

## Symulacja metody korekty składowej stałej w sygnale przetwarzanym przez przetwornik „napięcie-częstotliwość”

**Streszczenie.** W artykule prezentuje się efekty symulacji metody korekty składowej stałej w sygnale przetwarzanym przez tor pomiarowy z częstotliwościowym nośnikiem informacji zawierającym przetwornik „napięcie-częstotliwość”. Program symulatora opracowano w środowisku programistycznym LabVIEW firmy National Instruments. Przedstawiono przykładowe efekty symulacji przetwarzania składowych sygnału testowego: sinusoidalnego i prostokątnego. Zaprezentowano wyniki pracy symulatora po zastosowaniu korekty składowej stałej.

**Abstract.** The article presents the results of simulation of constant component correction method for the signal converted by slotted line with a frequency data carrier containing a “voltage-to-frequency” converter. Simulator program developed in the development environment of LabVIEW from National Instruments. Examples of simulation results of processing components of testing signal: sine wave and rectangular are showed. The results from the simulator after a correction constant component are presented. (*Simulation of the method for correction of the DC component in the signal processed by the voltage-to-frequency converter*).

**Słowa kluczowe:** pomiar napięcia, przetwornik „napięcie-częstotliwość”, tor pomiarowy z częstotliwościowym nośnikiem informacji, LabVIEW.

**Keywords:** voltage measurement, „voltage-to-frequency” converter, slotted line with a frequency data carrier, LabVIEW.

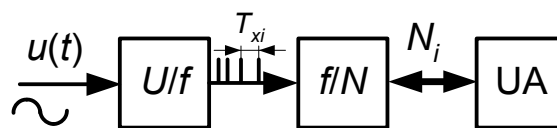
### Wstęp

Przetwarzanie wielkości fizycznych w sygnał o zmiennej częstotliwości, jest rozwiązaniem spotykanym w technice pomiarowej od wielu lat [1] i stale rozwijanym [2]. Istnieje wiele gotowych rozwiązań do odtwarzania informacji zakodowanej w sygnale częstotliwościowym [1]. Ciągłe prezentowane są również nowe wyniki badań dotyczące przetwarzania takiego sygnału [3, 4, 5, 6]. Sygnał częstotliwościowy może być przetwarzany dwoma sposobami. Pierwszy to przetwarzanie dwustopniowe: konwersja „częstotliwość - napięcie” i dalej już typowo, kolejne przetwarzanie w przetworniku analogowo-cyfrowym i dalsze w komputerze. Drugi sposób to odtwarzanie zakodowanej informacji bezpośrednio z sygnału częstotliwościowego. Ze względu na sposób transmisji informacji o wielkości badanej można w tym przypadku mówić o torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Zazwyczaj zawiera on przetwornik częstotliwość-kod ( $f/N$ , ang. *frequency-to-code converter*). Spotykane są różne konstrukcje przetworników  $f/N$ , również informacja wyjściowa z przetwornika może być przedstawiana w odpowiedni dla danego rozwiązania sposób. Do rozważań w artykule przyjęto, że będzie wykorzystany przetwornik  $f/N$ , który przetwarza sygnał częstotliwościowy w proporcjonalne do okresów tego sygnału wartości liczbowe, możliwe do dalszej analizy w nadrzędnym systemie komputerowym. Artykuł jest kontynuacją wcześniejszych prac zamieszczonych w literaturze, prezentuje wyniki analizy symulacyjnej możliwości poprawy dokładności przetwarzania informacji w omawianym torze poprzez korektę składowej stałej napięcia wejściowego przetwornika „napięcie –częstotliwość” ( $U/f$ ).

