

Andrzej ODON, Przemysław OTOMAŃSKI

INSTYTUT ELEKTRONIKI I ELEKTROTECHNIKI PRZEMYSŁOWEJ POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

Badania wirtualne modelu przetwornika analogowo-cyfrowego z dwukrotnym całkowaniem

Dr inż. Andrzej ODON

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w 1974 roku. W roku 1983 uzyskał tytuł doktora n. t. Jest autorem ponad 60 prac naukowych. Główne zainteresowania naukowe dotyczą analogowych torów pomiarowych, przetworników i czujników pomiarowych a także zastosowania, zwłaszcza dla celów dydaktycznych, metod symulacji komputerowej podzespołów toru pomiarowego.

e-mail: odon@et.put.poznan.pl



Dr inż. Przemysław OTOMAŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Główne obszary zainteresowań dotyczą zagadnień związanych z teorią pomiarów, w szczególności z oceną niepewności wyniku pomiaru, badaniem właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych oraz badań w zakresie oceny jakości energii elektrycznej. Jest autorem lub współautorem ok. 100 publikacji.

e-mail: otoman@et.put.poznan.pl



Streszczenie

W artykule zaprezentowano stanowisko do wirtualnego badania modelu przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C) z dwukrotnym całkowaniem przy wykorzystaniu aplikacji opracowanej w środowisku LabVIEW. Aplikacja pozwala na modyfikację parametrów sygnału wejściowego i układu przetwornika A/C. Zastosowane animacje ilustrują proces przetwarzania przetwornika. Opracowane oprogramowanie przeznaczone jest dla celów dydaktycznych i badawczych.

Słowa kluczowe: LabVIEW, wirtualne testowanie, symulacja komputerowa

Virtual testing of a dual slope analog-to-digital converter model

Abstract

In the paper the virtual testing of a two-slope, analog-to-digital converter model with use of an application developed in the LabVIEW environment is presented. The application enables modification of the input signal and converter system parameters. Animation effects illustrate the principle of operation of this a/c converter. The software developed can be used for education and investigation purposes.

Keywords: LabVIEW, virtual instruments, computer simulation.

1. Wstęp

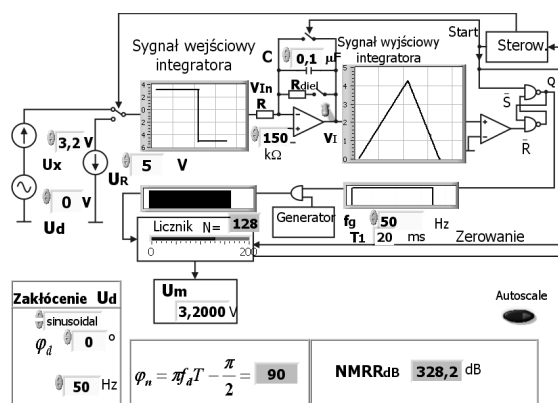
Przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C) z dwukrotnym całkowaniem znany jest od ponad 45 lat [1]. Praktyczne zastosowanie tego przetwornika, mimo niewątpliwych jego zalet, nastąpiło jednak dopiero w latach siedemdziesiątych, gdy technologia wytwarzania układów scalonych osiągnęła odpowiednio wysoki poziom. Aktualnie przetwornik ten jest powszechnie stosowany w układach większości multimetrów cyfrowych przeznaczonych zarówno dla celów powszechnego użytku, jak i zastosowań profesjonalnych o dużych wymaganiach dotyczących dokładności pomiaru. Przesłanka ta uzasadnia w dostatecznym stopniu priorytetową pozycję tematyki przetworników analogowo-cyfrowych z dwukrotnym całkowaniem w programach dydaktycznych uczelni technicznych o kierunkach elektrycznych. Poznanie zasady działania i właściwości tego typu przetwornika analogowo-cyfrowego warunkuje prawidłowe zastosowanie tego przetwornika w systemie pomiarowym i właściwą interpretację wyniku przetwarzania.

Prezentacja tej tematyki zarówno w ramach zajęć wykładowych jak i ćwiczeń eksperymentalnych daje szczególnie korzystne rezultaty dydaktyczne, gdy wykorzystuje się wspomaganie komputerowe umożliwiające symulacyjne badanie tego przetwornika A/C. Szczególnie chętnie wykorzystuje się do tego celu aplikacje opracowane w środowisku LabVIEW. Dostępne są liczne doniesienia literaturowe [2-4] prezentujące interesujące opisy aplikacji w środowisku LabVIEW dedykowane zagadnieniom symulacji przetworników A/C, a także innych podzespołów systemu pomiarowego.

