

**Anna SZLACHTA**

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

## Wirtualny fazomierz

Dr inż. Anna SZLACHTA

Absolwentka Wydziału Elektrycznego Politechniki Rzeszowskiej – specjalność aparatura elektroniczna (1995). W 2006 r. uzyskała tytuł doktora nauk technicznych, w dyscyplinie naukowej elektrotechnika. Adiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się zagadnieniami analizy i przetwarzania sygnałów pomiarowych, w szczególności w zakresie pomiarów kąta przesunięcia fazowego sygnałów zakłóconych.



e-mail: annasz@prz.edu.pl

### Streszczenie

W referacie przedstawiono wirtualny fazomierz, opracowany w środowisku LabVIEW. Wykorzystano algorytmiczne metody pomiaru kąta przesunięcia fazowego sygnałów sinusoidalnych zakłóconych. Opracowany fazomierz pracuje w oparciu o metodę korelacyjną oraz metodę warunkowego uśredniania.

**Słowa kluczowe:** przesunięcie fazowe, metody algorytmiczne, uśrednianie warunkowe, metoda korelacyjna.

### The virtual phase meter

#### Abstract

In this paper the virtual phase meter is presented. It used the LabVIEW programming. The algorithmic methods for phase angle measurement are used in this system. The described virtual phase meter is elaborated for conditional averaging and correlation method.

**Keywords:** phase angle, algorithmic methods, conditional averaging, correlation method.

### 1. Wstęp

Przyrząd wirtualny definiowany jest jako przyrząd składający się z komputera personalnego oraz sprzętu pomiarowego (np. karty pomiarowej, multimetru wyposażonego w interfejs pomiarowy), obsługa takiego przyrządu odbywa się za pomocą graficznego interfejsu użytkownika. Odpowiednie oprogramowanie umożliwia uzupełnienie realizacji sprzętowej. Weryfikacja opracowanych aplikacji jest efektywniejszym i szybszym sposobem zmiany działania przyrządu, w tym przypadku wirtualnego, niż rekonstrukcja lub ponowna budowa tradycyjnej aparatury [5].

W ramach badań warunkowego uśredniania sygnałów [2, 3] opracowany został wirtualny fazomierz, wykorzystujący metody algorytmiczne do wyznaczania wartości kąta przesunięcia fazowego. Jest on jednym z elementów stanowiska do modelowania, cyfrowej rejestracji oraz analizy sygnałów pomiarowych. Zbudowany zestaw badawczy umożliwia:

1. generowanie sinusoidalnego sygnału odniesienia  $x(t) = A \cdot \cos(\omega t)$  o określonej amplitudzie  $A$  oraz pulsacji  $\omega$ ,
2. generowanie sygnału zakłócającego  $n(t)$  – szum normalny o znanym odchyleniu standardowym  $\sigma_n$  oraz zerowej wartości średniej,
3. generowanie opóźnionego sygnału zakłóconego  $z(t) = y(t) + n(t)$ , w skład którego wchodzi sygnał sinusoidalny opóźniony  $y(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$  o znanych parametrach napięciowych i czasowych oraz sygnał zakłócający  $n(t)$ ,
4. pomiar parametrów napięciowych i czasowych badanych przebiegów,

5. rejestrację opóźnionego sygnału zakłóconego od chwili, gdy sygnał  $x(t)$  przyjmuje wartość zero,
6. wyznaczanie warunkowej wartości średniej sygnału  $z(t)$ ,
7. obliczanie poszukiwanego kąta przesunięcia fazowego na podstawie przyjętego algorytmu.

Oprogramowanie wspólnie z wykorzystanym sprzętem decyduje o funkcjonalności systemu eksperymentalnego. Wirtualny fazomierz przeznaczony do rejestracji sygnałów sinusoidalnych zakłóconych i estymacji kąta przesunięcia fazowego według zasady warunkowego uśredniania został opracowany w środowisku LabVIEW.