### Idea korekty składowej stałej

Metoda korekty składowej stałej jest wynikiem analizy błędów przetwarzania  $\delta_p$  informacji w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji przedstawionej w [6]. Podstawowa struktura omawianego toru zaprezentowana jest na rysunku 1. Tor, wykorzystujący przetwornik  $U/f$  w wersji podstawowej składa się z połączonych ze sobą szeregowo: przetwornika  $U/f$ , przetwornika  $f/N$  oraz mikroprocesorowego układu analizującego (UA) do sterowania torem i akwizycji danych pomiarowych przekazywanych przez tor. Zadaniem przetwornika  $U/f$  jest wytworzenie impulsowego sygnału

częstotliwościowego, którego czas międzyimpulsowy  $T_{xi}$  jest odwrotnie proporcjonalny do wartości średniej przetwarzanego napięcia. Kolejne czasy  $T_{xi}$  sygnału częstotliwościowego przetwarzane są w przetworniku  $f/N$  w wartości liczbowe i przekazywane do układu mikroprocesorowego UA.



Rys. 1. Podstawowe elementy struktury omawianego toru

Przyjmując że na wejście przetwornika  $U/f$  podano sinusoidalnie zmienny sygnał testowy:

$$(1) \quad u(t) = U_0 + U_m \sin 2\pi Ft,$$

gdzie:  $F$  – częstotliwość napięcia wejściowego podanego na przetwornik  $U/f$ ,  $U_0$  – składowa stała napięcia wejściowego,  $U_m$  – amplituda napięcia wejściowego; częstotliwość wyjściowego sygnału impulsowego przetwornika  $U/f$  zmienia się zgodnie z zależnością:

$$(2) \quad f(t) = f_0 + f_m \sin 2\pi Ft,$$

gdzie:  $f_0$  – składowa stała częstotliwości sygnału impulsowego,  $f_m$  – amplituda częstotliwości sygnału impulsowego.

Względny błąd przetwarzania  $\delta_p$  dla powyższych przebiegów w omawianym torze działającym bez dodatkowych modyfikacji opisany jest wzorem [6]:

$$(3) \quad \delta_p = \left( \frac{T_{gz}}{T_{xi}} + \left( 1 - \frac{\sin(\pi T_{xi} F)}{\pi T_{xi} F} \right) \frac{1}{\frac{f_0}{f_m} + 1} \right) \cdot 100\%,$$

gdzie:  $T_{xi}$  – długość bieżącego czasu międzyimpulsowego,  $T_{gz}$  – okres generatora zegarowego przetwornika  $f/N$ .

Z analizy zależności (3) można wysnuć wniosek, że wzrost stosunku  $f_0$  do  $f_m$  zmniejsza wprowadzaną przez tor wartość błędu  $\delta_p$ .

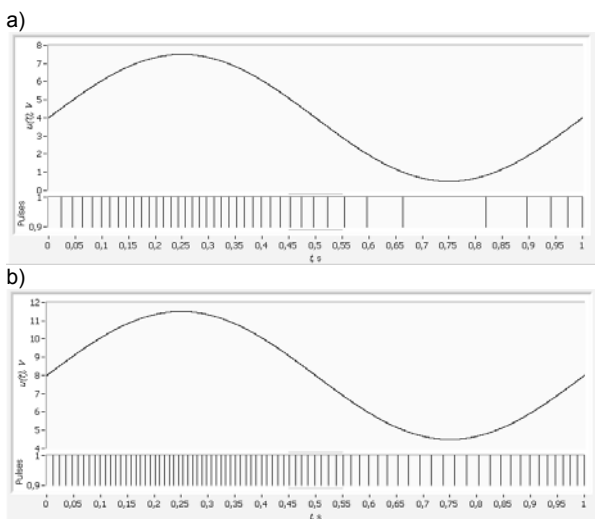
Można przyjąć, że czas  $T_{xi}$  sygnału wyjściowego przetwornika  $U/f$  jest odwrotnie proporcjonalny do całki napięcia  $u(t)$  podanego na ten przetwornik [8]:

$$(4) \quad T_{xi} = \left( \frac{1}{K} \int_{t_{i-1}}^{t_i} u(t) dt \right)^{-1},$$

gdzie  $K$  – stała przetwarzania przetwornika  $U/f$ ,  $t_{i-1}$ ,  $t_i$  – chwila rozpoczęcia i zakończenia  $T_{xi}$  na osi czasu.

