

Symulator układu korekty składowej stałej napięcia wejściowego przetwornika „napięcie-częstotliwość” zrealizowany w LabVIEW

Streszczenie. Przetwarzanie napięcia przemiennego przez przetwornik U/f a następnie sygnału częstotliwościowego w przetworniku „częstotliwość-kod” powoduje powstanie błędu uśredniania, którego wartość zależy od amplitudy i częstotliwości sygnału napięciowego. Spadek wartości chwilowej napięcia zwiększa błąd uśredniania. Zwiększenie składowej stałej w sygnale napięciowym powoduje zmniejszenie błędu uśredniania. Artykuł prezentuje program do symulacyjnej analizy metody poprawy dokładności przetwarzania poprzez korektę składowej w sygnale napięciowym.

Abstract. The conversion of the AC voltage by U/f converter and next by “frequency-to-code” converter will cause an averaging error. The value of the averaging error depends on the amplitude and frequency of the input signal. Small value of measured signal increases the averaging error. Increasing the DC component causes dropping of the average error. The article presents developed software, which allow analyze method of the averaging error reducing by the DC component correction. (**LabVIEW implementation DC offset correction circuit in the U/f converter**).

Słowa kluczowe: przetwornik „częstotliwość-kod”, przetwornik „napięcie-częstotliwość”, tor z częstotliwościowym nośnikiem informacji, pomiar częstotliwości.

Keywords: “frequency-to-code converter”, “voltage-to-frequency” converter, slotted line with a frequency carrier of information, frequency measurement.

Wstęp

Artykuł prezentuje program pozwalający na symulacyjną analizę układu poprawy dokładności w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Tego typu tor, ze względu na dużą odporność sygnału częstotliwościowego na zakłócenia oraz dużą liczbę oferowanych czujników z wyjściem częstotliwościowym, jest stosowany w wielu rodzajach pomiarów. Są to między innymi pomiary sejsmiczne, elektrokardiograficzne, pomiary z wykorzystaniem przetworników U/f oraz pomiary radarowe.

W pracy zostanie omówiony tor pomiarowy zawierający szeregowo połączone: przetwornik U/f , przetwornik „częstotliwość – kod” (f/N) oraz układ mikroprocesorowy (μP) pozwalający na sterowanie procesem pomiarowym i akwizycję danych pomiarowych. Konstrukcja przetwornika U/f funkcjonuje w praktyce pomiarowej już od wielu lat, opis działania można znaleźć n.p. w [1, 2]. Zadaniem przetwornika U/f jest przetwarzanie napięcia wejściowego w sygnał wyjściowy o proporcjonalnej do napięcia częstotliwości. Przetwornik f/N przetwarza częstotliwość f_{xi} sygnału dostarczanego na wejście w wartości liczbowe N_{xi} . Sygnał częstotliwościowy jest zazwyczaj ciągiem impulsów, stąd zmienny okres sygnału nazywany jest również czasem międzyimpulsowym T_{xi} . Wartość T_{xi} wyznacza się stosując klasyczną metodę cyfrowego pomiaru przedziału czasu, zmodyfikowaną tak, aby można było mierzyć kolejne przedziały bez utraty informacji. Pomiar czasu T_{xi} polega na liczeniu, jaka liczba N_{xi} impulsów z generatora zegarowego o okresie T_0 zostanie zarejestrowana przez licznik przetwornika f/N w czasie T_{xi} . Wartość T_{xi} wyliczana jest ze wzoru:

$$(1) \quad T_{xi} = T_0 N_{xi} = \frac{1}{f_{xi}}$$

Napięcie wejściowe jest powiązane z częstotliwością sygnału impulsowego zależnością:

$$(2) \quad f_{xi} = S \int_0^{T_{xi}} u(t) dt$$

gdzie S to czułość przetwornika U/f .

Opracowano wiele różnych konstrukcji przetworników f/N [1], można również znaleźć publikacje prezentujące badania nad modyfikacją znanych przetworników i nowymi sposobami przetwarzania częstotliwości w wartości liczbowe [2, 3, 4, 5, 6].

