

ATU 2001

CZTEROKANAŁOWY MODUŁ TERMOANEMOMETRU STAŁOTEMPERATUROWEGO I TERMOMETRU STAŁOPRĄDOWEGO DO ZASTOSOWAŃ W LABORATORYJNYCH SYSTEMACH POMIAROWYCH

Opis przyrządu standardowego – wersje dla poszczególnych odbiorców różnią się od przedstawionej ilością i funkcją kanałów, rodzajem czujników i innymi parametrami technicznymi zgodnie ze specyfikacją.

OPRACOWAŁ DOC. DR HAB. INŻ. PAWEŁ LIGEZA

**INSTYTUT MECHANIKI GÓROTWORU PAN
ul. REYMONTA 27, 30-059 KRAKÓW
tel.: (12) 637 62 00, fax: (12) 637 28 84
ligeza@img-pan.krakow.pl**

NUMER SERYJNY PRZYRZĄDU: 0701

**WERSJA: CZTEROKANAŁOWY TERMOANEMOMETR
Z CZUJNIKAMI POJEDYNCZYMI, PODWÓJNYMI I POTRÓJNYMI
DO WSPÓŁPRACY Z MODUŁEM PRZETWORNIKA A/C USB
BEZ KANAŁÓW TERMOMETRYCZNYCH**

KRAKÓW 2007

1. Wprowadzenie

Termoanemometria jest pośrednią metodą pomiaru prędkości przepływu gazów poprzez pomiar strat ciepłych grzanego elementu umieszczonego w badanym przepływie. Wyróżniki tej metody to:

- pomiar sygnałów szybkozmiennych,
- pomiar zbliżony do punktowego,
- mała inwazyjność pomiaru,
- brak ruchomych elementów czujnika,
- duży stosunek sygnału do szumu,
- elektryczny sygnał wyjściowy.

Obszar pomiarowy i stopień inwazyjności metody wyznaczonej jest rozmiarami elementu pomiarowego czujnika. Jest nim włókno o średnicy kilku mikrometrów wykonane z materiału o rezystancji zależnej od temperatury. Prąd elektryczny rozgrzewa element pomiarowy, umożliwiając jednocześnie pomiar jego temperatury. Przeprowadzenie bilansu ciepłego dla elementu pomiarowego pozwala na wyznaczenie mierzonej wielkości.

Typowym układem pracy czujnika termoanemometrycznego jest układ stałotemperaturowy. Jest to układ regulacji automatycznej zasilający czujnik takim prądem, aby temperatura elementu czynnego utrzymywana była niezależnie od zewnętrznych warunków odbierania ciepła na stałym, zadanym poziomie. W układzie tym prąd czujnika jest funkcją prędkości badanego przepływu, zależny jest jednak również od temperatury medium.

Dla stanu ustalonego wymianę ciepła między elementem czynnym czujnika a przepływającym gazem opisuje równanie:

$$I^2 R = (A + BV^n)(R - R_0), \quad (1)$$

gdzie:

I - natężenie prądu przepływającego przez włókno czujnika,

R - rezystancja nagrzanego włókna czujnika,

R_0 - rezystancja włókna czujnika w temperaturze gazu,

V - prędkość przepływu gazu,

A, B, n - parametry uzyskane w procesie wzorcowania.

W równaniu tym możemy wyróżnić trzy czynniki. Pierwszy to moc prądu elektrycznego ogrzewającego włókno. Prąd I jest mierzonym bezpośrednio sygnałem wyjściowym, rezystancja R jest zależna od warunków pracy czujnika. W układzie stałotemperaturowym rezystancja R utrzymywana jest na zadanym poziomie. Drugi czynnik to funkcja mierzonej prędkości przepływu $A + BV^n$. Parametry tej funkcji zależą od wartości wielkości fizycznych opisujących właściwości czujnika i medium. Ich wartości wyznacza się w procesie wzorcowania czujnika. Trzeci czynnik jest proporcjonalny do różnicy temperatur nagrzanego włókna i medium. Jest on wyrażony poprzez rezystancje, a więc wielkości bezpośrednio mierzalne na drodze elektrycznej. Stosunek rezystancji włókna nagrzanego do jego rezystancji w temperaturze medium:

$$\eta = \frac{R}{R_0} \quad (2)$$

nazywany jest współczynnikiem nagrzania włókna pomiarowego.

