

Rejestrator zmiennej częstotliwości sygnału

Streszczenie. W artykule opisano rejestrator zmiennej częstotliwości sygnału, zrealizowany z wykorzystaniem środowiska Arduino i komputera klasy PC, oprogramowanego w środowisku programistycznym LabVIEW. Omówiono strukturę rejestratora i algorytmy ważniejszych procedur aplikacji. Zaprezentowano oprogramowanie rejestratora. Przedstawiono efekty rejestracji przykładowych sygnałów.

Abstract. This paper presents an example of recorder of instantaneous frequency, which consists of PC computer with software designed in LabVIEW and a "frequency-to-code" converter with additional memory for data. The algorithm of the software of the "frequency-to-code" converter is discussed. The PC program that supports recording process of the measurement data by "frequency-to-code" converter is presented. Examples of recordings made using the presented equipment are presented. (**Recorder of variable frequency signal**).

Słowa kluczowe: przetwornik częstotliwość-kod, pomiar częstotliwości, Arduino, LabVIEW.

Keywords: "frequency-to-code" converter, frequency measurement, Arduino, LabVIEW.

Wstęp

Bezpośrednie przetwarzanie częstotliwości w kod jest jedną z metod odtwarzania informacji niesionej przez sygnał częstotliwościowy. Taki sygnał wytwarzany jest między innymi przez popularne przetworniki „napięcie – częstotliwość” [1]. W ofercie producentów przetworników pomiarowych znajduje się wiele modeli przetworników różnych wielkości fizycznych w sygnał o zmiennej częstotliwości (X/f). Można znaleźć opracowania gotowych konstrukcji realizowanych w postaci przetworników inteligentnych [2, 3], realizowane są również badania symulacyjne [4, 5] i eksperymentalne [6], ciągle powstają nowe konstrukcje przetworników [7, 8, 9].

Zastosowanie bezpośredniego przetwarzania częstotliwości w kod pozwala, dzięki rezygnacji z pośrednich stopni przetwarzania, na znaczne uproszczenie toru pomiarowego oraz wykorzystanie w transmisji danych sygnału częstotliwościowego. Sygnał ten charakteryzuje się dużą odpornością na zakłócenia i spadek amplitudy sygnału oraz, co się wiąże z powyższymi, łatwością przesyłania informacji na duże odległości [3]. W pomiarach stałej częstotliwości sygnału wyjściowego przetwornika wielkości fizycznej w częstotliwość, najprostszym sposobem pomiaru częstotliwości i odczytu wartości mierzonej wielkości fizycznej jest zastosowanie częstotlicznika z odpowiednio dobraną skalą, uwzględniającą stałą przetwarzania przetwornika.

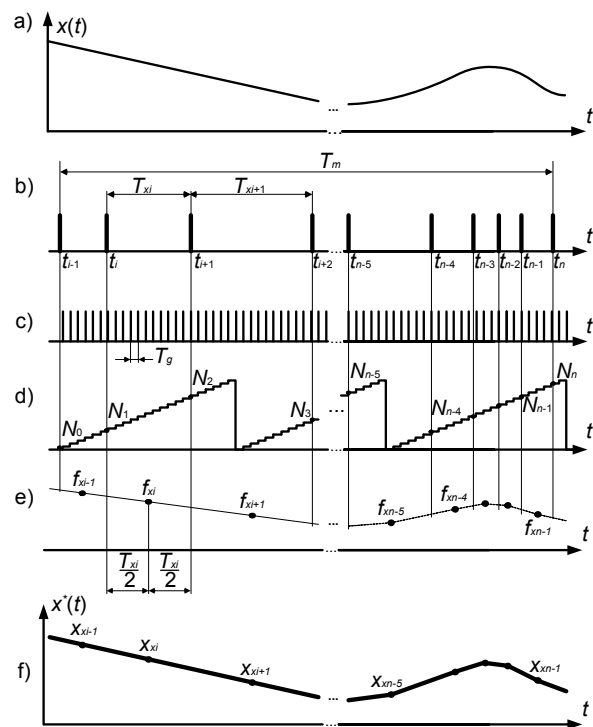
W przypadku pomiaru zmiennej częstotliwości sygnału wyjściowego przetwornika, będącej wynikiem zmienności wartości mierzonej wielkości fizycznej X , powyższe rozwiązanie już nie będzie pracować poprawnie, ponieważ odczyt na bieżąco jest niemożliwy. Konieczna jest rejestracja kolejnych cykli fazowych [10] przebiegu częstotliwościowego, analiza i wizualizacja w jednostce nadrzędnej, którą może być np. komputer PC [11].

