

Struktura oprogramowania i możliwości metrologiczne sterowanego komputerowo wielokanałowego termooanemometrycznego systemu pomiarowego

MAREK GAWOR, KATARZYNA SOCHA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

W pracy przedstawiono nowoczesne stanowisko pomiarowe umożliwiające pomiary termometryczne, anemometryczne oraz generację fal cieplnych. Opisano jego poszczególne elementy, ich właściwości i możliwości. Przedstawiono również sposób generacji fal cieplnych oraz problemy z uzyskaniem założonej częstotliwości fali. Zaprezentowano możliwości zastosowania systemu do wyznaczania prędkości przy pomocy funkcji korelacji wzajemnej. Opracowane oprogramowanie systemu pozwala użytkownikowi na łatwą realizację wielu algorytmów pomiaru prędkości i temperatury.

Słowa kluczowe: metrologia przepływów, korelacje, anemometria

1. Wstęp

W dotychczasowych rozwiązaniach przyrządy termooanemometryczne składały się z kompletu czujników o jednakowej konstrukcji, obsadki czujnika stanowiącego jego złącze elektryczne z przyrządem, który był specjalizowanym analogowym, lub analogowo-cyfrowym układem elektronicznym realizującym pomiar zgodnie z zadaniem algorytmem. Cechą charakterystyczną takich rozwiązań był ustalony przez producenta stały i stosunkowo wąski zakres zastosowań.

Zastosowanie współczesnych technik komputerowych umożliwiło skonstruowanie systemu pomiarowego realizującego różne, niekiedy bardzo wyspecjalizowane techniki pomiarowe. Głównym elementem systemu jest sterowany cyfrowo uniwersalny układ zasilania czujników termometrycznych i termooanemometrycznych. System taki daje się łatwo adaptować do wymagań różnych problemów metrologicznych.

Wykorzystanie szybkich kart analogowo-cyfrowych oraz cyfrowych umożliwiło automatyczne sterowanie systemem pomiarowym. Opisany układ posiada cztery toru pomiarowe. Do każdego toru można podłączyć jeden czujnik jednowłóknowy.

Układ przeznaczony jest do laboratoryjnych prac badawczych w dziedzinie termooanemometrii. Pozwala on na realizację wielu metod pomiarowych, między innymi: pomiary w układzie stałoprądowym, stałotemperaturowym, pomiary w układzie anemometru ze zmiennym w czasie nagrzaniem czujnika, generację i detekcję fal temperaturowych w przepływach. Program realizuje złożone algorytmy pomiarowe, a także umożliwia badanie charakterystyk prądowo – napięciowych czujników anemometrycznych.

2. Oprogramowanie stanowiska pomiarowego

Oprogramowanie stanowiska pomiarowego można podzielić na kilka części:

1. procedury związane z obsługą kart sterujących zainstalowanych w komputerze:
 - sterowanie napędem tunelu aerodynamicznego,
 - sterowanie kordynatometrem,

- sterowanie rotorem,
 - sterowanie cyfrowym układem zasilania czujników CCC'2002,
 - obsługa kart analogowo-cyfrowych,
2. procedury związane z realizacją określonych algorytmów obliczeniowych:
 - wyliczanie prędkości,
 - wzorcowanie tunelu,
 - wzorcowanie czujników,
 - analiza przebiegów czasowych (transformata Fouriera, filtracja cyfrowa, dopasowywanie funkcji, obliczanie korelacji wzajemnych itp.) [Sobkowski 1975],
 3. procedury związane z obsługą programu przez użytkownika:
 - wybór i wprowadzanie parametrów eksperymentu,
 - wykonanie operacji związanej z akwizycją wyników pomiarów na dysku.

Do wytworzenia prędkości w tunelu aerodynamicznym zastosowano wentylator napędzany silnikiem trójfazowym. Silnik jest sterowany z falownika, którego obroty mogą być zadawane za pomocą zewnętrznego napięcia. W opisywanym stanowisku pomiarowym napięcie to podawane jest z karty cyfrowo-analogowej zainstalowanej w komputerze. Rozwiązanie to umożliwia w łatwy sposób, przy pomocy napisanego oprogramowania, sterowanie prędkością w tunelu. Zainstalowanie w tunelu ustawianej ręcznie diafragmy umożliwia uzyskanie stabilnych wartości bardzo małych prędkości (od 5 cm/s).

Koordinatometr, umożliwiający przemieszczanie sondy pomiarowej w płaszczyźnie, sterowany jest przez silniki krokowe. Silniki te dokonują przesuwu koordinatometru. Sterowane są one przez cyfrowe wyjścia karty zainstalowanej w komputerze [Gawor 2003].

Sterowanie cyfrowym układem pomiarowym CCC'2002 odbywa się przez złącze cyfrowe komputera (Centronics). Odpowiednie ustawienie bitów sterujących urządzeniem umożliwia realizację następujących funkcji:

- pomiar rezystancji czujnika w każdym kanale,
- zadawanie poziomu nagrzania czujnika w poszczególnych kanałach (zapis dwunastobitowej liczby do przetwornika cyfrowo-analogowego),
- wybór trybu pracy układu jako stałoprądowy (termometr rezystancyjny) lub stałotemperaturowy (termoanemometr z zadaniem współczynnikiem nagrzania),
- włączeniu testu częstotliwościowego termoanemometrów we wszystkich kanałach.

