

STANISŁAW KUBIT

Katedra Urządzeń i Układów Automatyki

## LABORATORYJNY PRYZRZĄD DO POMIARU CIŚNIENIA W ZAKRESIE NISKIEJ PRÓŻNI

Streszczenie. Przedstawiono przyrząd służący do pomiaru ciśnienia w zakresie 0 - 100 Tr z dokładnością 0,2%. Omówiono zasadę działania i oszacowano klasę przyrządu. Odpowiednią dokładność przyrządu uzyskano dzięki zastosowaniu kompensacyjnej metody pomiaru. Przyrząd ten może mieć zastosowanie do laboratoryjnych pomiarów ciśnienia 0 - 100 Tr.

1. Zasada działania

Prowadzone badania przetworników niskiej próżni stworzyły konieczność pomiaru ciśnienia w zakresie 0-100 Tr z dużą dokładnością.

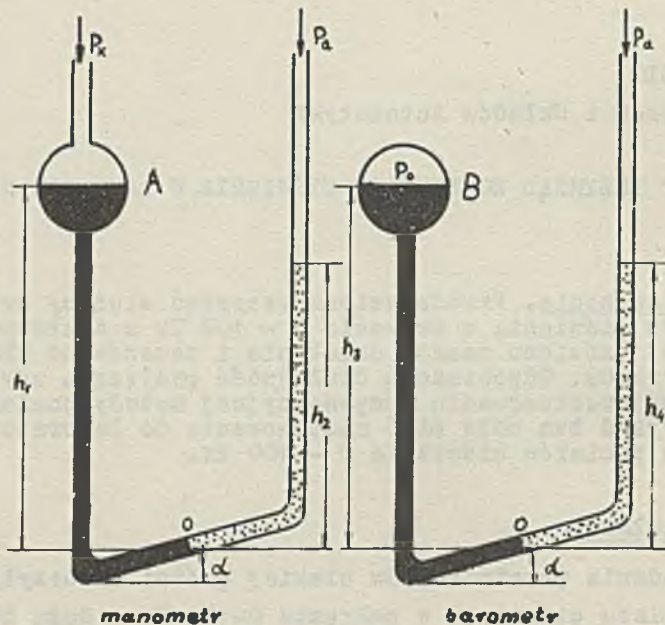
Pomiar manometrem z U-rurką rtęciową nie zapewnia żądanej dokładności ze względu na mały zakres pomiarowy. Powszechnie stosowane cieczki manometryczne pozwalające na rozszerzenie zakresu nie mogą być zastosowane, gdyż każda taka ciecz zawiera pewne lotne związki, które przy ciśnieniu bliskim próżni w normalnej temperaturze intensywnie parują i uniemożliwiają pomiar. Ciecze oleiste takie jak olej silikonowy, ftalan aktylowy i inne nie nadają się do zastosowania ze względu na zbyt dużą lepkość.

W katedrze Urządzeń i Układów Automatyki do pomiaru ciśnienia 0 - 100 Tr zastosowano kompensacyjny manometr rtęciowo-wodny wg koncepcji mgr inż. J. Senkały. Schemat manometru przedstawia rys. 1.

Układ składa się z manometru i barometru.

Manometr to rurka wodna połączona rurką pochyłą do poziomu pod kątem  $\alpha$  z rurką rtęciową. Rurka rtęciowa zakończona jest zbiornikiem A, do którego doprowadza się mierzone ciśnienie.

Miejsce styku wody z rtęcią, oznaczone jako punkt O, znajduje się w środku rurki pochyłej.



Rys. 1

Barometr zbudowany jest tak samo jak manometr z tą tylko różnicą, że zbiornik B jest zamknięty i opróżniony. Znajdują się w nim właściwie tylko pary rtęci o ciśnieniu  $P_0$ .

Rurki rtęciowe manometru i barometru przymocowane są sztywno do tej samej tablicy mogącej przesuwac się pionowo względem rurek pochyłych.

Równanie ciśnień dla manometru ma postać:

$$P_x = P_a + h_2 \gamma_w - h_1 \gamma_r \quad (1)$$

gdzie:

$P_a$  - ciśnienie atmosferyczne

$\gamma_w$  - ciężar wł. wody

- $\gamma_r$  - ciężar wł. rtęci  
 $h_2$  - wysokość słupa wody  
 $h_1$  - wysokość słupa rtęci.

Zmiany ciśnienia mierzonego  $P_x$  wywołują zmiany położenia punktu O. Zmieniając wysokość słupa wody w rurce wodnej manometru należy utrzymywać punkt O zawsze w tym samym miejscu. Jeżeli punkt O będzie zawsze w środku rurki pochyłej, to miarą ciśnienia  $P_x$  będzie wysokość słupa wody.

Równanie ciśnień dla barometru:

$$P_a = P_o + h_3 \gamma_r - h_4 \gamma_w \quad (2)$$

- $h_3$  - wysokość słupa rtęci  
 $h_4$  - wysokość słupa wody  
 $\gamma_r$  - ciężar właściwy rtęci  
 $\gamma_w$  - ciężar właściwy wody.

Wstawiając (2) do (1) otrzymamy:

$$P_x = P_o + (h_3 - h_1) \gamma_r + (h_2 - h_4) \gamma_w \quad (3)$$

Punkt O barometru powinien znajdować się w środku rurki pochyłej. Jeżeli zmieni się ciśnienie atmosferyczne to punkt O barometru zmieni swoje położenie.