Praca prezentuje przykładową realizację rejestratora częstotliwości sygnału złożonego z przetwornika częstotliwość-kod, wykorzystującego moduł Arduino Mega 2560 z rozszerzoną pamięcią na dane. Rejestrator współpracował z komputerem klasy PC z oprogramowaniem kontrolno-pomiarowym, opracowanym w środowisku programistycznym LabVIEW, pozwalającym na przeprowadzenie procesu pomiaru, rejestracji, prezentacji i archiwizacji uzyskanych danych.

Bezpośrednie przetwarzanie częstotliwości w kod

Zasada przetwarzania informacji niesionej przez sygnał częstotliwościowy została pokazana na rysunku 1. Pozycja

(a) prezentuje przykładowy przebieg badanej wielkości fizycznej X , natomiast na pozycji (b) zamieszczono uproszczoną, odpowiadającą przebiegowi X , reprezentację impulsowo-częstotliwościową tego sygnału. Do wyznaczenia czasu trwania kolejnych wartości czasu T_{xi} wykorzystuje się ogólnie znaną, cyfrową metodę pomiaru czasu, polegającą na sumowaniu w badanym czasie T_{xi} okresów generatora sygnału wzorcowego T_g - pozycja (c).



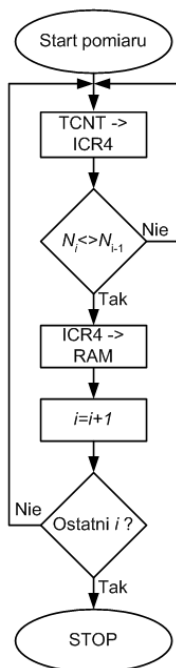
Rys.1. Przebiegi obrazujące przetwarzanie informacji w torze pomiarowym z bezpośrednią konwersją czasów T_{xi} sygnału częstotliwościowego w wartości liczbowe

W wyniku pomiaru uzyskuje się liczbę N_i reprezentującą sumę zarejestrowanych przez licznik przetwornika częstotliwość-kod (f/N) okresów T_g . Obliczenia przeprowadza się według zależności:

$$(1) \quad N_{xi} = N_{i+1} - N_i + PN_{\max}$$

gdzie N_{xi} – liczba reprezentująca dany T_{xi} , P – liczba przepełnień licznika.

mikrokontroler [12] może adresować maksymalnie 64 kB pamięci. Z tego powodu w przetworniku zastosowano podział rozszerzonego obszaru adresowego 512 kB na osiem tzw. banków po 64 kB każdy. Do przełączania banków służą linie PD7, PL6 i PL7 modułu Arduino.