Dwie dwunastobitowe karty analogowo-cyfrowe zamontowane są na płycie głównej komputera w złączu typu ISA. Karty posiadają własną pamięć umożliwiającą zapamiętanie 32768 próbek w każdym kanale. Jedna karta posiada dwa kanały pomiarowe. Każda karta posiada własny zegar sterujący częstotliwością próbkowania (od 2 kHz do 10 MHz). Pomiar napięć polega na ustawieniu warunków przetwarzania (częstotliwość próbkowania, ilość przetwarzanych próbek), a następnie wysłaniu rozkazu do przetwarzania. Po zakończeniu przetwarzania karty informują odpowiednim stanem bitów. Można wtedy odczytać pamięć kart i przeliczyć na wartości napięć lub prędkości. Przeliczanie napięć na wartości prędkości odbywa się zgodnie z wybranymi algorytmami. Sterownie kartami następuje przez ustawienie odpowiednich wartości na portach wejściowych kart.

Program posiada wygodny interfejs graficzny umożliwiający interaktywne wprowadzanie danych (kontrola błędnie wprowadzonych wartości). Pozwala na graficzne zobrazowanie wyników pomiarów oraz zapisanie wyników pomiarów na dysku komputera.

3. Sterowanie cyfrowym układ zasilania czujników – CCC2002

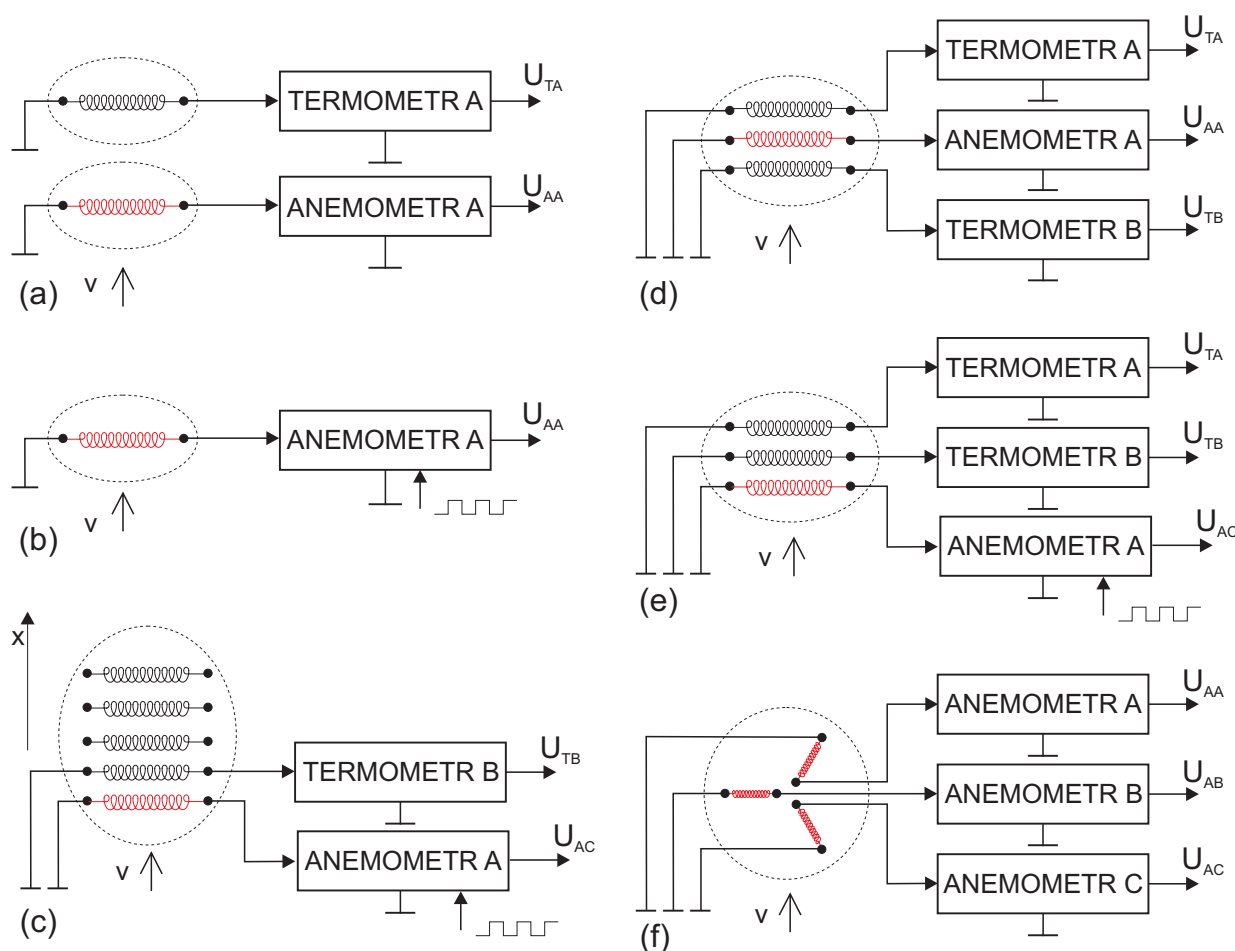
Sterowany cyfrowo układ stałotemperaturowy stanowi system zasilania rezystancyjnych czujników pomiarowych [Ligęza 2003]. Umożliwia on wybór i realizację dwóch podstawowych trybów pracy: stałoprądowy (pomiar temperatury), stałotemperaturowy (pomiar prędkości). W zależności od rodzaju podłączonych czujników oraz sposobu ich umieszczenia w przepływie, umożliwia realizację wielu funkcji i metod pomiarowych. Wymienić tu można następujące metody pomiarowe:

