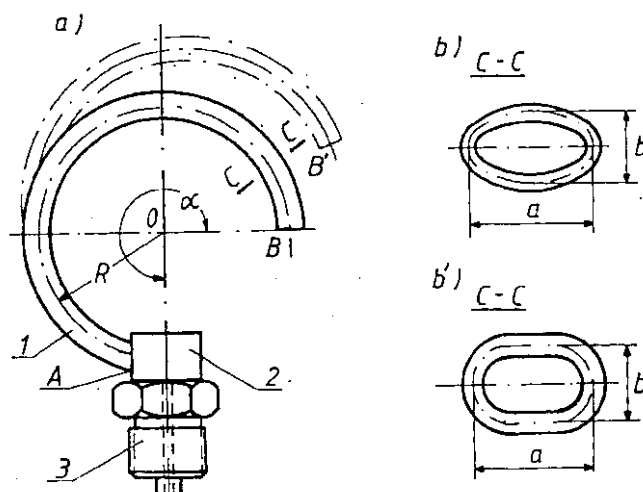
Zasada działania ciśnieniomierzy sprężystych polega na mierzeniu wielkości odkształcenia elementów sprężystych różnych typów. Odkształcenie czujnika pomiarowego jest przetwarzane za pomocą odpowiednich mechanizmów, na kątowe lub liniowe przesunięcie wskazówki przyrządu. Jeżeli odkształcenie elementu sprężystego będzie przetwarzane na wyjściowy sygnał prądowy lub pneumatyczny, wówczas cały układ pomiarowy można nazwać przetwornikiem ciśnienia.

Do zalet ciśnieniomierzy sprężystych należą: prosta budowa, uniwersalność, niezawodność działania, szeroki zakres pomiarowy oraz łatwość transportu. Do wad należą: wpływ temperatury i czasu eksploatacji na właściwości sprężyste elementów odkształczanych, ich histereza oraz trwałe odkształcenie przy przeciążeniach ciśnieniomierza. Ciśnieniomierze sprężyste są najbardziej rozpowszechnionymi ciśnieniomierzami w pomiarach przemysłowych. Są one z reguły wykorzystywane do pomiaru i odczytu wartości ciśnienia bezpośrednio w miejscu pomiaru.

- Ze względu na typ elementu sprężystego dzielą się na dwie podstawowe grupy:
- ciśnieniomierze z rurką sprężystą (tzw. rurką Bourdona),
 - ciśnieniomierze z elementami sprężystymi powierzchniowymi, wykonanymi w postaci: przepon, membran, puszek lub mieszków.

Od tych elementów ciśnieniomierze przybierają odpowiednią nazwę: rurkowe, membranowe, przeponowe, mieszkowe itp.

Zasadniczym elementem ciśnieniomierza rurkowego jest rurka sprężynowa najczęściej o przekroju eliptycznym lub owalnym, zwinięta w łuk koła tak, że oś podłużna elipsy a jest prostopadła do płaszczyzny zwinięcia (rys. 3.8). Kształt przekroju rurki sprężystej oraz kąt α jej zwinięcia zależą od wartości ciśnienia (kształt owalny dla ciśnień wysokich). Kąt α wynosi najczęściej 270° (dla ciśnień wysokich $\alpha < 270^\circ$).



Rvs. 3.8. Sprężyna rurkowa ciśnieniomierza: a) schemat sprężyny rurkowej: 1 - rurka, 2 - uchwyty (obsada), 3 -króciec; b) i b') - eliptyczny i owalny przekrój poprzeczny rurki

Rurka (1) jednym końcem A jest umocowana w obsadzie (2), która jest zakończona gwintowanym króćcem (3) służącym do przyłączenia ciśnieniomierza. Drugi koniec B rurki (koniec swobodny) jest zamknięty. Pod wpływem nadciśnienia wewnątrz rurki, jej przekrój poprzeczny zmienia wymiary - wymiar b wzrasta, a wymiar a maleje (rys. 8), wskutek czego zmienia się promień krzywizny rurki. Swobodny koniec rurki ulegnie przemieszczeniu, które przy odpowiednim doborze kształtu przekroju rurki będzie proporcjonalne do nadciśnienia panującego wewnątrz rurki. Przemieszczenie to można wykorzystać do pomiaru ciśnienia. Należy jednak pamiętać, aby odkształcenie rurki mieściło się w zakresie jej odkształceń sprężystych. Maksymalne przesunięcie swobodnego końca rurki sprężynowej wynosi (5÷8) mm.

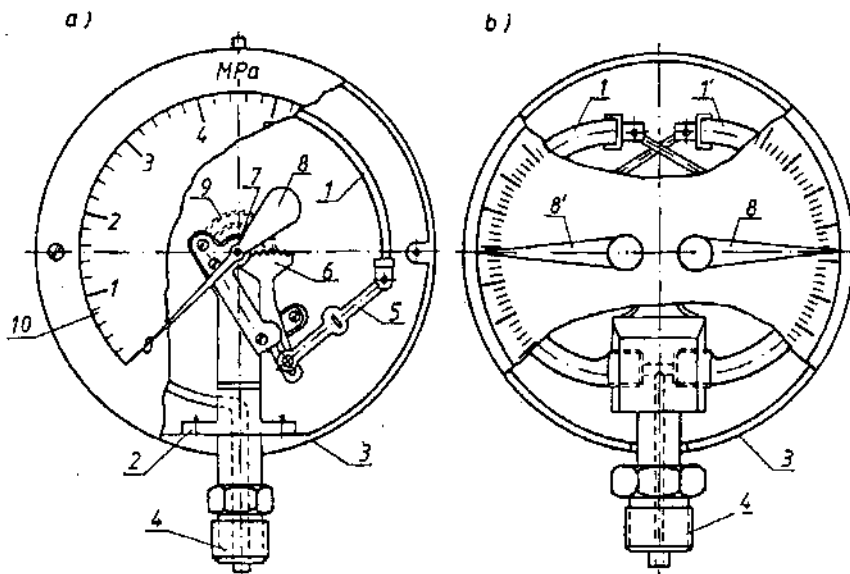
W celu uzyskania widocznych wskazań przyrządu stosuje się segmentową przekładnię zębatą (rys. 9) lub przekładnię dźwigniową. Przemieszczenie rurki sprężynowej (1) za pomocą cięgna (5) powoduje obrót przekładni zębatej (6)

i sprzęgniętego z nią kółka zębatego (7), na którego osi na sztywno jest osadzona wskazówka (8). Do kółka zębatego jest przymocowany jeden koniec sprężynki (9), a drugi jej koniec jest umocowany na stałe. Zadaniem sprężynki jest usuwanie luzów w zazębieniu.

Podziałka ciśnieniomierza z przekładnią zębatą ma kąt rozwarcia 270° , natomiast z przekładnią dźwigniową 90° . Ciśnieniomierze z przekładnią dźwigniową są bardziej wytrzymałe na wstrząsy, ale mają większy błąd odczytu i są stosowane w szczególnych przypadkach: jako ciśnieniomierze kontrolne oraz do pomiaru ciśnień pulsujących, np. do pomiaru ciśnienia wody na wylocie pompy.

Ciśnieniomierze z rurką sprężystą wykonane są jako:

- techniczne o klasach dokładności: 1, 1.6, 2.5, 4;
- kontrolne o klasach dokładności: 0.4, 0.6, 1;
- precyzyjne o klasach dokładności: 0.1, 0.16, 0.25, 0.4 (średnica 250mm).