Środowisko LabVIEW zostało wykorzystane do generowania sygnałów pomiarowych oraz do przeprowadzenia symulacji komputerowych dotyczących przetwarzania sygnałów w pomiarach kąta przesunięcia fazowego, w tym modelowania zasady warunkowego uśredniania zakłóconych sygnałów sinusoidalnych. Opracowane aplikacje umożliwiają porównanie wyników otrzymanych na drodze symulacji komputerowych i wyników uzyskanych w procesie pomiarowym.

W warstwie programowej wspomnianej aplikacji można m.in.: ustawić sposób wyzwalania karty pomiarowej, wybrać częstotliwość próbkowania przetwornika A/C, przyjąć zakres napięciowy dla sygnałów wejściowych. Wyniki rejestracji sygnałów  $y(t)$  lub  $z(t)$  za pomocą karty pomiarowej zapisywane są do pliku, co umożliwia ich dalszą analizę, w celu wyznaczenia poszukiwanej wartości kąta przesunięcia fazowego  $\varphi$ .

### 2. Aplikacja do estymacji kąta przesunięcia fazowego

Z wykorzystaniem opracowanego systemu do pomiaru wartości kąta przesunięcia fazowego sygnałów zakłóconych możliwa jest implementacja znanych metod algorytmicznych. W ramach prowadzonych badań zaimplementowano metodę korelacyjną [1, 4], stosowaną w pomiarach kąta przesunięcia sygnałów zakłóconych szumem szerokopasmowym. Umożliwiło to uzyskanie spójnych warunków pomiarowych oraz porównanie właściwości metrologicznych wykorzystanych algorytmów (metody warunkowego uśredniania sygnałów oraz metody korelacyjnej).

Na rysunku 1 przedstawiony został fragment panelu czołowego – panelu operatora, opracowanej aplikacji umożliwiającej wyznaczenie wartości kąta przesunięcia fazowego wraz z przykładowymi sygnałami.

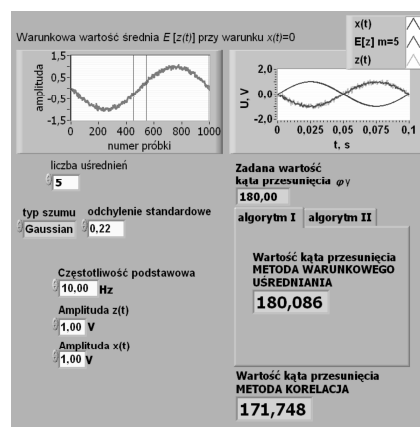
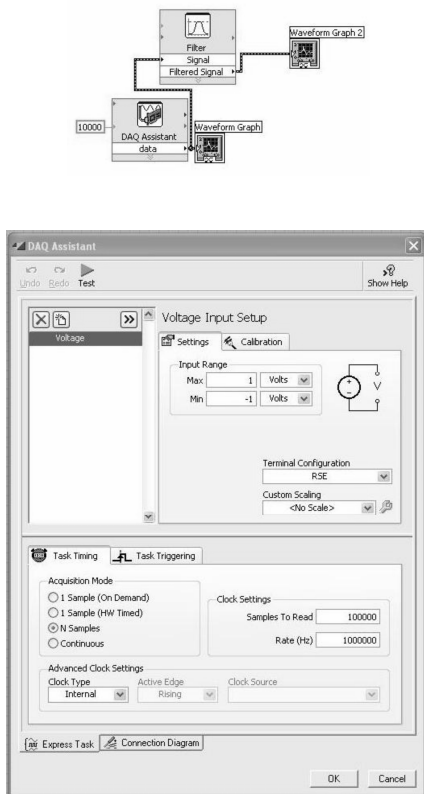


Fig. 1. The front panel of the virtual phase meter

Opracowany wirtualny fazomierz do estymacji kąta przesunięcia fazowego sygnałów zakłóconych wykorzystuje opracowane modele przetwarzania sygnałów metodą warunkowego uśredniania sygnałów oraz proponowane charakterystyki [3].