- pomiary termometryczne w układzie stałoprądowym,
- pomiary anemometryczne w układzie stałotemperaturowym,
- pomiary anemometryczne ze zmiennym współczynnikiem nagrzania (możliwość wyznaczenia prędkości i temperatury przy pomocy jednego włókna),

- generacja i detekcja fal temperaturowych (metoda wyznaczania prędkości bez konieczności wzorcowania czujnika),
- korelacyjne metody wyznaczania prędkości (generowanie losowo zmiennej rezystancji czujnika),
- złożone metody i pomiary anemometryczne przy pomocy kilku czujników (np. wyznaczanie składowych wektora prędkości itp.).

Prezentowany system ma szerokie możliwości metrologiczne dające się łatwo adaptować do konkretnego problemu. Może pracować z różnego typu czujnikami. Na Rys. 1 przedstawiono niektóre rozwiązania układów pomiarowych:

- a) pomiar prędkości i temperatury przez niezależne włókna (możliwość kompensacji temperaturowej wskazań anemometru),
- b) anemometr z przełączanym współczynnikiem nagrzania (możliwość wyznaczenia prędkości i temperatury za pomocą jednego włókna),
- c) generacja fali temperaturowej i pomiar fazy w funkcji odległości (bezwzględna metoda wzorcowania),
- d) anemometr z oddziaływaniem cieplnym (wyznaczanie prędkości na podstawie pomiaru temperatur za i przed grzanym włóknem – możliwość wyznaczenia zwrotu przepływu),
- e) generowanie fali temperaturowej – pomiar przesunięcia fazowego przy stałej odległości dwu termometrów (możliwość wykorzystania funkcji korelacji do wyznaczenia prędkości),
- f) anemometr z trzema włóknami rozmieszczonymi przestrzennie tak, aby można było wyznaczyć składowe wektora prędkości.



Rys. 1. Niektóre typy układów pomiarowych

4. Generowanie fali temperaturowej

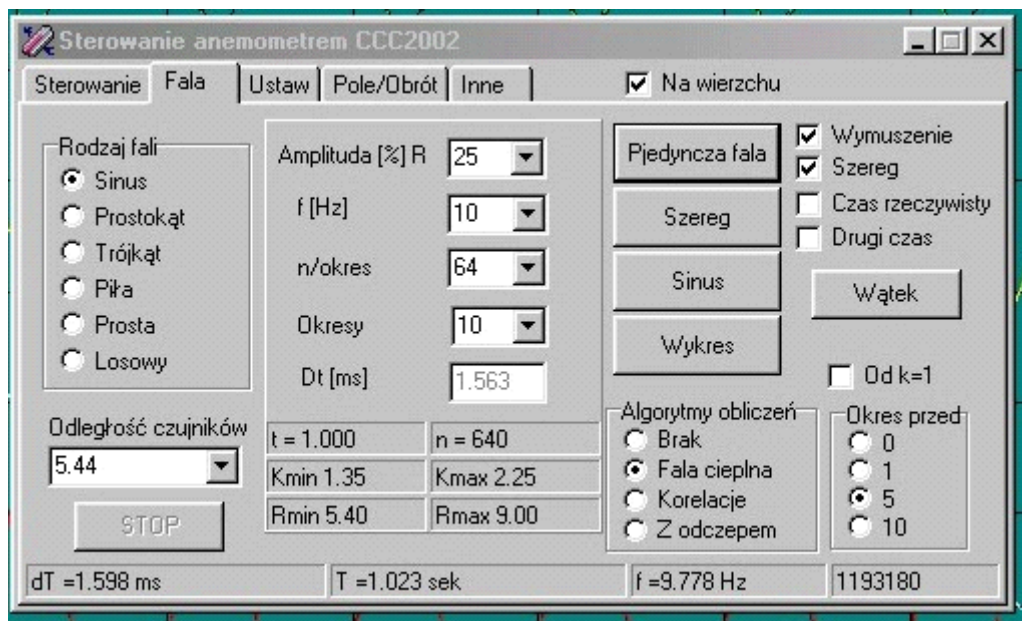
Ustawianie rezystancji pracy czujnika termooanemometrycznego na dowolnym poziomie umożliwia generowanie fal temperaturowych. W opisywanym systemie pomiarowym istnieje możliwość generacji różnego rodzaju fal (sinus, prostokąt, trójkąt, itd.). Parametrami charakteryzującymi falę są: amplituda fali (określona w procentach wartości średniej rezystancji włókna), częstotliwość, ilość okresów generacji, ilość punktów przypadających na jeden okres generacji [Ciombor 2004].

Rys. 2 przedstawia formę programu umożliwiającą ustawianie parametrów pracy poszczególnych czujników. Po wcześniejszym pomiarze rezystancji włókien, dwa pierwsze czujniki zostały ustawione do pracy jako termooanemometry (ze współczynnikiem nagrzania 1.8), a dwa następne jako termometry. W systemie można wybrać jedno z włókien generujących falę temperaturową. Pozostałe trzy włókna mogą pracować w dowolnym reżimie (termometr/termooanemometr). Na prezentowanej formie w panelu *Kanał* wybrano pierwsze włókno do generowania fali temperaturowej.