Rys. 9. Ciśnieniomierze z rurką sprężystą: a) zwykły, b) kontrolny z dwoma układami pomiarowymi; 1, 1' - rurka sprężysta, 2 - obsada, 3 - korpus, 4 - króciec, 5 - ciągnio, 6 - segment zębaty, 7 - kółko zębate (niewidoczne na rysunku), 8, 8' - wskazówka, 9 - płaska spiralna sprężynka, 10 - podziałka

Ciśnieniomierze kontrolne (służące do sprawdzania ciśnieniomierzy technicznych w ruchu) mają dwa ustroje pomiarowe (rys. 9b), dwie rurki sprężyste (1) i (1') - przyłączone do wspólnego króćca, dwie przekładnie, dwie wskazówki (8) i (8') i jedną lub dwie mimośrodkowo umieszczone podziałki. Jeżeli położenie obu wskazówek jest identyczne, to uważa się że przyrząd nie jest uszkodzony. Ciśnieniomierze kontrolne są wyposażone w złączkę z kołnierzem i uchwytem do połączenia ciśnieniomierza z kołnierzem zaworu trójdrogowego (rys. 24).

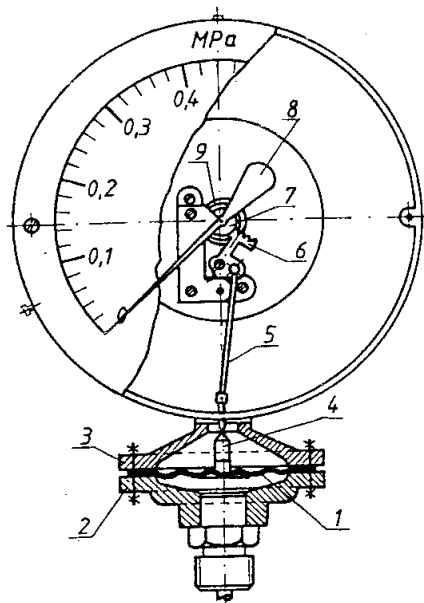
Ciśnieniomierze rurkowe są budowane o średnicach korpusu: (40, 60, 100, 160, 250) mm. Ciśnieniomierze o mniejszych średnicach są mniej dokładne.

Zakresy pomiarowe ciśnieniomierzy wynoszą: (0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4) MPa z mnożnikami: 1, 10, 100. W ciśnieniomierzach wykonanych jako wakuometry lub manowakuometry zakresy wynoszą: $(-0,06 \div 0)$; $(-0,1 \div 0)$; $(-0,1 \div +0,15)$; $(-0,1 \div +0,4)$ MPa.

Ciśnieniomierze z elementami sprężystymi powierzchniowymi są budowane na niższe wartości ciśnień, zależnie od kształtu elementu. W ciśnieniomierzu membranowym (rys. 10) membrana (1), wykonana z metalowej blaszki o współśrodkowo przebiegających korbach, poprawiającą liniowość charakterystyki

pomiarowej ciśnieniomierza (zwiększenie podatności na odkształcenia sprężyste), jest umocowana między kołnierzami (2) i (3). Odkształcenie sprężyste membrany (1) poprzez trzpień (4), ciągną (5), przekładnię segmentową zębatą (6) i kółko zębate (7) oddziałuje na wskazówkę (8). Rola sprężynki płaskiej (9) jest podobna jak dla manometru z rurką Bourdona (rys. 9a). Ponieważ maksymalne odkształcenie środkowej części membrany nie przekracza $(1,5 \div 2,0)$ mm, więc należy stosować przekładnie zębate o dużym przełożeniu, co zmniejsza czułość i dokładność przyrządu. Klasa dokładności przyrządu wynosi: 1,6; 2,5; 4. Zakres ciśnienia do 1 MPa.

Zasadniczą zaletą ciśnieniomierzy membranowych jest odporność na wstrząsy oraz możliwość wykonywania pomiarów ciśnień cieczy gęstych i silnie korozyjnych. Łatwiej jest wykonać powłokę ochronną na płaszczyźnie membrany niż na ścianie wewnętrznej rurki Bourdona.



Rys. 10 Ciśnieniomierz sprężysty membranowy

4.2. Sprawdzanie ciśnieniomierzy sprężystych

W odróżnieniu od ciśnieniomierzy cieczowych, ciśnieniomierze sprężyste, z uwagi na zmiany właściwości sprężystych elementów odkształczanych w czasie eksploatacji, muszą być systematycznie kontrolowane. Kontrola ciśnieniomierza ruchowego w miejscu zainstalowania polega na porównaniu jego wskazań ze wskazaniami, przyłączonego do zaworu trójdrogowego (rys. 24), ciśnieniomierza kontrolnego. Dokładne sprawdzenie ciśnieniomierzy sprężystych w całym zakresie wskazań należy przeprowadzać raz w roku. Sprawdzenie laboratoryjne polega na sprawdzeniu dokładności i histerezy wskazań dla sześciu punktów podziałki: (0, 20, 40, 60, 80, 100)%. Do tego celu stosuje się manometry obciążnikowo-tłokowe (rys. 7). Sprawdzenia dokonuje się porównując wskazania ciśnieniomierza z obciążnikowym wzorcem ciśnienia (z zadaną masą odważników) lub przez porównanie ze wskazaniem wzorcowego ciśnieniomierza sprężystego o wyższej klasie dokładności.

Ciśnieniomierze puszkowe sprawdza się praskami powietrznymi, a jako przyrządy wzorcowe wykorzystuje się mikromanometry cieczowe.

5. CZUJNIKI I PRZETWORNIKI DO POMIARU CIŚNIENIA

Istnieje wiele rodzajów czujników ciśnienia (różnicy ciśnień). Były one i są wykonywane w licznych odmianach zależnie od: przeznaczenia, zakresu pomiarowego, sposobu przetwarzania sygnału przemieszczenia lub siły oraz od doświadczeń i osiągnięć firmy produkującej czujniki pomiarowe czy też przetworniki je wykorzystujące.

Wyróżnić można dwa podstawowe rodzaje sygnałów generowanych przez czujniki ciśnienia i wynikające stąd metody ich pomiaru:

- jako przemieszczenie, którego pomiaru dokonuje się metodą odchyleniową;
- jako siła, której pomiaru dokonuje się równoważąc jej oddziaływanie metodą kompensacyjną.

W pierwszym przypadku ciśnienie oddziałując na określoną (stałą) powierzchnię generuje siłę, która wywołuje przesunięcie i jest równoważona: siłą sprężystości czujnika pomiarowego (rurka Bourdona, membrana, mieszek) lub dodatkowymi sprężynami (osiowymi, płaskimi). Wielkość odkształcenia jest bardziej lub mniej proporcjonalna (liniowość czujnika) do siły (ciśnienia) i wywołuje bardziej lub mniej proporcjonalną (liniowość przetwornika) zmianę:

- indukcji magnetycznej – w przetwornikach indukcyjnościowych;
- pojemności elektrycznej – w przetwornikach pojemnościowych;
- rezystancji – w przetwornikach: potencjometrycznych, tensometrycznych lub piezorezystancyjnych.

