

Adam CICHY
Brunon SZADKOWSKI

PRZESUWNIK FAZOWY $\pm \pi/2$ NIEZALEŻNY OD CZĘSTOTLIWOŚCI PRZEZNACZONY DO PRACY W PAŚMIE INFRANISKICH CZĘSTOTLIWOŚCI $10^{-3} \div 10$ Hz

Streszczenie. W artykule przedstawiono pewną koncepcję przesuwника fazowego $\pm \pi/2$ niezależnego od częstotliwości (zachowującego amplitudę sygnału wejściowego), przeznaczonego do pracy w paśmie częstotliwości infraniskich. Przesuwnik składa się z bloku przesuwającego fazę niezależnie od częstotliwości o kąt $\pm \pi/2$ (o zależnej od częstotliwości amplitudzie sygnału wyjściowego) oraz z bloku częstotliwościowego korektora amplitudy. Przedstawiono realizację układową oraz wyniki weryfikacji doświadczalnej.

FREQUENCY-INDEPENDENT $\pm \pi/2$ PHASE SHIFTER FOR INFRA-LOW FREQUENCY RANGE (10^{-3} -10) Hz

Summary. The idea of a frequency-independent $\pm \pi/2$ phase shifter for infra-low frequency range $10^{-3} \div 10$ Hz which keeps the input signals amplitude has been presented in the paper. The phase shifter consists of a frequency-independent $\pm \pi/2$ phase shifting block (with frequency-dependent output signal amplitude) and a frequency-dependent amplitude corrector. The circuit realisation and results of experimental verification have been presented, too.

1. WPROWADZENIE

Przesuwniki fazowe sygnałów sinusoidalnych o kąt fazowy $\pm \pi/2$ stosowane są w układach przeznaczonych do pomiarów mocy, składowych immitancji, badań błędów wzorców przedkładni i innych. Właściwością większości przesuwników fazowych jest zależność przesunięcia fazowego, jak również amplitudy, od częstotliwości sygnału. W niektórych układach po-

miarowych niezbędne są przesuwniki fazowe w pełni niezależne od częstotliwości, tzn. takie, w których zarówno przesunięcie fazowe, jak i amplituda nie są funkcjami częstotliwości.

Rozwiązania przesuwników fazowych niezależnych od częstotliwości wymagają na ogół uśrednienia sygnału za okres [1, 2, 3, 4], co przy częstotliwościach infraniskich może znacznie utrudniać lub wręcz uniemożliwiać ich zastosowanie. Poniżej przedstawiono rozwiązanie przesuwnika fazowego nie wymagającego uśredniania, w którym sygnał wyjściowy jest przesunięty o kąt fazowy $+\pi/2$ w stosunku do sygnału wejściowego oraz zachowana jest amplituda sygnału wejściowego. W podobny sposób można zrealizować przesuwnik fazowy $-\pi/2$. Do budowy układu można wykorzystać analogowe, wielofunkcyjne układy scalone.

2. OPIS UKŁADU

Przedstawiony na rys.1 schemat przesuwnika fazowego $+\pi/2$ składa się z dwóch wewnętrznych przesuwników fazowych PF1 i PF2 o zespolonych transmitancjach odpowiednio:

– dla PF1:

$$K_1(j\omega) = 1e^{j\alpha(\omega)}, \quad (1)$$

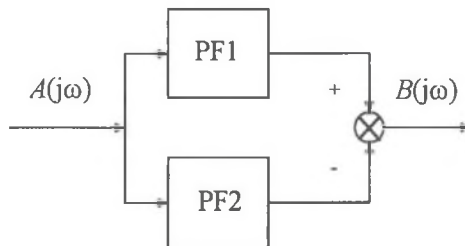
– dla PF2:

$$K_2(j\omega) = 1e^{-j\alpha(\omega)}, \quad (2)$$

gdzie: $\alpha(\omega)$ – kąt przesunięcia fazowego zależny od częstotliwości.

Układ z rys.1 ma wypadkową transmitancję opisaną zależnością:

$$K_s(j\omega) = \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} = 1e^{j\alpha(\omega)} - 1e^{-j\alpha(\omega)} = 2 \sin \alpha(\omega) e^{j\pi/2}, \quad (3)$$



Rys.1. Schemat blokowy przesuwnika fazowego $+\pi/2$

Fig.1. Block diagram of $+\pi/2$ phase-shifter

Z równania (3) wynika, że przedstawiony na rys.1 układ przesuwania sinusoidalny sygnał wejściowy o kąt fazowy $+\pi/2$ niezależnie od częstotliwości, natomiast wzmocnienie układu jest funkcją częstotliwości.