Można wnioskować, że zarówno składowa stała  $f_0$  jak i amplituda  $f_m$  częstotliwości wyjściowego sygnału impulsowego przetwornika  $U/f$  są proporcjonalne do składowej stałej  $U_0$  i amplitudy  $U_m$  wejściowego napięcia  $u(t)$  przetwornika  $U/f$ .

Zaprezentowane powyżej rozważania pozwalają na wysnuenie wniosku, że istnieje możliwość zwiększania dokładności przetwarzania w analizowanym torze poprzez zmianę składowej stałej napięcia wejściowego przetwornika  $U/f$ . Zasadę działania metody korekty składowej stałej, pokazanej jako wynik działania symulacji przetwarzania wielkości  $u(t)$ , pokazuje rysunek 2. Symulowano przebieg sinusoidalny  $U_m = 3,5 \text{ V}$   $F = 1 \text{ Hz}$ .

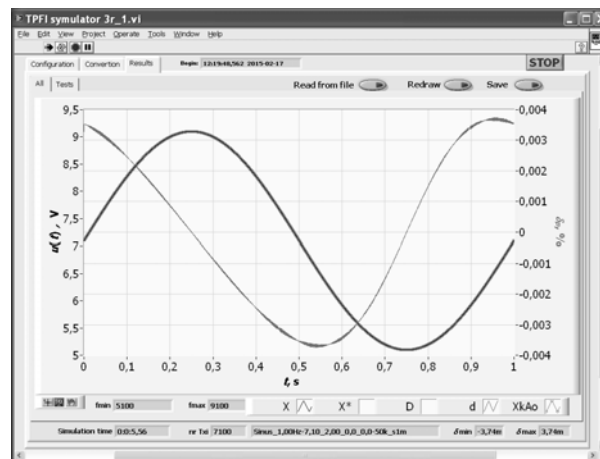


Rys. 2 Przetwarzanie przebiegu dla  $U_0=4 \text{ V}$  (a) i  $U_0=8 \text{ V}$  (b)

Jak widać, wzrost  $U_0$  powoduje skrócenie  $T_{xi}$ , co skutkuje zmniejszeniem wartości błędu uśredniania [6], będącego głównym składnikiem błędu przetwarzania w omawianym torze napięć wejściowych o małych wartościach [6]. Wzrost częstotliwości sygnału impulsowego zwiększa również rozdzielczość pomiaru w dziedzinie czasu (rys. 2b), co pozwala na dokładniejsze odwzorowywanie napięcia wejściowego przetwornika  $U/f$ . Zmiana wartości składowej stałej jest możliwa tylko w zakresie przetwarzania stosowanego przetwornika „napięcie-częstotliwość”. Alternatywnie, w celu zwiększenia częstotliwości wyjściowej sygnału impulsowego, można również zmieniać wartość czułości  $S$  przetwornika. Rozwiązanie układowe dynamicznego doboru czułości w zależności od zakresu przetwarzanych napięć zostało jednak uznane za dość trudne do realizacji praktycznej. Przyjęto, że zostanie ono rozważone jako kolejny etap pracy nad zwiększaniem dokładności przetwarzania informacji w omawianym torze.