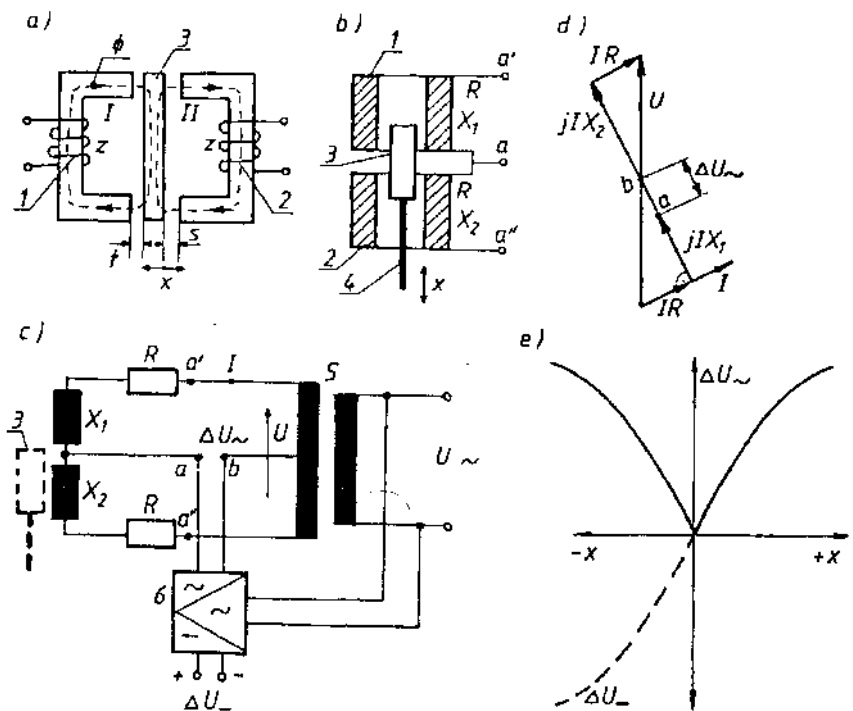
W drugim przypadku ciśnienie oddziałując na określoną (stałą) powierzchnię generuje siłę, która jest kompensowana siłą wytwarzaną przez elektryczny lub pneumatyczny układ równoważenia.

5.1. Przetworniki indukcyjnościowe

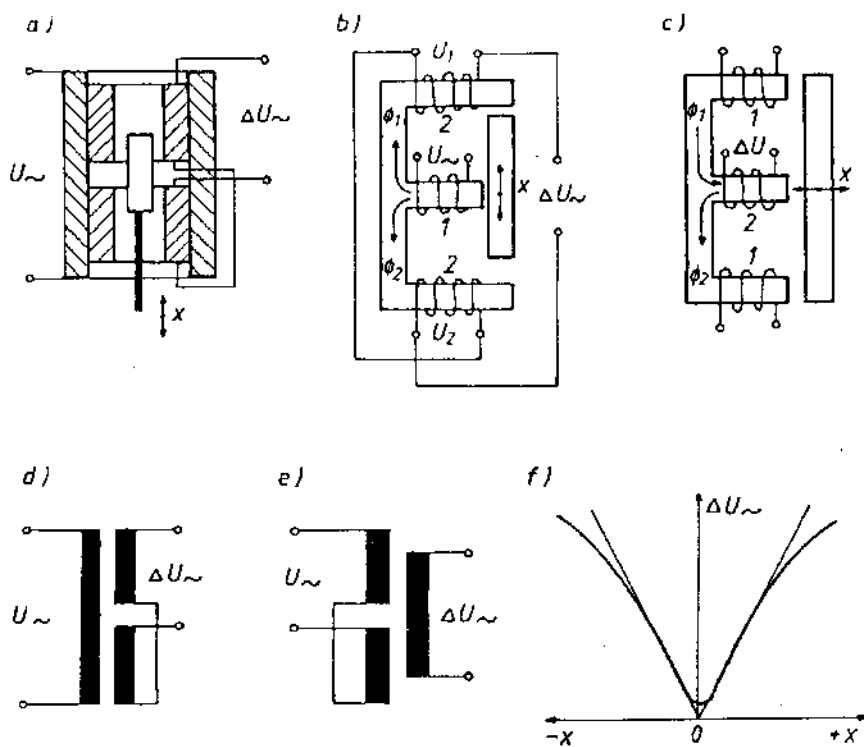
W przetwornikach indukcyjnościowych wykorzystuje się zjawisko zmiany indukcji magnetycznej do przetworzenia przemieszczenia na wartość napięcia elektrycznego. Rozróżnia się przetworniki, w których następuje zmiana: indukcyjności własnej L (przetworniki dławikowe i solenoidalne), indukcyjności wzajemnej M (przetworniki transformatorowe).

Na rys. 11 przedstawiono schemat zastępczy przetwornika o zmiennej indukcyjności własnej L wraz ze schematem pomiarowym, wykresem wskazowym i jego charakterystyką przetwarzania $\Delta U_{\sim} = f(x)$. Przesunięcie rdzenia ferromagnetycznego (3) (rys 11b) w obszar jednej z cewek powoduje wzrost jej reaktancji $X = \omega L$ (ω – pulsacja napięcia U_{\sim}) i odpowiednią zmianę wykresu wskazowego, a zatem i zmianę wartości skutecznej napięcia ΔU_{\sim} . Jeżeli do pomiaru różnicy napięć przekątnej mostka a-b wykorzystuje się układ fazoczuły, wówczas napięcie ΔU_{\sim} zmienia swój znak.

Przykłady transformatorowych przetworników indukcyjnościowych podano na rys. 12. W przetworniku transformatorowym obwód wyjściowy jest odizolowany od obwodu zasilania, czyli występuje galwaniczne oddzielenie wyjścia od wejścia przetwornika. W rozwiązaniu na rys. 12a) b) występują dwa uzwojenia wtórne i indukowane w nich napięcia odejmują się (schemat elektryczny układów na rys. 12d). W rozwiązaniu z rys. 12c) są dwa uzwojenia pierwotne, w których strumienie Φ_1 i Φ_2 indukują w uzwojeniu wtórnym dwie przeciwnie skierowane siły elektromotoryczne (schemat elektryczny na rys. 12e). W wyniku pojawienia się w napięciu wyjściowym wyższych harmonicznych, głównie trzeciej (przy środkowym położeniu rdzenia) dla przesunięcia $x = 0$ różnica napięć $\Delta U_{\sim} > 0 V$ (rys. 12f). Najczęściej w pomiarach wykorzystuje się najbardziej liniowy przedział jednego ramienia charakterystyki. Unika się wówczas stosowania układów fazoczułych. Błąd przetwarzania przetworników indukcyjnościowych jest rzędu $\pm(0,2 \div 1,5)\%$.

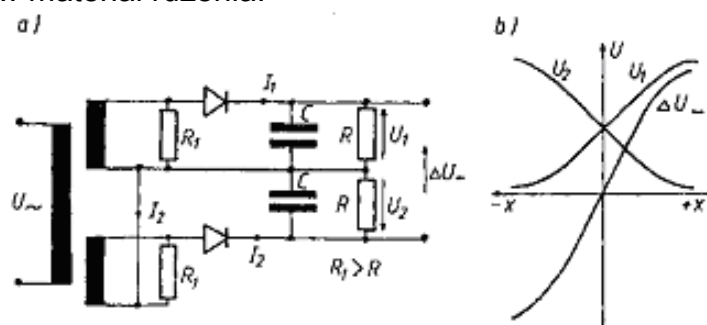


Rys. 11. Przetworniki indukcyjnościowe różnicowe: a) dławikowy, b) solenoidalny, c) schemat przetwornika i układu pomiarowego mostkowego, d) wykres wskazowy przetwornika indukcyjnościowego, e) charakterystyka statyczna przetwornika: 1,2- cewki, 3 - zwora lub rdzeń ferromagnetyczny, 4 - łącznik wykonany z materiału diamagnetycznego, 5 - transformator zasilający, 6 - prostownik fazoczuły, R i X - rezystancje i reaktancje uzwojeń



Rys. 12. Przetworniki indukcyjnościowe transformatorowe: a), b) i c) budowa, d) i e) odpowiadające im schematy elektryczne, f) charakterystyka przetwornika transformatorowego; 1 - uzwojenie pierwotne, 2 - uzwojenie wtórne

Podstawowym układem pomiarowym z przetwornikiem indukcyjnościowym jest mostek transformatorowy (rys. 13), gdzie uzwojenia wtórne transformatora zasilającego tworzą ramiona pomocnicze mostka. Przetworniki są zasilane napięciem o częstotliwości 50 Hz lub (0,3÷10) kHz. Przy niskich częstotliwościach (50 Hz) reaktancja X jest mała w porównaniu z rezystancją R , co powoduje duży wpływ temperatury otoczenia. Maksymalna częstotliwość zasilania przetworników indukcyjnościowych jest ograniczona indukcyjnością i pojemnością rozproszenia oraz dyspersją przenikalności magnetycznej. Przenikalność magnetyczna maleje ze wzrostem częstotliwości w wyniku zmniejszenia głębokości wnikania pola magnetycznego w materiał rdzenia.



