ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: ELEKTRYKA z. 144 Nr kol. 1291

Brunon SZADKOWSKI
Adam CICHY

MIERNIK PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO SYGNAŁÓW SINUSOIDALNYCH O INFRANISKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

Streszczenie. W artykule przedstawiono pewną koncepcję budowy miernika przesunięcia fazowego, w której wykorzystuje się układy dzielące. Proponowane rozwiązanie miernika jest przeznaczone przede wszystkim do pomiarów przy infraniskich częstotliwościach (10^{-3} - 10) Hz badanych sygnałów. W artykule objaśniono zasadę działania takiego miernika oraz wyprowadzono odpowiednie zależności. Ponadto przedstawiono opis zrealizowanego modelu miernika.

METER OF PHASE SHIFT OF INFRA-LOW FREQUENCY SINUSOIDAL SIGNALS

Summary. The idea of construction of a phase shift meter has been presented in the paper. Dividing circuits have been used in this meter. This type of meter is especially useful for making measurements of infra-low frequency signals (from 10^{-3} Hz to 10 Hz). The principle of operation of the meter has been described and appropriate relationships have been derived in the paper. The executed model of the meter has been presented in the paper as well.

1. WPROWADZENIE

Sygnały sinusoidalne o infraniskiej częstotliwości, np. (10^{-3} - 10) Hz są między innymi stosowane do badań dielektryków [2], [3], [8]. Odpowiednie układy pomiarowe budowane są najczęściej jako układy wychyleniowe, wykorzystujące różne techniki detekcji fazoczułej lub też jako układy zerowe — głównie mostkowe lub kompensacyjne [8], [4]. Każdy z wymienionych układów pomiarowych charakteryzuje się pewnymi wadami i nadal aktualne jest poszukiwanie korzystniejszych rozwiązań. Wydaje się, że interesujące mogą tutaj być

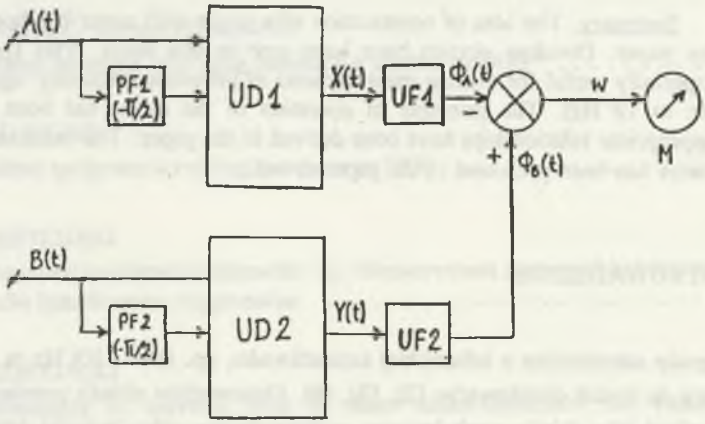
tzw. układy quasi-zrównoważone, zwłaszcza aktywne [5], [6] — i właśnie w tych układach niezbędna jest kontrola przesunięcia fazowego, będąca celem dalszych rozważań.

Zastosowanie klasycznych metod pomiaru (detekcji) przesunięcia fazowego [1] przy infraniskich częstotliwościach nie byłoby wskazane ze względu na długi czas pomiaru, który na ogół jest pewną wielokrotnością okresu badanych sygnałów (np. przy 10^{-3} Hz — czas pomiaru może wynosić ok. 1 godz.).

Opracowana w 1994 roku przez autorów metoda szybkiego pomiaru przesunięcia fazowego sygnałów o infraniskich częstotliwościach [7] pozwala wprawdzie na skrócenie czasu pomiaru do wartości znacznie mniejszej niż 1 okres badanych sygnałów, lecz jest to metoda wymagająca zastosowania mikrokomputera, a więc dość kosztowna. Opisana w dalszym ciągu metoda nie wymaga zastosowania mikrokomputera i może być zrealizowana zarówno technikami analogowymi, jak i cyfrowymi, a co najważniejsze — pozwala również na szybki pomiar, tzn. wynik może być uzyskany w czasie znacznie krótszym niż 1 okres badanych sygnałów.

2. ZASADA DZIAŁANIA MIERNIKA

Na rys.1 przedstawiono schemat blokowy proponowanego miernika umożliwiającego szybki pomiar przesunięcia fazowego sygnałów o infraniskich częstotliwościach.