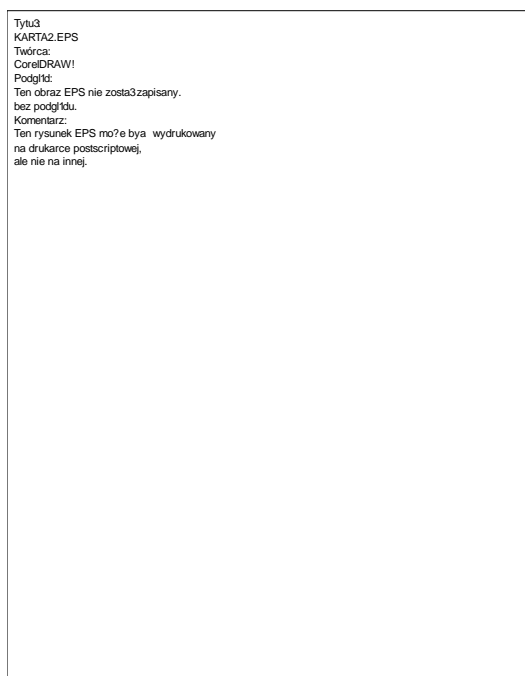
2. Charakterystyka modułu

Czterokanałowy moduł termoanemometru - termometru ATU 2001 przeznaczony jest do prowadzenia precyzyjnych laboratoryjnych pomiarów prędkości i temperatury w przepływach powietrza. Zestaw pomiarowy składa się z kompletu czujników pomiarowych, obsadek czujników łączących czujniki z modułem, modułu pomiarowego i zewnętrznego zasilacza sieciowego. Moduł posiada wyjścia sygnałów analogowych z poszczególnych torów pomiarowych. Przeznaczony jest do współpracy z kartą przetworników analogowo - cyfrowych komputera PC lub z innym urządzeniem zewnętrznym.

Konfiguracja zestawu pomiarowego zależy od przeznaczenia i jest ustalana indywidualnie dla każdego systemu pomiarowego. Dotyczy to ilości kanałów pomiarowych, ich parametrów, realizowanej funkcji oraz ilości i typu czujników pomiarowych. Czujniki pomiarowe mogą współpracować tylko z tym kanałem pomiarowym, do którego zostały przygotowane. Zmiana konfiguracji grozi uszkodzeniem czujnika.

Moduł pomiarowy pełni funkcję przetwornika sygnałów z czujników na napięciowe sygnały wyjściowe proporcjonalne do prędkości przepływu i temperatury badanego medium. Składa się z czterech kanałów pomiarowych. Każdy kanał posiada układ termometru stałoprądowego (CCT) i termoanemometru stałotemperaturowego (CTA). Schemat blokowy pojedynczego kanału pomiarowego przedstawia rysunek 1.

Termometr pracuje w układzie stałoprądowego termometru rezystancyjnego (CCT). Czujnik pomiarowy zasilany jest prądem o stałej wartości ze źródła prądowego **1**. Napięcie na czujniku jest proporcjonalne do jego rezystancji, a więc również do badanej temperatury. Napięcie to jest wzmacniane we wzmacniaczu **2**, a następnie podawane do wyjścia modułu poprzez filtr dolnoprzepustowy **3**. Wartość prądu czujnika, wzmacnienie i częstotliwość filtracji jest indywidualnie dobrana dla każdego kanału pomiarowego. Tor termometru może być także wykorzystany jako wzmacniacz do przetwarzania sygnałów z innych typów czujników pomiarowych.