## Symulacja

Do symulacji pracy toru pomiarowego z częstotliwościowym nośnikiem informacji wykorzystano aplikację utworzoną w środowisku programistycznym LabVIEW firmy National Instruments. Program symulatora został szczegółowo opisany w [7]. Aplikacja została opracowana w ten sposób, aby umożliwić niezależną symulację i analizę poszczególnych elementów składowych toru. Źródłem sygnału testującego jest wirtualny generator wytwarzający serię próbek o liczbie  $NS$ . Wartości chwilowe próbek wyliczane są z wykorzystaniem zależności matematycznych zapisanych w kodzie generatora [7]. Próbkę mogą reprezentować podstawowe przebiegi: sinusoidalny, prostokątny, trójkątny, piókształtny oraz przebiegi harmoniczne. Rysunek 3 prezentuje widok panelu głównego symulatora prezentującego przykładowe wyniki symulacji.



Rys. 3. Złazdka panelu symulatora prezentująca przykładowe wyniki pracy

## Badanie wpływu $U_0$ na wartość $\delta_p$

Przyjęto, że analiza działania toru realizującego metodę korekty składowej stałej napięcia wejściowego przetwornika  $U/f$  zostanie przeprowadzona w trzech kolejnych krokach.

Pierwszy to analiza  $\delta_p$  przy przetwarzaniu przebiegu prostokątnego. Dzięki niej będzie możliwe określenie, jak skokowa zmiana składowej stałej jest przetwarzana przez aplikację symulatora, oraz w jaki sposób może wpłynąć na wartość  $\delta_p$  dla zadanych parametrów symulacji.

Drugi krok to określenie, z jakim błędem przetwarzany jest sinusoidalny przebieg testowy. Uzyska się wówczas informację o ograniczeniach w przetwarzaniu tego sygnału w trybie pracy bez korekty składowej stałej. Można również określić wpływ składowych błędów na całkowity błąd przetwarzania informacji przez omawiany tor w zależności od wartości chwilowej badanego przebiegu.

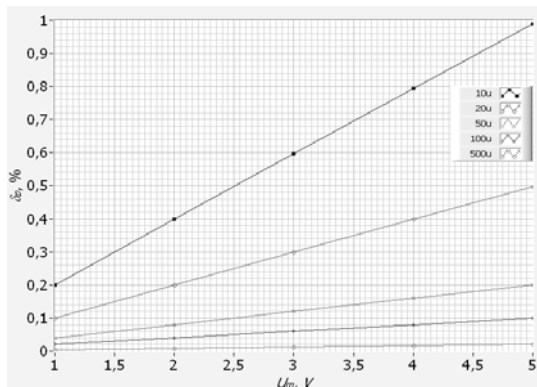
Trzeci krok to sprawdzenie, jak zmienia się wartość błędu  $\delta_p$  po wprowadzeniu korekty składowej stałej w sygnale testowym.

## Analiza przetwarzania przebiegu prostokątnego

W celu sprawdzenia, jaka jest wartość  $\delta_p$  w przypadku przetwarzania przebiegu prostokątnego, przeprowadzono symulację z wykorzystaniem przebiegu testowego o parametrach: częstotliwość  $F = 1 \text{ Hz}$ ; składowa stała  $U_0 = 5,1 \div 10 \text{ V}$ ; amplituda  $U_m = 1 \div 5 \text{ V}$ ; stała przetwarzania przetwornika  $U/f - K = 10 \mu\text{V}/\text{Hz} - 0,5 \text{ mV}/\text{Hz}$ , liczby wytworzonych w wirtualnym generatorze [7] próbek sygnału testowego  $NS = 50 \cdot 10^6$ .

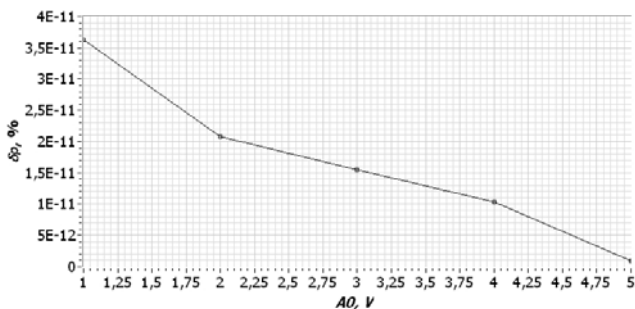
Wyniki symulacji w postaci wykresów błędu maksymalnego  $\delta_p$  pokazano na rysunku 4. Dla poszczególnych wartości  $K$  błąd  $\delta_p$  zależy tylko od  $U_m$ .