Rys.1. Schemat blokowy miernika przesunięcia fazowego sygnałów o infraniskiej częstotliwości

Fig.1. Block diagram of infra-low frequency signal phase shift meter

Poszczególne symbole na rys.1 oznaczają:

$A(t) = A_m \sin \omega t$	— pierwszy sygnał wejściowy o amplitudzie A_m i pulsacji ω (w dalszym ciągu przyjęto, że jest to sygnał odniesienia o zerowym kącie fazowym w chwili $t = 0$),
$B(t) = B_m \sin (\omega t + \varphi)$	— drugi sygnał wejściowy o amplitudzie B_m i pulsacji ω, przesunięty w fazie względem przebiegu A(t) o kąt fazowy φ,
PF1, PF2	— przesuwniki fazowe o stałym przesunięciu kątowym: - Π/2,
UD1, UD2	— układy dzielące,
UF1, UF2	— układy funkcyjne (realizujące funkcję arcus tangens),
M	— miernik wyjściowy.

Sygnał sinusoidalny A(t) podawany jest na wejście „licznik" układu dzielącego UD1, natomiast na wejście „mianownik" podawany jest sygnał A(t) przesunięty w fazie o kąt - Π/2. Wówczas na wyjściu układu dzielącego UD1 otrzymujemy sygnał X(t)

$$X(t) = \frac{A_m \sin \omega t}{A_m \sin(\omega t - \frac{\Pi}{2})} = \frac{A_m \sin \omega t}{A_m \cos \omega t} = tg\ \omega t. \tag{1}$$

Następnie sygnał X(t) podawany jest na wejście układu funkcyjnego UF1 (realizującego funkcję arcus tangens), a sygnał wyjściowy z tego układu określony jest zależnością

$$\phi_A(t) = k \text{ arc tg } X(t) = k\ \omega t\ , \tag{2}$$

gdzie: k - stała przetwarzania.

Analogicznie na wyjściu drugiego toru przetwarzania (PF2, UD2, UF2) otrzymywany jest sygnał

$$\phi_B(t) = k(\omega t + \varphi). \tag{3}$$

Sygnał W jest różnicą sygnałów $\phi_B(t)$ i $\phi_A(t)$

$$W = \phi_B(t) - \phi_A(t) = k\omega t + k\varphi - k\omega t = k\varphi, \tag{4}$$

i jest liniową funkcją kąta przesunięcia fazowego φ między badanymi sygnałami A(t) i B(t). Pomiar sygnału wyjściowego $W = k\varphi$ dokonywany jest za pomocą miernika wyjściowego M.

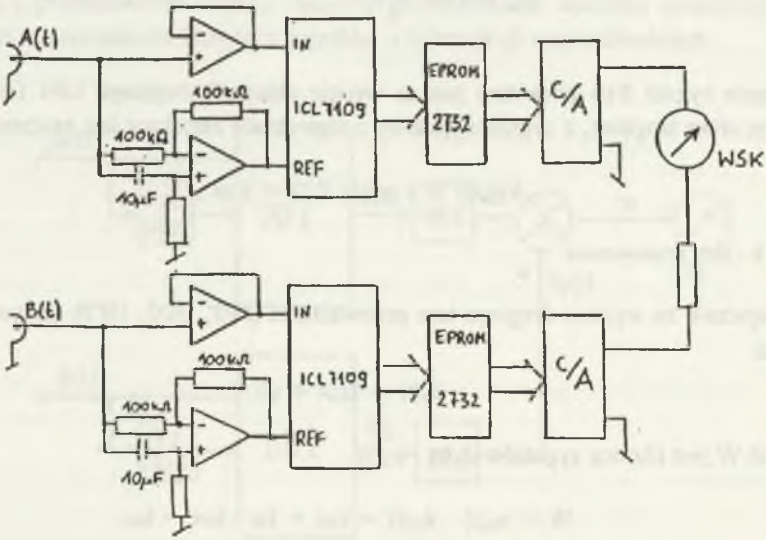
W proponowanej metodzie pomiarowej czas pomiaru zależy głównie od sposobu i szybkości działania układów dzielących UD1, UD2. W przypadku zastosowania

analogowych układów dzielących (np. AD 534 [9]) dzielenie odbywa się na bieżąco — w czasie rzeczywistym.

W przypadku zastosowania cyfrowego układu dzielącego (np. ICL 7109 [10]) czas pomiaru zdeterminowany jest czasem przetwarzania analogowo-cyfrowego. W obydwu przypadkach do uzyskania wyniku nie jest wymagana znajomość amplitud sygnałów A(t) i B(t).

