

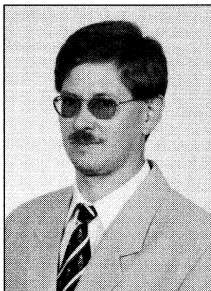
Robert HANUS, Adam KOWALCZYK

ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH, POLITECHNIKA RZESZOWSKA

## Analiza błędów estymatorów wybranych statystycznych metod pomiaru opóźnienia transportowego

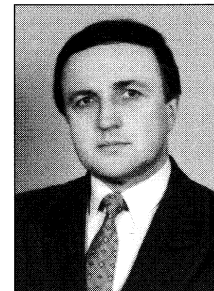
Dr inż. Robert HANUS

Adiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. W działalności naukowej i dydaktycznej zajmuje się głównie dziedziną cyfrowego przetwarzania i analizą sygnałów, w szczególności sygnałów przypadkowych. Stypendysta NATO, autor lub współautor około 50 publikacji w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych w kraju i za granicą.



Dr hab. inż. Adam KOWALCZYK, prof. PRz

Profesor nadzwyczajny Politechniki Rzeszowskiej. Kierownik Zakładu Metrologii i Systemów Pomiarowych. Ukończył specjalność Miernictwo Elektryczne i Przyrządy Pomiarowe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w 1973 roku. Stopień doktora uzyskał w 1983 r., a doktora habilitowanego w 1992 r. Dyscyplina i specjalność naukowa: elektronika, metrologia elektryczna i elektroniczna, miernictwo wielkości nieelektrycznych, przetwarzanie sygnałów stochastycznych. Jest autorem i współautorem ponad 100 prac naukowych i ponad 20 opracowań konstrukcyjnych zastosowanych w przemyśle. Członek organizacji, stowarzyszeń i rad naukowych.



### Streszczenie

W artykule przedstawiono dyskretne estymatory funkcji korelacji wzajemnej, korelacji znakowej, funkcji warunkowej wartości średniej modułu sygnału opóźnionego oraz fazy wzajemnej gęstości widmowej mocy. Przeanalizowano odchylenie standardowe opóźnienia transportowego wyznaczonego przy zastosowaniu tych estymatorów.

### Abstract

In this article the discrete estimators of the cross-correlation functions (direct and polarity), the function of conditional average value of the absolute value of delayed signal (CAV) and the phase of cross-spectral density function are presented. The standard deviation of time delay obtained by using these estimators is analysed. The comparison of the different estimators in time domain shows that the CAV estimator gives results with greater precision as correlation functions estimators for high value of correlation ( $\rho_{xy} \geq 0,93$ ). Moreover, the CAV estimator requires no multiplication which significantly reduces the computational complexity of the estimation procedure.

**Słowa kluczowe:** pomiary czasu opóźnienia, błędy statystyczne, funkcja korelacji wzajemnej, wzajemna gęstość widmowa mocy, sygnały losowe  
**Keywords:** Time delay measurement, statistical errors, cross-correlation function, cross-spectral density function, random signals

### 1. Wprowadzenie

W przemyśle niejednokrotnie zachodzi potrzeba bezkontaktowych pomiarów parametrów transportu np. blach podczas walcowania, materiałów sypkich, mediów ciekłych jedno- i wielofazowych przesyłanych rurociągami itp. W wielu przypadkach jedynymi metodami, które można zastosować w takich pomiarach są metody statystyczne, wykorzystujące naturalne cechy stochastyczne obiektu (np. zmiany gęstości, przezroczystości, faktury powierzchni) lub sztucznie wprowadzone zaburzenia. W praktyce stosuje się metody wykorzystujące jeden lub więcej (najczęściej dwa) sygnały pomiarowe, co wiąże się z minimalną liczbą zastosowanych czujników. Dotychczas stosowane w pomiarach prędkości metody z jednym czujnikiem opierają się na analizie wartości funkcji autokorelacji lub gęstości widmowej mocy sygnału jako funkcji mierzonej prędkości [2, 9, 14, 15]. Zastosowanie tych metod do pomiaru prędkości jest możliwe dla określonego i stałego w czasie kształtu funkcji autokorelacji lub gęstości widmowej mocy.

