

Adam CICHY
Brunon SZADKOWSKI

METODA WYZNACZANIA SKŁADOWEJ STAŁEJ SYGNAŁÓW SINUSOIDALNYCH O INFRANISKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH (10^{-3} - 10) Hz

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję metody wyznaczania składowej stałej sygnałów sinusoidalnych o infraniskich częstotliwościach (10^{-3} - 10) Hz polegającą na próbkowaniu sygnału i obliczeniu składowej stałej z obowiązujących wówczas zależności. Przedstawiono schemat blokowy oraz wyprowadzono odpowiednie zależności. Przeanalizowano błąd metody i przedstawiono wstępną weryfikację doświadczalną.

METHOD OF DETERMINING OF INFRA-LOW FREQUENCY (10^{-3} - 10) Hz SINUSOIDAL SIGNAL CONSTANT COMPONENT

Summary. The idea of determining of infra-low frequency (10^{-3} - 10) Hz sinusoidal signal constant component basing on sampling of signal and computing the constant component according to suitable formulae has been described. The block diagram has been presented and suitable functions have been derived. The method error has been analysed and experimental verification has been given.

1. WPROWADZENIE

Podstawowym czynnikiem utrudniającym pomiary w zakresie infraniskich częstotliwości (10^{-3} - 10) Hz jest składowa stała towarzysząca przebiegom sinusoidalnym. Na przykład w pomiarach przesunięcia fazowego składowa stała stanowi główne źródło błędów [3]. W metodach wymagających detekcji przejścia badanego sygnału przez zero składowa stała zmienia poziom odniesienia komparatorów [1]; w metodach algorytmicznych wymagających próbkowania badanego sygnału składowa jest próbkowana wraz z badanym sygnałem [2]. W rozpatrywanym zakresie częstotliwości eliminacja składowej stałej metodami układowymi nie jest możliwa ze względu na właściwości elementów biernych (kondensatorów, cewek, transformatorów). Z kolei

eliminacja metodami programowymi wymagać może długiego czasu — na przykład przy częstotliwości 10^{-3} Hz czas pomiaru wynosi 20–40 minut.

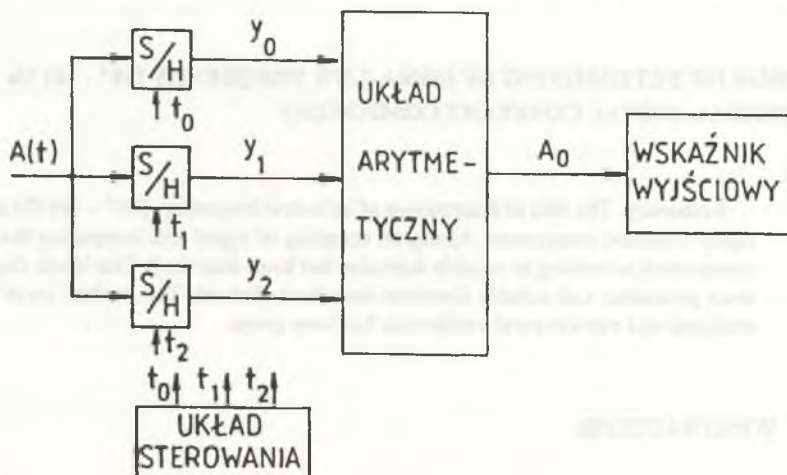
Poniżej przedstawiono metodę umożliwiającą wyznaczenie składowej stałej w czasie znacznie krótszym niż jeden okres badanego przebiegu. Szybki pomiar składowej stałej jest podstawowym warunkiem realizacji bieżącej korekcji błędów spowodowanych składową stałą.

2. OPIS METODY

Na rys.1 przedstawiono schemat blokowy proponowanej metody szybkiego pomiaru składowej stałej zawartej w sygnale $A(t)$. Sygnał badany $A(t)$ określony jest zależnością

$$A(t) = A_0 + A_m \sin \omega t, \quad (1)$$

gdzie: A_0 — składowa stała, A_m — amplituda składowej zmiennej, ω — pulsacja.



Rys.1. Schemat blokowy metody szybkiego pomiaru składowej stałej

Fig.1. Block diagram of the method of constant component fast measurement

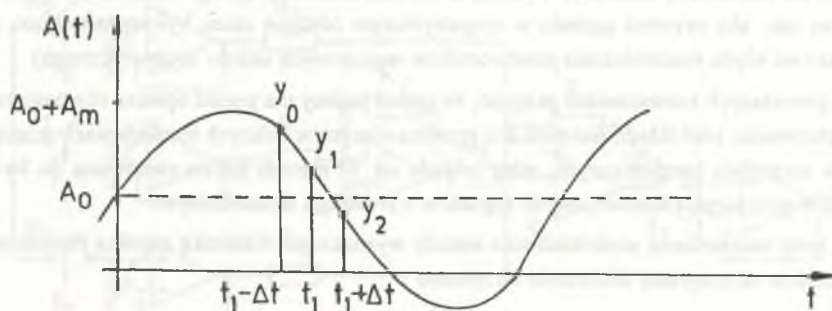
Z sygnału $A(t)$, w równomiernych odstępach czasu Δt pobieramy (przy użyciu układów S/H — por. rys.1) 3 kolejne próbki y_0, y_1, y_2 (por. rys.2):