W niniejszym artykule zaprezentowano rezultaty prac, których celem było opracowanie programu w środowisku LabVIEW do symulacji zasady działania przetwornika analogowo-cyfrowego z dwukrotnym całkowaniem i przeprowadzenia badań jego właściwości. Przedstawiono przykładowe wyniki badań ilustrujące walory użytkowe opracowanej aplikacji.

2. Panel czołowy aplikacji LabVIEW do wirtualnych badań modelu przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem

Na rysunku 1 pokazano okno główne aplikacji, w którym wkomponowany został rysunek schematu blokowego układu przetwornika z dwukrotnym całkowaniem.

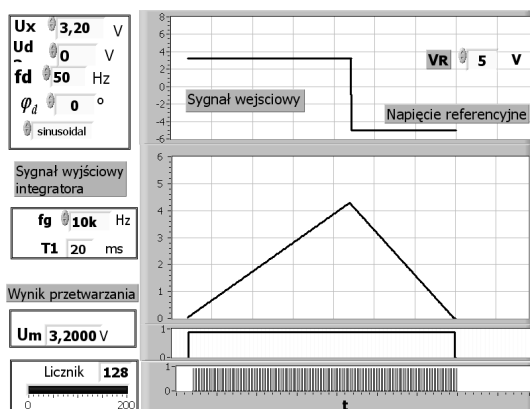


Rys. 1. Okno panelu czołowego aplikacji LabVIEW do symulacji procesu przetwarzania A/C metodą dwukrotnego całkowania

Fig. 1. View of the LabVIEW application front panel for simulation of a/d conversion with the dual-slope method

W układzie uwzględnione są praktycznie wszystkie ważniejsze podzespoły warunkujące jego prawidłowe działanie oraz terminale umożliwiających dobór i łatwą modyfikację wartości takich parametrów jak parametry układu integratora (rezystancja R i pojemność C) decydujących o stałej czasowej akcji całkowania, częstotliwość generatora wzorcowego f_g , napięcie referencyjne U_R , czas integracji T_I pierwszej fazy całkowania.

W ważniejszych punktach układu usytuowane są wskaźniki graficzne monitorujące przebiegi sygnałów napięciowych. Zaimplementowane w oprogramowaniu efekty animacji pozwalają na obserwację zmian wartości chwilowych przebiegów sygnałów napięciowych w ważniejszych punktach układu w trakcie procesu przetwarzania, dzięki czemu znacznie ułatwione jest zrozumienie zasady działania przetwornika. Istnieje możliwość uzyskania efektu powiększenia optycznego widoku przebiegów sygnałów napięciowych przez uaktywnienie zakładki „powiększenie” (rys. 2).



Rys. 2. Wykresy czasowe przebiegów w układzie przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem

Fig. 2. Signals in a dual-slope analog-to-digital converter

3. Wybrane wyniki badań symulacyjnych przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem

Badania symulacyjne przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem wykonywane za pomocą opracowanej aplikacji LabVIEW mogą obejmować stosunkowo szeroki zakres problemów takich jak: prezentacja zasady działania, dobór parametrów układu warunkujących prawidłową pracę przetwornika, badania właściwości i parametrów metrologicznych przetwornika. Przykładowe wyniki badań ilustrujące możliwości opracowanego oprogramowania zaprezentowano w kolejnych punktach niniejszego rozdziału.

3.1. Badanie wpływu parametrów układu przetwornika na wynik przetwarzania

Badania symulacyjne mają na celu określenie wyniku przetwarzania U_m prezentowanego na wskaźniku cyfrowym przy zmianach wartości takich parametrów układu przetwornika jak: rezystancja R , pojemność C w układzie integratora, czas integracji T_I , napięcie referencyjne U_R po doprowadzeniu stałoprądowego sygnału napięciowego U_x do wejścia przetwornika.