W metodach wykorzystujących charakterystyki statystyczne sygnałów oraz co najmniej dwa czujniki podstawą do określenia wymaganych parametrów transportu (prędkość, objętość, masa) przesyłanego materiału jest pomiar opóźnienia transportowego. Do najbardziej znanych klasycznych metod pomiaru opóźnienia należą: metoda wykorzystująca funkcję korelacji wzajemnej (FK) w dziedzinie czasu [1-7, 13-16, 18-21] i metoda oparta na analizie

charakterystyki fazowej wzajemnej gęstości widmowej mocy (WGWM) w dziedzinie częstotliwości [1-4, 11, 21]. W niektórych przypadkach możliwe jest też wykorzystanie warunkowej wartości średniej modułu sygnału opóźnionego (WWS) [7, 14], gęstości widmowej mocy sygnału różnicowego oraz szeregu innych metod w tym parametrycznych [5, 13, 17]. W niniejszej pracy omówiono błędy statystyczne pomiaru opóźnienia przy zastosowaniu trzech wybranych charakterystyk: FK, WWS i WGWM.

### 2. Zasada pomiaru opóźnienia przy zastosowaniu FK, WWS i WGWM

W wielu przypadkach pomiaru opóźnień transportowych zależność sygnałów  $x(t)$  i  $y(t)$  otrzymywanych z dwóch czujników umieszczonych na obiekcie można przedstawić zależnością:

$$y(t) = a \cdot x(t - \tau_0) + z(t) \quad (1)$$

gdzie:  $x(t)$  - stacjonarny, ergodyczny sygnał losowy o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa  $N(0, \sigma_x)$ ;  $a$  - stały współczynnik;  $\tau_0 = d/V$  - opóźnienie transportowe równe ilorazowi odległości rozmieszczenia czujników  $d$  i średniej prędkości obiektu  $V$ ;  $z(t)$  - stacjonarny, nieskorelowany z sygnałem  $x(t)$  szum o rozkładzie  $N(0, \sigma_z)$ .

Dyskretne estymatory charakterystyk: FK i WWS określają wyrażenia:

$$\hat{K}_{xy}(l) = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-l} x(n)y(n+l) \quad (2)$$

$$\hat{M}_y(l) = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{N-1-l} |y(n+l)| \Big|_{x(n)=0} \quad (3)$$

gdzie:  $x(n) = x(n\Delta t)$  i  $y(n) = y(n\Delta t)$  oznaczają dyskretne wartości centrowanych sygnałów otrzymywanych z czujników;  $n\Delta t$  - momenty próbkowania ( $n=0, 1..N-1$ );  $l$  - dyskretna wartość opóźnienia  $l = \tau/\Delta t$  ( $l=0, 1..L-1$ );  $\Delta t$  - krok próbkowania;  $K$  - liczba przejść przez zero sygnału  $x(n)$  dla realizacji o długości  $N-L$ .