Rys. 13, Schemat pomiarowy a) i ,charakterystyka b) przetwarzania przetwornika transformatorowego $U = f(x)$

Zmiany indukcyjności przetwornika w układzie różnicowym są bardziej liniowe niż przetwornika pojedynczego (lepsza liniowość przetwarzania), czyli jest również mniejszy błąd podstawowy tego przetwornika oraz większa czułość. Również błędy dodatkowe wynikające z: nieliniowości, zmian częstotliwości, wpływu temperatury otoczenia i przewodów łączeniowych w przetwornikach różnicowych pracujących w układach mostkowych wzajemnie się kompensują.

Przetworniki indukcyjnościowe są stosowane do pomiaru przesunięć od mikrometrów do kilku milimetrów, ale są również konstrukcje do pomiaru przesunięć rzędu kilkudziesięciu centymetrów.

Obecnie przetworników indukcyjnościowych do pomiaru ciśnienia już się nie stosuje. Zostały one wyparte przez przetworniki z czujnikami: pojemnościowymi lub piezorezystancyjnymi.

5.2. Przetworniki pojemnościowe

Zmianę pojemności układu elektrod tworzących kondensator wykorzystuje się do pomiaru wielkości mechanicznych, dających się przetworzyć na wzajemne przemieszczenie elektrod lub zmianę stałej dielektrycznej przestrzeni między elektrodami.

Bezpośrednią wielkością wejściową (mierzoną) jest przemieszczenie liniowe lub kątowe oraz zmiana grubości lub poziomu dielektryka.

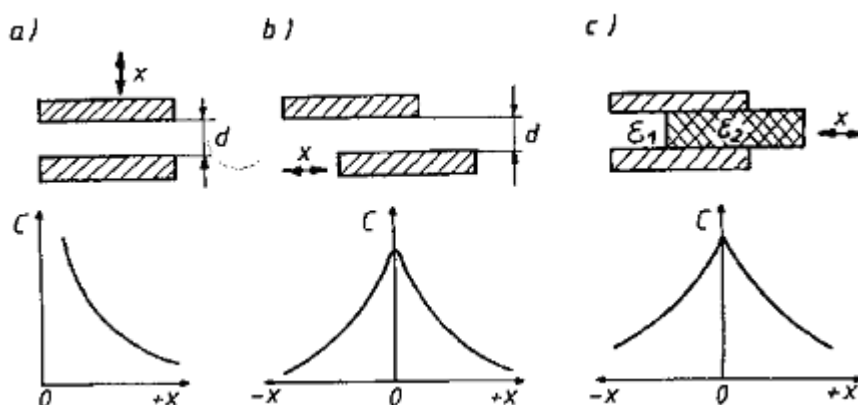
Układ kondensatora może być prosty (rys. 14) – utworzony przez dwie elektrody lub różnicowy (rys. 15) – utworzony przez trzy elektrody, przy czym odchyleniu ulega elektroda środkowa (membrana pomiarowa - rys. 16).

Pojemność kondensatora płaskiego o powierzchni elektrody A i odległości między nimi d , wynosi:

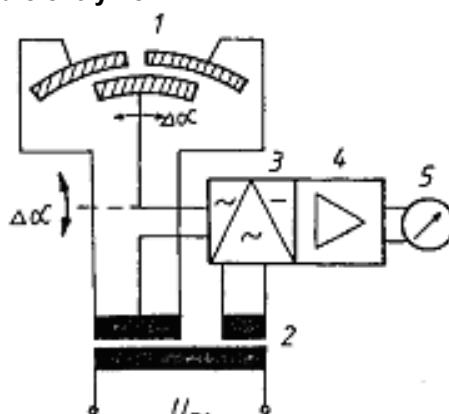
$$C_0 = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (11)$$

gdzie: ϵ_0 - przenikalność dielektryczna w próżni,

ϵ - względna przenikalność dielektryczna dielektryka między elektrodami.



Rys. 14. Elementy pojemnościowe i odpowiadające im charakterystyki przetwarzania $C = f(x)$: a) o zmiennej odległości elektrod, b) o zmiennej powierzchni czynnej, c) z przesuwającym dielektrykiem



Rys. 15. Schemat mostkowego układu pomiaru z czujnikiem pojemnościowym różnicowym 1 - element pomiarowy (obrotowy) różnicowy do pomiaru zmian kąta odchylenia $\Delta\alpha$, 2 - transformator zasilający, 3 - prostownik fazoczuły, 4 - wzmacniacz, 5 - miernik

Liniowość układu różnicowego jest lepsza niż układu z kondensatorem płaskim. Dla zmniejszenia nieliniowości w układach pomiarowych wykorzystuje się tylko małe zmiany odległości między okładkami (do 10%) i wówczas błąd nieliniowości jest mniejszy od 1%. W celu uzyskania dobrej czułości przetwornika pojemnościowego stosuje się małe początkowe odległości elektrod, przy czym ze względów izolacyjnych najmniejsza odległość wynosi 0,5 mm.

Przykładem nowoczesnego przetwornika różnicy ciśnień (nadciśnienia) z czujnikiem pojemnościowym może być konstrukcja opracowana przez firmę Rosamount (rys. 16). Funkcję czujnika ciśnienia spełnia różnicowy kondensator pomiarowy, w którym elektrodą pomiarową jest sprężysta membrana. Mierzona różnica ciśnień oddziałuje na membrany separujące i jest przenoszona na pośredniczącą ciecz (olej silikonowy lub ciecz chemicznie bierna) wypełniającą komory pomiarowego kondensatora. Przemieszczenie sprężystej membrany pomiarowej jest proporcjonalne do różnicy ciśnień i wynosi ok. 0,1 mm. Powstała w wyniku przemieszczenia membrany pomiarowej różnica pojemności, między obu częściami kondensatora, jest przetwarzana w układzie elektronicznym na sygnał wyjściowy przetwornika $(4 \div 20)$ mA (źródło prądowe), pracującego w dwuprzewodowym układzie połączeń zewnętrznych.