Zgodnie z dobrze znanymi właściwościami przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem wynik pomiaru (napięcie U_m) opisać jest zależnością:

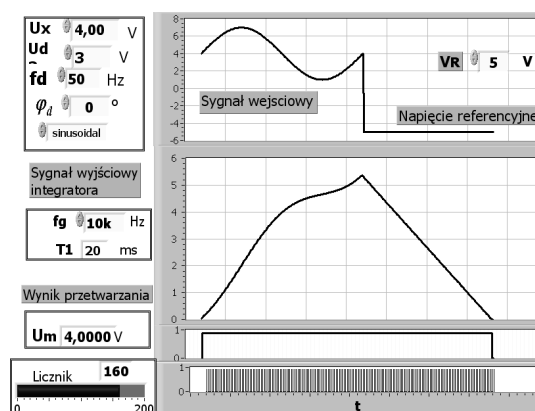
$$U_m = U_R \frac{N}{N_{\max}} \quad (1)$$

Wynik przetwarzania (wartość napięcia U_m) stanowi średnią wartość sumarycznego sygnału wejściowego (stałoprądowy sygnał użyteczny U_x i sygnał zakłóceń $u_d(t)$) w przedziale czasu pierwszego całkowania. Wartość napięcia U_m zależy wyłącznie od wartości napięcia źródła referencyjnego oraz ilorazu zliczonych impulsów N i pojemności licznika N_{\max} , co oznacza, że wymagania odnośnie długoczasowej stałości wszystkich pozostałych parametrów układu są nieistotne dla dokładności przetwarzania. Badania symulacyjne wykonywane przez użytkownika programu powinny potwierdzić omawianą właściwość przetwornika A/C. Wskazane jest przy tym zachęcać wykonującego eksperyment, aby każdorazowo przed inicjacją kolejnej symulacji przewidywał on konsekwencje zastosowanej zmiany parametrów układu przetwornika. Na przykład zmiana wartości elementów R i C w układzie integratora przy niezmiennych wartościach stałoprądowego sygnału wejściowego U_x spowoduje zmianę nachylenia zbocza sygnału liniowo narastającego na wyjściu integratora w I fazie całkowania, ale operacja ta nie powinna spowodować zmiany wyniku przetwarzania. Zastosowanie zbyt dużej wartości stałej czasowej całkowania spowoduje, że na końcu akcji całkowania

sygnał napięciowy na wyjściu integratora osiągnie małą wartość i ujawni się wtedy błąd wyniku przetwarzania spowodowany efektem kwantyzacji.

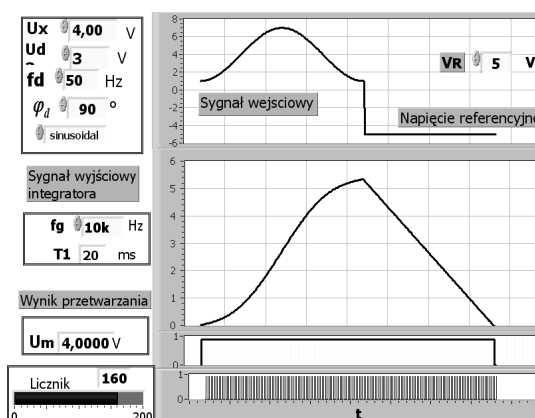
3.2. Badanie efektu całkowitego tłumienia sygnałów zakłócających

Sygnały zakłócające okresowe o częstotliwości f_d , których okres jest równy wartości czasu T_I pierwszej fazy całkowania oraz sygnały, których częstotliwość stanowi całkowitą wielokrotność zdefiniowanej wyżej wartości częstotliwości f_d , jak wiadomo z teorii opisującej proces przetwarzania A/C metodą dwukrotnego całkowania, są całkowicie tłumione w wyniku efektu akcji pierwszego całkowania o czasie całkowania T_I . Badania symulacyjne powinny wykazać, że efekt całkowitego tłumienia zachodzi niezależnie od fazy φ_d sygnału a także od kształtu sygnału. Na rys. 3 i rys. 4 zaprezentowano wyniki badań efektu tłumienia dla sygnałów zakłócających o identycznej częstotliwości spełniającej warunek całkowitego tłumienia, ale różnych wartościach faz φ_d w stosunku do momentu inicjacji pierwszej fazy całkowania.