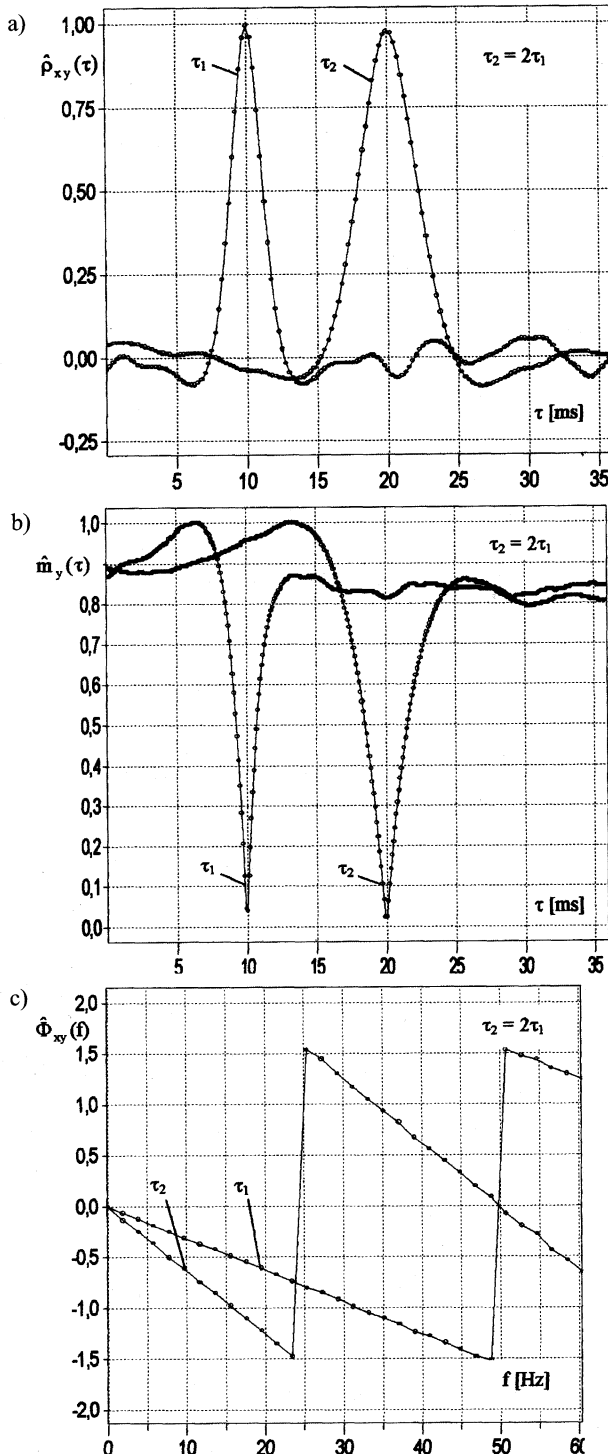
Opóźnienie transportowe  $\tau_0$  określa się na podstawie położenia głównego maksimum FK lub głównego minimum WWS. Często operuje się funkcjami unormowanymi, których wartości zawierają się w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$ :

$$\hat{\rho}_{xy}(l) = \hat{K}_{xy}(l) \left[ \hat{K}_{xx}(0) \hat{K}_{yy}(0) \right]^{(-1/2)} \quad (4)$$

$$\hat{m}_y(l) = \hat{M}_y(l) / \hat{M}_{y_{\max}}(l) \quad (5)$$

Obecnie estymatory FK wyznacza się najczęściej przy zastosowaniu dyskretnej transformacji Fouriera i procedur FFT, co pozwala na redukcję liczby operacji i czasu realizacji obliczeń. Przykładowe przebiegi FK i WWS uzyskane dla generowanych komputerowo wg

zależności (1) dyskretnych modeli sygnałów [8, 10] dla dwóch różnych opóźnień pokazano na rys. 1a i 1b. Wszystkie przebiegi pokazane na rys. 1 wyznaczono przy zastosowaniu wirtualnych autonomicznych (z symulacją sygnałów pomiarowych) układów zrealizowanych w środowisku DASYLab [9].



Rys. 1. Przykładowe przebiegi estymatorów FK (a), WWS (b) i fazy WGWM (c) dla dwóch różnych opóźnień

Oprócz FK w postaci (2) lub (4) nadal stosuje się [16] znakową funkcję korelacji wzajemnej (FKZ) dla sygnałów kwantowanych 1-bitowo:

$$\hat{r}_{xy}(l) = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-l} \text{sgn}[x(n)] \text{sgn}[y(n+l)] \quad (6)$$

która charakteryzuje się bardziej niż w przypadku FK stromym wierzchołkiem w otoczeniu punktu ekstremum.

W dziedzinie częstotliwości opóźnienie dla danej częstotliwości  $f_0$  określa się na podstawie przebiegu charakterystyki fazowej WGWM  $\Phi_{xy}(f)$ :

$$\tau_0 = -\Phi_{xy}(f_0)/2\pi f_0 \quad (7)$$

Estymator fazy WGWM wyznacza się z zależności:

$$\hat{\Phi}_{xy}(f) = \text{Arg} \left[ \hat{Q}_{xy}(f) / \hat{C}_{xy}(f) \right] \quad (8)$$

gdzie:  $C_{xy}(f)$  i  $Q_{xy}(f)$  są odpowiednio częścią rzeczywistą i urojoną wzajemnej gęstości widmowej mocy sygnałów  $x(n)$  i  $y(n)$  dla dyskretnych wartości częstotliwości  $f$ . Przykładowe przebiegi estymatorów fazy WGWM otrzymane dla dwóch różnych opóźnień pokazano na rys. 1c.