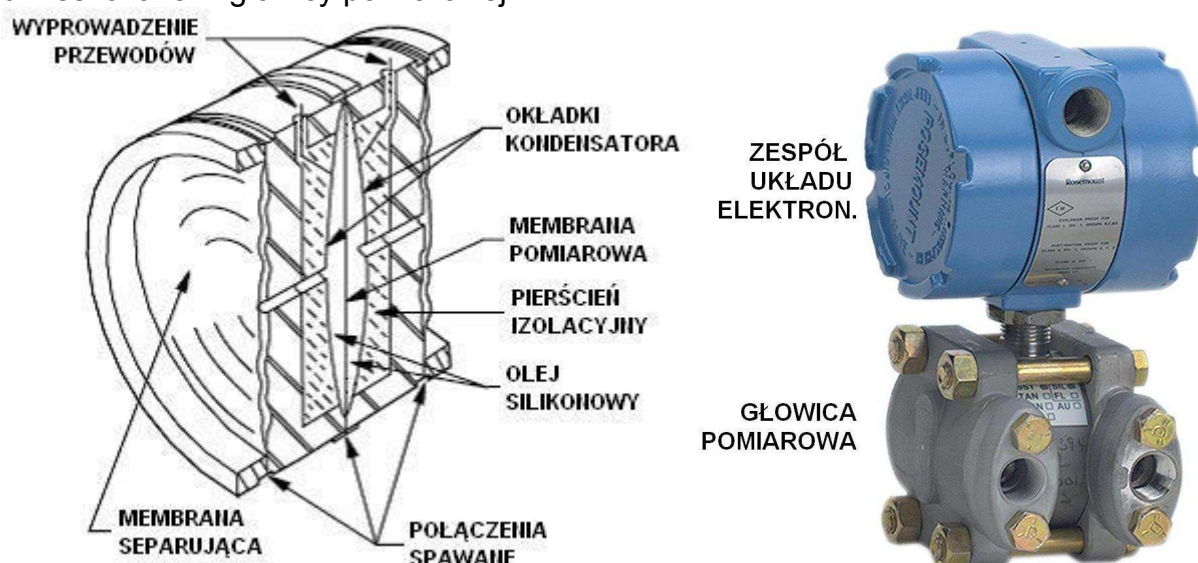
Przetwornik pomiarowy składa się z dwóch zasadniczych części:

- głowicy pomiarowej,
- zespołu układu elektronicznego.

Głowica pomiarowa składa się z modułu czujnika oraz przykręconych do niego dwóch obudów bocznych. Obudowy boczne tworzą z modułem czujnika dwie komory: wyższego i niższego ciśnienia. Do komór tych, poprzez odpowiednie przyłącza, jest doprowadzony czynnik mierzony.

Zespół układu elektronicznego jest umieszczony w jednej z dwu komór obudowy wykonanej ze stopu aluminium w kształcie walca. W drugiej komorze umieszczone są zaciski przyłącza połączeń zewnętrznych.

Zespół dwóch kondensatorów stanowiących czujnik pomiarowy jest zasilany z generatora o częstotliwości podstawowej 32 kHz. Pojemność poszczególnych cel różnicowego kondensatora pomiarowego wynosi ok. 150 pF. Na częstotliwość generatora wpływa położenie membrany sprężystej (elektrody ruchomej) kondensatora pomiarowego. Zmiany częstotliwości są prostowane przez demodulator. Demodulator i termistor do kompensacji zmian temperatury czujnika są umieszczone w głowicy pomiarowej.



Rys. 16. Czujnik pomiarowy i widok zewnętrzny przetwornika ciśnienia (Rosemount)

Charakterystycznymi cechami przetworników pojemnościowych są:

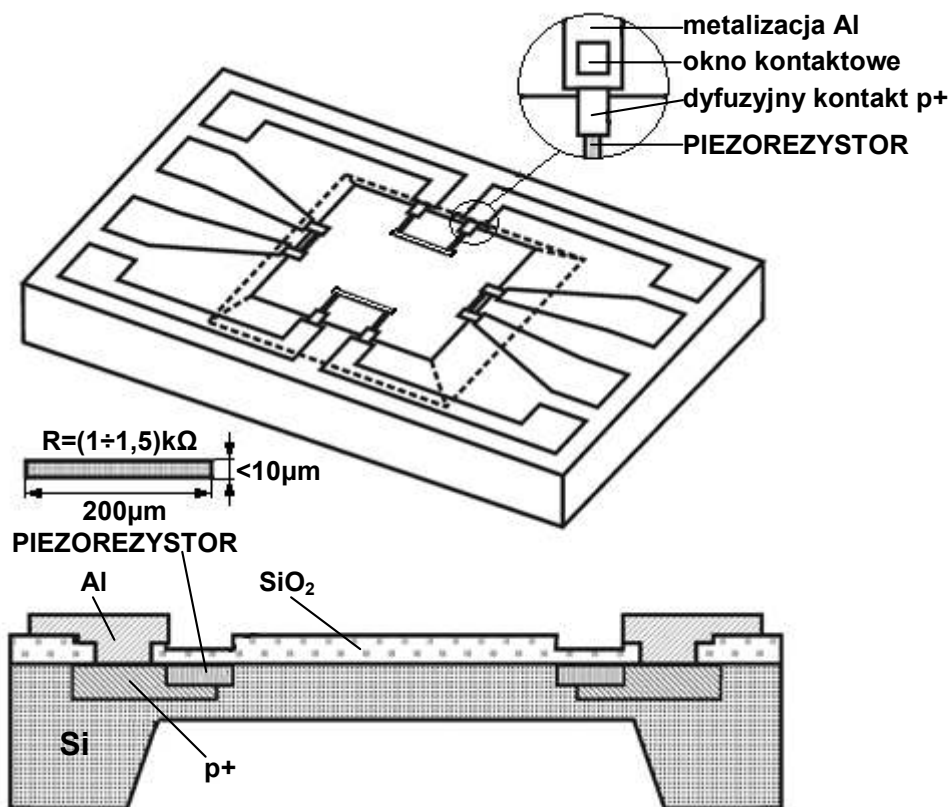
- mała wartość wymaganej siły do przesunięcia elektrody,
- duża impedancja wyjściowa (w celu jej zmniejszenia układy pomiarowe są zasilane napięciem wysokiej częstotliwości do 10 kHz),
- przy stosunkowo małej pojemności własnej przetwornika (pojemność przetworników <math><100\text{ pF}</math>) duży wpływ mają pojemności przewodów doprowadzających (w celu wyeliminowania tego wpływu budowa przetwornika jest bardzo zwarta).

5.3. Przetworniki z czujnikami krzemowymi

Współcześnie w warunkach przemysłowych dominują układy, w których ciśnienie, a mówiąc ściślej różnica ciśnień, jest przetwarzana na proporcjonalny sygnał elektryczny w specjalnej konstrukcji czujnikach wykonanych z krzemu lub z krzemu połączonego ze szkłem. Można wyróżnić trzy rodzaje krzemowych czujników ciśnienia:

- piezorezystancyjne,
- pojemnościowe,
- rezonansowe.

Wszystkie te rodzaje czujników wykorzystują w swojej zasadzie działania bardzo ważną i mającą duże praktyczne zastosowanie właściwość krystalu krzemu: praktycznie całkowity brak oznak zmęczenia przy niewielkich odkształceniach. Właściwość ta powoduje, że odpowiednio ukształtowane struktury krzemowe, takie jak cienkie membrany, cienkie pręty (beleczki) itp. można „nieskończenie” razy w niewielkim stopniu odkształcać i nie powoduje to praktycznie jakichkolwiek trwałych zmian ich właściwości. Coraz większą popularnością cieszą się układy zintegrowane, w których: czujnik ciśnienia oraz układy wzmacniające, zapewniające jego liniowość oraz kompensację wpływu temperatury, mieszczą się w jednej strukturze półprzewodnikowej (MEMS – *Micro-Electro-Mechanical-Systems*). Na wyjściu takiego układu otrzymuje się sygnał analogowy lub cyfrowy proporcjonalny do mierzonego ciśnienia.