Dołączenie do wyjścia układu z rys.1 bloku o transmitancji

$$K_k(j\omega) = \frac{1}{2 \sin \alpha(\omega)}, \quad (4)$$

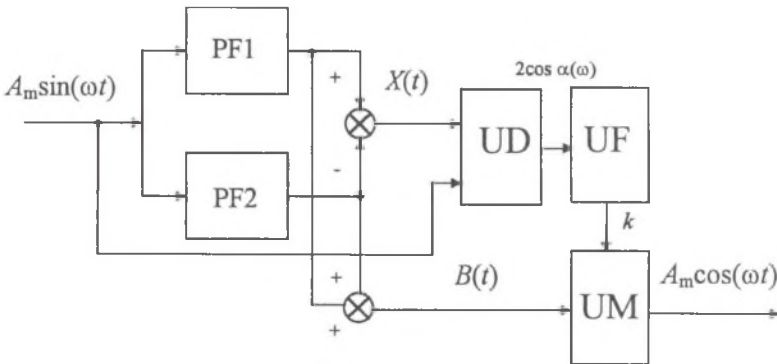
spowoduje, że wypadkowa transmitancja $K_s(j\omega) \cdot K_k(j\omega)$ będzie równa transmitancji idealnego przesuwника fazowego $+\pi/2$

$$K_s(j\omega)K_k(j\omega) = 1e^{j\pi/2}. \quad (5)$$

Transmitancja $K_k(j\omega)$ jest rzeczywistą funkcją częstotliwości, zatem dołączenie bloku korektora amplitudy opisanego równaniem (4) jest równoznaczne z pomnożeniem sygnału $B(t)$ przez współczynnik k opisany zależnością:

$$k = \frac{1}{2 \sin \alpha(\omega)}. \quad (6)$$

Na rys.2. przedstawiono schemat blokowy przesuwника z korektorem amplitudy.



Rys.2. Schemat blokowy przesuwника $+\pi/2$ z korektorem amplitudy

Fig.2. Block diagram of $+\pi/2$ phase-shifter with amplitude corrector

Sygnał $X(t)$ opisuje równanie:

$$X(t) = A_m \sin(\omega t + \alpha(\omega)) - A_m \sin(\omega t - \alpha(\omega)) = 2A_m \cos \alpha(\omega) \sin \omega t. \quad (7)$$

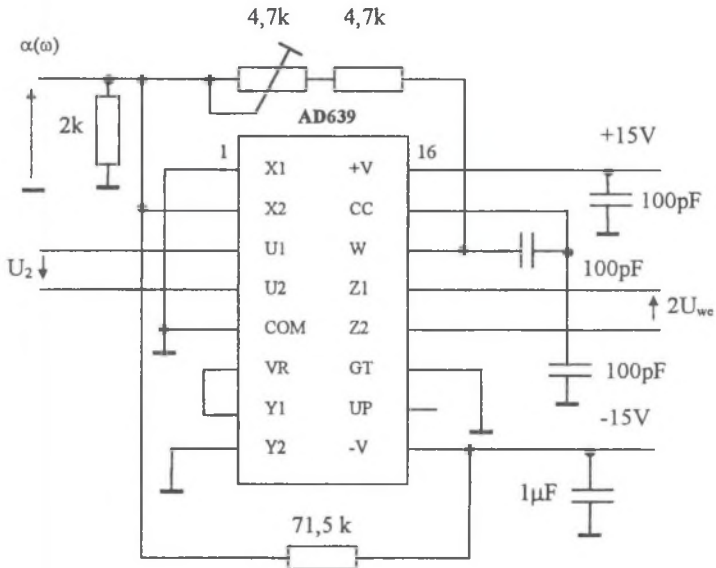
Następnie sygnał $X(t)$ jest dzielony w układzie dzielącym UD przez sygnał $A(t) = A_m \sin \omega t$:

$$\frac{X(t)}{A(t)} = 2 \cos \alpha(\omega). \quad (8)$$

Ostatecznie układ funkcyjny UF wyznacza na podstawie stosunku (8) współczynnik k , przez który w układzie UM mnożony jest sygnał $X(t)$:

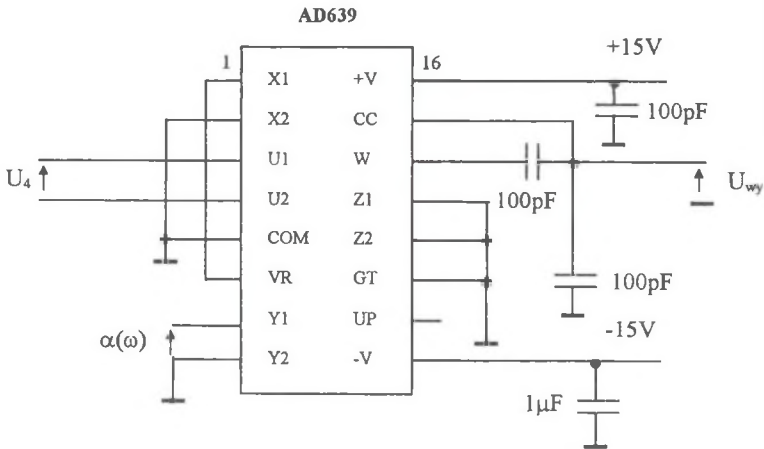
$$k = \frac{1}{2 \sin(\arccos X(t)/2A(t))}. \quad (9)$$

Na rys.3 zobrazowano przykładową realizację bloku UF przedstawionego na rys.2 korektora amplitudy. Do budowy tego układu wykorzystano scalone, trygonometryczne układy funkcyjne AD 639 [5]. Szczegółowy opis realizacji opisanego układu zawarto w pracy [6].

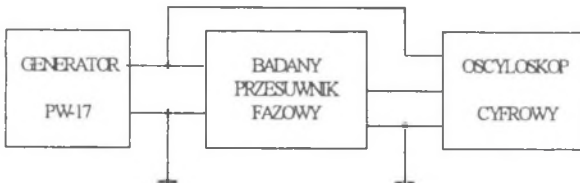


Rys.3. Schemat ideowy układu realizującego funkcję $\arccos U_2/2U_{we}$

Fig.3. Application diagram of an „ $\arccos U_2/2U_{we}$ ” function converter

Rys.4. Schemat ideowy układu realizującego funkcję $U_4/2\sin\alpha(\omega)$ Fig.4. Application diagram of a „ $U_4/2\sin\alpha(\omega)$ ” function converter

Weryfikację opisanego przesuwника fazowego (rys.2) przeprowadzono w układzie przedstawionym na rys.5 [6]. Sygnał sinusoidalny o częstotliwości infraniskiej z generatora PW-17 podano na wejście badanego przesuwника fazowego oraz na wejście kanału 1 oscyloskopu cyfrowego. Sygnał wyjściowy badanego przesuwника podano na wejście kanału 2 oscyloskopu. Pomiaru przesunięcia fazowego oraz stosunku amplitud sygnałów wejściowego i wyjściowego dokonywano przy użyciu oscyloskopu.



Rys.5. Układ do weryfikacji przesuwника fazowego niezależnego od częstotliwości

Fig.5. A circuit for the frequency-independent phase-shifter verification

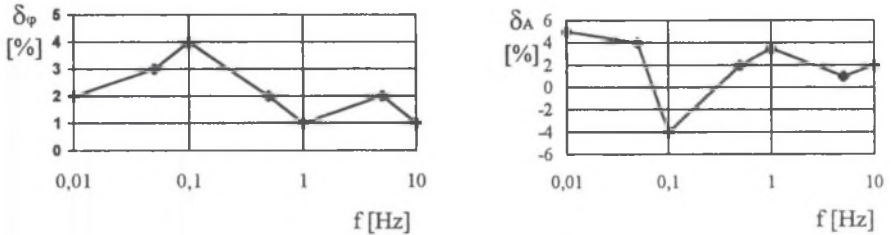
Na rys.6 przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe (dla wybranych częstotliwości z zakresu 0,001-10 Hz) względnego błędu kąowego δ_φ zdefiniowanego jako

$$\delta_\varphi = \frac{\Delta_\varphi - \pi/2}{\pi/2} = \frac{2\Delta_\varphi}{\pi} - 1, \quad (10)$$

gdzie: Δ_φ – zmierzone przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami $A(t)$ i $B(t)$; oraz błędu amplitudowego δ_A zdefiniowanego jako

$$\delta_A = \frac{\frac{A_{\max}}{B_{\max}} - 1}{1} = \frac{A_{\max}}{B_{\max}} - 1, \quad (11)$$

gdzie: A_{\max} – zmierzona amplituda sygnału $A(t)$, B_{\max} – zmierzona amplituda sygnału $B(t)$.



