

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
I N S T Y T U T M A S Z Y N P R Z E P Ł Y W O W Y C H

P R A C E
I N S T Y T U T U M A S Z Y N
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S
O F T H E I N S T I T U T E O F F L U I D - F L O W M A C H I N E R Y

81

W A R S Z A W A - P O Z N A Ń 1981
P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA – EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ROMUALD PUZYREWSKI
KAZIMIERZ STELLER (PRZEWODNICZĄCY · CHAIRMAN) · ROBERT SZEWAŁSKI
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1981

Printed in Poland

ISBN 83-01-03053-4
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340 + 90 egz.	Oddano do składania 25 VI 1980 r.
Ark. wyd. 8,75 Ark. druk. 7,125	Podpisano do druku 13 IV 1981 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70 × 100 cm.	Druk ukończono w kwietniu 1981 r.
Nr zam. 631/49. P-4/16.	Cena zł 35,–

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

ANATOL JAWOREK

Gdańsk

Właściwości metrologiczne rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień*

W rezystancyjnym przetworniku różnicy ciśnień wykorzystano zjawisko różnego odprowadzania ciepła z drutu grzanego prądem elektrycznym i rozciągniętego w obu ramionach U-rurki, poprzez ciecz manometryczną i znajdujący się nad nią gaz. Omówiono charakterystyki statyczne przetwornika oraz przeanalizowano zasadnicze czynniki będące przyczyną błędów pomiarowych.

Wykaz oznaczeń

E – napięcie zasilające przetwornik,	g – przyspieszenie ziemskie,
H – maksymalna różnica poziomów cieczy w manometrze,	Δp – różnica ciśnień,
I – natężenie prądu,	q – ilość ciepła przenikającego przez powierzchnię cylindryczną o jednostkowej długości,
Q – ciepło,	r – rezystancja przewodnika o jednostkowej długości,
R – rezystancja,	t – czas,
S – czułość pomiarowa przetwornika,	w – wielkość wpływowa,
T – temperatura,	α – temperaturowy współczynnik rezystancji,
ΔT – przyrost temperatury,	δ – przyrost danej wielkości,
U – napięcie,	λ – przewodność cieplna,
ΔU – przyrost napięcia pomiarowego,	ρ – gęstość cieczy manometrycznej,
a – odległość rurek manometru,	φ – kąt odchylenia manometru od pozycji pionowej.
d_1 – średnica drutu,	
d_2 – średnica wewnętrzna rurki szklanej manometru,	
d_3 – średnica zewnętrzna rurki szklanej manometru,	

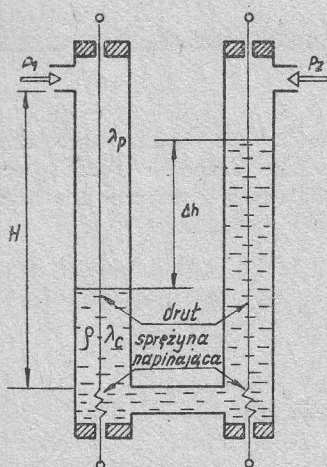
1. Wstęp

Przyrządem powszechnie stosowanym w technice laboratoryjnej do pomiaru różnicy ciśnień jest manometr U-rurkowy. Jego zaletami są prosta konstrukcja i łatwość wykonania oraz względnie duża dokładność w przypadku pomiaru różnicy ciśnień dających

* Praca wykonana w ramach problemu międzyresortowego MR. I. 26, pt. „Podstawy projektowania maszyn i urządzeń energetycznych”, grupa tematyczna 10.

duże różnice poziomów cieczy manometrycznej. Wadą tego przyrządu jest niemożliwość uzyskania sygnału elektrycznego, przydatnego do rejestracji wyników pomiarów lub jego wykorzystania w układach automatycznej regulacji.

Opracowany w IMP PAN przetwornik pozwala na przetworzenie różnicy poziomów cieczy manometrycznej na sygnał elektryczny [1]. Jest on zbudowany w postaci U-rurki, w której ramionach rozciągnięte są cienkie druty platynowe podgrzewane prądem elektrycznym (rys. 1). Rezystancja drutów jest funkcją ich temperatury, której wartość zależ-



Rys. 1. Schemat rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień

na jest od współczynnika przejmowania ciepła ośrodka w jakim drut jest chłodzony. Różne wartości tego współczynnika dla cieczy i gazu powodują, że rezystancje przewodów w obu ramionach manometru są różne jeśli różne są poziomy cieczy manometrycznej. Różnica tych rezystancji może być mierzona na drodze elektrycznej, np. w układzie mostkowym. Podobny przyrząd do pomiaru małych ciśnień opisano w [2].