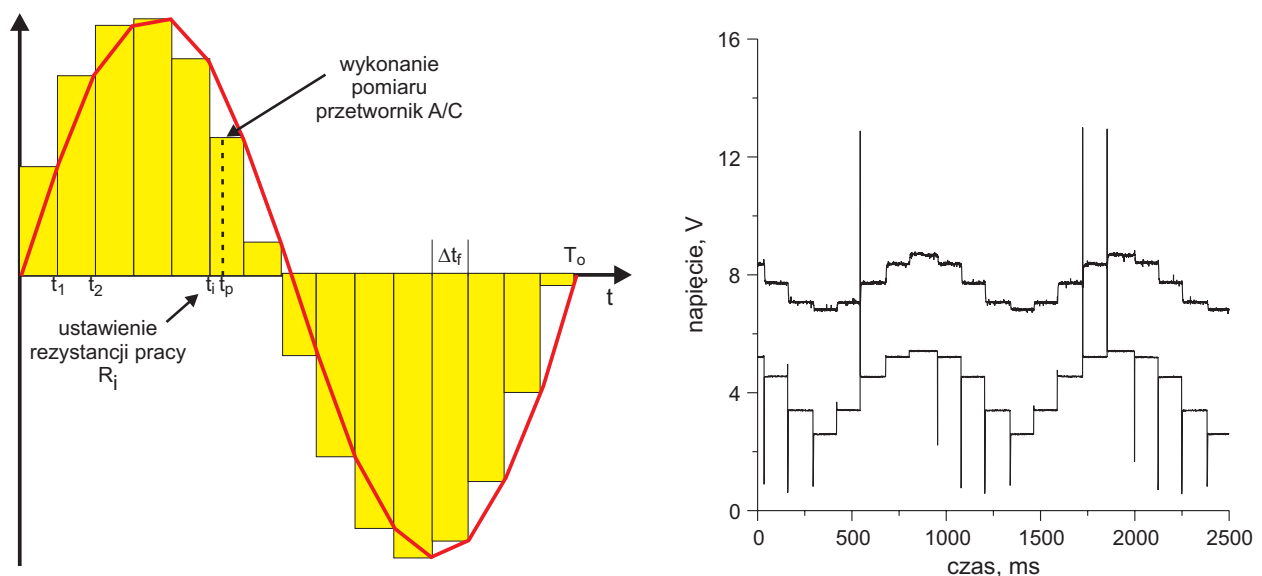
Rys. 2. Forma programu do ustawiania parametrów pracy czujnika

Na Rys. 3 przedstawiono wygląd formy umożliwiającej wybór parametrów generowanej fali. Amplituda fali podawana jest w procentach wartości średniej, to znaczy wartości rezystancji pracy ustawionej na formie przedstawionej na Rys. 2. Wartość minimalnej i maksymalnej rezystancji, podczas generowania fali wypisywana jest w oknach R_{min} i R_{max} (K_{min} i K_{max} – minimalny i maksymalny współczynnik nagrzania). Wyliczenie prędkości odbywa się na podstawie odległości czujników podanych w oknie *Odległość czujników*. Pewnego komentarza wymaga panel *Okres przed*. W panelu tym podawana jest ilość okresów generacji fali przed rozpoczęciem akwizycji napięć. Daje to możliwość śledzenia stanu ustalonego fali. Początkowe stany nieustalone można obserwować wybierając w tym panelu 0 i zaznaczając $Od\ k = 1$. W sytuacji tej początkowa rezystancja czujnika będzie równa rezystancji nienagrzanego włókna (rezystancja „na zimno”).

Na Rys. 4 schematycznie przedstawiono proces generowania fali sinusoidalnej. Zadając częstotliwość fali i ilość punktów generacji przypadającą na jeden okres można obliczyć czas pomiędzy kolejnymi punktami Δt_f . Generacja fali polega na ustawieniu w chwili t_i rezystancji pracy R_i odpowiadającej wyliczonej wartości zgodnie z ustawionym rodzajem fali. Rezystancja ta utrzymywana jest przez czas Δt_f . Po czasie $t_p = 50\ \mu s$ następuje odczytanie wartości napięć z przetworników analogowo cyfrowych. Z prawej strony Rys. 4 zamieszczono rzeczywiste przebiegi zarejestrowane podczas generacji fali sinusoidalnej. Na wykresie tym widać nieustalone stany podczas zmiany rezystancji włókna. W przypadku, gdy następuje wzrost



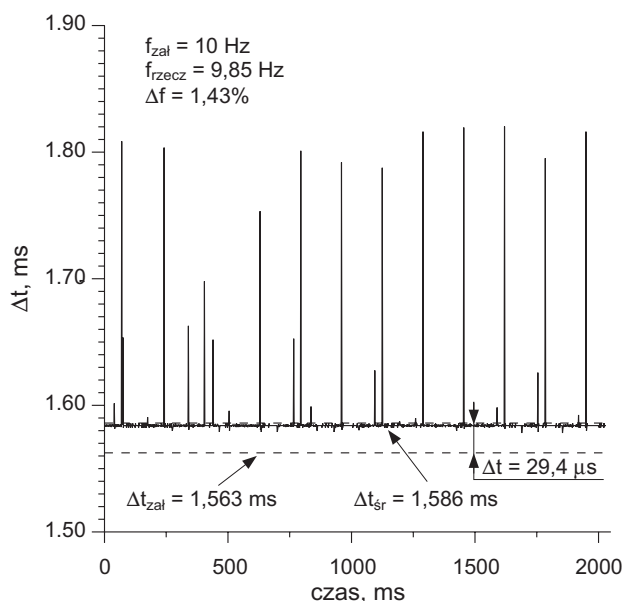
Rys. 3. Forma programu umożliwiającą ustawianie parametrów fali temperaturowej



Rys. 4. Schemat generacji fali sinusoidalnej

rezystancji przesterowania są większe. Przy zmniejszaniu rezystancji przesterowania są mniejsze, ale trwają dłużej. Górna krzywa przedstawia sygnał temperaturowy mierzony przez termometr umieszczony 3 mm za nadajnikiem fali.