$K$  ma bardzo duży wpływ na  $\delta_p$ . Im mniejsze  $K$  tym błąd większy, przy czym wzrost pomiędzy wartościami  $50 \mu\text{V/Hz} \div 500 \mu\text{V/Hz}$  jest znacznie mniejszy niż pomiędzy  $10 \mu\text{V/Hz} \div 50 \mu\text{V/Hz}$ . Powodem wzrostu  $\delta_p$  przy zmniejszaniu  $K$  jest problem całkowania w przetworniku  $U/f$  napięcia wejściowego skokowo zmieniającego wartość od  $-U_m$  do  $U_m$ . Mniejsze  $K$  skraca czas całkowania, co spowalnia przetwarzanie skoku napięcia i w efekcie powoduje wolniejsze odwzorowanie zmiany napięcia w sygnale wyjściowym przetwornika  $U/f$ . Symulacja wykazała że wprowadzany podczas przetwarzania przebiegu prostokątnego  $\delta_p$  zależy głównie od wartości  $U_m$  i  $K$ .



Rys. 4. Wpływ wartości amplitudy i stałej przetwarzania na  $\delta_p$

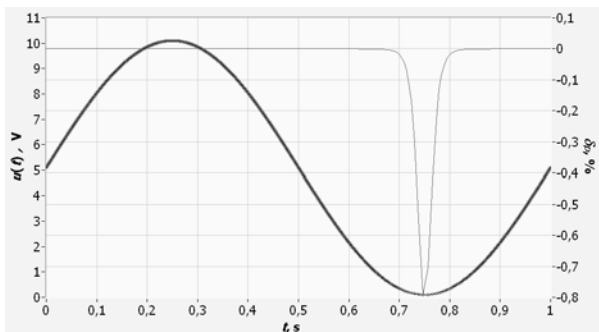
Dodanie  $U_0$  ma pomijalnie mały wpływ na wprowadzony dodatkowy  $\delta_p$ . Przykładowe wartości  $\delta_p$  przy przetwarzaniu składowej stałej pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ wartości  $U_0$  na  $\delta_p$  dla  $K = 500 \mu\text{V/Hz}$

#### Przetwarzanie sygnału sinusoidalnego bez modyfikacji

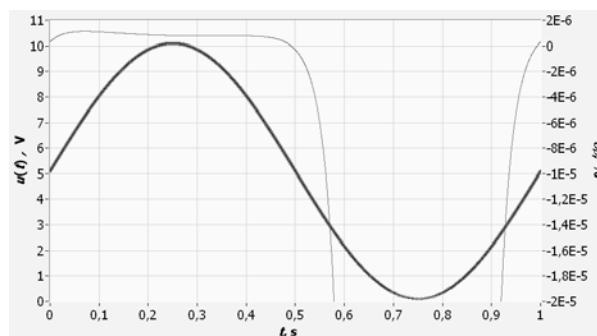
Do celów analizy istotne było określenie wartości błędu przetwarzania przykładowego przebiegu testowego o kształcie sinusoidalnym. Ważne było również określenie wartości chwilowej napięcia wejściowego, przy której  $\delta_p$  zauważalnie wzrasta. Zadano przebieg o parametrach:  $f = 1 \text{ Hz}$ ;  $U_0 = 5,1 \text{ V}$ ;  $U_m = 5 \text{ V}$ ;  $NS = 2 \cdot 10^9$ ;  $K = 1 \mu\text{V/Hz}$ . Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Efekt symulacji przetwarzania przykładowego przebiegu sinusoidalnego

W celu oceny wartości chwilowej napięcia, przy której następuje istotny wzrost  $\delta_p$ , zaprezentowano na rysunku 7 powyższy wykres ze zmienioną skalą błęd.