2. Charakterystyki statyczne rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień

W rezystancyjnym przetworniku różnicy ciśnień wykorzystano różnicę współczynników przejmowania ciepła gazu i cieczy (płynu manometrycznego) oraz związane z tym różne odprowadzanie ciepła z drutu grzanego prądem elektrycznym. Ciepło q_w wydzielane w jednostce czasu w przewodzie o jednostkowej długości jest proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu I oraz rezystancji przewodu r_0 przypadającej na jednostkę długości*

$$\frac{dq_w}{dt} = I^2 r_0 [1 + \alpha(T - T_0)]. \quad (1)$$

* W równaniu przyjęto liniowy związek między temperaturą drutu a jego rezystancją, chociaż w przypadku platyny występuje także składnik kwadratowy, który dla niewielkich przyrostów temperatury może być pominięty.

Ciepło q_0 odprowadzane przez powierzchnię cylindryczną (powierzchnię boczną drutu) przypadające na jednostkę długości w jednostce czasu wynosi [3]:

$$\frac{dq_0}{dt} = \frac{2\pi(T - T_0)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}, \quad (2)$$

gdzie r_0 – rezystancja drutu w temperaturze T_0 , T_0 – temperatura otoczenia, λ_1 – zastępczy współczynnik przewodzenia ciepła uwzględniający przewodzenie ciepła i konwekcję w ośrodku (powietrze lub cieczy manometrycznej), λ_2 – przewodność cieplna rurki szklanej (rys. 2).

W stanie ustalonym ilość wydzielonego ciepła równa jest ilości ciepła odprowadzonego i ustala się pewna temperatura T drutu. Przyrost temperatury ΔT drutu wyniesie:

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{I^2 r_0 \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}, \quad (3)$$

a jego rezystancja:

$$r = \frac{2\pi r_0}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}. \quad (4)$$

Dla różnicy poziomów cieczy manometrycznej (por. rys. 1):

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g}, \quad (5)$$

całkowita rezystancja przewodu o długości H w każdym ramieniu manometru jako funkcja różnicy ciśnień Δp wyniesie:

$$R_a = \frac{\frac{\pi r_0}{\rho g} (\rho g H + \Delta p)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} + \frac{\frac{\pi r_0}{\rho g} (\rho g H - \Delta p)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}, \quad (6)$$

$$R_b = \frac{\frac{\pi r_0}{\rho g} (\rho g H - \Delta p)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} + \frac{\frac{\pi r_0}{\rho g} (\rho g H + \Delta p)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}. \quad (7)$$

Przez λ_p i λ_c oznaczono odpowiednio: zastępczą przewodność cieplną gazu (powietrza) znajdującego się nad cieczą manometryczną i cieczy manometrycznej. Z zależności (6) i (7) wynika, że przyrosty rezystancji R_a i R_b są równe

$$\Delta R_a = -\Delta R_b = \Delta R \quad (8)$$

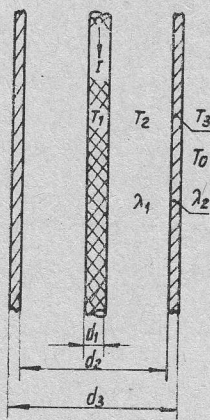
i wynoszą:

$$\Delta R = \frac{\pi r_0 \Delta p}{\rho g} \left[\frac{1}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} - \frac{1}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} \right]. \quad (9)$$

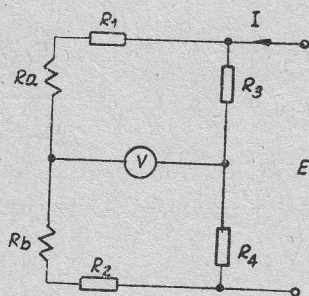
Pomiar różnicy ciśnień za pomocą rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień sprowadza się do pomiaru przyrostów napięcia w przekątnej mostka Wheatstone'a lub Thomsona, wywołanych przyrostem rezystancji (6) i (7). Przyrost napięcia ΔU w przekątnej mostka, przy założeniu, że mostek nie jest obciążony oraz początkowo znajdował się w równowadze, wyniesie:

$$\Delta U = \frac{\Delta R}{R_{a0} + R_{b0} + R_1 + R_2} E, \quad (10)$$

gdzie R_1, R_2 – rezystancje doprowadzeń (rys. 3).



