ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: ELEKTRYKA z. 158 Nr kol. 1368

Adam CICHY
Brunon SZADKOWSKI

# METODA SZYBKIEGO POMIARU SKŁADOWEJ STAŁEJ SYGNAŁÓW SINUSOIDALNYCH O INFRANISKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę szybkiego pomiaru składowej stałej sygnałów sinusoidalnych o infraniskich częstotliwościach ($10^{-3}$-10 Hz). Metoda polega na wykorzystaniu pewnych układów przesuwników fazowych, zbudowanych ze wzmacniaczy operacyjnych. Przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego oraz wyprowadzono równanie przetwarzania. Przedstawiono również wyniki weryfikacji doświadczalnej.

# FAST METHOD OF MEASUREMENT OF INFRA-LOW FREQUENCY SINUSOIDAL SIGNAL OFFSET

**Summary**. The idea of fast measurement of the infra-low frequency ($10^{-3}$-10 Hz) sinusoidal signal offset has been presented. The idea is based on properties of the typical phase shifters built of op-amps. The block diagram of circuit has been presented and conversion equation has been derived. The experimental verification has been given.

Składowa stała związana z przebiegami o częstotliwościach ($10^{-3}$-10) Hz (zwanymi częstotliwościami infraniskimi) utrudnia, a często uniemożliwia pomiary wielu wielkości elektrycznych. Szczególnie przy pomiarach przesunięcia fazowego we wspomnianym paśmie częstotliwości składowa stała stanowi istotne źródło błędów [1]. Przy pomiarach różnych wielkości metodami polegającymi na pomiarze odstępu czasu pomiędzy chwilami przejścia sygnału przez zero — składowa stała zmienia poziomy odniesienia komparatorów [2]; w metodach opartych na przetwarzaniu próbek sygnału — składowa stała jest próbkowana wraz z sygnałem pomiarowym [3]. Wpływ składowej stałej na wynik pomiaru można wyeliminować poprzez oddzielenie jej od sygnału pomiarowego, jak również poprzez korekcję błędów pochodzących od składowej stałej.

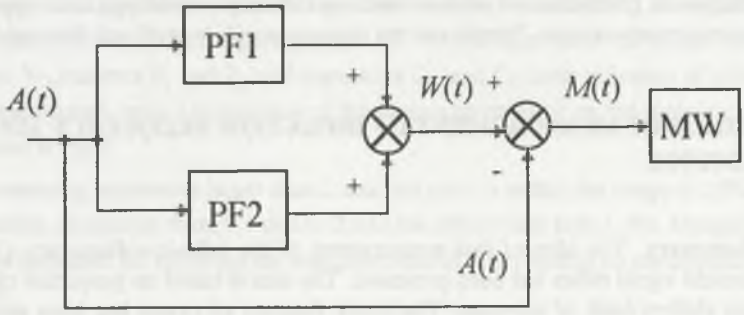
Oddzielenie składowej stałej w zakresie infraniskich częstotliwości za pomocą elementów biernych (kondensatorów, cewek) jest niemożliwe z powodu ograniczonego pasma

przenoszonych częstotliwości tych elementów. Pozostaje więc wykonanie korekcji błędów spowodowanych składową stałą, co wymaga uprzedniego jej zmierzenia.

Pomiar składowej stałej sygnału o infraniskiej częstotliwości jest dość trudny. Zastosowanie metod polegających na uśrednianiu sygnału za okres — w przypadku rozważanych częstotliwości byłoby bardzo niekorzystne, gdyż czas pomiaru będący zazwyczaj pewną wielokrotnością okresu, byłby nadmiernie długi (np. przy $10^{-3}$ Hz wynosiłby kilkadziesiąt minut).

Można stosować metody polegające na próbkowaniu badanego sygnału (w przedziale krótszym niż okres) i obliczaniu składowej stałej z odpowiednich zależności; metodę taką autorzy przedstawili w pracy [4]. W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję innej metody (wykorzystującej pewne układy aktywnych przesuwników fazowych) umożliwiającej szybki pomiar składowej stałej, a więc także bieżącą korekcję błędów spowodowanych przez tę składową.

Schemat blokowy proponowanego układu do pomiaru składowej stałej sygnałów sinusoidalnych o infraniskich częstotliwościach przedstawiono na rys.1.