Rys. 1. Schemat blokowy pojedynczego kanału pomiarowego

Termoanemometr stałotemperaturowy (CTA) pracuje w układzie mostkowym **4**. Stanowi on układ regulacji automatycznej zasilający czujnik takim prądem, aby w stanie nagrzania jego temperatura pozostawała na stałym, zadanym poziomie. Dzięki temu prąd czujnika jest funkcją prędkości przepływu. Poziom nagrzania czujnika jest stały, indywidualnie dobrany dla każdego kanału pomiarowego. Istnieje możliwość wprowadzenia funkcji sterowania pracą układu stałotemperaturowego **5** za pomocą zewnętrznego sygnału cyfrowego. Sygnał ten zależnie od konfiguracji toru pomiarowego może być wykorzystany do włączania i wyłączania termoanemometru lub do przełączania współczynnika nagrzania czujnika pomiarowego pomiędzy dwoma poziomami. Poziom wysoki sygnału sterującego powoduje ustawienie wyższego współczynnika nagrzania (lub załączenie termoanemometru), poziom niski powoduje ustawienie niższego współczynnika nagrzania (lub wyłączenie termoanemometru). Sygnał wyjściowy z układu stałotemperaturowego proporcjonalny do prądu czujnika podawany jest do wyjścia modułu poprzez filtr dolnoprzepustowy **6**. Parametry dynamiczne układu stałotemperaturowego i częstotliwość filtracji jest indywidualnie dobrana dla każdego kanału pomiarowego.

Moduł zasilany jest z zewnętrznego zasilacza sieciowego. Zasilacz dostarcza stabilizowane napięcie stałe. W module zastosowano rozwiązania zabezpieczające czujniki przed przepaleniem w stanach nieustalonych w czasie załączania i wyłączania.

3. Dane techniczne modułu (wersja standardowa)

Tor pomiarowy termometru:

- tryb pracy - stałoprądowy
- zakres pomiarowy – 0 do 100 °C
- prąd czujnika - ustalony dla kanału
- wzmacnienie - ustalone dla kanału
- filtr wyjściowy - dolnoprzepustowy
- wyjście napięciowe pomiarowe – 0 do +10 V
- napięcie wyjściowe maksymalne – do +12V

Tor pomiarowy termoanemometru:

- tryb pracy - stałotemperaturowy
- zakres pomiarowy – 0 do 100 m/s
- nagrzanie czujnika - ustalone dla kanału
- wejściowy sygnał sterujący - TTL/CMOS
- filtr wyjściowy - dolnoprzepustowy
- wyjście napięciowe pomiarowe – 0 do +10 V
- napięcie wyjściowe maksymalne – do +12V

Układ zasilania:

- zasilanie zewnętrzne - ~230 V, 50 Hz, ok. 10 W
- zasilanie wewnętrzne - +12 V, stabilizowane
- napięcie odniesienia - +10 V
- układ zabezpieczenia czujnika - w stanach nieustalonych

Wymiary modułu:

- szerokość - 250 mm
- wysokość - 55 mm
- głębokość - 175 mm

4. Opis złącz modułu

Złącza czujnika **PROBE** - gniazdo D-SUB 9 F:

- pin 1: ekran
- pin 2,6: czujnik termometryczny - masa
- pin 3,7: czujnik termometryczny - aktywny
- pin 4,8: czujnik termoanemometryczny - masa
- pin 5,9: czujnik termoanemometryczny - aktywny

Złącze sygnałów wyjściowych **OUTPUTS** - gniazdo D-SUB 25 F:

- pin 1: zasilanie +12 V
- pin 2: wejście sygnału sterującego pracą termoanemometru - kanał 1
- pin 3: napięcie wyjściowe termometru - kanał 1
- pin 4: napięcie wyjściowe termoanemometru - kanał 1
- pin 5: wejście sygnału sterującego pracą termoanemometru - kanał 2
- pin 6: napięcie wyjściowe termometru - kanał 2
- pin 7: napięcie wyjściowe termoanemometru - kanał 2
- pin 8: wejście sygnału sterującego pracą termoanemometru - kanał 3
- pin 9: napięcie wyjściowe termometru - kanał 3
- pin 10: napięcie wyjściowe termoanemometru - kanał 3
- pin 11: wejście sygnału sterującego pracą termoanemometru - kanał 4
- pin 12: napięcie wyjściowe termometru - kanał 4
- pin 13: napięcie wyjściowe termoanemometru - kanał 4
- pin 14 do 25: masa

Złącze zasilacza **SUPPLY** - gniazdo D-SUB 9 M:

- pin 1 do 5: zasilanie +12 V
- pin 6 do 9: masa

5. Przygotowanie modułu do pracy

- Moduł ustawić na stanowisku pomiarowym.
- Wyłącznik zasilania ustawić w pozycji **OFF**. Podłączyć zasilacz sieciowy do złącza **SUPPLY** i przykręcić śruby mocujące.