Dużym problemem przy sterowaniu urządzeń przez jednoprosesorowe komputery pracujące w systemie Windows jest pomiar czasu rzeczywistego. Niemożliwe jest więc sterowanie procesem ze ściśle określonym interwałem czasu. Procesy wykonywane przez system powodują zmianę interwałów. System Windows posiada licznik czasu rzeczywistego inkrementowany co ok. 1 μ s (1193180 razy na sekundę). W związku z tym założony interwał generacji fali Δt_f jest w niektórych momentach dłuższy. Na Rys. 5 przedstawiono interwał czasu podczas generowania fali o częstotliwości 10 Hz (64 punkty na okres, 20 okresów). Jak widać proces generowania fali w niektórych punktach jest wydłużony o ok. 0.3 ms. Różnica średniego interwału Δt_{sr} od rzeczywistego Δt_{zal} wynosi 29.4 μ s. Wpływa to na zmianę częstotliwości generowanej fali. Rzeczy-



Rys. 5. Interwały czasowe podczas generowania fali temperaturowej

wista częstotliwość fali f_{rzecz} wynosi 9.85 Hz i jest mniejsza o 1.43% od częstotliwości założonej. Oczywiście im większa częstotliwość generowanej fali tym większa jest różnica pomiędzy założoną i realizowaną w programie częstotliwością. Przy częstotliwości 100 Hz rzeczywista częstotliwość wynosi 87.9 Hz, co jest zmniejszeniem o 12.1%.

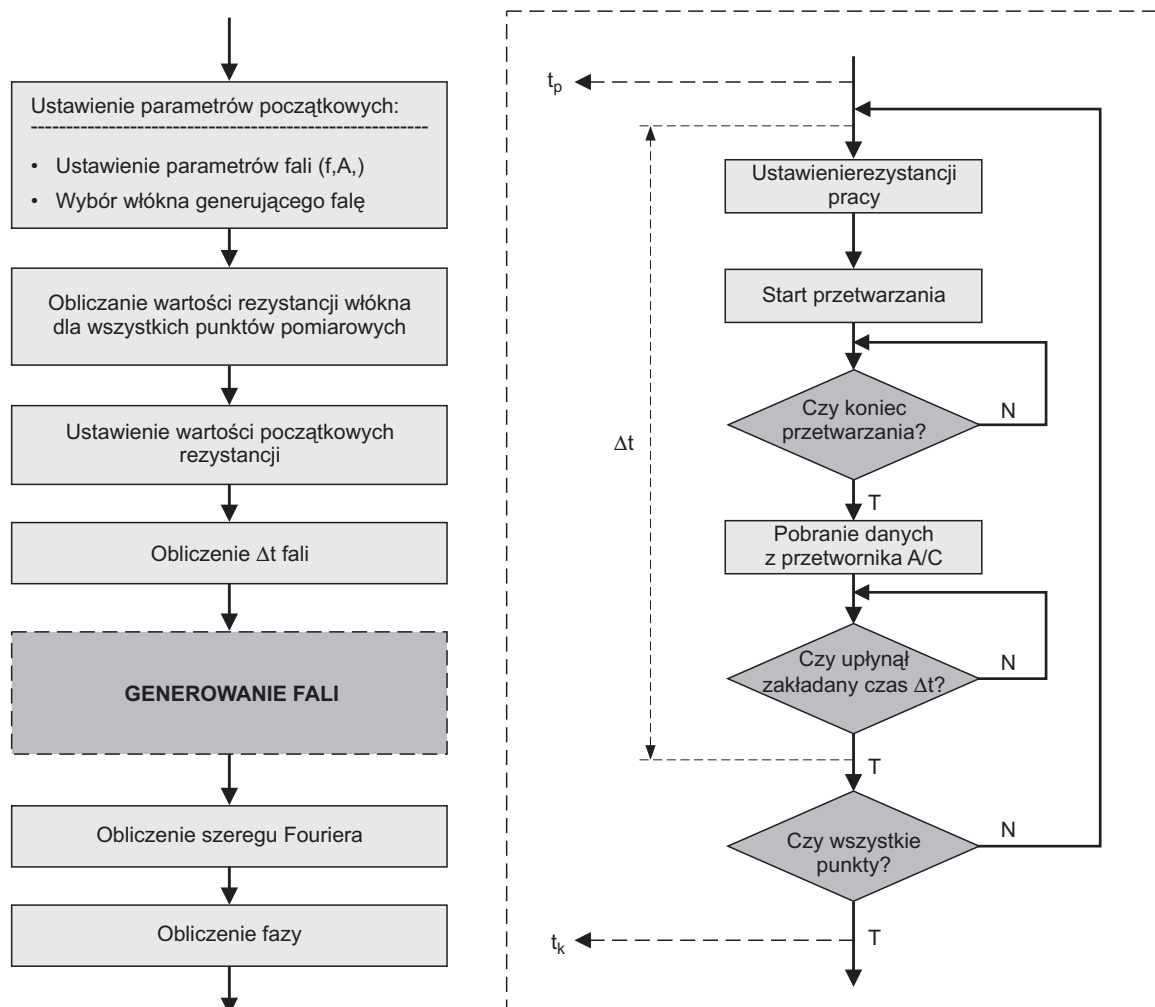
W związku z tymi problemami w programie szeregi Fouriera wyliczane są, przy założeniu, że fala generowana jest zadaną częstotliwością. Dopiero przy wyliczaniu prędkości uwzględnia się rzeczywistą częstotliwość fali. Innym sposobem na wyznaczenie szeregów Fouriera jest wyznaczenie współczynników szeregów z uwzględnieniem rzeczywistego czasu. Można również napisać oprogramowanie, w którym proces generacji fali będzie zachodził w oddzielnym procesie (wątku) z dużym priorytetem tak, aby wykluczyć zakłócenia pomiaru czasu przez inne procesy.