Dane wejściowe (zbiór wartości chwilowych sygnału odniesienia oraz zakłóconego sygnału opóźnionego) niezbędne do estymacji wartości kąta przesunięcia fazowego można uzyskać się na dwa sposoby. Pierwszy polega na zarejestrowaniu próbek sygnałów pochodzących z rzeczywistego układu pomiarowego (rys. 2). W tym przypadku fazomierz realizuje tylko zaproponowane algorytmy, w efekcie końcowym uzyskuje się poszukiwaną wartość kąta przesunięcia fazowego.



Rys. 2. Widok programu do akwizycji danych pomiarowych  
Fig. 2. The diagram of data acquisition application

Drugim ze sposobów jest wygenerowanie przebiegów o zadanych parametrach (częstotliwość, amplituda, początkowa faza sygnału, częstotliwość próbkowania) – badania symulacyjne.

## 2.1. Obliczenie wartości kąta przesunięcia fazowego na podstawie metody warunkowego uśredniania

Fazomierz wirtualny wykorzystuje zasadę warunkowego uśredniania sygnałów do pomiaru kąta przesunięcia fazowego sygnałów sinusoidalnych zakłóconych, która polega na [3]:

- rejestracji wartości chwilowych sygnałów  $y(t)$  przy warunku  $x(t)=0$ ;
- uśrednianiu koherentnym wartości chwilowych sygnałów;
- wyznaczaniu czasu  $\tau_0$  na podstawie aproksymacji liniowej uśrednionych wartości chwilowych, lub warunkowej wartości średniej;
- estymacji wartości kąta przesunięcia fazowego  $\varphi$ .

W proponowanej zasadzie uzyskano kilka algorytmów na podstawie, których można wyznaczyć czasu  $\tau_0$ , proporcjonalny do poszukiwanego kąta przesunięcia fazowego  $\varphi$ . Podstawowymi algorytmami wykorzystującymi warunkowe uśrednianie sygnałów są [3]:

**algorytm 1** – wartość kąta przesunięcia fazowego obliczana jest na podstawie  $n_1$  próbek, wykorzystanych do aproksymacji prostą regresji  $y_3=c_0+c_1t$ , wyznaczonych z  $m$  realizacji sygnału  $z(t)$

**algorytm 2** – wartość kąta przesunięcia fazowego obliczana jest na podstawie  $n_2$  próbek, wykorzystanych do aproksymacji prostymi regresji  $y_1=a_0+a_1t$ ,  $y_2=b_0+b_1t$ , wyznaczonych z  $m$  realizacji modułu sygnału  $|z(t)|$ .

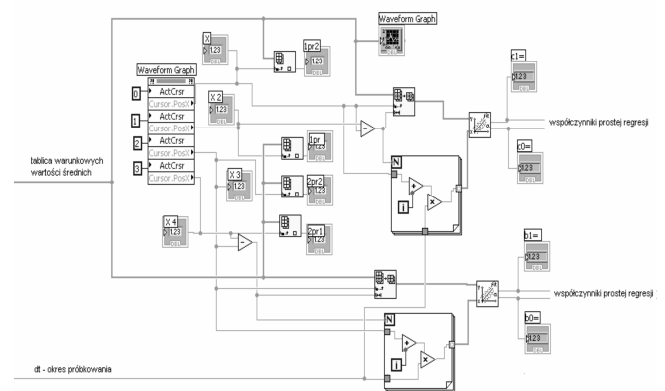
**algorytm „arcus sinus”** – wartość kąta przesunięcia fazowego obliczana jest na podstawie warunkowej wartości średniej dla argumentu:  $\tau = 0$ .

Wartość poszukiwanego kąta przesunięcia fazowego jest proporcjonalna do czasu  $\tau_0$ . W algorytmie pierwszym, czas  $\tau_0$  wyznaczony jest na podstawie aproksymacji liniowej uśrednionych wartości amplitudowych jedną prostą regresji  $y_3$ , w algorytmie drugim, na podstawie dwóch prostych  $y_1$  i  $y_2$ .