Błąd przetwarzania w torze pomiarowym

W [7] przedstawiono analizę toru pomiarowego z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Problem obliczania błędu dynamicznego jest opisany w [8]. Nie jest możliwym jednoznacznie określić miary błędu dynamicznego. Jednym ze sposobów jest obliczanie błędu jako wartości maksymalnej. Względny błąd maksymalny przetwarzanego napięcia oblicza się z zależności:

$$(3) \quad |\Delta u(t)_{\max}| = |u(t) - u_r(t)|$$

gdzie: $u(t)$ -wartość chwilowa napięcia uzyskana z pomiaru, $u_r(t)$ -wartość chwilowa napięcia rzeczywista.

Tak wyrażoną miarę stosuje się wówczas, gdy zamiarem osoby opracowującej wynik jest sprawdzenie, czy faktyczna wartość błędu podczas całego procesu pomiaru nie przekracza z góry ustalonej wartości maksymalnej [8]. Nie powinno się stosować tej miary błędu do przebiegów impulsowych, ponieważ uzyskana wartość błędu może być równa amplitudzie zadanego przebiegu. Analiza toru z częstotliwościowym nośnikiem informacji wymaga określenia błędu w każdym punkcie przebiegu. Dobór sygnału testującego o kształcie sinusoidalnym:

$$(4) \quad u_x(t) = U_0 + U_m \sin(\Omega t),$$

gdzie: U_0 – składowa stała, U_m – amplituda, Ω - pulsacja przebiegu $u(t)$, t – czas; pozwala zastosować zależność na wartość maksymalną błędu [8]. Względny błąd przetwarzania obliczono jako stosunek błędu bezwzględnego do zakresu zmiany dynamicznej badanego przebiegu. Wyniki pokazały, że dokładność przetwarzania danych w omawianym torze odniesiona do zakresu zmian dynamicznych zależy w znaczący sposób od częstotliwości przebiegu $u(t)$ oraz od czasu międzyimpulsowego T_{xi} .

Przeprowadzone analizy wykazały, że na błąd przetwarzania informacji w omawianym torze najbardziej

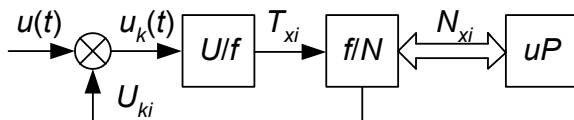
istotny wpływ mają błędy kwantowania δ_k i uśredniania δ_u [7]. Wzrost czasu T_{xi} wywołuje wzrost błędu uśredniania δ_u , natomiast spadek T_{xi} zwiększa błąd kwantowania δ_k . Im mniejsza jest amplituda sygnału napięciowego, tym dłuższy jest czas T_{xi} wytwarzany przez przetwornik U/f (1, 2). Przyjmując że na wejście przetwornika U/f podano sinusoidalnie zmienny sygnał testowy (4), maksymalna wartość względnego błędu przetwarzania w torze jest opisana sumą błędów δ_k i δ_u [9]:

$$(5) \delta_p = \left(\frac{T_0}{T_{xi}} + \left(1 - \frac{\sin(\pi T_{xi} F)}{\pi T_{xi} F} \right) \frac{1}{\frac{U_0}{U_m} + 1} \right) \cdot 100\%$$

Zależność (5) pokazuje, że na wartość wypadkowego błędu przetwarzania mają między innymi wpływ: składowa stała U_0 i amplituda U_m napięcia $u(t)$. Stąd można zaproponować dwa sposoby zwiększenia dokładności przetwarzania w omawianym torze. Pierwszy to zmniejszenie lub wzmocnienie wartości napięcia podawanego na przetwornik U/f . Takie urządzenie byłoby jednak dość wolne z powodu wymuszania stosunkowo częstego doboru zakresu przetwarzania przyrządu. W skrajnym przypadku zmiana zakresu mogłaby dotyczyć nawet kolejnych, następujących po sobie czasów T_{xi} . Z tego powodu do analizy wybrano tor pomiarowy z korektą składowej stałej U_0 [9].