Rys.1. Schemat blokowy układu do pomiaru składowej stałej sygnałów sinusoidalnych o infraniskich częstotliwościach
Fig.1. Block diagram of the circuit for infra-low frequency sinusoidal signal offset

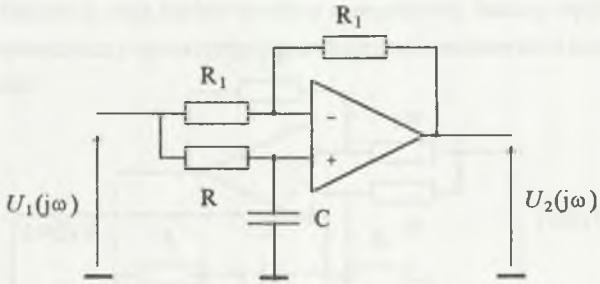
Poszczególne symbole na rys.1 oznaczają:

$A(t) = A_0 + A_m \sin(\omega t)$ — wejściowy sygnał sinusoidalny ze składową stałą $A_0$,
PF1, PF2 — przesuwniki fazowe,
$W(t)$ — suma sygnałów wyjściowych przesuwników fazowych,
$M(t)$ — sygnał wyjściowy układu, będący różnicą sygnałów $W(t)$ i $A(t)$,
MW — miernik wyjściowy.

Przesuwniki fazowe PF1 i PF2 powinny spełniać pewne warunki opisane w dalszym ciągu.

Na rys.2 przedstawiono schemat ideowy przesuwnika fazowego PF1 [5]. Zespolona transmitancja $K_1(j\omega)$ tego przesuwnika opisana jest zależnością:

$$K_1(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC}. \tag{1}$$




Rys.2. Schemat ideowy przesuwnika fazowego PF1
Fig.2. Schematic diagram of the phase shifter PF1

Z kolei na rys.3 przedstawiono schemat ideowy przesuwnika fazowego PF2, którego transmitancja $K_2(j\omega)$ opisana jest zależnością:

$$K_2(j\omega) = \frac{U_4(j\omega)}{U_3(j\omega)} = \frac{1 + j\omega RC}{1 - j\omega RC}. \tag{2}$$

Przesuwniki fazowe PF1 i PF2 charakteryzują się identycznymi modułami transmitancji

$$|K_1(j\omega)| = |K_2(j\omega)| = 1, \tag{3}$$

natomiast ich argumenty są różne i wynoszą odpowiednio:

— dla PF1:

$$\Phi_1(\omega) = -2\,\mathrm{arctg}(\omega RC), \tag{4}$$

— dla PF2:

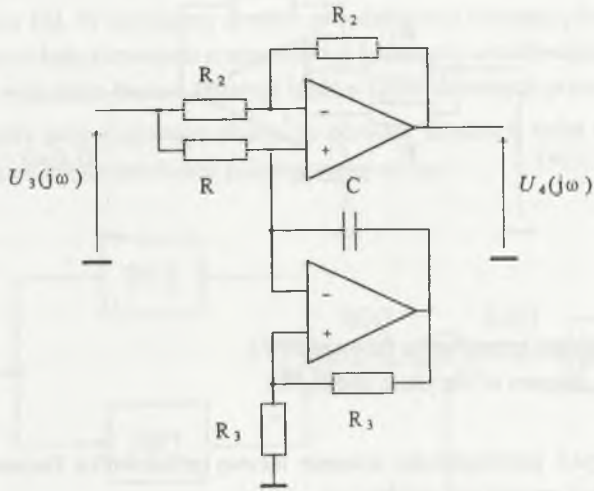
$$\Phi_2(\omega) = 2\,\mathrm{arctg}(\omega RC). \tag{5}$$

Jeżeli elementy przesuwników fazowych PF1 i PF2 zostaną dobrane tak, aby:

$$\omega RC = \frac{\sqrt{3}}{3}, \tag{6}$$

wówczas

$$\Phi_1(\omega) = -\Phi_2(\omega) = \frac{\pi}{3}. \tag{7}$$




Rys.3. Schemat ideowy przesuwnika fazowego PF2
Fig.3. Schematic diagram of the phase shifter PF2

Powracając do układu z rys.1 — sygnał $W(t)$ będący sumą sygnałów wyjściowych przesuwników PF1 i PF2, opisany jest po uwzględnieniu równań (6) i (7) zależnością:

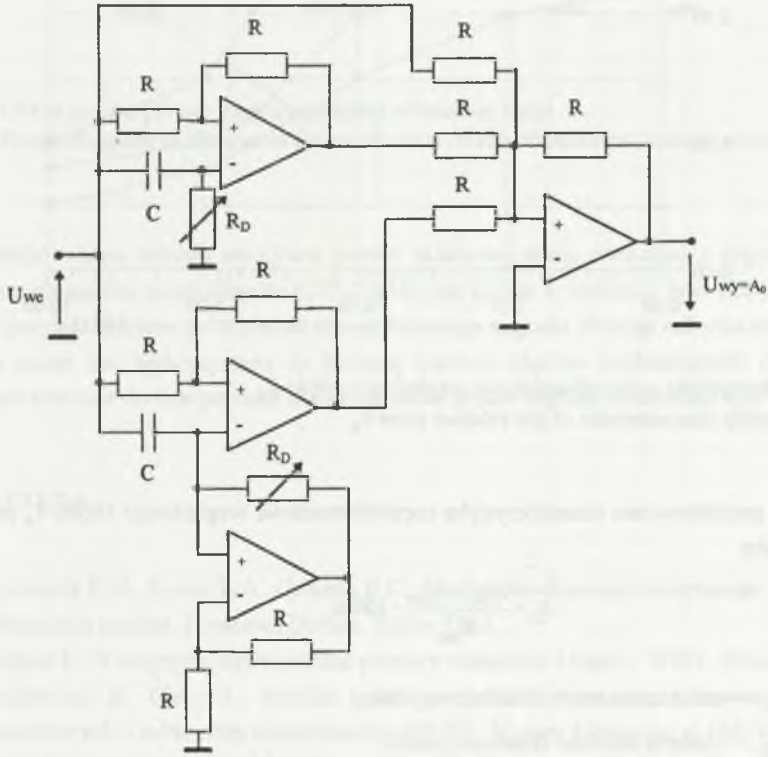
$$W(t) = A_0 + A_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) + A_0 + A_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{3}) = 2A_0 + A_m \sin\omega t, \tag{8}$$

natomiast miernik wyjściowy mierzy sygnał:

$$M(t) = W(t) - A(t) = A_0. \tag{9}$$

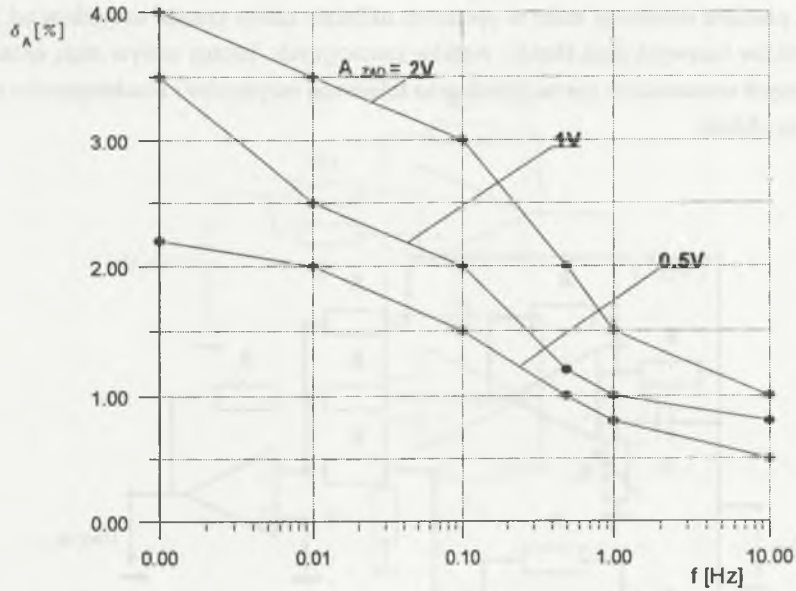
Z równania (9) wynika, że układ przedstawiony na rys.1 pozwala na bieżący, praktycznie bezzwłoczny pomiar interesującej nas składowej stałej związanej z sygnałem sinusoidalnym. Właściwość ta jest szczególnie istotna przy pomiarach w paśmie częstotliwości infraniskich. Należy zwrócić uwagę, że w opisanej metodzie zakłada się znaną częstotliwość badanego sygnału, co jest konieczne dla spełnienia warunku (6). Ewentualny pomiar infraniskiej częstotliwości wymagałby zastosowania specjalnych, odpowiednio szybkich metod pomiarowych.

Błąd pomiaru składowej stałej w opisanym układzie zależy przede wszystkim od błędów przesuwników fazowych oraz błędów węzłów sumacyjnych. Istotny wpływ mają właściwości zastosowanych wzmacniaczy operacyjnych oraz tolerancje rezystorów i kondensatorów użytych do budowy układu.




Rys.4. Schemat ideowy modelu układu
Fig.4. Schematic diagram of the circuit model

Na rys.4 przedstawiono schemat ideowy zrealizowanego modelu omawianego układu pomiarowego. Do budowy wykorzystano wzmacniacze operacyjne OP 07 [6], rezystory R o wartości 100 kΩ i tolerancji ± 1%, kondensatory C o wartości 4.7 μF i tolerancji ± 0,1% oraz rezystory dekadowe $R_D$ typu RD161 (0÷10 MΩ kl. 0.2).