### 3. Analiza błędów statystycznych estymacji opóźnienia

#### 3.1. Porównanie odchyłeń standardowych opóźnień wyznaczonego przy zastosowaniu FK, FKZ i WWS

Istotny wpływ na dokładność pomiarów z wykorzystaniem omawianych charakterystyk mają błędy statystyczne stosowanych estymatorów. Wariancje FK  $K_{xy}(\tau)$ , FKZ  $r_{xy}(\tau)$ , i WWS  $M_y(\tau)$  dla normalnych ergodycznych i nieskorelowanych dyskretnych wartości procesów określają wyrażenia [1, 4, 7, 14, 20]:

$$\text{Var}[\hat{K}_{xy}(\tau)] = \frac{\sigma_x^2 \sigma_y^2}{N} [1 + \rho_{xy}^2(\tau)] \quad (9)$$

$$\text{Var}[\hat{r}_{xy}(\tau)] = \frac{1}{N} \left\{ 1 - \left[ \frac{2}{\pi} \arcsin \rho_{xy}(\tau) \right]^2 \right\} \quad (10)$$

$$\text{Var}[\hat{M}_y(\tau)] = \frac{\sigma_y^2}{K} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right) [1 - \rho_{xy}^2(\tau)] \quad (11)$$

W pracy [7] na podstawie porównania wariancji (9-11) i współczynników stromości dla FKZ:  $k_R(\tau)$  i WWS:  $k_M(\tau)$ :

$$k_R(\tau) = \frac{dr_{xy}(\tau)/d\tau}{dK_{xy}(\tau)/d\tau} = \frac{2}{\pi \sigma_x \sigma_y} [1 - \rho_{xy}^2(\tau)]^{(-1/2)} \quad (12)$$

$$k_M(\tau) = \frac{dM_y(\tau)/d\tau}{dK_{xy}(\tau)/d\tau} = -\frac{\rho_{xy}(\tau)}{\sigma_x} \left\{ \frac{2}{\pi [1 - \rho_{xy}^2(\tau)]} \right\}^{(1/2)} \quad (13)$$

oraz wykorzystując elementy teorii rachunku błędów w pomiarach pośrednich określono i porównano m.in. wariancje opóźnienia transportowego, wyznaczanego przy zastosowaniu omawianych charakterystyk. Odpowiednie odchylenia standardowe opóźnienia dla FK:  $\sigma[\tau_0]_{FK}$ , FKZ:  $\sigma[\tau_0]_{FKZ}$  i WWS:  $\sigma[\tau_0]_{WWS}$  w punkcie  $\tau = \tau_0$  można porównać określając współczynniki  $k_{\sigma_1}(\tau_0)$  i  $k_{\sigma_2}(\tau_0)$  w postaci:

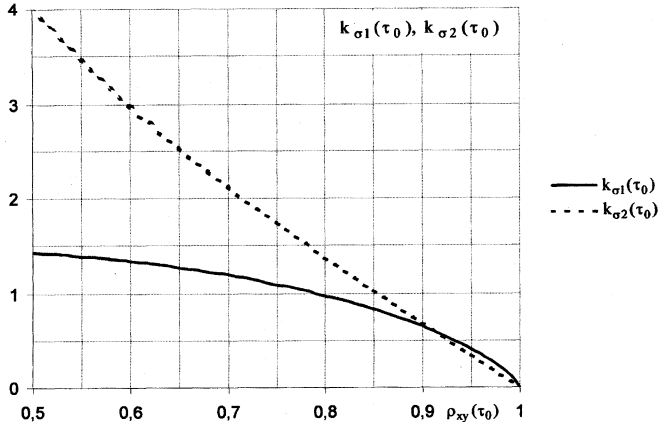
$$k_{\sigma_1}(\tau_0) = \frac{\sigma[\tau_0]_{FKZ}}{\sigma[\tau_0]_{FK}} \approx \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{[1 - \rho_{xy}^2(\tau_0)]}{[1 + \rho_{xy}^2(\tau_0)]} \left\{ 1 - \left[ \frac{2}{\pi} \arcsin \rho_{xy}(\tau_0) \right]^2 \right\} \right\}^{(1/2)} \quad (14)$$

$$k_{\sigma_2}(\tau_0) = \frac{\sigma[\tau_0]_{WWS}}{\sigma[\tau_0]_{FK}} \approx \frac{1 - \rho_{xy}^2(\tau_0)}{\rho_{xy}(\tau_0)} \left\{ \frac{N \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right)}{K [1 + \rho_{xy}^2(\tau_0)]} \right\}^{(1/2)} \quad (15)$$

