

Zygmunt BIERNACKI ¹⁾, Tadeusz ZŁOTO ²⁾, Marek KURKOWSKI ¹⁾

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

¹⁾ INSTYTUT ELEKTRONIKI I SYSTEMÓW STEROWANIA

²⁾ INSTYTUT TECHNOLOGII MASZYN I AUTOMATYZACJI PRODUKCJI

Sensory Termoanemometryczne w pomiarach parametrów medium w układzie hydraulicznym

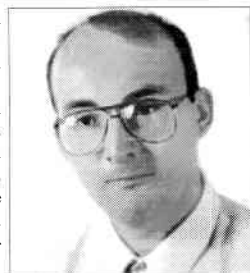
Prof. dr hab. inż. Zygmunt BIERNACKI ukończył w 1958r. Wydz. Elektryczny Politechniki Wrocławskiej. W Politechnice Częstochowskiej pracuje od 1962r. Należy do wąskiego grona inicjatorów i organizatorów Wydz. Elektrycznego P. Cz.. W 1969r. uzyskał stopień dr n.t. z metrologii elektrycznej, a w 1990r. dr hab. n.t. w Państwowym Uniwersytecie Elektrotechnicznym w Sankt Petersburgu w zakresie Systemów pomiarowo-informacyjnych. W latach 1987-91 pełnił funkcję dyr. Instytutu Elektrotechniki Przemysłowej a w latach 1991-94 oraz 1996-98 dyr. Instytutu Elektroniki i Systemów Sterowania. Od 1980 r. i aktualnie członek Komisji Kształcenia K. M. i A. N. PAN w Warszawie. Od 1986r. członek Komisji Metrologii Oddz. Katowickiego PAN a od 1992 z-ca przewodniczącego Prezydium. Staże naukowe odbył w: Głównym Urzędzie Miar oraz na uniwersytetach technicznych w Karlsruhe, Stuttgartcie i Monachium. W 1998r. uzyskał tytuł naukowy profesora n.t. z dyscypliny Elektrotechnika i spec. Metrologia elektryczna. Jest autorem lub współautorem około 150 publikacji i kilkunastu patentów. Jego obszar działalności n-b to Metrologia Elektryczna i Elektroniczna ze szczególnym zainteresowaniem pomiarami elektrycznymi wielkości nieelektrycznych.



Dr inż. Tadeusz ZŁOTO – jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej na stanowisku adiunkta. Pracę doktorską z zakresu napędów i sterowań hydraulicznych obronił w 1985 r. przed Radą Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej. Od 1996 r. pełni funkcję kierownika Zakładu Obrabiarek i Automatyk Systemów Produkcyjnych Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji P.Cz. Jest autorem lub współautorem 41 publikacji w materiałach krajowych i zagranicznych. Jako inicjator i współorganizator kierował pracami wykonawczymi przy tworzeniu Laboratorium napędów i sterowań hydraulicznych w ITMiAP P.Cz. Był współwykonawcą 4 prac naukowo-badawczych dla przemysłu o charakterze wdrożeniowym. Obszar jego zainteresowań obejmuje napędy i sterowanie hydrauliczne oraz obrabiarki sterowane numerycznie a także systemy pomiarowe.



Dr inż. Marek KURKOWSKI – jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej na stanowisku adiunkta. W jego dorobku naukowym jest 35 publikacji w materiałach krajowych i zagranicznych i 1 skrypt, których jest autorem lub współautorem. Był współwykonawcą 7 prac naukowo-badawczych dla przemysłu o charakterze wdrożeniowym. W kręgu jego zainteresowań są: oprogramowanie systemów pomiarowych oraz pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi i elektronicznymi.



Streszczenie

W pracy przedstawiono aktualne rozwiązania konstrukcji aparatury termoanemometrycznej, w tym sensorów i elektronicznych układów pomiarowych stosowanych dotychczas do pomiarów parametrów przepływającego gazu. Dokonano także oceny możliwości wykorzystania adekwatnych wersji konstrukcyjnych do pomiaru natężenia przepływu i temperatury przepływającego oleju hydraulicznego. Rozważono dalsze możliwości zastosowania wybranych przetworników opartych na różnych zasadach funkcjonowania, w tym półprzewodnikowych. Dokonano próby sprecyzowania zasad i wymagań eksploatacyjno-metrologicznych do zbudowania modelu systemu pomiarowego spełniającego założone parametry mierzzonego medium.