- Do złącza **OUTPUTS** podłączyć odpowiedni kabel łączący moduł ze złączem **ANALOG** modułu przetworników analogowo - cyfrowych USB i przykręcić śruby mocujące. Moduł przetworników podłączyć kablem USB do komputera PC. Należy zwrócić uwagę na dokładne i pewne podłączenie kabli. Podczas podłączania kabla komputer powinien być wyłączony.
- Obsadki czujników zamocować w odpowiednich statywach w badanym obszarze pomiarowym. Wybrane czujniki umieścić w obsadkach i dokonać ich ustawienia względem badanego przepływu. Włókno czujnika oraz jego oś powinny być ustawione prostopadle do badanego wektora prędkości (dotyczy standardowych pomiarów czujnikiem jednowłóknowym). Złącza obsadek (1, 2, 3, 4) podłączyć do odpowiednich złącz **PROBE** (1, 2, 3, 4) modułu i przykręcić śruby mocujące. Należy pamiętać o zachowaniu zgodności numeracji kanałów i czujników w kanałach.
- Czujniki dwuwłóknowe umieszcza się w tych samych obsadkach (1, 2) co jednowłóknowe, należy jednak zastosować przejściówkę złącza obsadki D-SUB 9 na 2 x D-SUB 9, podłączyć ją do dwóch złącz **PROBE** (1 i 2, lub 3 i 4) modułu i przykręcić śruby mocujące. Należy również pamiętać o zachowaniu zgodności numeracji kanałów i czujników w kanałach.
- Dla czujników trójwłóknowych 3D nie stosuje się obsadek, należy natomiast zastosować przejściówkę D-SUB 9 na 3 x D-SUB 9, podłączyć ją do trzech złącz **PROBE** (1, 2, 3) modułu i przykręcić śruby mocujące. Należy również pamiętać o zachowaniu zgodności numeracji kanałów i czujników w kanałach.
- Nieprawidłowe podłączenie czujników może doprowadzić do ich uszkodzenia.
- Zasilacz umieścić w gniazdku sieciowym, najlepiej w listwie wyposażonej w filtr sieciowy i wyłącznik. Załączyć listwę.
- Załączyć komputer współpracujący i uruchomić odpowiedni program. Załączyć moduł ustawiając wyłącznik w pozycji **ON**. Włączenie modułu sygnalizowane jest świeceniem diody **LED ON**. Zestaw pomiarowy jest przygotowany do pracy.
- Pomiar należy prowadzić zgodnie z instrukcją programu pomiarowego, stanowiącą odrębny dokument.
- Wymiana czujników lub rozłączanie złącz modułu dopuszczalne jest wyłącznie przy wyłączonym zasilaniu.
- Wyłączenie modułu następuje poprzez ustawienie wyłącznika w pozycji **OFF**. Podczas dłuższych przerw w pracy należy wyłączyć również zasilacz sieciowy poprzez wyłączenie listwy lub wyjęcie zasilacza z gniazdka sieciowego.

Należy pamiętać, aby masa wszystkich urządzeń współpracujących była podłączona do tego samego potencjału (zerowania). Należy tu przestrzegać ogólnie przyjętych reguł postępowania, aby nie dopuścić do uszkodzenia aparatury lub porażenia prądem.

6. Wzorcowanie systemu pomiarowego

Ponieważ zastosowane metody pomiarowe nie są bezwzględne (należą do metod pośrednich), niezbędnym warunkiem prowadzenia pomiarów jest wzorcowanie zestawu pomiarowego. Wzorcowania toru termoanemometrycznego można dokonać w tunelu aerodynamicznym, natomiast wzorcowania toru termometru w regulowanym termostacie z przepływem powietrza. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu zależności sygnału wyjściowego z modułu od wielkości mierzonej w zadanym zakresie zmienności. Wzorcowanie przeprowadza się dla każdego czujnika oddzielnie, każdy czujnik w danym kanale pomiarowym posiada

indywidualną charakterystykę metrologiczną. Podczas wzorcowania należy zadbać, aby warunki wzorcowania były zbliżone do panujących na stanowisku badawczym. W przypadku termooanemometru należy uwzględnić kompensację temperaturową. Jeżeli badany przepływ jest zanieczyszczony, może następować zmiana charakterystyki toru termooanemometrycznego w czasie, związana z osiadaniem zanieczyszczeń na włóknie pomiarowym. W takim przypadku należy okresowo ostrożnie wypłukać włókno czujnika w alkoholu etylowym. Wskazane jest także okresowe sprawdzanie charakterystyki termooanemometru.