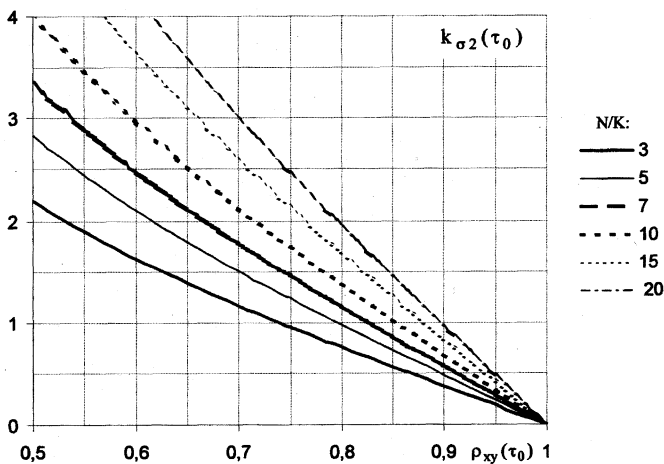
Na podstawie analizy zależności (14) i (15) można stwierdzić, że:

- Odchylenie standardowe opóźnienia wyznaczonego na podstawie FKZ jest mniejsze niż w przypadku FK dla  $\rho_{xy}(\tau_0) \geq 0,79$  przy jednakowych długościach realizacji  $N$ .
- Odchylenie standardowe opóźnienia wyznaczonego na podstawie WWS zależy od stosunku  $N/K$ , jednak dla  $\rho_{xy}(\tau_0)$  bliskich 1 jest

zawsze mniejsze niż w przypadku FK. Wyniki obliczeń przeprowadzonych na podstawie zależności (14) i (15) przedstawiono na rys. 2, gdzie założono wartość stosunku  $N/K=10$  oraz zmienność  $\rho_{xy}(\tau_0)$  w zakresie  $0,5 \div 1$ . Przy  $N/K=10$   $\sigma[\tau_0]_{WWS} < \sigma[\tau_0]_{FK}$  dla  $\rho_{xy}(\tau_0) \geq 0,86$ . Na rys. 3 pokazano zależność  $k_{\sigma_2}(\tau_0) = f[\rho_{xy}(\tau_0)]$  dla kilku wartości stosunku  $N/K$ .



Rys. 2. Zależności współczynników odchylenia standardowego  $k_{\sigma_1}(\tau_0)$ ,  $k_{\sigma_2}(\tau_0)$  od unormowanej funkcji korelacji wzajemnej  $\rho_{xy}(\tau_0)$



Rys. 3. Zależności współczynników odchylenia standardowego  $k_{\sigma_2}(\tau_0)$  od unormowanej funkcji korelacji wzajemnej  $\rho_{xy}(\tau_0)$  dla różnych wartości stosunku  $N/K$

### 3.2. Analiza odchylenia standardowego opóźnienia określanego przy zastosowaniu fazy WGWM

Błędy statystyczne estymacji opóźnienia transportowego wyznaczonego z równania (7) zależą głównie od wariancji estymatora fazy WGWM, którą można określić z zależności [2, 4]:

$$\text{Var}[\hat{\Phi}_{xy}(f)] \approx \frac{1 - \gamma_{xy}^2(f)}{2 \gamma_{xy}^2(f)} \quad (16)$$

gdzie:  $\gamma_{xy}(f)$  jest funkcją koherencji, wyrażającą podobieństwo pomiędzy sygnałami w dziedzinie częstotliwości.