W programie zastosowano algorytm, który automatycznie powtarza generację fali w przypadku, gdy różnica pomiędzy zadaną częstotliwością i rzeczywistą jest zbyt duża (parametr ustawiany przez użytkownika; opcjonalnie 20%). Jeżeli różnica ta jest większa od zadanej to program generuje ponownie falę z tymi samymi parametrami. Czynność ta powtarzana jest określoną przez użytkownika programu ilość razy (opcjonalnie 5 razy).

Na Rys. 6 przedstawiono algorytm generowania fali temperaturowej. Po wyznaczeniu przez program parametrów fali, następuje wyliczenie rezystancji włókna w kolejnych punktach generacji. W następnych krokach generacji ustawiana jest rezystancja włókna. Po ustawieniu rezystancji włókna następuje pomiar napięć poprzez karty analogowo cyfrowe. W programie należało umieścić pętlę trwającą do czasu, gdy karty nie zakończą przetwarzania. Wcześniejsze pobranie napięć z kart A/C spowodowałoby pobranie błędnych napięć [Gawor 1999]. Po zakończeniu przetwarzania następuje odczyt zmierzonych napięć i zapamiętanie ich w pamięci komputera. Kolejna pętla związana jest z częstotliwością generowania fali. W pętli tej następuje oczekiwanie na upływ czasu związany z wyliczonym interwałem Δt_f . Interwał ten wyliczany jest zgodnie z algorytmem: $\Delta t_f = 1/(f \cdot n_o)$; (f – częstotliwość fali, n_o – ilość punktów generacji przypadająca na jeden okres). Pętla generacji fali powtarzana jest N razy, gdzie N jest iloczynem ilości punktów przypadających na jeden okres i ilości okresów. Końcowym etapem algorytmu jest wyliczenie szeregów Fouriera, różnicy fazy pomiędzy wybranymi sygnałami i wypisanie rezultatów obliczeń w postaci tabeli.

Na Rys. 7 przedstawiono tabelę wyników pomiarów. W kolejnych kolumnach znajdują się:

- v – ustawiona prędkość w tunelu aerodynamicznym (obroty silnika napędu tunelu sterowane przez kartę cyfrowo-analogową),
- f – rzeczywista częstotliwość generowanej fali (wyliczana po całkowitym cyklu generacji fali),
- X, Y – w przypadku pomiarów w różnych punktach płaskiego pola, są to współrzędne koordynatometru, na którym umocowany jest czujnik (koordynatometr sterowany jest przez kartę wyjść cyfrowych),
- $R_o, R_p, R\%$ – są to informacje dotyczące rezystancji czujnika (R_o – rezystancja „na zimno”, R_p – średnia rezystancja pracy, $R\%$ – procentowa amplituda fali),



Rys. 6. Algorytm generacji fali

- $A1\bar{s}r$ – średnia wartość sygnału 1,
- $A1$ – amplituda sygnału 1,
- $As1, Ac1$ – amplituda szeregu Fouriera $f(t) = As1\sin(\omega t) + Ac1\cos(\omega t)$ – pierwszy sygnał,
- $f1$ – faza sygnału 1 $f1 = \arctan(Ac1/As1)$,
- $A2\bar{s}r, A2, As2, Ac2, f2$ – odpowiednie wartości dla sygnału drugiego,
- $Df1$ – różnica faz pomiędzy sygnałami,
- V - wyznaczona prędkość,
- f_p – ustawiona częstotliwość fali

Fazy																								
1		Okres funkcji		Sprawdzenie		Drukuj		Kasuj		Do schowka		Zapisz		Harmoniczna: 1										
1		2 PI-FI		2 PI+FI		Uproszczone																		
l _p (1/2)	v	f	X	Y	R0	R _p	R%	A1s _r	A1	As1	Ac1	f1	A2s _r	A2	As2	Ac2	f2	Df1	v	f _p	A			
1. (2/3)	5.00	9.85	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.116	0.087	0.078	-0.039	5.817	4.939	0.047	0.032	-0.034	5.465	-0.3527	0.956	10	1.			
2. (2/3)	5.00	9.84	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.116	0.087	0.077	-0.039	5.812	4.939	0.047	0.031	-0.035	5.449	-0.3635	0.927	10	1.			
3. (2/3)	5.00	19.47	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.118	0.087	0.064	-0.058	5.546	4.940	0.046	0.005	-0.046	4.819	-0.7269	0.917	20	1.			
4. (2/3)	5.00	19.51	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.118	0.087	0.064	-0.058	5.546	4.940	0.046	0.005	-0.046	4.818	-0.7285	0.917	20	1.			
5. (2/3)	5.00	88.00	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.119	0.064	-0.054	-0.034	3.704	4.940	0.032	0.029	0.013	0.423	-3.2809	0.918	100	1.			
6. (2/3)	5.00	88.00	0.00	0.00	10.11	15.16	25	5.117	0.065	-0.053	-0.037	3.742	4.939	0.031	0.027	0.015	0.512	-3.2298	0.933	100	1.			
1																								