Abstract

The paper presents recent developments in the construction of thermoanemometric devices, including sensors and electronic measuring systems used for measuring parameters of flowing gas. The possibility of using specific devices for measuring the flow intensity and temperature of hydraulic oil is investigated. Also, the possibility of applying selected converters, with various functioning principles, including semiconductor converters is considered. An attempt is made at specifying the metrological and exploitation requirements of a measuring system that would meet the set parameters of the measured medium.

1. Wprowadzenie

Równolegle do coraz szerszego zautomatyzowania procesów produkcyjnych szczególnie tych, gdzie występuje przepływ płynów, zachodzi konieczność pomiarów i bieżącej kontroli – ich ważnych dla przebiegu procesu – parametrów tj. temperatury i prędkości przepływu. Jednocześnie wiadomo, że kontrolowane w tych procesach płyny przemieszczają się zarówno w formie przepływu laminarnego jak też często wg charakteru turbulentnego. Stawia to przed konstruktorami sensorów, przeznaczonych do pracy w systemach anemometrycznych, liczne i trudne do spełnienia wymagania.

A oto niektóre z nich:

- Opracowane i stosowane w polu przepływowym sensory muszą być niezniekształcające charakteru badanego pola – minimalizacja wymiarów sensora.
- Sensor pomiarowy powinien odznaczać się dużą odpornością na

zakłócenia i posiadać wysoką wartość stosunku sygnał/szum, co determinuje dużą rozdzielczość układu pomiarowego.

Zarówno ceną jak i wymaganą cechą planowanego systemu anemometrycznego, przeznaczonego do pomiarów parametrów oleju hydraulicznego, jest możliwość bezpośredniego przyłączenia doń aparatury rejestrującej oraz sprzętu informatycznego przewidywanego do analizy statystycznej otrzymanych sygnałów dotyczących prędkości i temperatury.

W oparciu o analizę dostępnej literatury specjalistycznej [1, 2, 4, 5, 6] oraz własne doświadczenia w tej dziedzinie, wydaje się celowym sięgnięcie tu do rozwiązań sensorów i układów pomiarowych z zakresu elektrycznego miernictwa wielkości nieelektrycznych. Wśród nich jako odpowiednie uznano sensory termorezystancyjne i układy termoanemometrów konwekcyjnych oraz systemy termoanemometru falowego.

Stan aktualny zagadnienia

Ciecz robocza w urządzeniu hydraulicznym spełnia przede wszystkim rolę nośnika energii, a poza tym stanowi czynnik smarujący i odprowadzający energię cieplną. Lepkość oleju w urządzeniu hydraulicznym wywiera zasadniczy wpływ na zjawiska towarzyszące przekazywaniu energii za jego pośrednictwem.

Silna zależność lepkości oleju od temperatury może być powodem trudności zarówno przy niskiej temperaturze rozruchu urządzenia, jak i podczas jego intensywnej pracy.

Podczas badań i eksploatacji elementów oraz układów hydraulicznych maszyn i automatyki zachodzi potrzeba dokonywania również pomiarów natężenia przepływu czynnika roboczego.

Powszechnie stosowane są przepływomierze turbinkowe,

które wymagają precyzyjnego wzorcowania w zależności od lepkości cieczy i natężenia przepływu [9].

W dostępnych publikacjach [9, 10] można znaleźć opis opracowań oraz realizacji praktycznych przepływomierzy tłokowych wysokiej klasy. Wśród niedogodności technicznych tych przepływomierzy należy wymienić niezadowalające właściwości dynamiczne a także wysoką cenę.

Przydatność przyrządu określającego jednocześnie natężenie przepływu i lepkość przepływającego medium (pośrednio poprzez pomiar temperatury) jest nieodzowna dla badań prowadzonych przez zespoły pracowników naukowych jak i użytkowników urządzeń hydraulicznych.