Ze względu na dużą wariancję estymatorów charakterystyk widmowych wyznaczanych numerycznie przy użyciu FFT konieczne jest zastosowanie jednej z metod wygładzania, najczęściej uśredniania w zbiorze estymatorów (wygładzanie odcinkowe). Przy zastosowaniu liczby  $N_d$  uśrednień wariancja wygładzonego estymatora  $\hat{\Phi}_{xy}(f)$  przyjmuje postać [4]:

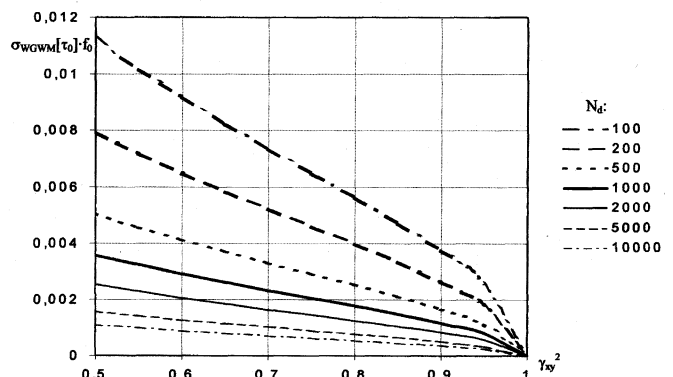
$$\text{Var}[\tilde{\Phi}_{xy}(f)] = \frac{\text{Var}[\hat{\Phi}_{xy}(f)]}{N_d} \approx \frac{1 - \gamma_{xy}^2(f)}{2 N_d \gamma_{xy}^2(f)} \quad (17)$$

W pracy [11] przeanalizowano błędy statystyczne opóźnienia transportowego, wyznaczonego przy zastosowaniu fazy WGWM. Odchylenie standardowe opóźnienia dla  $f = f_0$  można przedstawić w postaci:

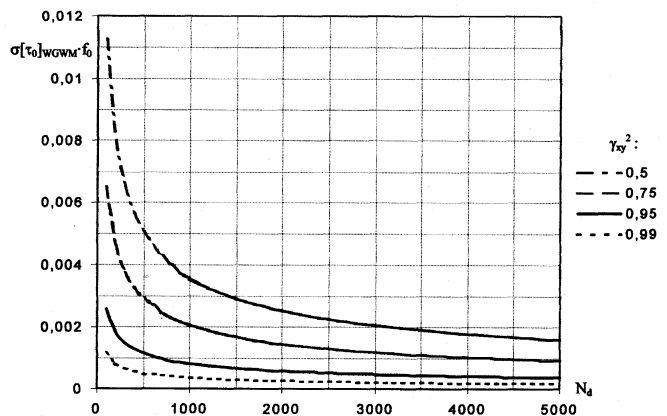
$$\sigma[\tau_0]_{WGWM} \approx \frac{1}{2\pi f_0 \sqrt{2 N_d}} \frac{(1 - \gamma_{xy}^2(f_0))^{1/2}}{|\gamma_{xy}(f_0)|} \quad (18)$$

Z analizy zależności (18) wynikają następujące wnioski:

- Odchylenie standardowe opóźnienia dąży do zera gdy funkcja koherencji dąży do 1. Ponieważ estymator  $\hat{\gamma}_{xy}^2(f)$  dla pojedynczych pomiarów przyjmuje wartość maksymalną niezależnie od rzeczywistej koherencji sygnałów [2], konieczne jest stosowanie uśredniania przy wyznaczaniu estymatorów gęstości widmowych mocy. Zależności  $\sigma[\tau_0]_{WGWM} \cdot f_0 = f(\gamma_{xy}^2)$  dla kilku wartości liczby uśrednień  $N_d$ , obliczone na podstawie (18) przedstawiono na rys. 4.
- Odchylenie standardowe opóźnienia maleje przy wzroście liczby uśrednień  $N_d$ . Obliczone z (18) zależności  $\sigma[\tau_0]_{WGWM} \cdot f_0 = f(N_d)$  dla kilku wartości funkcji koherencji pokazano na rys. 5.
- Odchylenie standardowe opóźnienia jest odwrotnie proporcjonalne do częstotliwości  $f_0$ , dlatego należy wybierać możliwie największe wartości tej częstotliwości, mając na uwadze zawijanie fazy przy numerycznym wyznaczaniu WGWM. Ponadto dla większych wartości  $f_0$  przy tych samych zmianach opóźnienia rosną zmiany fazy WGWM, a więc wzrasta czułość metody.