Do określenia przedziałów linearyzacji niezbędnych do wyznaczenia współczynników dwóch lub jednej prostej regresji, wykorzystane zostały tzw. aktywne kursory (rys. 3). Za ich pomocą określane są indeksy próbek na końcach zakresu przyjętego do aproksymacji liniowej.

W przypadku algorytmu pierwszego, na podstawie współczynników prostej regresji  $y_3=c_0+c_1t$ , wyznaczany jest czas  $\tau_0$  jako miejsce przecięcia prostej z osią rzędnych:

$$\tau_0 = t_1 = \frac{c_0}{c_1}. \quad (1)$$



Rys. 3. Fragment diagramu do wyznaczenia współczynników prostych regresji  
Fig. 3. The diagram for calculate linear fit coefficients

W przypadku algorytmu drugiego, warunkowa wartość średnia została wyznaczona dla wartości bezwzględnych sygnału opóźnionego. Minimum otrzymanej funkcji określa poszukiwany czas  $\tau_0$ . W tym przypadku należy obliczyć współczynniki dwóch prostych regresji:

$$\begin{cases} y_1 = a_0 + a_1t \\ y_2 = b_0 + b_1t \end{cases}. \quad (2)$$

Poszukiwany czas  $\tau_0$  określa punkt przecięcia się prostych:

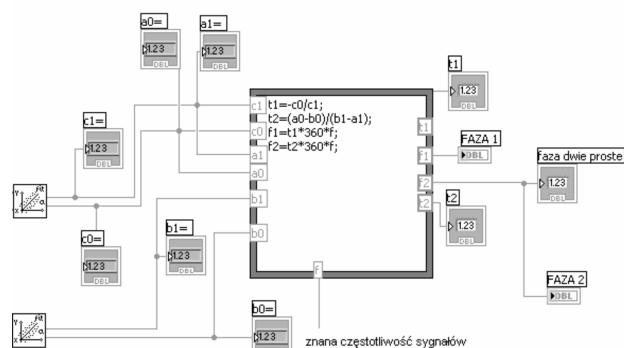
$$\tau_0 = t_2 = \frac{(a_0 - b_0)}{(b_1 - a_1)}. \quad (3)$$

Wartość kąta przesunięcia fazowego obliczana jest wg zależności:

$$\varphi = 360 \cdot \tau_0 \cdot f, \quad (4)$$

gdzie:  $f$  – wartość częstotliwości sygnałów.

Fragment aplikacji do wyznaczenia wartości kąta przesunięcia fazowego wg zależności (4) przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Fragment diagramu do wyznaczenia wartości kąta przesunięcia fazowego  
Fig. 4. The diagram for phase angle estimation

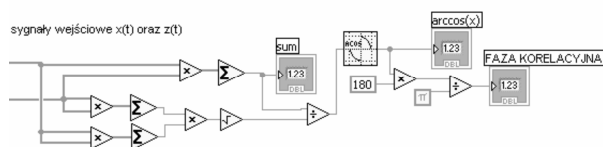
## 2.2. Obliczenie wartości kąta przesunięcia fazowego na podstawie metody korelacyjnej

Metoda korelacyjna pomiaru kąta przesunięcia fazowego sygnałów  $x(t)$  i  $z(t)$  wykorzystuje zależności statystyczne pomiędzy badanymi sygnałami, które opisuje funkcja korelacji wzajemnej  $R_{x,z}(\tau)$  obydwu sygnałów.

Estymator wartości kąta przesunięcia fazowego  $\hat{\phi}$  pomiędzy badanymi sygnałami, wyznaczony za pomocą  $\hat{R}_{x,z}(\tau)$  oraz estymatorów wariancji  $\hat{V}_x$  i  $\hat{V}_z$  ma postać [4]:

$$\hat{\phi} = \arccos \frac{\hat{R}_{x,z}(0)}{\sqrt{\hat{V}_x \hat{V}_z}} = \arccos \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n z_i^2}}. \quad (5)$$

Algorytm korelacyjny (5) został zaimplementowany w fazomierzu wirtualnym. Na rysunku 5 przedstawiono jego realizację w środowisku LabVIEW.