Analiza przetwarzania przykładowego sinusoidalnego przebiegu testującego (rys. 6) pokazuje, że błąd  $\delta_p$  zmienia się w zakresie od  $1,2 \cdot 10^{-6}\%$  do  $0,8\%$ . Jest widoczne, że wartość bezwzględna błędności wzrasta gwałtownie podczas przetwarzania wartości chwilowych przebiegu testowego z dolnej części zakresu przetwarzania. Analizując pokazany na rysunku 7 powiększony fragment przebiegów z rysunku 6, można przyjąć, że dla wartości większych niż  $3 \text{ V}$  wartość bezwzględna błędności  $\delta_p$  będzie mniejsza niż  $14 \cdot 10^{-6}\%$ . Można wnioskować, że wymuszenie przetwarzania przebiegu sinusoidalnego w zakresie większym niż  $3 \text{ V}$  powinno skutkować zwiększeniem dokładności przetwarzania w strukturze omawianego toru pomiarowego.



Rys. 7. Powiększenie rysunku 6

#### Przetwarzanie sygnału sinusoidalnego z ograniczeniem wartości chwilowej do zakresu $3 \text{ V} - 10 \text{ V}$

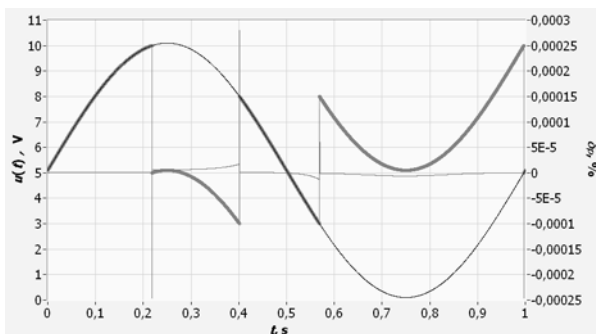
Uwzględniając poprzednie rozważania można podsumować, że jest możliwa poprawa dokładności przetwarzania w omawianym torze, poprzez korektę składowej stałej  $U_0$ . Dolną granicę korekty przyjęto na  $3 \text{ V}$ , ponieważ intencją zastosowania metody korekty  $U_0$  jest minimalizacja błędności  $\delta_p$ . Jak to pokazano na rysunku 7, dla wartości  $U_0 = 3 \text{ V}$  błąd  $\delta_p$  przyjmuje wartość  $14 \cdot 10^{-6}\%$  i wartość tę można uznać za zadowalającą. Górną granicę określono na  $10 \text{ V}$ , ponieważ jest to zwyczajowo przyjęta granica przetwarzania w przetwornikach analogowo-cyfrowych, w tym również „napięcie-częstotliwość”, a intencją pracy jest dostosowanie parametrów symulacji do warunków rzeczywistego toru pomiarowego.

Przyjęto, że w razie osiągnięcia przez wejściowy przebieg napięciowy  $u(t)$  wartości chwilowej niższej niż  $3 \text{ V}$ , zostanie dodana składowa stała o wartości  $5 \text{ V}$ , natomiast po przekroczeniu wartości  $10 \text{ V}$  składowa stała zostanie zmniejszona o  $5 \text{ V}$ . W symulacji dodawanie jest operacją matematyczną, w rzeczywistym układzie należy uwzględnić dodatkowo błędy wprowadzane przez operację sumowania napięć. W rzeczywistych warunkach pracy omawianego toru pomiarowego uruchomienia korekty składowej stałej muszą być zapamiętane w celu późniejszego odtworzenia informacji ze zgromadzonych danych o czasie trwania poszczególnych czasów  $T_{xi}$ .