$$y_0 = A(t_1 - \Delta t) = A_0 + A_m \sin \omega(t_1 - \Delta t) = A_0 + A_m \sin \omega t_1 \cos \omega \Delta t - A_m \cos \omega t_1 \sin \omega \Delta t, \quad (2)$$

$$y_1 = A(t_1) = A_0 + A_m \sin \omega t_1, \quad (3)$$

$$y_2 = A(t_1 + \Delta t) = A_0 + A_m \sin \omega(t_1 + \Delta t) = A_0 + A_m \sin \omega t_1 \cos \omega \Delta t + A_m \cos \omega t_1 \sin \omega \Delta t, \quad (4)$$

gdzie: t_1 — dowolna chwila czasu.



Rys.2. Ilustracja przebiegu $A(t)$ i sposobu pobierania próbek

Fig.2. Illustration of $A(t)$ waveform and the way of sampling

Z równań (2) i (4) obliczamy

$$y_0 + y_2 = 2A_0 + 2A_m \sin \omega t_1 \cos \omega \Delta t, \quad (5)$$

a z równania (3)

$$A_m \sin \omega t_1 = y_1 - A_0. \quad (6)$$

Podstawiając zależność (6) do równania (5) otrzymujemy

$$y_0 + y_2 = 2A_0 + 2(y_1 - A_0) \cos \omega \Delta t, \quad (7)$$

skąd wyznaczamy składową stałą

$$A_0 = \frac{y_0 + y_2 - 2 \cos \omega \Delta t y_1}{2(1 - \cos \omega \Delta t)} = \frac{y_0 + y_2 - 2y_1}{C} + y_1, \quad (8)$$

gdzie: $C = 2(1 - \cos \omega \Delta t)$.

Funkcja (8) realizowana jest przez układ arytmetyczny — por. rys.1. Z równania (8) wynika, że możliwe jest wyznaczenie składowej stałej A_0 sygnału określonego równaniem (1) przy

znajomości 3 kolejnych próbek pobranych w stałym, znanym odstępzie czasu Δt oraz przy znanej pulsacji ω . Nie jest natomiast konieczna znajomość amplitudy A_m badanego przebiegu.

Czas pomiaru t_p określony jest zależnością

$$t_p = 2 \Delta t + t_{ob}, \quad (9)$$

gdzie: t_{ob} — czas obliczeń numerycznych (wykonywanych przez układ arytmetyczny).

Chwila czasowa t_1 może być wybrana dowolnie, natomiast odstęp czasu Δt powinien być dobrany tak, aby przyrost sygnału w rozpatrywanym odstępzie czasu był wystarczająco duży (większy od błędu rozdzielczości przetworników wejściowych układu arytmetycznego).

W powyższych rozważaniach przyjęto, że sygnał badany ma postać opisaną równaniem (1). W oszacowaniu niedokładności pomiaru przedstawionym w dalszych rozważaniach pominięto wpływ wyższych harmonicznych, gdyż zakłada się, że metoda będzie stosowana do badania obiektów przy użyciu standardowych sygnałów o przebiegu sinusoidalnym.

W celu oszacowania niedokładności metody wyznaczono różniczkę zupełną równania (8). Po przejściu na przyrosty skończone otrzymano

$$\Delta A_0 = \left| \frac{\partial A_0}{\partial y_0} \right| |\Delta y_0| + \left| \frac{\partial A_0}{\partial y_1} \right| |\Delta y_1| + \left| \frac{\partial A_0}{\partial y_2} \right| |\Delta y_2| + \left| \frac{\partial A_0}{\partial C} \right| |\Delta C|, \quad (10)$$

gdzie: Δy_0 , Δy_1 , Δy_2 — niedokładności bezwzględne wyznaczenia poszczególnych próbek, ΔC — niedokładność bezwzględna stałej C (określonej w równaniu (8)).

Przyjmując $|\Delta y_0| = |\Delta y_1| = |\Delta y_2| = \Delta y$ oraz $C < 2$ (por. równanie (8)), równanie (10) sprowadza się do postaci