3. OPIS WYKONANEGO MIERNIKA

Na rys.2 przedstawiono schemat ideowy wykonanego modelu miernika przesunięcia fazowego. Sygnał wejściowy A(t) podawany jest przez wtórnik zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym (OP 07 [9]) na wejście IN układu dzielącego (ICL 7109 [10]). Natomiast na wejście REF tego samego układu podawany jest sygnał A(t) przesunięty w fazie o - Π/2 za pomocą przesuwnika fazowego. Sygnał cyfrowy z wyjścia układu dzielącego podawany jest na wejście układu funkcyjnego „arc tg", zbudowanego z pamięci EPROM (2732) oraz przetwornika C/A (AD 7520 [9]). Tor sygnału B(t) zrealizowany został w identyczny sposób. Sygnały wyjściowe obydwu torów podawane są na wskaźnik różnicowy WSK.



Rys.2. Schemat ideowy wykonanego modelu miernika przesunięcia fazowego
Fig.2. Circuit diagram of executed phase shift meter

O dokładności opisanego miernika decydują błędy wnoszone przez przesuwniki fazowe, układy dzielące, układy funkcyjne oraz błędy wskaźnika różnicowego. Zasadnicze znaczenie mają tutaj błędy przesuwników fazowych - zarówno kątowe, jak i amplitudowe. Błędy wnoszone przez pozostałe układy można sprowadzić do wartości pomijalnie małych [9], [10]. W wykonanym modelu miernika (por. rys.2) błąd pomiaru przesunięcia fazowego wynosił kilka stopni kątowych, natomiast czas pomiaru był równy czasom konwersji przetwornika ICL 7109 i wynosił maksymalnie ok. 150 ms, a więc był znacznie krótszy od okresu badanych sygnałów (1 - 100 s).

4. WNIOSKI

Zbudowany model miernika przesunięcia fazowego sygnałów o infraniskich częstotliwościach pozwala na znaczne skrócenie czasu pomiaru (do ok. 150 ms) w stosunku do okresu badanych sygnałów (1 s - 100 s). Dalsze skrócenie czasu pomiaru byłoby możliwe w wypadku zastosowania szybszych przetworników A/C lub przetworników analogowych realizujących operację dzielenia na bieżąco. Zakres pomiaru przesunięcia fazowego w zbudowanym mierniku zawiera się w granicach - $360^0 \div 360^0$ przy niedokładności $\pm 5^0$. Dokładność wykonanego miernika można zwiększyć stosując dokładniejsze przesuwniki fazowe. Zakres częstotliwości jest ograniczony od góry przez szybkość działania układu dzielącego. Powyżej 1 Hz skrócenie czasu pomiaru nie jest szczególnie potrzebne, gdyż czas pomiaru metodami klasycznymi jest już wystarczająco krótki (< 1 s). Miernik może być częścią składową bardziej złożonych układów pomiarowych oraz odznacza się małymi gabarytami i małą masą.

LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1991.
2. von Hippel A.R.: Dielektryki i fale. PWN, Warszawa 1963.
3. Pluciński M., Szadkowska T., Szadkowski B.: O pewnych praktycznych aspektach niskoczęstotliwościowych badań warstwowych materiałów elektroizolacyjnych. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 27, Gliwice 1970.
4. Szadkowski B.: Synteza metod pomiaru immitancji. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, nr 802, s. 93, Gliwice 1984.
5. Szadkowski B.: Quasi-zrównoważone metody pomiaru impedancji. Rozprawy Elektrotechniczne, t. XXI, z. 2, 1985.
6. Szadkowski B.: Pomiar składowych immitancji metodą detekcji stanu $Re(W_1/W_2)=0$. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 108, Gliwice 1989.

7. Szadkowski B., Cichy A.: Metoda szybkiego pomiaru przesunięcia fazowego sygnałów sinusoidalnych o infraniskiej częstotliwości. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 136, Gliwice 1994.
8. Zieleźnik L.: Analiza metod pomiaru dyspersyjnych zmian współczynnika stratności i pojemności dielektryków stałych w zakresie częstotliwości podakustycznych. Rozprawa doktorska, Pol. Śl., Gliwice 1977.
9. ICL 7109 Maxim Integrated Products 1992.
10. Analog Devices. Special Linear Reference Manual 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 kwietnia 1995 r.

Abstract

The idea of a phase shift meter has been presented in the paper. The block diagram of the meter is shown in Fig.1. Two sinusoidal signals are fed to the meter inputs. Each signal is divided into two identical signals, shifted by $\Pi/2$ angle. Divided signals are transformed according to arcus tangent function. The difference between transformed signals is proportional to the phase shift of these signals.

The meter makes possible to measure a phase shift during a short period of time. therefore it is especially useful for making measurments of infra-low freguency signal phase shift (frequency range: 10^{-3} Hz $\div$ 10 Hz). The presented idea has been verified experimentally and a model of the meter has been made. The circuit diagram of the meter is shown in Fig.2.

The proposed idea enables to measure infra-low frequency signal phase shift during the time which is several times shorter than the typical measurement time. The meter is simple to be executed.