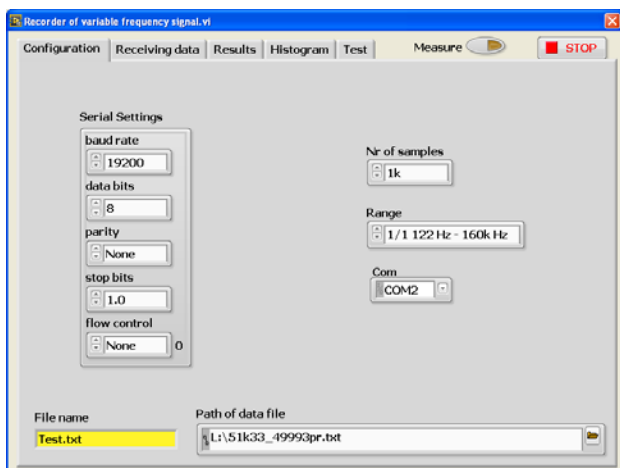


Rys. 3 Algorytm pomiaru kolejnych stykających się odcinków czasu

Po osiągnięciu zadanej przez obsługę liczby mierzonych T_{xi} przetwornik f/N przechodzi do przesyłania danych do komputera nadrzędnego.

Oprogramowanie komputera PC

Oprogramowanie komputera nadrzędnego opracowano w środowisku programistycznym LabVIEW, pozwalającym w efektywny sposób tworzyć złożone aplikacje kontrolno-pomiarowe.



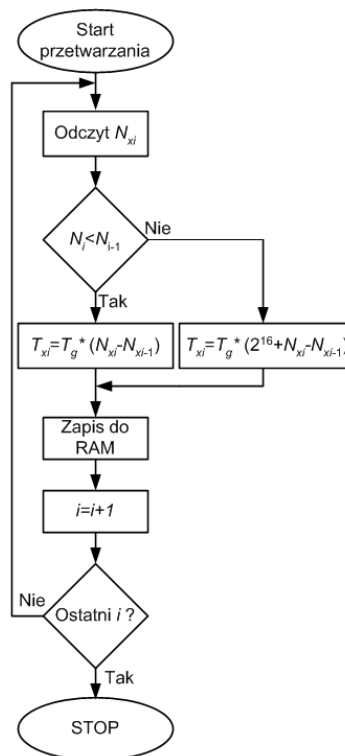
Rys. 4. Panel konfiguracji rejestratora

Rolą komputera nadrzędnego w pierwszej fazie procesu rejestracji jest konfiguracja przetwornika f/N do pracy. Użytkownik ustawia (rys.4) parametry komunikacji, liczbę stanów N_i do zmierzenia (wartości z zakresu od 1000 do 200 000) oraz zakresu pomiarowego, tj. stopnia podziału częstotliwości sterującej licznikiem. Ma do wyboru, jak już wcześniej opisano, możliwość sterowania bezpośrednio

okresem sygnału głównego $T_g = 62,5$ ns lub okresem po podziale przez 64, co daje $T_g = 4$ μ s.

Po procesie konfiguracji następuje uruchomienie przetwarzania sygnału częstotliwościowego przez przetwornik f/N według opisanych wcześniej zasad.

Dane przesłane do PC wymagają dalszej obróbki. Na rysunku 5 przedstawiono algorytm przetwarzania kolejnych stanów licznika N_i w wartości N_{xi} odpowiadające poszczególnym odcinkom czasu T_{xi} .

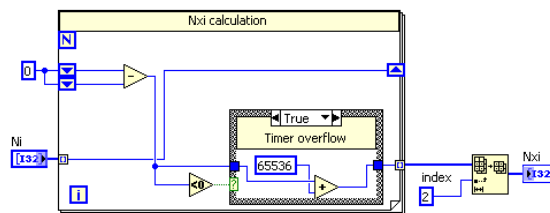


Rys. 5. Algorytm przetwarzania i zapisu danych pomiarowych

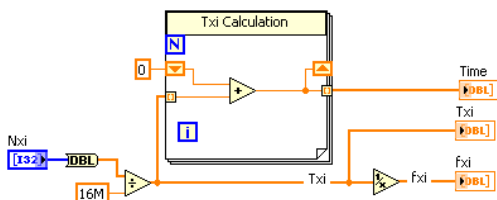
Przyjęto założenie, że zakres pomiarowy rejestratora zostaje dobrany tak, aby umożliwić co najwyżej jedno przepełnienie licznika T4 wykorzystywanego do pozyskiwania kolejnych liczb N_i . Stąd dopuszczalne jest wystąpienie liczby N_i mniejszej od liczby o indeksie niższym, czyli N_{i-1} . Oczywiście istnieje możliwość rozszerzenia zakresu sumowanych okresów T_g . Wymaga to jednak zastosowania kolejnego licznika.