Rys. 3. Przebiegi czasowe sygnałów w układzie przetwornika z dwukrotnym całkowaniem dla stałoprądowego sygnału wejściowego $U_x = 4V$ z nałożoną składową sinusoidalnego sygnału zakłócającego o częstotliwości $f_d = 50$ Hz i fazie $\varphi_d = 0^\circ$. Wartość czasu integracji $T_I = 20$ ms

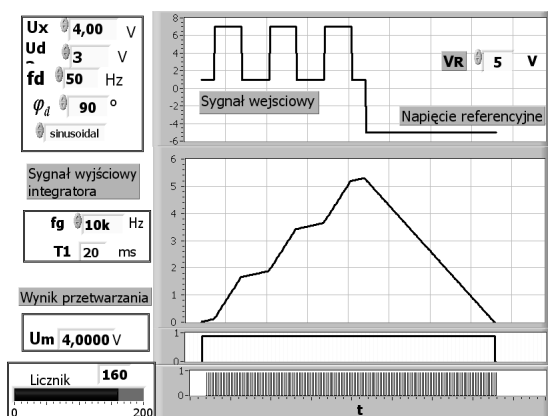
Fig. 3. Signals in a dual-slope a/d converter for dc voltage input signal $U_x = 4V$ with a sinusoidal disturbance component of frequency $f_d = 50$ Hz and phase $\varphi_d = 0^\circ$. Integration time $T_I = 20$ ms



Rys. 4. Przebiegi czasowe sygnałów w układzie przetwornika z dwukrotnym całkowaniem dla sygnału wejściowego $U_x = 4V$ z nałożoną składową sinusoidalnego sygnału zakłócającego o częstotliwości $f_d = 50$ Hz i fazie $\varphi_d = -90^\circ$. Wartość czasu integracji $T_I = 20$ ms

Fig. 4. Signals in a dual-slope a/d converter for dc voltage input signal $U_x = 4V$ with a sinusoidal disturbance component of frequency $f_d = 50$ Hz and phase $\varphi_d = -90^\circ$. Integration time $T_I = 20$ ms

Na rys. 5 zaprezentowano wynik badania dla sygnału zakłócającego o kształcie prostokątnym i o częstotliwości spełniającej warunek całkowitego tłumienia.



Rys. 5. Przebiegi czasowe sygnałów w układzie przetwornika z dwukrotnym całkowaniem dla stałoprądowego sygnału wejściowego $U_x = 4\text{ V}$ z nałożoną składową prostokątnego sygnału zakłócającego o częstotliwości $f_d = 150\text{ Hz}$ i fazie $\varphi_d = -90^\circ$. Wartość czasu integracji $T_I = 20\text{ ms}$.

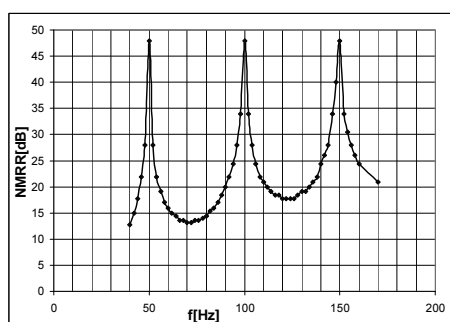
Fig. 5. Signals in a dual-slope a/d converter for dc voltage input signal $U_x = 4\text{ V}$ with a rectangular disturbance component of frequency $f_d = 150\text{ Hz}$ and phase $\varphi_d = -90^\circ$. Integration time $T_I = 20\text{ ms}$

Rezultaty badań symulacyjnych pokazanych na rys. 3 rys. 4 i rys. 5 potwierdzają znane z teorii właściwości przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem – wskazywana wartość napięcia U_m odczytana na wskaźniku cyfrowym jest identyczna z wartością napięcia składowej stałej U_x , przy założeniu, że spełnione są odpowiednie wymagania odnośnie częstotliwości sygnału zakłócającego.

3.3. Wyznaczanie współczynnika tłumienności zakłóceń NMRR

Całkowite tłumienie zakłóceń nałożonych na stałoprądowy sygnał użyteczny U_x w procesie przetwarzania przetwornika podwójnie całkującego dotyczy tylko bardzo szczególnych częstotliwości sygnałów zakłócających, które spełniają warunek opisany w rozdziale 3 punkt 3.2. W przypadku sygnałów zakłócających $u_d(t)$ o częstotliwościach niespełniających tego warunku zachodzi niecałkowite ich tłumienie. Wynik przetwarzania (wartość napięcia U_m) stanowi wtedy średnią wartość sumarycznego sygnału wejściowego za czas pierwszego całkowania wyznaczoną z zależności:

$$U_m = \frac{1}{T_I} \int_0^{T_I} [U_x + u_d(t)] dt \quad (2)$$



Rys. 6. Charakterystyka tłumienia zakłóceń uzyskana eksperymentalnie
Fig. 6. The characteristic of normal mode rejection ratio of a dual-slope converter vs. frequency (obtained from experiments)