$$\Delta A_0 = \frac{4 - C}{C} \Delta y + \delta_c A_0. \quad (11)$$

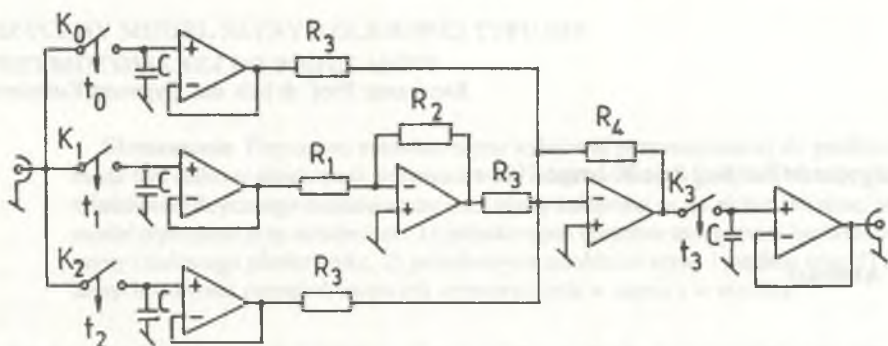
Uwzględniając, że $C = 2(1 - \cos \omega \Delta t)$, z równania (11) wyznaczono błąd względny δA_0 składowej stałej

$$\delta A_0 = \frac{\Delta A_0}{A_0} = \left[\frac{1 + \cos \omega \Delta t}{1 - \cos \omega \Delta t} \right] \frac{\Delta y}{A_0} + \delta_c. \quad (12)$$

Dla odstępów czasu Δt dziesięciokrotnie mniejszego niż okres badanego sygnału oraz typowych błędów przetworników A/C można oszacować wartość błędu δA_0 na kilka procent.

Weryfikację doświadczalną przedstawionej metody przeprowadzono dwoma sposobami. Sposób pierwszy polegał na spróbkowaniu przebiegu sinusoidalnego z nieznaną składową stałą, a następnie wyznaczeniu składowej stałej metodą uśrednienia za okres. Jednocześnie dla przypadkowo wybranych chwil czasu wyznaczono składową stałą przedstawioną metodą. Wyniki

charakteryzowały się rozrzutem wokół wartości uśrednionej ok. 5% tej wartości. Ze względu na rozdzielność 11-bitowego przetwornika A/C przyjęto odstęp czasu Δt równy 0,5 s uzyskano czas pomiaru ok. 1 s. Przy częstotliwości badanego przebiegu 0,1 Hz uzyskano dziesięciokrotne skrócenie czasu pomiaru. Drugi sposób weryfikacji polegał na wykorzystaniu analogowego układu realizującego równanie (8). Na wejście układu (przedstawionego na rys.3) podano przebieg sinusoidalny ze znaną składową stałą.



Rys.3. Schemat ideowy układu z analogowym układem arytmetycznym

Fig.3. Schematic diagram of the circuit with analog arithmetic unit

Próbkowanie przebiegu odbywało się w układach złożonych z kluczy (k_0 , k_1 , k_2), kondensatorów (C_1 , C_2 , C_3) oraz wtórników. Rolę układu arytmetycznego z rys.1 pełnią wzmacniacze prądu stałego, których wzmacnienie ustalają stosunki rezystancji R_2/R_1 i R_4/R_3 . Klucz K_3 , kondensator C_3 oraz wtórnik stanowią pamięć analogową podtrzymującą wyznaczoną wartość składowej stałej. Rolę układu sterowania pełni licznik pierścieniowy sterujący pracą kluczy. Wyniki pomiaru charakteryzowały się rozrzutem kilku procent wokół wartości zadanej składowej stałej.

3. WNIOSKI

Przedstawiona metoda umożliwia wyznaczenie składowej stałej w czasie krótszym niż okres badanego przebiegu. Jej realizacja zarówno układowa, jak i algorytmiczna jest prosta. Metoda może być wykorzystana do bieżącej korekcji błędów pochodzących od składowej stałej w metodach pomiaru przesunięcia fazowego i amplitudy przy infraniskich częstotliwościach. Ponadto metoda może służyć do kompensacji składowej stałej sygnałów wyjściowych generatorów wolnych przebiegów.

LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1991.
2. Szadkowski B., Cichy A.: Metoda szybkiego pomiaru przesunięcia fazowego sygnałów sinusoidalnych o infraniskiej częstotliwości. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 136, Gliwice 1994.
3. Copronijuk P.M., Kowal L.A., Cybulski B.C.: Amplitudno-fazowyje izmierienija w diapazonie infraniskich czastot. Naukowa dumka, Kijew 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 lutego 1996 r.

Abstract

The idea of determining of infra-low frequency sinusoidal signal constant component has been presented in this paper. The block diagram of method has been shown in Fig.1. The principle of method is based on triple sampling of sinusoidal signal $A(t)$ at any moment of time. The illustration of sampling has been shown in Fig.2. After sampling, the value of constant component is calculated according to the formula (8). Time necessary for measurement process depends on sampling and conversion time, intervals between successive samples and computing time. The total time of measurement can be several times shorter than infra-low frequency signal period ($0,1 \div 1000$ s).

The function (8) has been taken as the basis of error estimation. The total differential of this function has been determined and the error function (12) has been estimated. The error function depends on sampling errors, sampling intervals and computing errors. The presented idea has been preliminarily verified and maximal error value has been estimated as about 5%.

The idea enables to determine the constant component of infra-low frequency sinusoidal signal during the time which is several times shorter than the typical measurement time.