Idea pracy symulatora

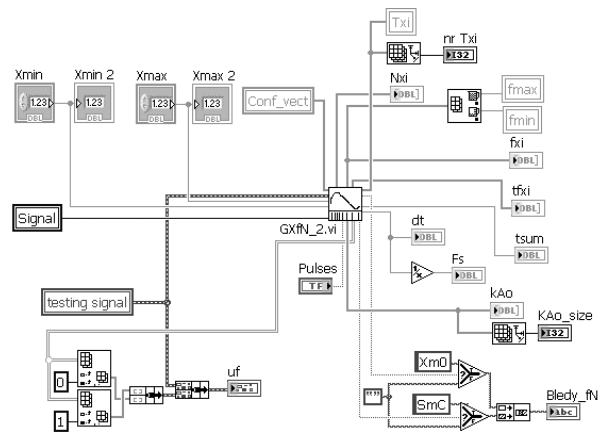
W celu zastosowania w symulacji metody korekty U_0 , dodano do omawianego toru węzeł sumujący napięcie $u(t)$ i napięcie korygujące U_{ki} podane z konwertera f/N . Zmodyfikowany tor pokazano na rysunku 1. Działanie rozpoczyna się od podania na węzeł sumujący napięcia $u(t)$. Wstępnie napięcie U_{ki} jest wyzerowane, stąd napięcie U_{ki} podawane na przetwornik U/f jest równe napięciu $u(t)$. Przetwornik f/N wylicza wartość liczbowa odpowiadającą aktualnie mierzonemu T_{xi} , oraz sprawdza, czy zmierzona wartość chwilowa $u(t)$ nie osiągnęła poziomu poniżej zadanej wartości. W przypadku stwierdzenia, że tak się stało, poprzez sprzężenie zwrotne zostaje podana na węzeł sumujący wartość korygująca U_{ki} . W konsekwencji na układ przetwornika U/f podawane jest napięcie o podwyższonej wartości chwilowej, wymuszając generowanie wyższej częstotliwości sygnału częstotliwościowego (2). Korekta napięcia przetwarzanego przez przetwornik U/f odbywa się tylko po stwierdzeniu zbyt niskiej częstotliwości sygnału częstotliwościowego. W przeciwnym przypadku napięcie korygujące jest odejmowane i na przetwornik U/f podawane jest wyłącznie napięcie mierzone $u(t)$. Rolę układu mikroprocesorowego pełni sterujący podprogramem symulatora program główny.



Rys.1. Struktura symulowanego toru

Symulator

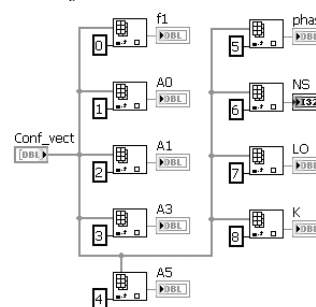
Symulator toru został opracowany w środowisku programistycznym LabVIEW. Program rozpoczyna pracę od odczytania z panelu programu głównego parametrów konfiguracyjnych symulacji. Na rysunku 2 pokazano fragment diagramu programu głównego, ilustrujący przekazywanie informacji pomiędzy programem głównym i podprogramem (GXfN_2.vi).



Rys.2. Współpraca programu głównego z podprogramem symulującym przetwarzanie informacji w torze

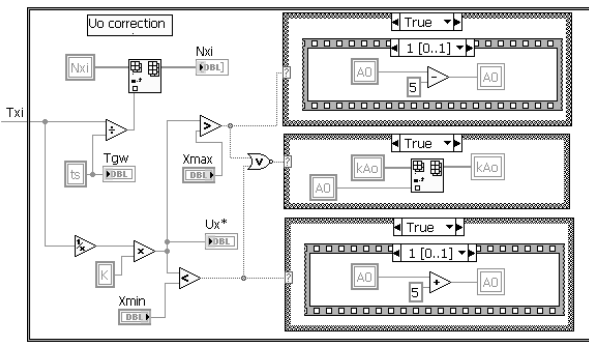
Parametry do przeprowadzenia symulacji są przekazywane przez zmienne lokalne „Conf_vect” – parametry sygnału testowego, „Signal” – kształt sygnału testowego, oraz przez zadajniki „Xmin” i „Xmax” – przekazujące wartości graniczne włączenia i wyłączenia korekty U_0 . Z prawej strony diagramu zamieszczone są zmienne lokalne i wskaźniki odbierające informacje o wynikach symulacji. Ważniejsze z nich to: „Txi” – tablica z wartościami wszystkich obliczonych czasów międzyimpulsowych sygnału częstotliwościowego; „fxi” i „Nxi” – odpowiadające czasem T_{xi} wartości częstotliwości i stanów licznika w symulowanym przetworniku f/N ; „kAo” – tablica zawierająca wartości składowych stałych dodawanych do napięcia $u(t)$.