Po odbiorze danych z modułu przetwornika f/N następuje obliczanie kolejnych wartości N_{xi} reprezentujących odpowiednie T_{xi} . Realizację algorytmu obliczania kolejnych liczb N_{xi} w LabVIEW pokazano na rysunku 6.

Obliczone N_{xi} są zestawiane w tabelę i przekazywane do podprogramu wyliczającego wartości T_{xi} i f_{xi} wg zależności odpowiednio (3) i (2). Rysunek 7 prezentuje podprogram realizujący powyższe czynności.

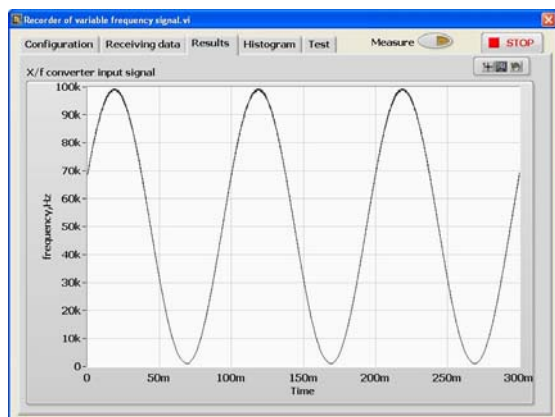


Rys. 6. Konwersja stanów N_i na liczby N_{xi}

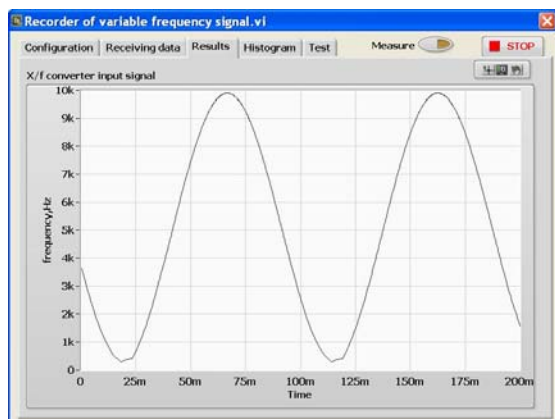


Rys. 7. Obliczanie przedziałów czasu T_{xi} i wartości częstotliwości f_{xi}

Na rysunkach 8 i 9, zamieszczono dwa przykładowe wyniki eksperymentalnej rejestracji sinusoidalnego przebiegu testowego.



Rys. 8. Wynik rejestracji przebiegu testowego o parametrach $f_0 = 50$ kHz, $f_m = 49$ kHz, $F = 10$ Hz.



Rys. 9. Wynik rejestracji przebiegu testowego o parametrach $f_0 = 5$ kHz, $f_m = 4,9$ kHz, $F = 10$ Hz.

Uzyskane przebiegi potwierdzają teoretyczną analizę przetwarzania danych w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji. W obszarach minimum sinusoidy widać widoczne zniekształcenia powodowane rosnącym wpływem błędu uśredniania [16]:

$$(6) \quad \delta_a = 0.5 \left(1 - \frac{\sin \pi T_{xi} F}{\pi T_{xi} F} \right),$$

natomiast szczyty sinusoidy są zniekształcone typowymi załamaniami powodowanymi występowaniem błędu kwantowania [16]:

$$(7) \quad \delta_k = \frac{T_g}{T_{xi}} \cdot 100\%.$$

Rejestrator umożliwia zapis wyników pod wybraną nazwą na dysk, co pozwala na późniejsze wykorzystanie ich do analizy z wykorzystaniem innego, zewnętrznego oprogramowania np. Microsoft Excel.