Rys. 4. Zależności  $\sigma[\tau_0]_{WGWM} \cdot f_0 = f(\gamma_{xy}^2)$  dla różnych wartości liczby uśrednień  $N_d$



Rys. 5. Zależności  $\sigma[\tau_0]_{WGWM} \cdot f_0 = f(N_d)$  dla różnych wartości funkcji koherencji

## 4. Podsumowanie

- Metody statystyczne w bezkontaktowych pomiarach parametrów transportu stosowane są w przypadkach, gdy ze względu na losowy charakter i często niekorzystny stosunek analizowanych sygnałów do szumu nie można zastosować innych metod. Typowe aplikacje przemysłowe to pomiary parametrów uciążliwych przepływów (substancje żrące i radioaktywne, mieszaniny wielofazowe, ścieki, proszki, granulaty itp.).
- Do klasycznych charakterystyk stosowanych w tego typu pomiarach należą funkcje korelacji wzajemnej i faza wzajemnej gęstości widmowej mocy. W ostatnich latach opracowano szereg nowych metod pomiaru opóźnienia (szczególnie parametrycznych) opartych na analizie sygnałów losowych. Wiele z tych metod znajduje się na etapie badań i nie znalazło jeszcze praktycznego

zastosowania. Jedną z charakterystyk, która może być przydatna w statystycznych pomiarach opóźnienia jest WWS.

- Porównanie odchyłeń standardowych opóźnienia wyznaczanego przy zastosowaniu badanych metod w dziedzinie czasu pozwala stwierdzić, że najmniejsze wartości tego parametru uzyskuje się dla FKZ i WWS. Są to wartości mniejsze niż dla FK dla dużych wartości  $\rho_{xy}(\tau_0)$  - odpowiednio  $\rho_{xy}(\tau_0) \geq 0,79$  dla FKZ i  $\rho_{xy}(\tau_0) \geq 0,86$  dla WWS przy  $N/K=10$ . Przy tym samym stosunku  $N/K$  odchylenie standardowe opóźnienia wyznaczanego na podstawie WWS jest mniejsze niż w przypadku FKZ dla  $\rho_{xy}(\tau_0) \geq 0,93$ , tak więc metoda WWS daje większą precyzję pomiaru opóźnienia dla mało zasumionych sygnałów. Dodatkową zaletą tej metody jest większa efektywność obliczeniowa (nie wymaga operacji mnożenia).
- Zaletą metody opartej na analizie przebiegu charakterystyki fazowej WGWM w porównaniu z FK jest większa efektywność dla małych opóźnień transportowych i możliwość pomiaru opóźnienia w tzw. ośrodkach dyspersyjnych, w których szybkość propagacji sygnału zależy od jego częstotliwości. Odchylenie standardowe opóźnienia wyznaczanego tą metodą można zmniejszyć przez odpowiedni dobór parametrów analizy, jednak do wad metody należy zaliczyć konieczność wygładzania estymatorów fazy WGWM, co wydłuża czas pomiaru.
- W pomiarach parametrów transportu bazujących na pomiarze opóźnień transportowych metodami statystycznymi można zastosować zarówno klasyczne jak i wirtualne przyrządy pomiarowe. Zaletą tych ostatnich jest otwarta architektura i funkcjonalna elastyczność oraz związana z tym możliwość dostosowania do wymagań konkretnego użytkownika. Przykłady rozwiązań przyrządów wirtualnych do pomiaru opóźnienia w oparciu o omawiane w tej pracy charakterystyki statystyczne przedstawiono w [12].

## Literatura

- [1] M. S. Beck, A. Płaskowski: Cross-Correlation Flowmeters. Adam Hilger, Bristol 1987.
- [2] J.S. Bendat, A.G. Piersol: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
- [3] J.S. Bendat, A.G. Piersol: Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. John Wiley, New York 1993.
- [4] J.S. Bendat, A.G. Piersol: Random Data - Analysis and Measurement Procedures. John Wiley, New York 2000.
- [5] A. Dwyer: A survey of techniques for the estimation and compensation of

processes with time delay. Technical Report, Dublin Institute of Technology 2000.