W podprogramie GXfN_2.vi następuje przypisanie (rys. 3) komórek tablicy „Conf_vect” zmiennym wykorzystywanym przez podprogram. Komórki 0÷7 przekazują parametry sygnału testowego, są to kolejno: „f1” – częstotliwość podstawowej harmonicznej f ; „A0” – wartość składowej stałej; „A1”, „A2”, „A3” – amplitudy pierwszej, trzeciej i piątej harmonicznej; „NS” – liczba wygenerowanych próbek sygnału; „phase” – faza pierwszej harmonicznej; „LO” – wymagana liczba okresów sygnału. Komórka 8 przekazuje stałą przetwarzania „K” przetwornika U/f .



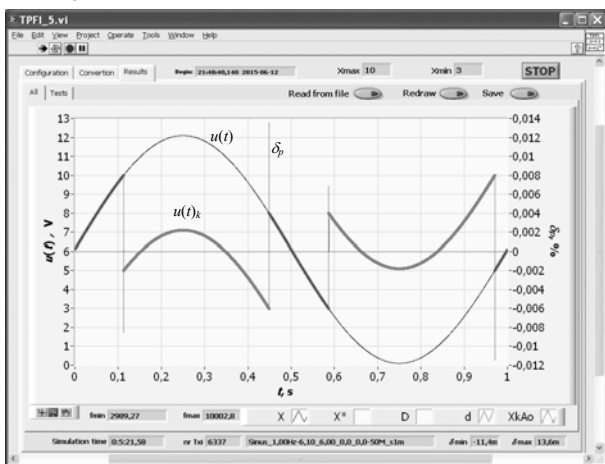
Rys.3. Odczyt konfiguracji symulacji

Wymienione parametry są przekazywane do wirtualnego generatora, który wytwarza kolejne wartości chwilowe przebiegu testowego $u(t)$. Następnym stopniem przetwarzania jest symulator przetwornika U/f [10]. W przetworniku generowane są czasy T_{xi} sygnału impulsowego, które w kolejnym etapie są przetwarzane w wartości liczbowe N_{xi} w symulatorze przetwornika f/N [7]. W celu umożliwienia korekty wartości składowej stałej U_0 kod symulatora przetwornika f/N uzupełniono fragmentem pokazanym na rysunku 4.

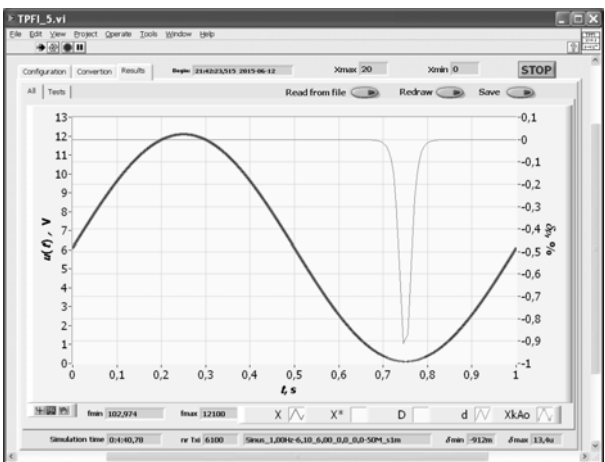


Rys.4. Realizacja korekty składowej stałej

Wstępnie dokonywana jest analiza bieżącej wartości chwilowej napięcia podanego na przetwornik U_{if} . Obliczoną wartość chwilową prezentuje wskaźnik „Ux*”. W przypadku, gdy wartość chwilowa napięcia jest mniejsza od zadanej minimalnej „Xmin”, do U_0 dodawana jest wartość 5 V. W przypadku wartości większej od zadanej maksymalnej „Xmax”, reprezentującej zakres przetwarzania przetwornika U_{if} , od U_0 odejmuje się wartość 5V. Zmieniona wartość składowej stałej jest podawana w kolejnej iteracji, poprzez zmienną lokalną „AO”, do wirtualnego generatora sygnału testowego. W ten sposób jest realizowane sprzężenie pomiędzy konwerterem f/N a wirtualnym generatorem. Wartości składowych stałych dla każdego kroku symulacji są zachowywane w tablicy „kAo” do wykorzystania w końcowej fazie symulacji przy odtwarzaniu przebiegu testowego.