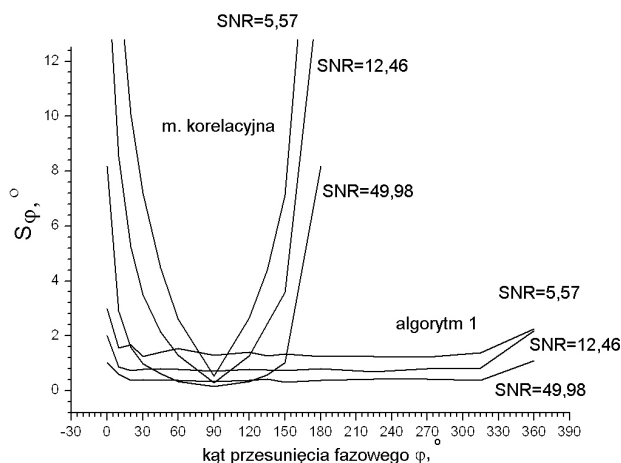


Rys. 5. Diagram metody korelacyjnej  
Fig. 5. The block diagram of correlation method

## 3. Wnioski

W pracy przedstawiono wirtualny fazomierz, który umożliwia wyznaczenie wartości kąta przesunięcia fazowego dla sygnałów sinusoidalnych zakłóconych. Zastosowanie dwóch metod algorytmicznych (metody warunkowego uśredniania sygnałów oraz metody korelacyjnej) umożliwia porównanie właściwości metrologicznych implementowanych algorytmów.

Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe wartości kąta przesunięcia fazowego otrzymane przy użyciu wirtualnego fazomierza. Analizując powyższe wyniki można zauważyć, iż metoda warunkowego uśredniania umożliwia estymację wartości kąta przesunięcia fazowego w szerszym zakresie pomiarowym niż metoda korelacyjna (rys. 6).



Rys. 6. Porównanie zakresów pracy metody korelacyjnej oraz metody warunkowego uśredniania sygnałów

Fig. 6. Comparison of correlation method and conditional averaging method ranges

Ponadto, metoda korelacyjna posiada lepsze właściwości metrologiczne dla pomiarów wartości kątów przesunięcia fazowego zbliżonych do 90°. Dla mniejszych wartości współczynnika SNR, zakres większej dokładności metody korelacyjnej znacznie się zmniejsza.

Opracowany przyrząd pozwala na obróbkę statystyczną otrzymanych wyników pomiaru oraz na weryfikację rzeczywistych pomiarów za pomocą zadanych sygnałów testowych. Wykorzystanie wirtualnego fazomierza pozwala rozszerzać możliwości przetwarzania sygnałów i analizy otrzymanych wyników.

Tak zaproponowany przyrząd wirtualny może zostać wykorzystany w dydaktyce, między innymi w podstawach metrologii oraz w przedmiotach dotyczących przetwarzania sygnałów.

## 4. Literatura

- [1] Gajda J., Sroka R.: „Pomiary kąta fazowego. Modele – układy – algorytmy”; Kraków 2000
- [2] Szlachta A., Kowalczyk A.: „Modelowanie warunkowego uśredniania wartości amplitudowych sygnałów w pomiarach kąta przesunięcia fazowego”, Symposium Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych str. 65-70, Krynica 2004r.
- [3] Szlachta A.: „Zastosowanie warunkowego uśredniania wartości amplitudowych sygnałów w pomiarach kąta przesunięcia fazowego”. Rozprawa doktorska; Rzeszów 2006.
- [4] Спектор С.А.: „Электрические измерения физических величин”. ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ Ленинградское отделение, Ленинград 1987.
- [5] Świsulski D.: „Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych”. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2005.