Rys. 2. Odprowadzanie ciepła przez powierzchnię cylindryczną z przewodnika granego elektrycznie



Rys. 3. Rezystancyjny przetwornik różnicy ciśnień w układzie mostka Wheatstone'a

Wobec warunku (8), natężenie prądu przepływającego przez druty oporowe przetwornika jest niezależne od przyrostów rezystancji ΔR i przy założeniu, że $R_3 + R_4$ jest dużo większe od sumy rezystancji gałęzi mostka, w której znajdują się przewody przetwornika można napisać:

$$I = \frac{E}{R_{a0} + R_{b0} + R_1 + R_2}, \quad (11)$$

przy czym rezystancje R_{a0} i R_{b0} są zależne od natężenia prądu I (por. (6) i (7)).

Zależność między I a E można przedstawić w postaci jawnej rozwijając wielkości R_{a0} i R_{b0} w szereg potęgowy Taylora, jeśli spełnione są warunki zbieżności szeregu:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{1}{2\pi} I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right) \right| < 1, \\ \left| \frac{1}{2\pi} I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right) \right| < 1. \end{array} \right. \quad (12)$$

Pomijając w rozwinięciach wyrazy w potęgach wyższych od drugiej, otrzymuje się

$$R_{a0} + R_{b0} \cong \frac{r_0 H}{2\pi} \left[4\pi + I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{2}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right) \right]. \quad (13)$$

Podstawiając wyrażenie (13) do (11) i pomijając składnik nieliniowy zawierający natężenie prądu w trzeciej potędze, otrzymuje się przybliżoną zależność między napięciem zasilającym a natężeniem prądu:

$$I \cong \frac{E}{2r_0 H + R_1 + R_2}. \quad (14)$$

Charakterystyka statyczna przetwornika, wyrażająca zależność między przyrostem napięcia w przekątnej mostka a różnicą ciśnień, jest funkcją liniową:

$$\Delta U = \frac{\pi r_0 I \Delta p}{\rho g} \left[\frac{1}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} - \frac{1}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} \right]. \quad (15)$$

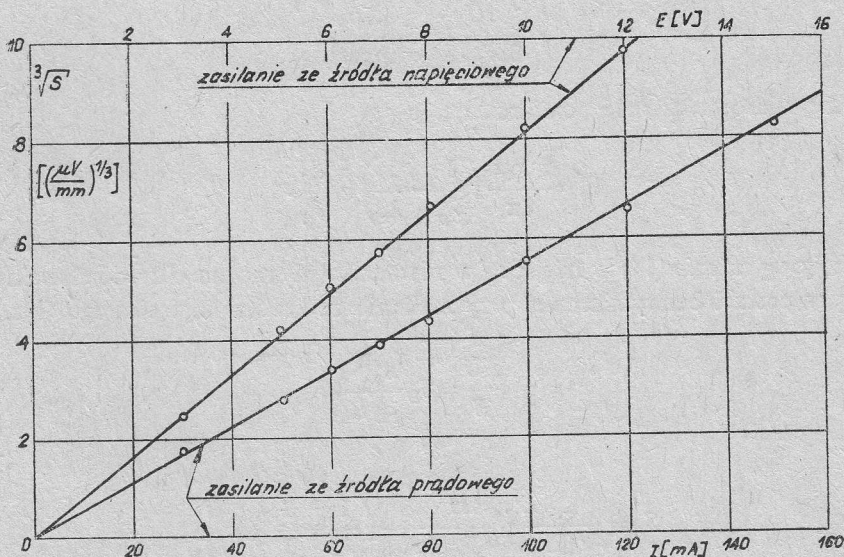
(Wynik (15) uzyskano podstawiając do (10) wyrażenia (9) i (11)).