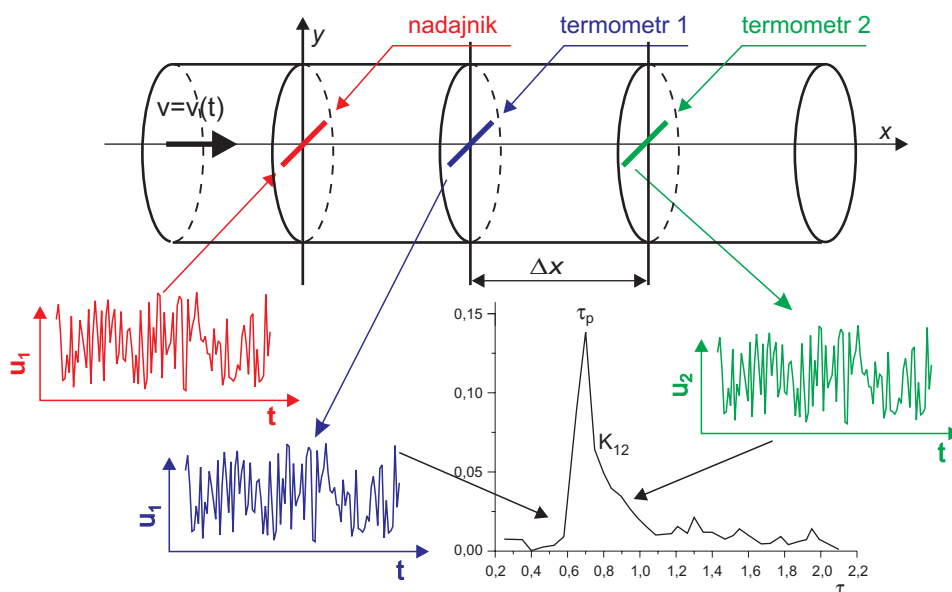
Rys. 7. Tabela wyników

Program umożliwia wyliczenie parametrów dotyczących szeregu Fouriera dla wybranych dwóch sygnałów. Dodatkowym udogodnieniem w programie, przy generowaniu fali, jest możliwość wykonywania pomiarów przy automatycznej zmianie prędkości w tunelu i częstotliwości fali oraz ustawionej ilości powtórzeń dla tych samych warunków (ustalona prędkość w tunelu i częstotliwość fali). Wyniki pomiarów mogą być zapisane w pliku tekstowym i analizowane przez inne programy (np. Excel itp.). Można również zapisać na dysku zmierzone napięcia w funkcji czasu.

5. Wyznaczanie prędkości przepływu metodami korelacyjnymi

Ogólnie korelacyjne metody pomiaru prędkości polegają na wyznaczeniu czasu przelotu fluktuacji dowolnej wielkości fizycznej występującej w przepływie [Elsner, Drobnia 1995]. Wyznaczając funkcje korelacji wzajemnej pomiędzy sygnałami pochodzącymi z detektorów, otrzymuje się maksimum tej funkcji dla przesunięcia czasowego τ , odpowiadające czasowi przelotu. Znając odległość między detektorami Δx można wyliczyć prędkość $v = \Delta x / \tau$.

W rozdziale tym zostanie podany oryginalny sposób wyznaczania prędkości przepływu za pomocą funkcji korelacji. Wykorzystano w nim możliwość generacji losowej fali temperaturowej. Falę taką uzyskuje się poprzez wygenerowanie, przez generator liczb losowych, wartości rezystancji z określonego przedziału (od R_{min} do R_{max}). Zakłada się, że tak wygenerowana fala propaguje od nadajnika do dwu termometrów umieszczonych w znanej odległości Δx (Rys. 1e). Tak wygenerowane fluktuacje temperatury stanowią podstawę do wyznaczenia funkcji korelacji. Schematycznie zostało to przedstawione na Rys. 8.