Termoanemometry opracowane dotychczas między innymi przez Instytut Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie [6] a także w Instytucie Elektroniki i Systemów Sterowania PCz [2, 3] oraz w ośrodkach zagranicznych (Dantec i TSI) [11] były głównie stosowane do pomiarów parametrów przepływającego gazu (prędkość i temperatura).

Z nielicznych prac nad możliwościami zastosowania sensorów termoanemometrycznych w cieczach jest praca naukowa dr inż. J. Mirkowskiego [8]. Wyniki jego badań analitycznych i empirycznych wskazują na możliwość pozytywnego zastosowania opracowanej aparatury do pomiarów wybranych parametrów przepływającego oleju.

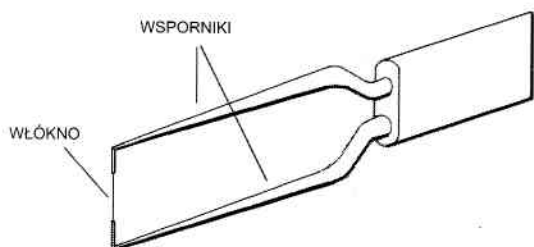
Reasumując w oparciu o doniesienia literaturowe oraz własne doświadczenia w rozważanej dziedzinie, stwierdza się, że stosowane dotychczas metody do pomiarów parametrów przepływającego oleju hydraulicznego należą do klasycznych metod z aerodynamiki doświadczalnej i nie spełniają większości wymogów współczesnej anemometrii.

Właściwości eksploatacyjno-metrologiczne wybranych sensorów i układów termoanemometrycznych

W praktyce metrologicznej obserwuje się duże zainteresowanie wykorzystaniem do budowy sensorów anemometrycznych niektórych zjawisk fizycznych umożliwiających ich budowę i zastosowania techniczne [1, 2, 6]. Najczęściej jest tu wykorzystywana zależność rezystancji cienkich drucików (włókien) metalicznych lub elementów półprzewodnikowych od temperatury medium, które je opływa.

U podstaw fizycznych rozwoju termoanemometrii leży pionierska praca L. V. Kinga w której już w 1915 r. sprecyzował prawo opisujące wymianę ciepła między nieskończenie długim cylindrem ogrzewanym prądem elektrycznym a omywającą go strugą płynu doskonałego [7].

Zatem podstawowym elementem sensora termoanemometrycznego typu *hot - wire* jest cienki drucik (włókno) o średnicy do kilkudziesięciu mikrometrów rozpięty pomiędzy dwoma stalowymi lub manganinowymi wspornikami (rys.1.). Daje się tu szczególnie zauważyć różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych sensorów i układów pomiarowych termoanemometrów konwek-



Rys. 1. Sensor termoanemometryczny typu *hot - wire* [11]

cyjnych. Włókno sensora włączone jest do wybranego zelektronizowanego układu pomiarowego, w którym podgrzewane zostaje prądem elektrycznym do odpowiedniej temperatury ($100 \div 300 \text{ }^\circ\text{C}$). Współczesne termoanemometry konwekcyjne są konstruowane w dwóch podstawowych układach: stałoprądowym ($I = \text{const}$) i stało-temperaturowym ($\vartheta = \text{const}$). Elementy czułe sensora wykonuje się na ogół z metali o dużym współczynniku temperaturowym rezystancji np.: platyna, platynorod, wolfram nikiel oraz ostatnio z półprzewodników.

Dobre właściwości eksploatacyjne oraz metrologiczne (mała inercja, wysoka czułość, duża dokładność itp.) sensorów i układów termoanemometrów konwekcyjnych wskazują na celowość ich aplikacji do pomiarów parametrów oleju hydraulicznego. W okresie ostatnich kilkunastu lat pojawiły się termoanemometry falowe zw. także znacznikowymi. Zasada ich działania opiera się na pośrednim pomiarze prędkości przepływu medium W_m przez pomiar czasu przelotu Δt znaczników wraz z medium na wcześniej określonym dokładnie odcinku Δl zwanym stałą konstrukcyjną sensora.