Rozwijając zależność (15) w szereg potęgowy Taylora względem natężenia prądu I , przy spełnieniu warunków (12) i pomijając wyrazy o potęgach wyższych od trzeciej, otrzymuje się przybliżoną zależność

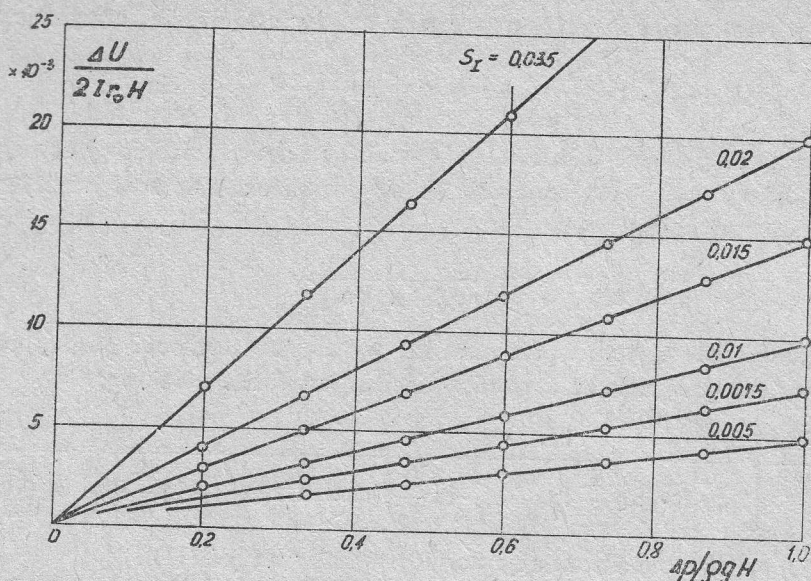
$$\Delta U = S \Delta p, \quad (16)$$

w której przez S oznaczono czułość pomiarową przetwornika

$$S = \frac{I^3 r_0^2 \alpha}{4\pi \rho g} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_c} \right) \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (17)$$



Rys. 4. Zależność czułości pomiarowej od napięcia lub prądu zasilającego (drut platynowy 50 μm zanurzony w alkoholu etylowym)



Rys. 5. Rodzina charakterystyk statycznych rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień zasilanego ze źródła prądowego

Przykładowy wykres czułości pomiarowej przetwornika zasilanego ze źródła prądowego i napięciowego przedstawiono na rysunku 4.

Przy zasilaniu ze źródła prądowego charakterystyka statyczna przetwornika może być przedstawiona w postaci bezwymiarowej (rys. 5)

$$\frac{\Delta U}{2I r_0 H} = S_I \frac{\Delta p}{\rho g H}, \quad (18)$$

gdzie bezwymiarowa czułość pomiarowa

$$S_I = \frac{I^2 r_0 \alpha}{8\pi} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_c} \right) \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (19)$$

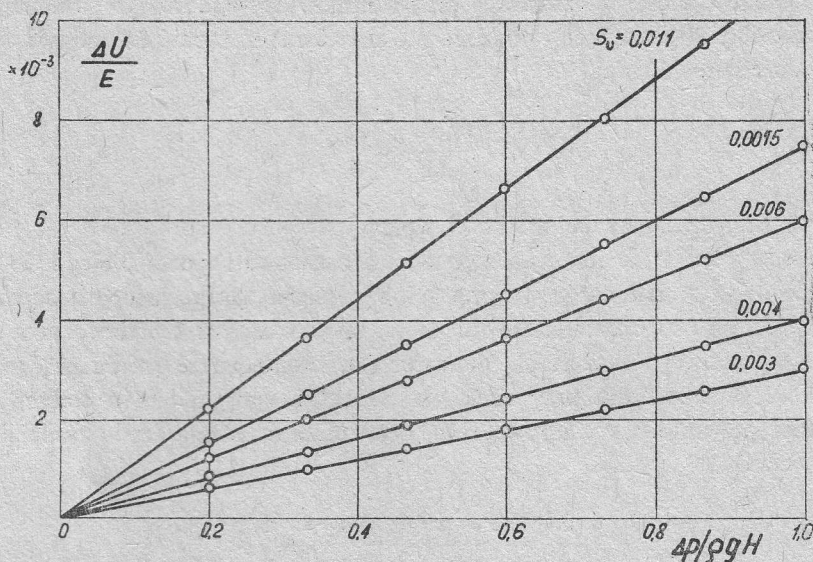
Podstawiając wyrażenie (14) w miejsce I w równaniu (18) można określić charakterystykę statyczną w postaci bezwymiarowej przy zasilaniu ze źródła napięciowego (rys. 6)

$$\frac{\Delta U}{E} = S_U \frac{\Delta p}{\rho g H}, \quad (20)$$

przy czym

$$S_U = \frac{E^2 r_0 \alpha H}{4\pi(2r_0 H + R_1 + R_2)} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_c} \right) \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (21)$$

jest bezwymiarową czułością pomiarową.



