

Teodor WERBOWSKI  
Tadeusz WIERZBICKI

Instytut Maszyn i Urządzeń  
Energetycznych

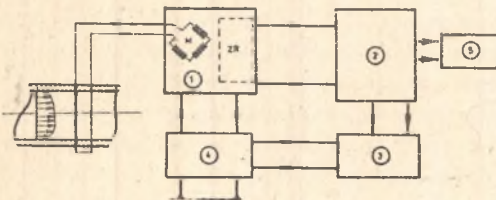
## CIĄGŁY ELEKTRONICZNY POMIAR WYDAJNOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ PŁYNU

**Streszczenie.** Przedstawiono koncepcję rozwiązania prototypowego oraz wyniki cechowania elektronicznego miernika wydajności objętościowej płynu, wykorzystując efekt termooanemometryczny. Miernik może znaleźć zastosowanie zarówno przy bezpośrednich pomiarach wydajności, jak i w układach automatyki, szczególnie w odniesieniu do zagadnień wentylacji i wentylatorów.

### 1. Wstęp

Pomiar wydajności czynnika tradycyjnymi metodami zwężkowymi, jakkolwiek wygodny i dający dla praktyki wystarczającą dokładność, nie może być bezpośrednio stosowany w układach pomiarowych kompleksowej automatyzacji procesów lub też ze względu na pewne wady nie może być stosowany w ogóle. W związku z powyższym podjęto próbę skonstruowania miernika pozbawionego tych wad, a jednocześnie prostego i łatwego w obsłudze. Przy konstrukcji konwertora przekształcającego sygnał wydajności na wielkość elektryczną, w naszym przypadku napięcie, wykorzystano efekt termooanemometryczny ograniczając się do konstrukcji czujnika zasilanego prądem o stałej wartości  $I = \text{idem}$ . Zbudowany konwertor posiada czujnik w postaci cienkiego drutu

oporowego umieszczanego w poprzek kanału pomiarowego w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach, jak na rys.1. Materiał drutu dobrano tak, aby w interesującym nas zakresie temperatur zapewniał liniową zależność oporności od temperatury. Dobór drutu o bardzo małej średnicy zapewniał z jednej strony uzyskiwanie jego wysokiej temperatury przy małym natężeniu prądu, a z drugiej zabezpieczał bardzo ma-



Rys. 1

łe (praktycznie pomijalne) zaburzenia przepływu. Działanie konwertora oparte zostało o następujące zjawisko fizyczne:

- przepływ odpowiednio dobranego prądu stałego przez czujnik w postaci drutu rozpiętego w poprzek kanału pomiarowego powoduje wzrost jego temperatury do kilkuset stopni Celsjusza. W tych warunkach, zarówno bez przepływu w kanale jak i pod jego obecność, zachodzi intensywne wymiana ciepła między drutem a płynem. Wzrost prędkości ze wzrostem wydajności intensyfikuje przejmowanie ciepła i obniża temperaturę drutu. Jeśli teraz czujnik będzie włączony w jedną z gałęzi układu mostkowego, to na jego wyjściu pojawi się sygnał napięciowy, spowodowany zmianą oporu w gałęzi mostka zawierającej czujnik.

## 2. Konstrukcja i działanie miernika wydajności

Zgodnie z przedstawionym na rys. 1 schematem blokowym miernika, składa się on z następujących zespołów funkcjonalnych:

- 1) układu mostka pomiarowego,
- 2) układu przetwarzania sygnału nierównoważenia mostka,
- 3) układu sprzężenia zwrotnego,
- 4) stabilizowanego źródła prądu,
- 5) woltomierza cyfrowego,

przy czym układ mostka pomiarowego - 1 zbudowany jest z mostka oporowego - M, zawierającego w jednej z gałęzi grzany prądowo czujnik - R w postaci drutu oporowego oraz z zespołu równoważenia mostka, umożliwiającego ustalenie warunków początkowych (zera). Układ sprzężenia zwrotnego - 3 pozwala na utrzymywanie stałej wartości prądu zasilającego czujnik I na wyjściu stabilizowanego źródła prądu - 4. W układzie przetwarzania sygnału nierównoważenia mostka - 2 zastosowano różnicowy wzmacniacz napięciowy. Po wycechowaniu, aktualną wartość wydajności można bezpośrednio odczytać na woltomierzu cyfrowym. Jako czujnika włączonego w jedną z gałęzi mostka Wheastone'a użyto niklowego drutu oporowego o średnicy 0.045 mm i oporności 300  $\Omega$ /m, przy temperaturze 20°C. Drut rozpięto w specjalnym uchwycie w poprzek kanału pomiarowego. Mostek był równoważony w warunkach braku przepływu, za pomocą opornic dekadowych klasy 0.05. Niezależnie od zmian oporu czujnika, jak również parametrów przepływu, układ mostkowy zasilany był prądem stosownie do wymaganej temperatury drutu i związanej z nią czułością miernika. Cechowanie przeprowadzono na powietrzu względem kryzy z pomiarem ciśnienia przytarczowego przy dwóch wartościach prądu zasilającego: 0.1 A i 0.2 A. Wyniki cechowania przedstawiono na rys. 2.

W chwili pojawienia się przepływu zostają zakłócone warunki wymiany ciepła między czujnikiem a przepływającym medium. Powoduje to obniżenie jego

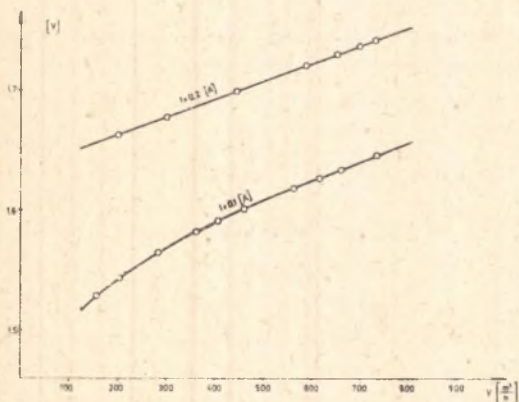


temperatury (przy zachowaniu stałej wartości  $I = \text{idem}$ ), a tym samym zmianę oporu zgodnie z prawem:

$$R = R_0 \cdot \left[ 1 + \beta(T - T_0) \right], \quad (1)$$

gdzie:

- $\beta$  - temperaturowy współczynnik oporności,
- $T$  - temperatura absolutna w warunkach pomiaru,
- $T_0$  - temperatura absolutna w warunkach równoważenia,
- $R$  - rezystancja czujnika w warunkach pomiaru,
- $R_0$  - rezystancja czujnika w warunkach równowagi mostka.



Rys. 2

i niezrównoważenie mostka. Sygnał niezrównoważenia jest dalej przekształcany w układach miernika, tak jak to przedstawiono wyżej.

Z przebiegu charakterystyk statycznych rys. 2 widać, że nawet przy stosunkowo niskich wydajnościach powietrza można uzyskać liniowość, podnosząc wartość prądu zasilającego np. z 0.1A na 0.2A, tzn. zwiększając temperaturę czujnika. Przeprowadzone przybliżone oceny górnej granicy pasma przenoszenia pozwoliły stwierdzić, że ze względu na zastosowane

wzmacniacze operacyjne oraz bardzo małą bezwładność czujnika (jak to zostanie pokazane niżej, jest on obiektem inercyjnym 1 rzędu), przy odpowiedniej kompensacji częstotliwościowej wejść i wyjść wzmacniaczy operacyjnych MAA-501, pasmo przenoszenia miernika wydajności jest rzędu 100 KHz. A więc ma on dużo lepszą dynamikę, niż to wynika z potrzeb praktyki. Wyniki badania prototypu w pełni potwierdziły koncepcję metody pomiaru wydajności i ujawniły szereg istotnych zalet rozwiązania. W świetle powyższego miernik jest wysoce konkurencyjny z innymi stosowanymi rozwiązaniami.