- [6] R. Hagel, J. Szuta: Podstawy miernictwa wielkości stochastycznych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
- [7] R. Hanus: Accuracy comparison of some statistic methods of time delay measurements. Systems Analysis Modelling Simulation, Vol. 40, 2001, No 2.
- [8] R. Hanus: Modelling of the stationary stochastic signals used in time delay and velocity measurements of solid objects. Systems Analysis Modelling Simulation Vol. 40, 2001, No 3.
- [9] R. Hanus: Komputerowe modelowanie metod i układów stosowanych w statystycznych pomiarach opóźnienia i prędkości. VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowania komputerów w elektrotechnice” ZKwE'03. Poznań/Kiekrz 7-9 kwiecień 2003.
- [10] R. Hanus: Komputerowe modelowanie sygnałów w statystycznych pomiarach parametrów transportu medium. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2002, nr 200, seria Elektrotechnika z. 24.
- [11] R. Hanus: Statistical error analysis of time delay measurement by using phase of cross-spectral density function. Systems Analysis Modelling Simulation (przyjęty do druku).
- [12] R. Hanus: Przyrządy wirtualne do pomiaru opóźnienia transportowego metodami statystycznymi. VI Szkoła-Konferencja „Metrologia wspomaganą komputerowo” MWK'03. Waplewo 26-29 maj 2003.
- [13] G. Jacovitti, G. Scarano: Discrete time techniques for time delay estimation. IEEE Trans. on Signal Processing Vol. 41, 1993, No 2.
- [14] A. Kowalczyk: Otorbi i obróbka elektrycznych sygnałów pri stochastycznych izmjerjenijach paramjetrow pjerjenosa massy. Dissjertacija, Lwow 1992.
- [15] C.F. Kozubowski: Korreljacionnyje ekstrjalnyje sistjemy. Naukowa Dumka, Kijew 1973.
- [16] J. Lal-Jadziak: Kształtowanie dokładności w pomiarach korelacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 2001.
- [17] Y-Ch. Liang, A.R. Leyman: Time delay estimation using higher order statistics. Electronic Letters Vol. 33, 1997, No 9.
- [18] F.Mesch: Speed and flow measurement by an intelligent correlation system. Proc. ISA-90 Conference, New Orleans 1990.
- [19] F. Mesch, R. Fritsche, K. Kipphan: Transit time correlation - a survey on its applications to measuring transport phenomena. Trans. of ASME, Vol. 96, series G, Dec. 1994, No 4.
- [20] G. Mirskij: Charakteristiki stochastycznej wzaimoswjazi i ich izmjerjenija. Enjergoizdat, Moskwa 1982.
- [21] S. Zator: Korelacyjny pomiar strumienia objętości płynów. Wyd. Szumacher, Kielce 1997.

**Title:** Estimators errors analysis of some statistical methods of time delay measurement

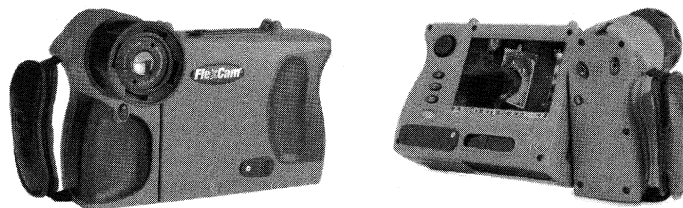
Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

**Firma VIGO System S.A.** wprowadza na rynek **nową** w pełni radiometryczną, przenośną kamerę termowizyjną czasu rzeczywistego **typu IR FlexCam™** z wybitną jakością obrazów. Kamera charakteryzuje się zestawieniem prostoty obsługi z bogatym zestawieniem funkcji. (Projekt OSTRZEJ PROSCIEJ MĄDRZEJ™).

*Podstawowe parametry:*

Zakres spektralny: 8..14  $\mu\text{m}$ , czułość termiczna  $<0,1^\circ\text{C}$ , wyświetlacz LCD 5", rozdzielczość wyświetlacza 320x240, zoom cyfrowy 2x, zapis danych na kartach Compact Flash (w standardowym wyposażeniu karta 16 MB), podstawowy zakres pomiarowy  $-20..200^\circ\text{C}$ , dokładność bezwzględna pomiaru temperatury  $\pm 2^\circ\text{C}$  lub  $\pm 2\%$ , temperatura pracy:  $-10..50^\circ\text{C}$ , klasyfikacja obudowy IP54.



Kamera typu IR FlexCam™

*Pełne informacje reklamowe ukażą się w następnym zeszycie PAK 9/2003*

WSZELKICH INFORMACJI UDZIELA: **mgr inż. Michał Demiańczuk**  
VIGO System S.A. 01-389 Warszawa, ul. Świetlików 3, tel. 0-22 666-14-06,  
tel. kom. 0-605 65-77-75, e-mail: mdem@vigo.com.pl, www.vigo.com.pl