Rys. 6. Rodzina charakterystyk statycznych rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień zasilanego ze źródła napięciowego

3. Błędy pomiaru rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień

Pojęciem błędu pomiaru wielkości fizycznej określa się niezgodność wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą wielkości mierzonej [5]. W rozdziale tym rozważono błędy dodatkowe, pochodzące od zmian natężenia prądu (napięcia) zasilającego, temperatury otoczenia i niepionowego ustawienia przetwornika.

Wrażliwość przyrostów napięcia wyjściowego ΔU na wielkość wpływową w może być określona pochodną (por. (16))

$$\frac{\partial(\Delta U)}{\partial w} = \frac{\partial S}{\partial w} \Delta p \quad (22)$$

i jest liniową funkcją różnicy ciśnień. Błąd bezwzględny pomiaru wzrasta więc liniowo ze wzrostem różnicy ciśnień

$$\delta(\Delta U) = \left(\frac{\partial S}{\partial w} \cdot \delta w \right) \Delta p, \quad (23)$$

lecz błąd względny pozostaje stały w całym zakresie pomiarowym

$$\frac{\delta(\Delta U)}{\Delta U} = \frac{\partial S}{\partial w} \frac{\delta w}{S} \quad (24)$$

W równaniu (24) czynnik

$$\frac{\partial S}{\partial w} \delta w = \delta S \quad (25)$$

jest przyrostem czułości pomiarowej przetwornika, spowodowanym zmianą wielkości wpływowej o δw . Błąd względny pomiaru można więc sprowadzić do badania względnych zmian czułości pomiarowej

$$\frac{\delta(\Delta U)}{\Delta U} = \frac{\delta S}{S}, \quad (26)$$

przy takich samych zmianach wielkości wpływowej.

Podstawowym równaniem, z którego można oszacować wielkość błędu dodatkowego pochodzącego od zmian natężenia prądu lub napięcia zasilającego jest równanie (15).

Ze względu na proporcjonalność zależności między czułością przetwornika zasilanego ze źródła napięciowego a czułością przetwornika zasilanego ze źródła prądowego (por. (14), (19), (21)) rozważono przypadek układu zasilanego prądem o stałym natężeniu. Zależność zmian czułości pomiarowej S (17) od zmian natężenia prądu zasilającego I wyraża się pochodną

$$\frac{\partial S}{\partial I} = \frac{3I^2 r_0^2 \alpha}{4\pi \rho g} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_c} \right) \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (27)$$

Bezwzględna zmiana czułości pomiarowej wyniesie

$$\delta S = \frac{\partial S}{\partial I} \delta I. \quad (28)$$

Względna zmiana czułości, która będzie równa względnemu błędowi pomiaru, jest trzykrotnie większa od względnych zmian natężenia prądu (lub napięcia) zasilania

$$\left(\frac{\delta S}{S} \right)_I = 3 \frac{\delta I}{I}. \quad (29)$$

Ta właściwość przyrządu stawia wymagania dokładnej stabilizacji napięcia lub prądu zasilającego.

Błąd temperaturowy powstaje na skutek zmian temperatury otoczenia, a w następstwie wzrostu temperatury drutu i jego rezystancji, w stosunku do wartości nominalnej jaką posiadał podczas wzorcowania. Gdy temperatura otoczenia zmieni się o wartość δT_0 , wówczas warunek równowagi wymiany ciepła przyjmie postać:

$$I^2 r_0 [1 + \alpha(T - T_0)] = \frac{2\pi [T - (T_0 + \delta T_0)]}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}. \quad (30)$$

Przyrost temperatury drutu (3) w stosunku do nominalnej temperatury otoczenia będzie powiększony o składnik

$$\delta(\Delta T) = \frac{2\pi \delta T_0}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)} \quad (31)$$

i wyniesie

$$\Delta T' = \frac{I^2 r_0 \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right) + 2\pi \delta T_0}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}. \quad (32)$$