Rys.5. Charakterystyka częstotliwościowa względnego błędu $\delta_A$
Fig.5. Frequency characteristic of the relative error $\delta_A$

Na rys.5 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową względnego błędu $\delta_A$ pomiaru składowej stałej

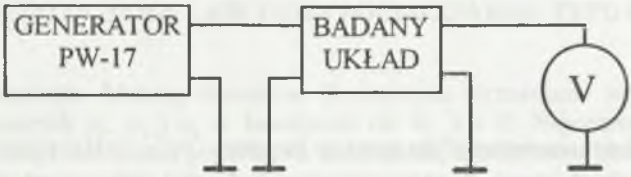
$$\delta_A = \frac{A_{ZM} - A_{ZAD}}{A_{ZAD}} \cdot 100\%, \tag{10}$$

(gdzie: $A_{ZM}$ — zmierzona wartość składowej stałej,

$A_{ZAD}$ — zadana wartość składowej stałej).

Charakterystykę z rys.5 wyznaczono w układzie przedstawionym na rys.6 dla kilku wartości składowej stałej. Amplituda przebiegu sinusoidalnego pozostawała stała i wynosiła 2V. Napięcie stałe $A_{ZAD}$ było zadawane na wyjściu generatora-syntezera PW-17, natomiast do pomiaru napięcia $A_{ZM}$ zastosowano woltomierz V-640.

Wartość błędu $\delta_A$ zależy od stosunku składowej stałej do amplitudy badanego sygnału, jak również od częstotliwości tego sygnału. Częstotliwość wpływa na dokładność wzorcowania przesuwników fazowych — np. przy częstotliwości 0.01 Hz błąd wzorcowania wynosi ok. 1°, a przy częstotliwości 10 Hz ok. 0.2°. Maksymalna wartość błędu $\delta_A$ w zrealizowanym układzie wynosiła 4%; zmniejszenie tego błędu jest możliwe i zależy przede wszystkim od jakości zastosowanych elementów.




Rys.6. Układ do weryfikacji metody pomiaru składowej stałej
Fig.6. Block diagram of the circuit for verification of the offset measurement method

Przedstawiona metoda umożliwia pomiar składowej stałej związanej z sygnałem sinusoidalnym o infraniskiej częstotliwości ($10^{-3}$-10) Hz, jest prosta w realizacji oraz charakteryzuje się czasem pomiaru znacznie krótszym od okresu badanego sygnału. Pomiar odbywa się na bieżąco; metoda może być wykorzystana do bieżącej korekcji błędów pochodzących od składowej stałej, jak również do kompensacji składowej stałej źródeł sygnału sinusoidalnego.

## LITERATURA

1. Sopronijuk P.M., Kowal L.A., Cybulski B.C.: Amplitudno-fazowyje izmierienija w diapazonie infranizkich czastot. Naukowa Dumka, Kijów 1983.
2. Holejko K.: Precyzyjne elektroniczne pomiary odległości i kątów. WNT, Warszawa 1987.
3. Szadkowski B., Cichy A.: Metoda szybkiego pomiaru przesunięcia fazowego sygnałów sinusoidalnych o infraniskiej częstotliwości. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z.136, Gliwice 1994.
4. Cichy A., Szadkowski B.: Metoda wyznaczania składowej stałej sygnałów sinusoidalnych o infraniskich częstotliwościach ($10^{-3}$-10) Hz. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z.156, Gliwice 1996.
5. Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowania wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.

6. OP 07. Ultra-Low Offset Voltage Operational Amplifier. Analog Devices Amplifier Reference Manual 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do Redakcji dnia 16 maja 1997

**Abstract**

The idea of fast measurement of the infra-low frequency ($10^{-3}$ - 10 Hz) sinusoidal signal offset has been presented in the paper. The idea is based on properties of the typical phase shifters built of op-amps. The circuit transfer functionis given by the relationship (9). The phase shifts of the phase shifters are equal to - $\pi/3$ for the given and known frequency. The output signals of the shifters are summed in the circuit shown in Fig.1. Next the input signal is subtracted. The signal W equal to the offset is the circuit output signal. The circuit operates in real time, which enables to use it for measurements at grequecies ranging from $10^{-3}$ Hz to 10 Hz. This has been proved by the experimental veryfication. The idea con be applied to elimination of the offset of sinusoidal signal sources or to real-time correction of the errors caused by the offset.