Doświadczenia Autorów referatu w konstruowaniu i eksploatacji sensorów i systemów termoanemometru falowego uzasadniają ich aplikacje do pomiarów parametrów przepływu cieczy hydraulicznej. Należy w uzupełnieniu dodać, że spośród wielu znaczników należy wykorzystywać tu takie, których obecność w cieczy hydraulicznej będzie obojętna dla przebiegów procesów technologicznych. Do takich nielicznych można zaliczyć znaczniki o charakterze termicznym o umiarkowanych parametrach (wartości temperatury i częstotliwości).

Koncepcja własna adekwatnego systemu pomiarowego

Wśród układów, które zostaną zastosowane do badań prędkości przepływu i temperatury oleju na uwagę zasługują zmodyfikowane termoanemometry konwekcyjne i falowe [2, 5, 8].

Układy te po zmodyfikowaniu wraz z sensorami termoanemometrycznymi należy wywzorcować na stanowisku badawczym z przepływającym olejem metodą porównawczą przy użyciu wzorcowego przepływomierza tłoczkowego oraz turbinkowego w rzeczywistych warunkach pracy pompy.

W badaniach przewiduje się wykorzystanie adekwatnych wersji konstrukcyjnych przetworników termoanemometrycznych zawierających włókna termoanemometryczne oraz termistory.

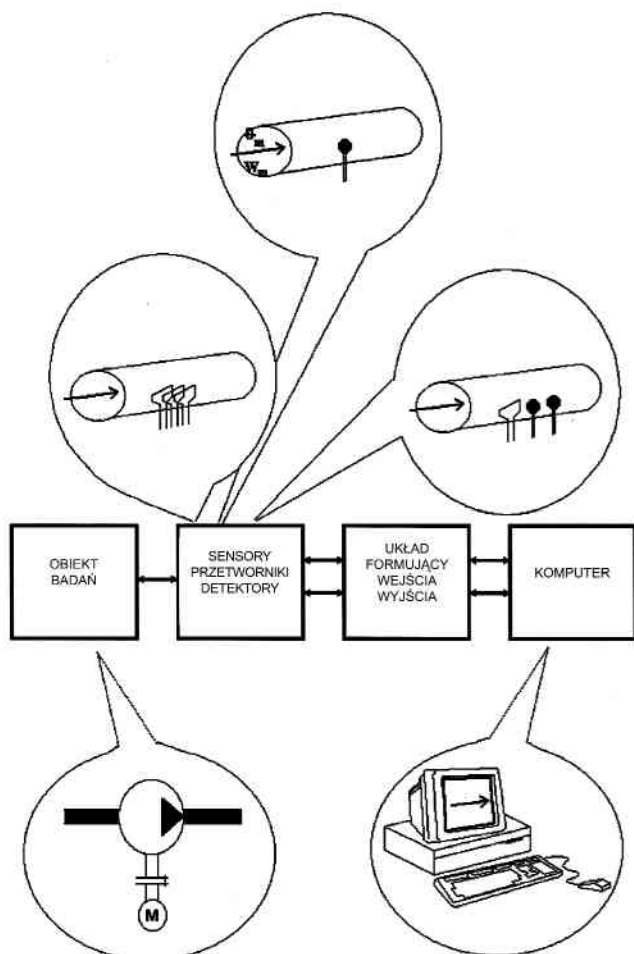
Pomiary zostaną przeprowadzone na uniwersalnym stanowisku hydraulicznym z ciągłą regulacją temperatury oleju w zakresie od $30 \text{ }^\circ\text{C}$ do $70 \text{ }^\circ\text{C}$ oraz ciśnień w przewodzie tłocznym w przedziale od 0 do 16 MPa.

Proponowany system pomiarowy (rys.2.) składa się z przetworników zarówno zawierających włókna termoanemometryczne, jak i wymiennie czujniki półprzewodnikowe - termistory. Przewiduje się zastosowanie termistorów zarówno do pomiarów temperatury jak i pośrednio natężenia przepływu.

Stworzy to warunki do opracowania metody pomiaru natężenia przepływu medium wraz z równoczesnym wyznaczeniem temperatury oleju, odpowiednio w przewodach ssawnym i tłocznym pompy. Istotnym elementem opracowania uzyskanych wyników badań będzie analiza w aspekcie metrologicznym w/w wielkości w funkcji zmieniających się warunków pracy układu hydraulicznego.