Rezystancja drutu na jednostkę długości, która wyrażała się zależnością (4), wyniesie:

$$r' = r_0 (1 + \alpha \Delta T'), \quad (33)$$

a po uwzględnieniu relacji (32), przyjmie postać:

$$r' = \frac{2\pi r_0 (1 + \alpha \delta T_0)}{2\pi - I^2 r_0 \alpha \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right)}. \quad (34)$$

Zmianie ulegnie także przyrost rezystancji ΔR (9), zgodnie z zależnością:

$$\Delta R' = \Delta R (1 + \alpha \delta T_0) \quad (35)$$

oraz czułość pomiarowa (17), która wyniesie:

$$S' = S (1 + \alpha \delta T_0) \quad (36)$$

lub

$$S' = \frac{{}^3r_0^2 \alpha (1 + \alpha \delta T_0)}{4\pi p g} \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_c} \right) \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (37)$$

Zmiany czułości przetwornika S są więc w przyjętym modelu liniową funkcją przyrostu temperatury otoczenia i zależą od temperaturowego współczynnika rezystancji drutu

$$\delta S = S \alpha \delta T_0. \quad (38)$$

Względna zmiana czułości spowodowana zmianami temperatury otoczenia, wyrażająca się zależnością:

$$\left(\frac{\delta S}{S} \right)_T = \alpha \delta T_0, \quad (39)$$

jest proporcjonalna do bezwzględnego przyrostu temperatury otoczenia. Dla poprawnej pracy przetwornika wymagana jest zatem stabilizacja warunków cieplnych. W zależności (39) uwzględniono tylko jedną możliwość oddziaływania zmian temperatury na wynik pomiaru. Została ona opisana w sposób niepełny, z uwagi na przyjęty rodzaj wymiany ciepła z otoczeniem. W rozważaniach bardziej dokładnych powinny być uwzględnione m. in. także: rozszerzalność cieplna (wzdłużna i poprzeczna) rurki szklanej, rozszerzalność cieplna cieczy manometrycznej, zmiany gęstości cieczy manometrycznej, zmiany współczynnika przewodzenia ciepła, konwekcja wzdłuż przewodu itp. W praktyce czynniki te mogą być pominięte. Zagadnienie komplikuje się, jeżeli wokół przetwornika występuje przepływ powietrza, zmieniający warunki wymiany ciepła. W tych przypadkach, użyteczne informacje dotyczące wartości błędu można uzyskać tylko na drodze eksperymentalnej. Błąd względny zakresowy spowodowany zmianami temperatury otoczenia o $\pm 20^\circ\text{C}$

wyznaczony z równania (39) dla $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ deg}^{-1}$ (platyna) wynosi około 8%. Doświadczalnie stwierdzono zbliżoną wartość błędu.

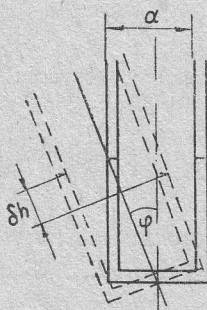
Model (39) jest niewystarczający wówczas, gdy przetwornik jest nieosłonięty i znajduje się w strumieniu powietrza. Strumień powietrza o prędkości $v \approx 4 \text{ m/s}$ i temperaturze $T_0 = 20^\circ\text{C}$, padający prostopadle do płaszczyzny wyznaczonej przez ramiona U-rurki, powodował błąd względny zakresowy wynoszący około 2,5%. Natomiast błąd względny zakresowy powstały w wyniku omywania strumieniem powietrza o temperaturze $T_0 = 40^\circ\text{C}$ był wyższy i dochodził do wartości 30%. Błąd przetwornika umieszczonego w osłonie wynosił jak poprzednio około 8%.

Jak wynika z relacji (37), przy ustalonych warunkach wymiany ciepła, zmiany temperatury wpływają tylko na nachylenie charakterystyki statycznej. Właściwość ta pozwala na skorygowanie wskazań przetwornika pracującego w ustalonej temperaturze otoczenia, innej od tej w jakiej był wzorcowany. Jest to możliwe przez zmianę natężenia prądu zasilającego (względnie napięcia zasilającego).