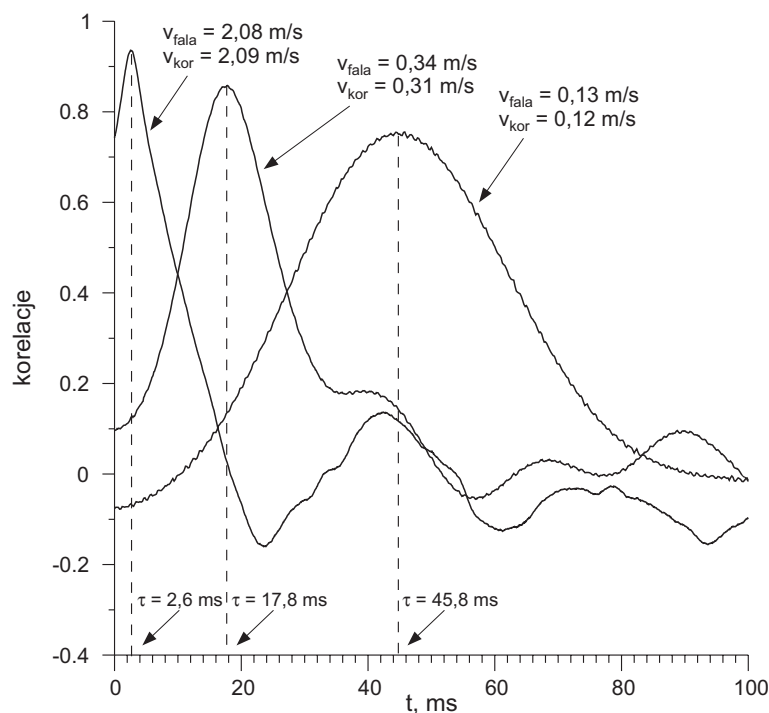


Rys. 8. Schemat eksperymentu do wyznaczania prędkości metodą korelacji fluktuacji temperatury

Generacja losowej fali temperaturowej następuje w oddzielnym procesie (wątku). Po uruchomieniu tego procesu fala generowana jest w sposób ciągły, aż do wyłączenia tego procesu. Ewentualne zakłócenia pochodzące od systemu Windows nie mają znaczenia, gdyż występują one przypadkowo, co nie wpływa na położenie piku funkcji korelacji.

Po uruchomieniu tego procesu można dokonać pomiaru przez karty analogowo-cyfrowe. Wyznaczanie funkcji korelacji wzajemnej wymaga dużej ilości punktów pomiarowych. Dlatego wybrano ilość punktów 8196. Częstotliwość próbkowania dobierano w zależności od prędkości od 2 do 20 kHz. W przypadku tego typu pomiaru nie ma problemów z pomiarem czasu, gdyż używane karty analogowo-cyfrowe posiadają własną pamięć i zegar sterujący próbkowaniem.

Na Rys. 9 przedstawiono funkcje korelacji dla trzech wybranych prędkości przepływu powietrza w tunelu aerodynamicznym. Widać wyraźne piki korelacyjne. Ich unormowana wartość wynosi od 0.75 do 0.95. Wyliczone na podstawie położenia pików prędkości przepływu v_{kor} dobrze zgadzają się z prędkościami wyznaczonymi przy pomocy fali temperaturowej v_{fala} . Na dole wykresu wypisano wyliczony czas przelotu znaczników cieplnych pomiędzy termometrami. Najniższa prędkość zmierzona tą metodą wynosiła 5 cm/s (jest to najniższa możliwa do uzyskania prędkość w tunelu aerodynamicznym).



Rys. 9. Funkcje korelacji wzajemnej

6. Wnioski

Nowoczesne stanowiska pomiarowe, również w dziedzinie metrologii przepływów, wymagają specjalistycznego oprogramowania, zarówno jeśli chodzi o sterowanie systemem pomiarowym, jak również wykorzystanie zaawansowanych algorytmów obliczeniowych. Bardzo ważny jest również interfejs użytkownika umożliwiający w prosty i wygodny sposób obsługiwanie systemu.

Prezentowane oprogramowanie pozwala nie tylko na sterowanie systemem, ale również na graficzną prezentację otrzymanych wyników pomiarów. Zaimplementowane funkcje analizy czasowej przebiegów umożliwiają dogłębną interpretację otrzymanych rezultatów.

Kompletny system pomiarowy wraz z oprogramowaniem został przetestowany podczas eksperymentów, w których prędkość przepływu wyznaczano za pomocą fal cieplnych. Testy nie wykazały nieprawidłowości w działaniu oprogramowania.

Wykorzystując możliwości systemu wyznaczono prędkość przepływu za pomocą funkcji korelacji wzajemnej fluktuacji temperatur. Metoda ta umożliwia pomiar prędkości w szerokim zakresie, szczególnie dla bardzo małych prędkości (od 5 cm/s). Dla dużych prędkości przepływu w metodzie korelacyjnej można wykorzystać naturalne fluktuacje prędkości.

Literatura

- [1] Ciombor K., 2004: Programowany termoanemometryczny system pomiarowy. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 8.
- [2] Elsner J.W., Drobnia S., 1995: Metrologia turbulencji przepływów. Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo PAN. Wrocław.
- [3] Gawor M., 1999: Karta szybkiego przetwornika analogowo cyfrowego z oprogramowaniem. Metrologia i Systemy Pomiarowe. VI, s. 249-255.
- [4] Gawor M., 2003: Oprogramowanie termoanemometrycznego systemu pomiaru pól prędkości przepływu gazu. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków.
- [5] Ligęza P., 2003: Sterowany komputerowo termoanemometryczny system pomiarowy pracujący w oparciu o koncepcję sterowanego układu stałotemperaturowego. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków.
- [6] Sobkowski J., 1975: Częstotliwościowa analiza sygnałów. MON. Warszawa.

Computer controlled multichannel thermoanemometric measurement system: software and measurement capability

Abstract

An advanced measuring system presented in this work enables thermometer's and anemometer's measurements as well thermal waves generation. All parts of the system is described detaily with its teatures and abilities. The system was used to generate and measure manifold types of thermal waves with thermometer and thermoanemometer.

Keywords: flow metrology, correlation, anemometry

Recenzent: Prof. dr hab. inż. *Andrzej Z. Smolarski*, Instytut Mechaniki Górotworu PAN