Podsumowanie

Opracowany model rejestratora przebiegu częstotliwościowego pozwala na przetwarzanie sygnału częstotliwościowego z błędem kwantowania mniejszym niż 1% w zakresie 1,9 Hz do 160 kHz. Aktualne oprogramowanie pozwala zarejestrować do 200 tysięcy stanów licznika przetwornika „częstotliwość-kod”.

Wyniki pracy opracowanego urządzenia uznano za poprawne i zgodne z oczekiwaniami. Zostały potwierdzone teoretyczne analizy błędu przetwarzania w przetworniku częstotliwość-kod. Dla wyższych częstotliwości widoczny jest wpływ błędu kwantowania, natomiast dla niższych wpływ błędu uśredniania.

Opracowany rejestrator zmiennej częstotliwości daje szerokie możliwości prowadzenia dalszych prac badawczych. Opcja archiwizacji uzyskanych danych do dalszego wykorzystania w zewnętrznym oprogramowaniu dodatkowo uniezależnia od zastosowanych w rejestratorze rozwiązań. Zastosowany moduł Arduino pozwala na swobodną wymianę oprogramowania, co daje możliwości testowania nowych metod przetwarzania sygnału częstotliwościowego.

Autorzy: dr inż. Piotr Warda, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: p.warda@pollub.pl; dr inż. Eligiusz Pawłowski, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: e.pawlowski@pollub.pl

LITERATURA

- [1] Murillo C.A., López B.C., Celma S., Voltage-to-Frequency Converters: CMOS Design and Implementation, Springer (2013), New York
- [2] Meijer G. C. M., Smart Sensor Systems, Wiley (2008), New York
- [3] Kirianaki N. V., Yurish S. Y., Shpak N. O., Deynega V. P. Data acquisition and signal processing for smart sensors, John Wiley & Sons, Ltd (2001), Baffins Lane
- [4] Pawłowski E., Spectrum analysis of measuring signals in sensors circuits with frequency output, *Proceedings of SPIE*, 4516 (2001), 181-186
- [5] Warda P., Voltage-to-frequency converter simulation in LabVIEW, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 11, 133-136
- [6] Warda P., Generator with frequency modulation as a source of testing signal for a slotted line with a frequency data carrier, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 8, 235-238
- [7] Pawłowski E., Digital processing of pulse signal from light-to-frequency converter under dynamic condition, *Proc. SPIE*, 929102, August 19, (2014)
- [8] Cheng-Ta Ch., Chi-Shen W., Yu-Ch. Huang, A CMOS Integrated Capacitance-to-Frequency Converter with Digital Compensation Circuit Designed for Sensor Interface Applications, *Proc. of IEEE Sensors*, (2007), 954-957
- [9] Aragonés R., Oliver J., Ferrer C., A System Clock Precision Frequency to Code Converter for Low Power Supply Dependence ROIC, IEEE 4th Latin American Symposium on Circuits and Systems, LASCAS (2013)
- [10] Jasik J.R., Przetwarzanie sygnałów pomiarowych w systemach z częstotliwościowym nośnikiem informacji, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin (2003)
- [11] Świsulski D., Cyfrowa rejestracja sygnałów impulsowych z częstotliwościowym nośnikiem informacji, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk (2006)
- [12] Atmega 2560 8-bit Microcontroller with 16/32/64K Bytes In-System Programmable Flash, Atmel Corporation (2014)
- [13] Evans M., Hochenbaum J., Arduino w akcji, HELION (2014)
- [14] Francuz T., Język C dla mikrokontrolerów AVR. Od podstaw do zaawansowanych aplikacji, Helion, Gliwice (2011)
- [15] AS7C4096A, Alliance Semiconductor, February (2006)
- [16] Warda P., Error of conversion of 'physical quantity-to-frequency' converter output signal, *Proceedings of SPIE*, ISSN 0277-786X, nr 10161 (2016)