Właściwości tłumienia zakłóceń definiuje się za pomocą współczynnika $NMRR$ tłumienia zakłóceń, który wyznacza się dla konkretnej częstotliwości oraz fazy φ_d sinusoidalnego sygnału zakłócającego, przy czym do wyznaczenia jego wartości uwzględnia się taką wartość fazy, dla której współczynnik $NMRR$ osiąga wartość najmniejszą dla danej częstotliwości, czyli dla której to wartości fazy zachodzi najgorszy przypadek tłumienia zakłóceń.

Aplikacja umożliwia zmianę wszystkich istotnych parametrów sygnału zakłócającego w szerokim zakresie wartości i w rezultacie możliwe jest wyznaczenie eksperymentalne charakterystyki tłumienności zakłóceń metodą punkt po punkcie. Na rys. 6 pokazano przykładową charakterystykę tłumienia zakłóceń uzyskaną w oparciu o wyniki symulacji.

4. Wnioski

Przetwornik A/C z dwukrotnym całkowaniem należy do tej grupy układów elektronicznych, których badania za pomocą realnych narzędzi pomiarowych sprawiają istotne problemy. Badania prowadzone w taki sposób są czasochłonne i często wymagają współpracy urządzeń pomiarowych o niestandardowych możliwościach technicznych. Zaprezentowana w artykule aplikacja LabVIEW do badań symulacyjnych modelu tego przetwornika w znaczącym stopniu rozwiązuje wspomniane problemy. Aplikacja umożliwia modyfikację parametrów sygnału wejściowego, sygnału zakłócającego i praktycznie wszystkich ważniejszych parametrów układu przetwarzania, dzięki czemu można symulować realne badania eksperymentalne. Zaimplementowane w aplikacji algorytmy zapewniają również prezentację procesów przetwarzania w formie animacji, co umożliwia obserwację stanów dynamicznych układu. W artykule z konieczności przedstawiono jedynie skromny wycinek problematyki badań przetwornika A/C z dwukrotnym całkowaniem, która może być realizowana za pomocą opracowanej aplikacji LabVIEW. Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że opracowane oprogramowanie stanowi bardzo użyteczne narzędzie wspomagające proces dydaktyczny.

Autorzy niniejszego artykułu wywodzą się ze szkoły, w której zalecana metoda nauczania zgodna jest z mottem sentencji - „pływania i mierzenia nie nauczysz się za pomocą symulacji” i z tego względu walory laboratorium wirtualnego nie wywołują u nich nadmiernej i bezkrytycznej fascynacji. Laboratorium realne z wyposażeniem aparaturowym i z realnie wykonywanymi eksperymentami jest oczywiście niezbędne w procesie nauczania. Zastosowanie symulacji komputerowej w procesie dydaktycznym jest jednak niekwestionowanym wymogiem nowoczesnej dydaktyki. Dobrze opracowany program symulacyjny zapewni spełnienie takich wymogów nowoczesnej dydaktyki jak: interaktywny tryb nauczania, możliwość nauczania zdalnego, krótki czas na uzyskanie rezultatów eksperymentu.

5. Literatura

- [1] Roswell W. Gilbert, Analog-to-Digital Converter, U.S. Patent 3051939, filed May 8, 1957, issued August 28, 1962.
- [2] Referowski L, Roskosz R, Świtalski D: Wspomaganie zajęć wykładowych przyrządami wirtualnymi, mat. konf. Krajowy Kongres Metrologii Gdańsk 98, str. 147 – 154
- [3] Tlaczala W., Gorghiu G., Garcia de la Santa A., Kordaki M., Tamargo Rodri-guez J., Uzycki J, Modeling of the D/A and A/D conversion techniques based on virtual instrumentation, Current Developments in Technology-Assisted Education (2006) –Proceed. of the Fourth International Conference on Multimedia & ICT's in Education, Seville, Spain, 22 – 25 november 2006, vol. 1, p. 564 - 568
- [4] L. Referowski, D. Swisulski, Progress in Education of Electrical Measurements, ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING, ISSN 1392-1215, 2006, nr 3967), 2006, str. 25-30