Rys.5. Efekty pracy symulatora



Rys.6. Efekty pracy symulatora bez korekty U_0

Na rysunku 5 pokazano okno interfejsu symulatora prezentujące wyniki symulacji dla przykładowego sinusoidalnego sygnału testowego o parametrach: $U_0=6,1\text{ V}$; $U_m=6\text{ V}$ i $f=1\text{ Hz}$.

Ograniczenie zakresu przetwarzanego napięcia ustawiono na $3\text{ V} \div 10\text{ V}$. Widać, że po osiągnięciu przez wartość chwilową napięcia poziomu 10 V , następuje odjęcie składowej stałej 5 V , a przy osiągnięciu poziomu 3 V ponownie napięcie zostaje dodane. Można więc przyjąć, że opracowany symulator realizuje metodę korekty składowej stałej w napięciu wejściowym przetwornika U_{if} . Dla podanych, przykładowych parametrów symulacji zastosowanie metody korekty składowej stałej spowodowało zmniejszenie maksymalnego błędu przetwarzania z wartości $0,912\%$ do wartości $0,0136\%$ (rys. 5).

Podsumowanie

Opracowany program symulatora pozwala na analizę pracy toru pomiarowego z częstotliwościowym nośnikiem informacji, realizującym metodę korekty składowej stałej. Aplikacja umożliwia sprawdzenie wartości bieżących symulowanych sygnałów w omawianym w torze. Istnieje możliwość sprawdzenia wyniku przetwarzania przebiegów o różnych kształtach i parametrach. Wykorzystanie opracowanego symulatora do testowania pracy toru z zastosowaniem korekty składowej stałej potwierdziło oczekiwania co do zwiększenia dokładności przetwarzania informacji w torze. Wartość bezwzględna maksymalnego błędu przetwarzania informacji w torze dla zaprezentowanego przykładowego sygnału testowego zmniejszyła się z wartości $0,912\%$ dla podstawowego trybu pracy konwertera f/N do $0,0136\%$ dla pracy z korektą wartości U_0 .

Autor: dr inż. Piotr Warda, Politechnika Lubelska, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin, E-mail: p.warda@pollub.pl

LITERATURA

- [1] Kirianaki N. V., Yurish S. Y., Shpak N. O., Deynega V. P., Data acquisition and signal processing for smart sensors. *John Wiley & Sons, Ltd*, Baffins Lane, 2001
- [2] CA Murillo, BC López, S Celma, Voltage-to-Frequency Converters: CMOS Design and Implementation, *Springer*, New York 2013
- [3] Aragones R., Oliver J., Ferrer C., A System Clock Precision Frequency to Code Converter for Low Power Supply Dependence ROIC, 2013 IEEE 4th Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)
- [4] Warda P., Symulacja przetwarzania w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji w LabVIEW, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 60 (2014), nr 8, 603-606
- [5] Pawłowski E., Symulacja sygnału czujnika z wyjściem częstotliwościowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 10b, 78-81
- [6] Jasik J.R. J., Gapiński C., Mikrokontrolerowe konwertery „częstotliwość – kod” o zwiększonej dokładności, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 59 (2013), nr 7, 624-627
- [7] Warda P., Analiza dokładnościowa toru pomiarowego rejestratora wejściowych wielkości fizycznych z czujników pomiarowych z wyjściem częstotliwościowym, *Pomiary Automatyka Kontrola*, (2006), nr 9bis, 113-115
- [8] Zakrzewski J., Hagel R., Miernictwo dynamiczne, *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa (1984), 147
- [9] Warda P., Metoda zmniejszenia wartości błędu uśredniania w systemie pomiarowym wykorzystującym przetwornik „napięcie-częstotliwość”, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 57 (2011), nr 11, 1297-1300
- [10] Warda P., Symulacja przetwornika „napięcie-częstotliwość” w LabVIEW, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 11, 133-136