Rys.6. Charakterystyki częstotliwościowe błędu kąowego δ_φ oraz błędu amplitudowego δ_A
Fig 6. Characteristics of the phase and amplitude errors versus frequency

3. PODSUMOWANIE

Przedstawiony układ realizuje stałe przesunięcie fazowe sygnału sinusoidalnego o kąt fazowy $\pm \pi/2$, zachowując amplitudę sygnału wejściowego. Układ nie wymaga uśredniania sygnału za okres, co pozwala na zastosowanie go jako elementu układów pomiarowych pracujących w paśmie infraniskich częstotliwości. Uzyskane wyniki doświadczalne potwierdzają słuszność przedstawionej koncepcji. Dalsze prace nad układem powinny być kontynuowane; niezbędna jest poprawa dokładności układu, a także zbadanie wpływu wyższych harmonicznych oraz składowej stałej na pracę układu.

LITERATURA

1. Augustyn J.: Przesuwnik fazy sygnału sinusoidalnego o kąt $\pm\pi/2$ niezależny od częstotliwości. ZN Pol. Śl. ser. „Elektryka” z.134, Gliwice 1994.
2. Augustyn J.: Układ przesuwający fazę sygnału sinusoidalnego o kąt $\pm\pi/2$ niezależnie od częstotliwości sygnału. Projekt wynalazczy nr P-292314 z 6.11.1991.
3. Karybakas C.A., Micholitsis G.A.: A circuit for constant phase shift using a narrow pulse duty cycle all-pass filter. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement IM.39 no. 4, 1990.
4. Met A., Kampik M.: Przesuwnik fazowy o przesunięciu fazy niezależnym od częstotliwości. ZN Pol. Śl. ser. „Elektryka” z.119, Gliwice 1991.
5. AD 639 Universal Trigonometric Function Converter. Analog Devices Data Sheet 1992.
6. Kaim A.: Przesuwnik fazowy $\pm\pi/2$ niezależny od częstotliwości, przeznaczony do pracy przy infraniskich częstotliwościach. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998, wykonana pod kierunkiem B. Szadkowskiego i A. Cichego.

Recenzent: Dr hab. inż. Janusz GAJDA

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 czerwca 1999 r.

Abstract

$\pm\pi/2$ phase shifters are typically applied in measurement of power, impedance components, transformation ratio standard error etc. The property of most phase-shifters is phase-shifting dependent on the signal amplitude and frequency. In some measurement circuits it is necessary to apply frequency independent phase-shifters. The frequency-independent $\pm\pi/2$ phase shifters need typically a signal averaging for its period, which causes some problems in infra-low frequency range. The idea of a frequency-independent $\pm\pi/2$ phase shifter for infra-low frequency range $10^{-3} + 10$ Hz, which carries input signal amplitude and does not need a signal averaging is presented below. In similar way a $-\pi/2$ phase-shifter is constructed. Analogue, multifunction integrated circuits can be used in this phase-shifter.

The block diagram of the frequency-independent $\pm\pi/2$ phase shifter shown in Fig.1 consists of two internal phase-shifters PF1 and PF2 with the complex transmittances described by the equations (1), (2) (where $\alpha(\omega)$ – frequency dependent phase angle), respectively. The circuit shown in Fig.1 has the resultant transmittance described by the equation (3). The equation (3) shows that the circuit from Fig.1 shifts the sinusoidal input signal by the $\pm\pi/2$ phase angle which is not frequency dependent, whereas the amplitude gain of the circuit is a function of frequency. The block shown in Fig.1 with the transmittance described by the equation (4) is connected to the circuit output and causes that the resultant transmittance equals the transmittance of the ideal $\pm\pi/2$ phase shifter which is described by the equation (5). The $K_k(j\omega)$ transmittance is a frequency real function, so connecting the amplitude correction block de-

scribed by the equation (4) is identical to the $B(t)$ signal multiplication by the k coefficient described by the equation (6).

The block diagram of the frequency-independent $\pm\pi/2$ phase shifter with an amplitude corrector is shown in Fig.2. The signal $X(t)$ is described by the equation (7)

The $X(t)$ signal is divided in a dividing circuit UD by the signal $A(t)$ described by the equation (8). Finally, the function circuit UF calculates on the base of the relation (8) the k coefficient, by which the signal $X(t)$ is multiplied in the multiplication circuit UM as it is described by the relation (9).

The experimental verification has been made in the circuit shown in Fig.4 [6]. The frequency characteristics (in range $0,001 \div 10$ Hz) of the relative angle error δ_φ defined by the relation (9) where: Δ_φ – the measured phase-shift between $A(t)$ and $B(t)$ signals; as well as the amplitude error δ_A defined by the relation (10) where: A_{\max} – the measure amplitude of the $A(t)$ signal are shown in Fig.5.

The presented frequency-independent $\pm\pi/2$ phase shifter carries the input signal amplitude and can be applied in the infra-low frequency $10,3 \div 10$ Hz because it does not need a signal averaging. The circuit realisation and results of experimental verification prove the above statement.