7. Wyznaczanie temperatury i prędkości przepływu

Pomiar temperatury i prędkości przepływu medium polega na wyznaczeniu tych wielkości z napięć wyjściowych z toru termometru (CCT) i termooanemometru (CTA), przy uwzględnieniu charakterystyk czujników i parametrów wzorcowania. Jeżeli napięcia te są wprowadzane do komputera poprzez kartę przetwornika analogowo-cyfrowego, to temperatura i prędkość przepływu medium mogą być wyznaczone przez komputer na podstawie podanych niżej algorytmów.

7.1 Wyznaczanie temperatury medium

W celu wyznaczenia temperatury medium należy odczytać napięcie $U(T)$ z toru termometru (CCT), a następnie obliczyć temperaturę medium T zgodnie z zależnością:

$$T = \frac{U(T) - U(T_0)}{\alpha U(T_0)} + T_0, \quad (3)$$

gdzie:

$U(T_0)$ - napięcie wyjściowe toru termometru w temperaturze wzorcowania T_0 ,

α - temperaturowy współczynnik rezystancji dla materiału elementu czynnego termometru w temperaturze wzorcowania T_0 .

7.2 Wyznaczanie prędkości przepływu medium

W celu wyznaczenia prędkości przepływu medium należy odczytać napięcie $U(V)$ z toru termooanemometru (CTA), a następnie obliczyć prędkość przepływu medium V zgodnie z zależnością:

$$V = \Gamma \left\{ U(V) \sqrt{\frac{T_s - T_0}{T_s - T}} \right\}, \quad (4)$$

gdzie:

Γ - funkcja zależności prędkości przepływu od napięcia wyjściowego toru termooanemometru w temperaturze wzorcowania T_0 (charakterystyka wzorcowania czujnika),

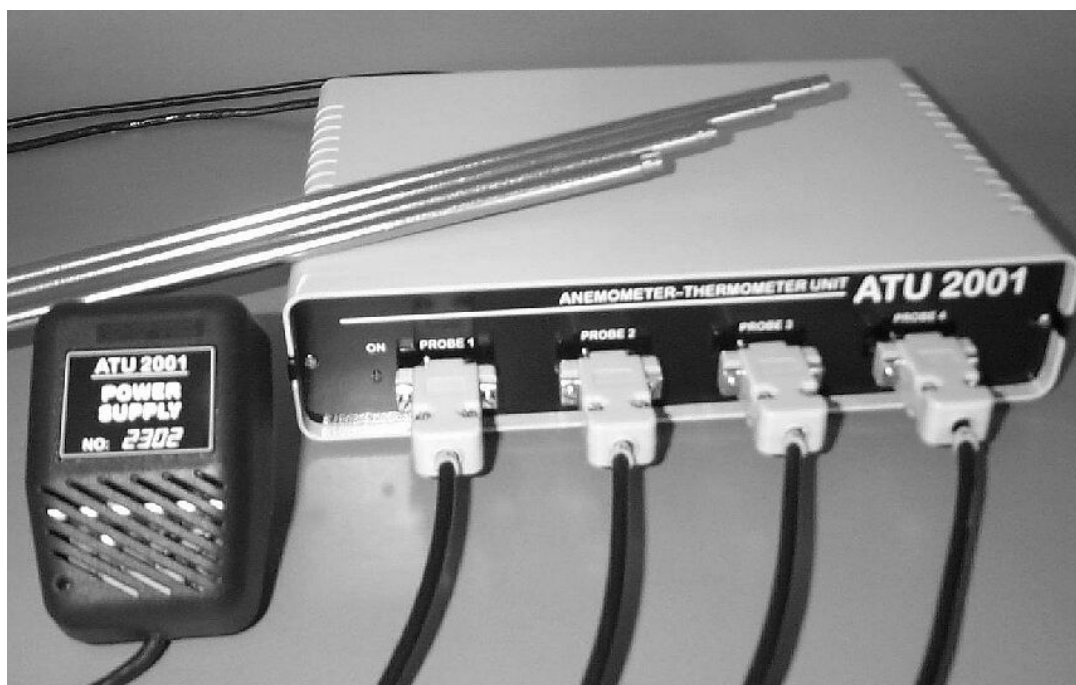
T_S - temperatura nagrzanego włókna termoanemometru,