Przeprowadzono symulację przetwarzania przebiegu sinusoidalnego o parametrach identycznych jak w poprzedniej symulacji. Dodatkowo jednak wprowadzono w algorytmie symulacji korektę składowej stałej  $U_0$ . Dzięki korekcie wartość chwilowa przetwarzanego sygnału sinusoidalnego będzie zawierać się w zakresie  $3 \text{ V} \div 10 \text{ V}$ . Wyniki pracy symulatora zaprezentowano na rysunku 8.

Można zauważyć, że po wprowadzeniu ograniczenia zakresu przetwarzanych wartości  $u(t)$  wartość błędności  $\delta_p$  zostaje zauważalnie zmniejszona. Otrzymane wartości

graniczne  $\delta_p$  zawierają się w znacznie mniejszym zakresie, tj. od  $-0,25 \cdot 10^{-3}\%$  do  $0,28 \cdot 10^{-3}\%$ . Bez zastosowania ograniczenia  $\delta_p$  zawierał się w zakresie od  $1,2 \cdot 10^{-6}\%$  do  $-0,8\%$ . Jak widać, wartość błędu maksymalnego zmniejszyła się około 2800 razy. Zdecydowanie można przyjąć, że jest to zadowalający poziom redukcji błędu. Niestety nie osiągnięto w symulacji błędu  $14 \cdot 10^{-6}\%$ , wartości pokazanej na rysunku 8. Powodem jest skokowa zmiana składowej stałej  $U_0$ . W punktach korekty  $U_0$  widać gwałtowne, krótkotrwałe skoki wartości  $\delta_p$ , będące wynikiem zmiany wartości sygnału w omawianym torze pomiarowym. Skok napięcia w krótkim czasie jest uśredniany poprzez realizację procesu całkowania przez przetwornik  $U/f$ .



Rys. 8. Przebiegi po zastosowaniu korekty składowej stałej

Jeżeli porówna się wartości  $\delta_p$  ( $0,28 \cdot 10^{-3}\%$ ) z wartością maksymalną  $\delta_p$  dla przebiegu prostokątnego zmieniającego wartość chwilową w zakresie  $3\text{ V} - 10\text{ V}$ , okaże się, że dla prostokątnego sygnału o  $NS = 2 \cdot 10^9$  błąd przetwarzania osiąga maksymalną wartość  $0,41 \cdot 10^{-3}\%$ . Mniejszy  $\delta_p$  przy przetwarzaniu sinusoidy z korektą  $U_0$  można tłumaczyć innym kształtem badanego sygnału, co może skutkować efektywniejszym uśrednianiem przebiegu przez proces całkowania. Istotne jest również w którym momencie procedura symulacji przetwornika  $U/f$  rozpoczęła całkowanie skokowej zmiany sygnału testowego. Chwila rozpoczęcia całkowania ma również istotne znaczenie dla wartości powstałego  $\delta_p$ . Oczywiście można przypuszczać, że w układzie rzeczywistym, gdzie nie występuje proces dyskretyzacji próbek sygnału przed przetworzeniem przez przetwornik  $U/f$ , wartość błędu  $\delta_p$  powinna być mniejsza, ponieważ jest to sygnał ciągły. Analiza przedstawionych problemów jest przewidziana jako jeden z kierunków dalszych prac nad analizą pracy toru pomiarowego z częstotliwościowym nośnikiem informacji.

## Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki symulacji potwierdzają, że korekta składowej stałej pozwala na zwiększenie dokładności przetwarzania informacji w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji.