### 3. Własności dynamiczne czujnika

Rozpatrzmy wpływ inercji cieplnej czujnika na wyniki pomiarów. W warunkach jego równowagi cieplnej w dowolnej chwili opisuje ją równanie [2]:

$$\frac{I^2 R}{R - R_0} = A + B \sqrt{\dot{V}} + C_0 \frac{dT}{dt}, \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{V}$  - wydajność,

$C_0$  - pojemność cieplna jednostki długości ozujnika,

$\tau$  - czas,

A, B - stałe współzależności.

W przypadku małych zaburzeń wydajności  $\dot{V}$ , oznaczając odpowiednie zaburzenia oporu przez  $r$  i temperatury przez  $t$ , możemy napisać:

$$\dot{V} = \dot{V}^* + \dot{v} \quad R = R^* + r \quad T = T^* + t$$

przy założeniu, że:  $\frac{\dot{v}}{\dot{V}^*} \ll 1$  i odpowiednio:  $\frac{r}{R^*} \ll 1$ .

A wtedy z (2) otrzymujemy:

$$I^2 r = (A + B \sqrt{\dot{V}^*})r + (R - R_0) \cdot B \sqrt{\dot{V}^*} \cdot \frac{v}{2\dot{V}^*} + C_0 \frac{dt}{dt} \quad (3)$$

Ale ze względu na (1):

$$t = \frac{r}{R_0 \beta} \quad (4)$$

Podstawiając otrzymaną wartość  $t$  (4) do (3), po przekształceniach otrzymujemy równanie:

$$K \cdot \frac{dr}{dt} + r = L \cdot \dot{v}, \quad (5)$$

gdzie:

$$K = \frac{C_0}{R_0 \beta [(A + B \sqrt{\dot{V}^*}) - I^2]}$$

$$L = \frac{(R - R_0) \cdot B \sqrt{\dot{V}^*}}{2 \cdot \dot{V}^* \cdot [(A + B \sqrt{\dot{V}^*}) - I^2]}$$

Stosując do (5) przekształcenie Laplace'a otrzymujemy postać funkcji przejścia dla ozujnika:

$$M(p) = \frac{r}{\dot{v}} = \frac{L}{1 + Kp} \quad (6)$$

skąd bezpośrednio wynika, że ozujnik jest obiektem inercyjnym pierwszego rzędu. W oparciu o eksperymentalnie zdjętą charakterystykę przejścia określono górną granicę pasma przenoszenia sygnałów na około 1286 Hz.

## LITERATURA

- [1] Nadachowski, Kulka: Zastosowanie liniowych układów scalonych. PWN, Warszawa 1974.
- [2] Povich J.L.: Aerodinamičeskij eksperiment v mašinstrojenii. Mašinstrojenije, Moskwa 1974.

ПОСТОЯННОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМНОЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЖИДКОСТИ

## Р е з ю м е

В статье представлена концепция первообразного решения, а также результаты градуирования электронного измерителя объёмной производительности жидкости при использовании термоанемометрического эффекта.

Измеритель может найти применение как при непосредственных измерениях производительности, так и в системах автоматики, особенно касающихся проблем кондиционирования и вентиляции.

ELECTRONIC MEASURING INSTRUMENT FOR CONTINUOUS TESTING  
OF THE FLUID VOLUMETRIC CAPACITY

## S u m m a r y

This paper presents a concept of the prototype solution of desing, and results of the electronic measuring instrument for fluid volumetric capacity calibration, utilizing the hot-wire anemometric effect. This measuring instrument can be used for immediate measurments of capacity as well as in automatic systems, particularly in relation to problems of air conditioning and ventilation.