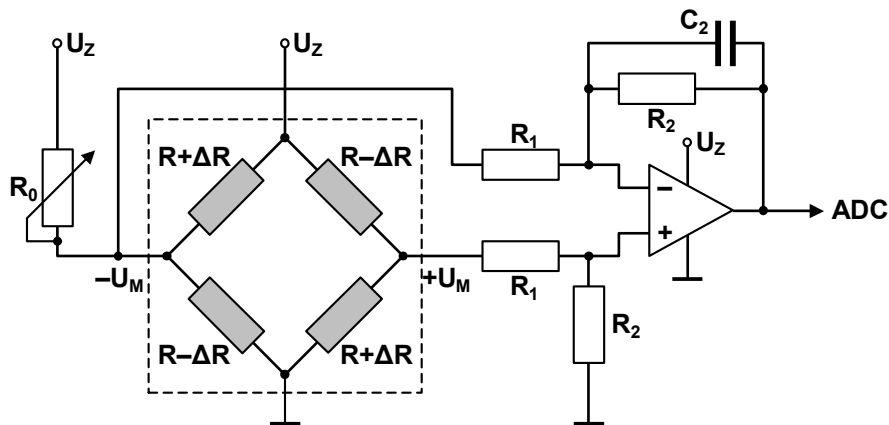
Rys. 17. Piezorezystancyjny czujnik ciśnienia

W **piezorezystancyjnym czujniku ciśnienia** cienka membrana krzemowa ugina się pod wpływem oddziaływania ciśnienia płynu. Grubość membrany zależy od zakresu pomiarowego ciśnień i wynosi $(5 \div 200) \mu\text{m}$. W ugiętej membranie powstają naprężenia rozciągająco–ściskające. W obszarze tych naprężeń umieszczone są piezorezystory połączone w układ mostka Wheatstone’a tak, aby otrzymać w nich dodatnie i ujemne zmiany rezystancji wywołane efektem piezorezystancyjnym. Zmiany rezystancji są zależne od wielkości naprężenia (odkształcenia) membrany, a więc od ciśnienia. Najczęściej stosuje się dwa piezorezystory równoległe i dwa piezorezystory prostopadłe do krawędzi membrany (rys. 17). Takie ułożenie piezorezystorów wykorzystuje silne naprężenia powstające przy jej krawędzi: prostopadłe do niej rozciągające (wzrost rezystancji) i równoległe do niej ściskające (zmniejszenie rezystancji). Aby uzyskać dużą zmianę rezystancji, piezorezystory powinny być krótkie i umieszczone jak najbliżej krawędzi membrany. Rezystory prostopadłe do krawędzi membrany dzieli się najczęściej na dwa krótsze odcinki.

Stosowane są również dwie pary piezorezystorów równoległych do wybranej krawędzi membrany ułożonych przy jej krawędzi i w centralnej części. Takie ułożenie piezorezystorów wykorzystuje rozciągające naprężenia przykrawędziowe i ściskające naprężenia centralne występujące w płaskiej membranie. W membranach profilowanych ułożenie piezorezystorów wynika z ilości i rodzaju wzmocnień. []

Na rys. 18 przedstawiono schemat ideowy pomiaru napięcia niezrównoważenia mostka piezorezystancyjnego spowodowanego jego odkształceniem wywołanym ciśnieniem. Odpowiednie podłączenie poszczególnych rezystancji pozwala uzyskać proporcjonalną (liniową) zależność zmian napięcia U_M od zmian rezystancji ΔR wywołanych zmianami ciśnienia:

$$U_M = \frac{U_Z}{R} \cdot \Delta R \quad (12)$$

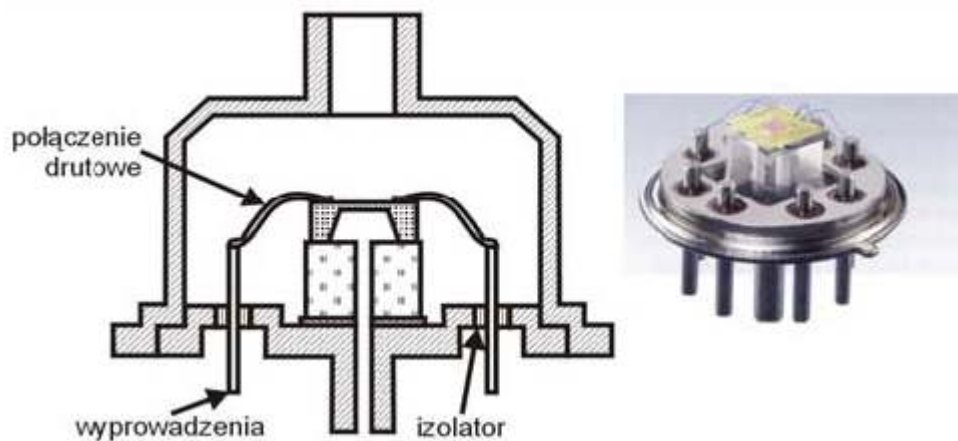


Rys. 18. Schemat układu pomiarowego z mostkiem piezorezystancyjnym;
 R – piezorezystory, ΔR – zmiana rezystancji piezorezystora wywołana ciśnieniem,
 R_0 – rezystor kalibrujący;

Z przyczyn technologicznych piezorezystory cechuje różnica ich rezystancji, około $\pm 0.05\%$ ich wartości znamionowej ($(1 \pm 1,5) \text{ k}\Omega$). Powoduje to powstanie napięcia niezrównoważenia mostka tensometrycznego U_0 . W typowych czujnikach zasilanych stałym napięciem 5 V sygnał pełnego zakresu U_{FSO} (FSO - *Full Scale Output*) wynosi około 100 mV , a U_0 od kilku do kilkunastu miliwoltów.

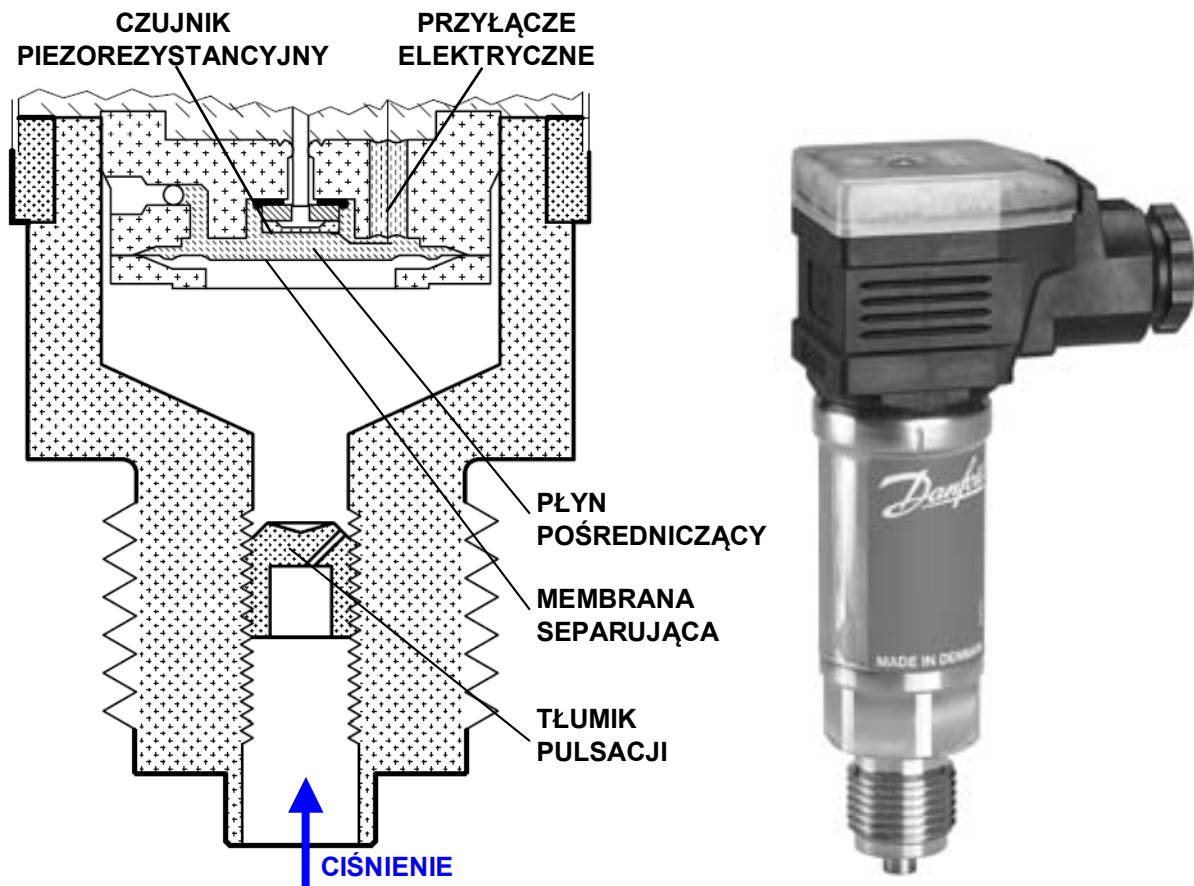
Na wartość sygnału pomiarowego wpływ ma również temperatura otoczenia. W układ pomiarowy wbudowywany jest czujnik temperatury, kompensujący jej wpływ na pomiar ciśnienia.