Zwiększenie w dopuszczalnych granicach przetwarzanego napięcia wejściowego przetwornika  $U/f$  poprzez zwiększenie  $U_0$  skutkuje skróceniem czasów  $T_{xi}$  sygnału częstotliwościowego, odwzorowujących wartości chwilowe przebiegu  $u(t)$ , przez co rośnie rozdzielczość przetwarzania w dziedzinie czasu (liczba  $T_{xi}$ ), a co za tym idzie zwiększa się dokładność przetwarzania informacji w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Badania symulacyjne wykazały, że maksymalna wartość błędu przetwarzania informacji  $\delta_p$  w strukturze toru pomiarowego z częstotliwościowym nośnikiem informacji po zastosowaniu metody korekty składowej stałej napięcia wejściowego zmniejszyła się z wartości maksymalnej  $0,8\%$  do  $0,28 \cdot 10^{-3}\%$ . Oznacza to, że wartość błędu zmniejszyła

się ponad 2800 razy. Z powyższego powodu można uznać, że analizowana metoda może być przydatna w przypadkach, gdy zachodzi konieczność pomiaru kolejnych czasów międzyimpulsowych  $T_{xi}$  sygnału częstotliwościowego, będącego wynikiem przetwarzania w przetworniku typu „napięcie-częstotliwość”, napięcia zmiennego o małych wartościach. Korekta składowej stałej może umożliwić śledzenie zmian częstotliwości reprezentujących mierzone napięcie ze zwiększoną rozdzielczością i pozwolić na pomiar kolejnych wartości czasu międzyimpulsowego  $T_{xi}$  sygnału częstotliwościowego ze znacznie mniejszym błędem w porównaniu do pomiaru czasu  $T_{xi}$  realizowanego bez zastosowania metody korekty składowej stałej.

Zastosowanie omawianej metody w rzeczywistym torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji powinno być poprzedzone analizą uwzględniającą wszystkie źródła błędów tworzonego układu pomiarowego. Ze względu na ograniczone miejsce w artykule skupiono się na prezentacji możliwości poprawy dokładności przetwarzania dla małych napięć wejściowych przetwornika „napięcie-częstotliwość”. Pełna analiza błędów przetwarzania w torze z częstotliwościowym nośnikiem informacji została zamieszczona we wcześniejszych pracach autorów [3, 6, 9, 10]. Podczas symulacji przeprowadzono badania dla wybranych sygnałów testowych, pozwalających przedstawić jak metoda działa oraz jakie są możliwości poprawy dokładności przetwarzania informacji w omawianym torze. Do oceny przydatności metody w konkretnym zastosowaniu na pewno będzie przydatna dodatkowa analiza symulacyjna z uwzględnieniem wszystkich wymaganych warunków pomiaru.

## 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] Pawłowski E., Symulacja sygnału czujnika z wyjściem częstotliwościowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 10b, 78-81
- [4] Jasiak J.R., Przetwarzanie sygnałów pomiarowych w systemach z częstotliwościowym nośnikiem informacji, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003
- [5] 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)*
- [6] Warda P., Metoda zmniejszenia wartości błędu uśredniania w systemie pomiarowym wykorzystującym przetwornik „napięcie-częstotliwość”, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 57 (2011), nr 11, 1297-1300
- [7] Warda P., Symulacja przetwarzania w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji w LabVIEW, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 60 (2014), nr 8, 603-606
- [8] Warda P., Symulacja przetwornika „napięcie-częstotliwość” w LabVIEW, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 11, 133-136
- [9] Pawłowski E., Simulation tests on errors of the measuring path with a frequency carrier of information, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 60 (2014), nr 8, 607-609
- [10] Warda P., Analiza dokładnościowa toru pomiarowego rejestratora wejściowych wielkości fizycznych z czujników pomiarowych z wyjściem częstotliwościowym, *Pomiary Automatyka Kontrola*, (2006), nr 9bis, 113-115

**Autorzy:** dr inż. Piotr Warda, Politechnika Lubelska, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin, E-mail: [p.warda@pollub.pl](mailto:p.warda@pollub.pl); dr inż. Eligiusz Pawłowski, Politechnika Lubelska, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin, E-mail: [e.pawlowski@pollub.pl](mailto:e.pawlowski@pollub.pl)