Analogowe sygnały z sensorów będą przetwarzane w układzie formującym i wprowadzane do pamięci komputera. Następnie będą poddawane analizie aby wyznaczyć wartości: temperatury, natężenia przepływu i lepkości oleju hydraulicznego.

Procedurę pomiaru temperatury w opracowanym systemie



Rys. 2. Schemat systemu do pomiarów wybranych parametrów oleju hydraulicznego

można opisać analitycznie w postaci ciągu następujących po sobie przekształceń, w których: ϑ_m temperatura medium oraz będące funkcjami temperatury: R_{ϑ_m} – rezystancja sensora, U_{ϑ_m} – napięcie w postaci analogowej, $U_{\vartheta_m d}$ – napięcie w postaci cyfrowej, $U_{\vartheta_m K}$ – zakodowana postać sygnału w komputerze, a mianowicie:

$$\vartheta_m \rightarrow R_{\vartheta_m} \rightarrow U_{\vartheta_m} \rightarrow U_{\vartheta_m d} \rightarrow U_{\vartheta_m K} \quad (1)$$

Podobnie można przedstawić procedurę pomiaru prędkości przepływającego oleju:

$$W_m \rightarrow R_{W_m} \rightarrow U_{W_m} \rightarrow U_{W_m d} \rightarrow U_{W_m K} \quad (2)$$

gdzie W_m – prędkość medium oraz będące funkcjami prędkości: R_m – rezystancja sensora, U_{ϑ_m} – napięcie w postaci analogowej, $U_{\vartheta_m d}$ – napięcie w postaci cyfrowej, $U_{\vartheta_m K}$ – zakodowana postać sygnału w komputerze.

Wnioski

Modyfikacja czujników termooanemometrycznych i ich zastosowanie do pomiarów parametrów przepływu oleju hydraulicznego pozwoli na rozszerzenie możliwości badawczych.

Proponowane rozwiązanie sensorów wraz z układem zapewniają uzyskanie dwóch parametrów przepływającego oleju tj. natężenia przepływu i temperatury.

Wskazuje to że proponowana koncepcja układu pomiarowego wykazuje cechy pomiarów wieloparametrowych.

Opracowane układy mogą być wykorzystane do automatyzacji układów hydraulicznych.

LITERATURA

- [1] H. H. Bruun: *Hot-Wire Anemometry*. University Press. Oxford 1995.
- [2] Z. Biernacki: *Sensory i systemy termooanemometryczne*. WKiŁ, Warszawa 1997.
- [3] Z. Biernacki, M. Kurkowski, P. Rakus, T. Drózd: Influence of the configuration of a thermoresistive converter upon the Wave Thermoanemometer System. *4th International Conference Unconventional Electromechanical and Electrical Systems*. St. Petersburg, Russia 1999, s. 1297-1302.
- [4] Z. Biernacki, T. Złoto. *A device with optoelectronic converter for temperature measurement of rotating parts*. *6th ISMQC IMEKO International Symposium Metrology for Quality Control in Production*, Vienna, Austria 1998, p. 53-57.
- [5] Z. Kabza, K. Kostyrko: *Metrologia przepływów, gęstości i lepkości*. Wyd. WSInż., Opole, 1995.
- [6] J. Kielbasa: Pomiar wolnych przepływów, *Materiały XXVIII Międzynarodowej Konferencji Metrologów MKM'96*, Częstochowa 1996, t.1 s. 392-399.
- [7] L. V. King: *On the convection of heat from small cylinders in a stream of fluid: determination of the convection constants of small platinum wires with application to hot-wire anemometry*, Phil. Trans. R. Soc., 214A, 1914, 373-432.
- [8] J. Mirkowski: *Generacja, propagacja i detekcja znacznika termicznego w cieczyach – model i aplikacje metrologiczne*. Seria Monografie nr 58, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
- [9] J. Niegoda, A. Balawender: Laboratoryjny przyrząd wzorcowy do pomiarów natężenia przepływów cieczy. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej – Mechanika Nr 36*, Gdańsk 1980, s. 25-33.
- [10] A. Osiecki, A. Balawender, J. Niegoda: Zastosowanie przepływomierza tłokowego do wrcowania przepływomierzy turbinkowych. *Mat. IV Konferencji Miernictwo*