Dla wyeliminowania naprężeń między krzemowym czujnikiem ciśnienia a jego metalową obudową stosuje się osadzanie czujnika na słupkach wykonanych ze szkła Pyrex (rys. 19).



Rys. 19. Montaż piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia na szkłe w metalowej obudowie.

Na rys. 20 przedstawiono konstrukcję typowego przemysłowego przetwornika ciśnienia z czujnikiem piezorezystancyjnym.



Rys. 20. Przetwornik ciśnienia z czujnikiem piezorezystancyjnym (Danfos)

Natomiast na rys. 21 przedstawiono widok zewnętrzny przetwornika z jednoczesną możliwością odczytywania wartości mierzonego ciśnienia w miejscu pomiaru.



Rys. 21. Przetwornik ciśnienia z miejscowym odczytem (Aplisens)

6. WYBÓR PRZYRZĄDÓW DO POMIARÓW CIŚNIEŃ

Obecnie do pomiaru ciśnienia są powszechnie stosowane przetworniki z czujnikami piezorezystancyjnymi z wyjściowym sygnałem prądowym (4÷20) mA (rys. 20) i cyfrowym (rys. 21). Zakresy pomiarowe tych czujników pozwalają mierzyć ciśnienia (pod- i nadciśnienia) od (0÷100) Pa do nawet ponad 40 MPa.

Ciśnieniomierze hydrostatyczne, które przez wiele lat były podstawowymi ruchowymi przyrządami pomiarowymi w zakresach niższych ciśnień, przeszły do historii. W laboratoriach pomiarów cieplnych stosowane są jeszcze ciśnieniomierze cieczowe: mikromanometr (rys. 3), ciśnieniomierz z rurką pochyłą (rys. 2), naczyniowy (rys. 4) oraz obciążnikowy w wykonaniu manometru wzorcowego (rys. 7), do sprawdzania innych ciśnieniomierzy, głównie sprężystych.

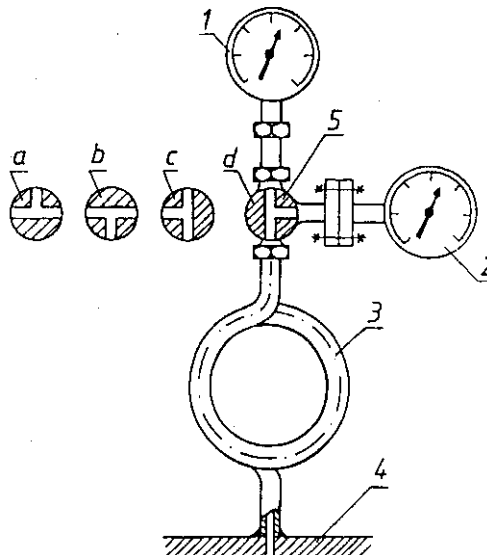
Na wybór właściwego przyrządu do pomiaru ciśnienia mają wpływ następujące czynniki:

- wartość mierzonego ciśnienia i rodzaj płynu (woda, para, gaz itp.),
- sposób, miejsce wykonywania i wykorzystywania wyniku pomiaru,
- wymagana dokładność pomiaru.

Przy doborze manometru sprężystego należy zwrócić uwagę, aby jego wskazanie przy pomiarze ciśnień quasi-stacjonarnych zawierało się w granicach od 1/3 do 2/3, a ciśnień pulsujących od 1/3 do 1/2 zakresu pomiarowego. Temperatura otoczenia manometru powinna zawierać się w granicach od +5 do +40°C.

Zasady wykonania instalacji przyłączenia ciśnieniomierzy

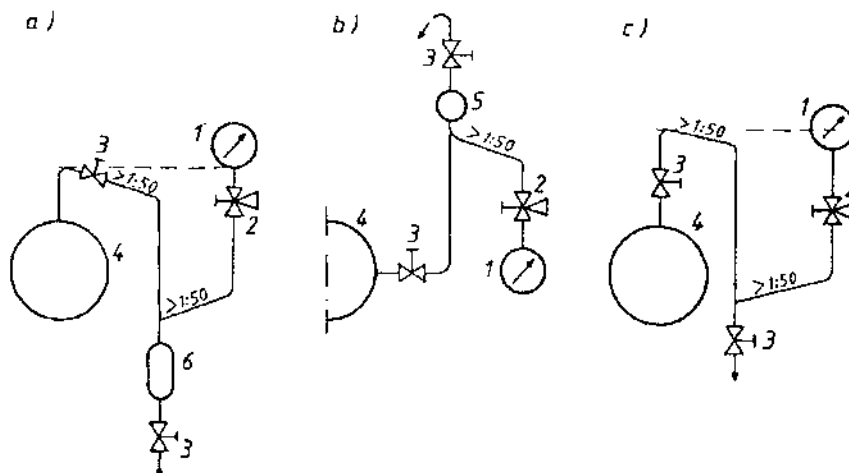
W celu zmniejszenia błędów temperaturowych należy elementy sprężyste zabezpieczyć przed działaniem płynu o wysokiej temperaturze. Zabezpieczenie polega na zainstalowaniu bezpośrednio przed manometrem nieizolowanej rurki syfonowej (rys. 24), w której zbierające się skropliny lub ochłodzona woda chronią element sprężysty przed wysoką temperaturą płynu.