Przez podniesienie lub opuszczenie tablicy z rurkami rtęciowymi barometru i manometru należy punkt O barometru sprowadzić do położenia środkowego. Operacja taka zmieni położenie O manometru co należy skompensować zmianą słupa wody w rurce wodnej. Zmiana ta odpowiada zmianie ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli punkty O manometru i barometru będą zawsze w środkach rurek pochyłych to:

$$\begin{aligned}
 \gamma_r \cdot h_3 &= \text{const} = k_1 \\
 \gamma_r \cdot h_1 &= \text{const} = k_2 \\
 \gamma_w \cdot h_4 &= \text{const} = k_3
 \end{aligned}$$

Można więc napisać:

$$P_x = P_0 + k_1 + k_2 - k_3 + h_2 \gamma_w = k + h_2 \gamma_w$$

Ciśnienia  $P_x$  można więc mierzyć określając jednorazowo współczynnik  $k$  oraz mierząc w stanie skompensowanym wysokość słupa wody manometru. Zmierzone w ten sposób ciśnienie jest ciśnieniem absolutnym.

Zastosowanie tego układu pozwoliło ponad 13-krotnie zwiększyć oszczędność w porównaniu z klasyczną U-rurką rtęciową.

## 2. Błędy układu

### a. Błąd kompensacji

Błąd ten wynika z niedokładnego ustawienia punktu C.

Można wyrazić go następująco:

$$\sigma_k = \frac{\Delta l \cdot \sin \alpha \cdot S_2}{S_1}$$

$\Delta l$  - różnica położenia punktu O od środka rurki pochyłej

$\alpha$  - kąt nachylenia rurki pochyłej

$S_2$  - powierzchnia przekroju rurki pochyłej

$S_1$  - powierzchnia przekroju wewnętrznego zbiornika

dla  $\Delta l = 1 \text{ mm}; \alpha = 3^\circ; \frac{S_2}{S_1} = \frac{1}{160}$

$$\sigma_k = 0,0003 \text{ mm Hg}$$

w przeliczeniu na wysokość słupa wody

$$\sigma_k = 0,0041 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Błąd ten jest więc zupełnie do pominięcia.

#### b. Błąd od zmian temperatury

Temperatura będzie wpływała na zmiany  $h_1, h_2, h_3, h_4$ , zmianę długości skali oraz zmianę ciśnienia  $P_0$ .

Ponieważ jednak  $h_3 \approx h_1$  a we wzorze (3) wartości te występują w formie różnicy, na ośłon  $\sigma_T(h_3 - h_1)$  temperatura wpływu nie wywiera w zakresie kilku stopni.

Jeżeli barometr wykonany jest prawidłowo i  $P_0$  jest ciśnieniem tylko par rtęci, to zmiany  $P_0$  z temperaturą są zupełnie do pominięcia.

Od zmian temperatury zależność będzie ośłon  $(h_2 - h_4)\gamma_w$ , gdyż  $h_2$  w czasie pomiarów może znacznie różnić się od  $h_4$ . Należy uwzględnić to przy opracowywaniu wyników pomiarów i wprowadzić poprawkę. Należy uwzględnić również rozszerzenie się rurek oraz skali. Po uwzględnieniu poprawki błąd od zmian temperatury jest do pominięcia.

#### c. Błąd histerezy

Jest to zasadniczy błąd przyrządu i on głównie rzutuje na jego klasę.

Dla omawianego układu błąd ten wyznaczono doświadczalnie. Przy zastosowaniu wstrząsania rurki pochylej w czasie kompensacji błąd histerezy wynosił około 1 - 1,3 mm  $H_2O$ . Całkowity więc błąd histerezy manometru i barometru  $\sigma_h \approx 2,6$  mm  $H_2O$ .

#### d. Błąd włoskowatości

Zjawisko włoskowatości nie wpływa na wynik pomiaru gdyż przekroje rurek manometru i barometru są identyczne. Przesunięcie punktu 0 na skutek włoskowatości będzie identyczne w manometrze i w barometrze. Taka zmiana nie wprowadza błędu do wyniku pomiaru.

#### e. Błąd odczytu

Odczytu dokonywano katetometrem pozwalającym mierzyć z dokładnością 0,25 mm i błąd odczytu również będzie tego rzędu.

### 3. Wnioski

Jak z rozważań tych wynika całkowity błąd będzie więc nie większy jak około 3 mm H<sub>2</sub>O co określa klasę przyrządu na 0,2.

Kompensacyjny manometr pomyślany jest jako przyrząd laboratoryjny i jako taki zupełnie dobrze spełnia swe zadanie. Wadą przyrządu jest dość kłopotliwa obsługa, możliwość wylania się rtęci i dlatego przyrząd ten nie nadaje się do zastosowania na szerszą skalę.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 5.9.1968 r.

### МАНОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ 0-100 ТОР

#### Р е з ю м е

Описано лабораторный прибор для измерения давления в пределах 0-100 тор. Определён класс точности прибора 0,2%. Приведён принцип действия.

### PRESSURE MEASURING INSTRUMENT ON THE RANGE 0-100 Tr

#### S u m m a r y

The article presents a pressure measuring instrument on the range 0-100 Tr with the accuracy 0,2%. A principle of functioning and a way to obtainment a class of instrument is given. A suitable accuracy is possible owing to a compensation method. This instrument can be use in a laboratory to the pressure measurements 0-100 Tr.