Z problemem wymiany ciepła wiąże się również czas ustalenia wskazań po włączeniu prądu zasilającego przetwornik. Jest on uwarunkowany czasem, po którym nastąpi równowaga między ciepłem wydzielanym w drucie a ciepłem oddawanym do otoczenia. W stanie przejściowym istotną rolę odgrywa pojemność cieplna cieczy manometrycznej i rurki szklanej. Czas ustalenia równowagi cieplnej określony jako czas, po którym wartość napięcia wyjściowego dla $\Delta p = 0$ będzie różnić się o 1% wartości zakresowej od zera po włączeniu przetwornika do pracy wynosił około 600 s (10 min).

Jeżeli po wyzerowaniu przyrządu w pozycji pionowej nastąpi odchylenie manometru od pionu o kąt φ w płaszczyźnie ramion U-rurki, powstanie różnica poziomów cieczy (rys. 7)

$$\delta h = a \operatorname{tg} \varphi, \quad (40)$$



Rys. 7. Zmiana poziomów cieczy przy obrocie rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień

która będzie przyczyną zmian rezystancji ((6) i (7)) i dodatkowego błędu pomiarowego. Na przykład, dla kąta $\varphi = 3^\circ$ i rozstawu rurek 60 mm względny przyrost napięcia wyjściowego wynosi około 1% wartości zakresowej. Błąd bezwzględny jest niezależny od różnicy ciśnień lecz zależy od rozstawienia rurek a , które z tych względów powinno być jak najmniejsze.

Dokładne omówienie wyników badań wpływu warunków otoczenia na błąd pomiaru zawarte jest w pracy [6].

Literatura

- [1] J. Śmigielski, *Elektryczny, oporowy przetwornik poziomu cieczy w manometrze*. Oprac. wewn. IMP PAN nr 86/77.
- [2] G. Sidenius, *An Oil Manometer with Continuous Electrical Readout*, Journal of Scientific Instruments, vol. 1, 1968, p. 657.
- [3] M. Michiejew, *Zasady wymiany ciepła*. Warszawa 1953.
- [4] A. Szulce, *Mostki elektryczne pomiarowe*. Warszawa 1977.
- [5] Norma Polska PN-71, N-02050, Metrologia. Nazwy i określenia.
- [6] A. Jaworek, *Badanie podstawowych parametrów metrologicznych rezystancyjnego przetwornika różnicy ciśnień*. Oprac. wewn. IMP PAN nr 240/78.

Метрологические свойства резистанционного датчика разницы давлений

Резюме

Резистанционный датчик разницы давлений является U-образным манометром, в которого плечах растянуты тонкие, платиновые проволоки, обогреваемые электрическим током. Температура и резистанция проволок зависят от количества выделяющегося в проволоке тепла и от коэффициента теплоотдачи манометрической жидкости и газа, находящегося над жидкостью. Изменение уровня манометрической жидкости (изменение разницы давлений) влияет на абсолютную резистанцию проволоки в обоих плечах U-образной трубки. Разница этих резистанций измеряется в мостовой системе. Характеристика датчика, т.е. зависимость выходного напряжения от измеряемой разницы давлений, является линейной функцией. Основными факторами влияющими на величину погрешности измерения это: неустойчивость напряжения питания и изменения температуры окружающей среды. Предел измерений зависит от длины плеч U-образной трубки, а также плотности манометрической жидкости и может составлять несколько сот мм H₂O.

В работе представлены статические характеристики датчика и описаны основные источники погрешностей измерения.

Metrological Properties of a Resistance Pressure Difference Transducer

Summary

The resistance pressure difference transducer is a U-tube pressure gauge having thin platinum wires stretched inside the tube. The wires are heated by electric current, their temperature and resistance depending on the amount of heat dissipated in the wire and the coefficient of heat transfer to the manometer liquid and gas above it. The total resistance of the wire in the U-tube varies with the manometer liquid level variations caused by pressure difference changes. Wires in both arms of the U-tube form a part of a bridge measuring their resistance difference. The transducer characteristic, that is the dependence of the output voltage on the pressure difference measured, is a linear function. The power supply voltage variations and ambient temperature changes are the main factors affecting the measuring error. The measuring range depends on the length of U-tube and the manometer liquid density. Pressure difference up to several hundred mm H₂O can be measured.

The report presents static characteristics of the transducer. Main sources of measuring errors are described.