Rys. 24. Układ połączeń ciśnieniomierza sprężystego z rurociągiem pary lub wody o wysokiej temperaturze: 1 - ruchowy ciśnieniomierz sprężysty, 2 - ciśnieniomierz kontrolny, 3 - rurka syfonowa, 4 - ścianka rurociągu, 5 - zaworek trójdrogowy, którego poszczególne położenia umożliwiają: a) sprowadzenie powrotu wskazówki do zera, b) przedmuchiwanie przewodów doprowadzających i sprawdzenie szczelności ciśnieniomierza, c) położenie robocze, d) kontrolę wskazań ciśnieniomierza ruchowego

Manometr ruchowy (1) (rys. 24) jest przymocowany do zaworu trójdrogowego (5) umieszczonego na rurce manometru ruchowego. Zawór (5) ma cztery położenia umożliwiające przeprowadzenie odpowiednich połączeń ruchowych, między innymi, aby umożliwić wymianę manometru ruchowego podczas pracy urządzenia oraz przedmuchiwanie syfonowej rurki połączeniowej syfonowej (3) wstawianej w rurociąg parowy (4). Zawór trójdrogowy (5) ma dodatkowy kołnierz do przyłączenia manometru kontrolnego (2), gdy zachodzi potrzeba sprawdzenia manometru ruchowego (1).

Jeżeli manometr jest oddalony od miejsca przyłączenia, to przy pomiarach ciśnień wody i pary instalacja przyłączeniowa powinna być napełniona wodą (skroplinami). W przypadku wody, w najwyższym punkcie instalacji, należy umieścić naczynie odpowietrzające, a samą instalację należy prowadzić z odpowiednim spadkiem (rys. 25b).



Rys. 25. Przykłady instalacji ciśnieniomierzy do pomiaru ciśnienia: a) gazu, b) wody, c) pary: 1 - ciśnieniomierz, 2 - zawór trójdrogowy, 3 - zawór przelotowy, 4 - rurociąg, 5 - naczynie odpowietrzające, 6 - naczynie odwadniające

Należy starać się, aby nie było różnicy poziomów między miejscem przyłączenia, a miejscem ustawienia manometru. W przypadku różnicy poziomów należy od wskazania manometru odjąć ciśnienie hydrostatyczne słupa wody, jeżeli manometr jest niżej, a dodać, jeżeli manometr jest zainstalowany nad miejscem poboru ciśnienia. Niewłaściwe pobranie ciśnienia z obiektu oraz nieodpowiedni stan instalacji pomiarowej (nieszczelności połączeń) może być źródłem dużych błędów pomiaru.

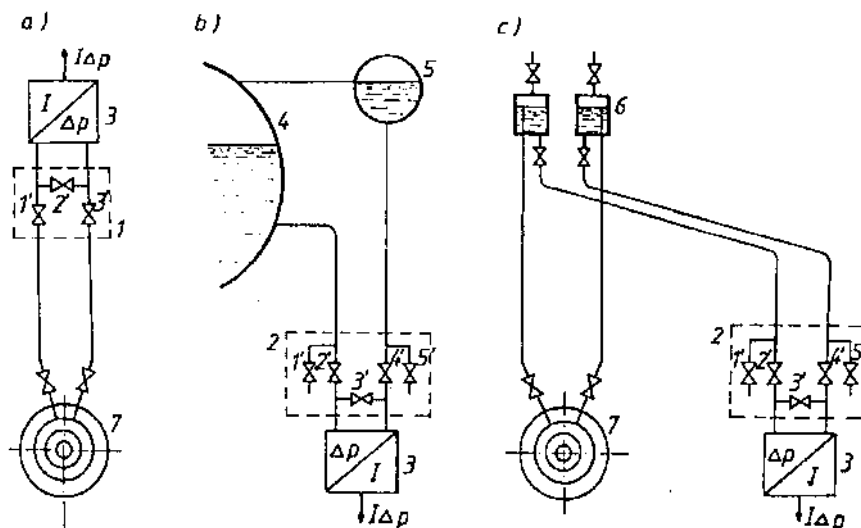
Instalacja powinna być wykonana przewodami o średnicy wewnętrznej (6÷12) mm i odległościach nie przekraczających 60 m. Nieszczelność instalacji, zwłaszcza w pobliżu manometru, powoduje przepływ płynu i przy tak małych średnicach wewnętrznych – wywołuje duży spadek ciśnienia, przeto i błąd pomiaru; szczególnie jest istotna szczelność instalacji układu pomiaru próżni.

Podczas pomiarów ciśnień gazów w instalacji pomiarowej nie może zbierać się woda (skropliny), tworząca korki wodne, które wprowadzają zniekształcenia sygnału mierzonego ciśnienia. Poza tym słup wody wytwarzający ciśnienie hydrostatyczne wprowadza błąd pomiaru. Przeto ciśnieniomierz powinien być umieszczony nad punktem poboru ciśnienia, a w najniższym miejscu instalacji należy umieścić naczynie odwadniające (6) - rys. 25a. W przypadku pomiaru ciśnień w rurociągach (kanałach) poziomych, punkt poboru ciśnienia należy wykonać na górnej powierzchni (tworzącej) rurociągu. Jeżeli ciśnienie jest pulsujące, np. na tłoczeniu pomp i sprężarek, wówczas należy stosować tłumiki (dodatkowe komory) zwiększające objętość instalacji.

Woda jako płyn nieściśliwy nie wprowadza istotnych opóźnień pomiarowych, jednak jeżeli w przewodach sygnałowych znajduje się gaz (powietrze), to występuje opóźnienie transportowe, szczególnie w przypadku pomiarów niskich ciśnień i podciśnień.

Szczególnie ważny jest sposób pobierania ciśnienia płynu przepływającego w rurociągu, jeżeli ciśnienie dynamiczne p_d (wzór 2) wynikające z prędkości płynu jest duże w porównaniu z jego ciśnieniem statycznym, np. powietrza lub spalin. Koniec rurki (sondy) pobierającej ciśnienie powinien być tak ucięty, aby powstała krawędź cięcia była równoległa do wektora prędkości.

Przykłady instalowania przetworników różnicy ciśnień przedstawiono na rys. 26. Przetworniki (3) są połączone do rurek sygnałowych za pomocą zaworów 3-drogowych (gaz) lub 5-drogowych (woda i para). W układzie z zaworem 5-drogowym zawory (1') i (5') służą do odwadniania i odpowietrzania instalacji oraz usunięcia z niej zanieczyszczeń. W normalnym stanie pracy zawory (1'), (5') i (3') są zamknięte, a mierzona różnica ciśnień Δp zaworami (2') i (4') jest doprowadzona do przetwornika pomiarowego. Zawory (2') i (4') służą do odcięcia przetwornika od instalacji.



Rys. 26. Przykłady instalacji przetworników różnicy ciśnień: a) przepływ gazu, b) poziom wody w walczaku, c) przepływ pary przy dużej odległości zainstalowania przetwornika od zwężki: 1 - zawór 3-drogowy, 2 - zawór 5-drogowy, 3 - przetwornik różnicy ciśnień, 4 - walczak, 5 - naczynie odniesienia (stałego poziomu), 6 - naczynie kondensacyjne, 7 – zwężka pomiarowa

W układzie z zaworami 3-drogowymi w normalnym stanie pracy zawór (2') jest zamknięty. Zawory (1') i (3') służą do odcięcia przetwornika. Pomimo że przetworniki różnicy ciśnień mają zabezpieczenia przed przeciążeniem, to należy tak dokonywać operacje przełączeniowe zaworami, aby nie podać ciśnienia statycznego tylko na jedno wejście przetwornika. Poza tym nie może zaistnieć taki stan, aby powstał szeregowy układ otwartych zaworów (2'), (3') i (4'), ponieważ nastąpi przepływ skroplin rurkami sygnałowymi z naczynia odniesienia (5) do walczaka (4) (rys. 26b) lub między naczyniami kondensacyjnymi (6) rys. 26c. Podobnie przeprowadza się operacje łączeniowe w układach pomiarowych z manometrami hydrostatycznymi.