T - wyznaczona temperatura badanego medium.

Charakterystyka czujnika (funkcja Γ) w temperaturze wzorcowania T_0 oraz temperatura T_S jest indywidualna dla każdego czujnika. Człon pierwiastkowy jest członem kompensacji temperaturowej charakterystyki czujnika.

8. Uwagi końcowe

Na rysunku 2. przedstawiono widok czterokanałowego modułu termoanemometru stałotemperaturowego i termometru stałoprądowego ATU 2001 wraz z sondami i zasilaczem.



Rys. 2. Widok modułu pomiarowego ATU 2001 z sondami i zasilaczem

Czterokanałowy moduł termoanemometru stałotemperaturowego i termometru stałoprądowego ATU 2001 umożliwia realizację specjalizowanych komputerowych systemów pomiarowych przeznaczonych do pomiaru prędkości przepływu i temperatury powietrza i innych gazów do zastosowań laboratoryjnych, technicznych i przemysłowych. W systemach pomiarowych stosowane są czujniki *hot-wire* o miniaturowych rozmiarach elementu czynnego. Aparatura taka umożliwia w szczególności następujące specjalizowane pomiary termoanemometryczne:

- nieinwazyjne, wielopunktowe pomiary prędkości przepływu i temperatury,
- pomiary pól prędkości i temperatury,
- pomiary składowych wektora prędkości przepływu,
- pomiary z detekcją zwrotu wektora prędkości,
- pomiary w przepływach nieizotermicznych,
- pomiary przepływów szybkozmiennych,

- pomiary intensywności turbulencji,
- pomiary w zakresie bardzo małych prędkości przepływu,
- pomiary w zakresie bardzo małych wydatków.

Moduł pomiarowy wraz z czujnikami stanowi precyzyjny instrument badawczy, posługiwanie się nim wymaga przestrzegania podstawowych reguł dotyczących procedury metrologicznej, instrukcji obsługi oraz ostrożnego obchodzenia się z czujnikami. Moduł jest skonstruowany w taki sposób, aby do minimum ograniczyć możliwość uszkodzenia czujników na drodze elektrycznej podczas załączania, wyłączenia i wymiany czujników. Czujniki termooanemometryczne są jednak elementami o bardzo delikatnej konstrukcji i z czasem mogą ulegać uszkodzeniu. Możliwa jest jednak ich regeneracja u producenta.

9. Warunki gwarancji

- Na wykonaną aparaturę producent udziela rocznej gwarancji od dnia odbioru.
- Gwarancja nie obejmuje czujników i innych elementów nietrwałych. Regeneracja czujników dokonywane jest odpłatnie.
- Gwarancja nie obejmuje uszkodzeń mechanicznych i innych powstałych z winy użytkownika.
- Naprawy gwarancyjne i pogwarancyjne oraz regeneracja czujników dokonywane są po dostarczeniu kompletnego sprzętu do producenta. Dostarczenie i odbiór sprzętu odbywa się na koszt użytkownika.
- Z uwagi na prototypowy charakter aparatury producent zastrzega sobie prawo wprowadzania zmian konstrukcyjnych oraz zmiany niektórych parametrów. Producent nie bierze odpowiedzialności za ewentualne szkody lub inne negatywne skutki związane z eksploatacją aparatury.
- Eksploatacja aparatury powinna być prowadzona zgodnie z jej przeznaczeniem, instrukcją obsługi, zaleceniami producenta oraz odpowiednimi przepisami dotyczącymi eksploatacji aparatury naukowo - badawczej.