

**Dariusz ŚWISULSKI**

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI

## Wielokanałowa akwizycja z torami pomiarowymi z napięciowym i częstotliwościowym nośnikiem informacji

Dr inż. Dariusz ŚWISULSKI

Adiunkt w Katedrze Miernictwa Elektrycznego na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Autor lub współautor ponad stu artykułów w czasopiśmie naukowych lub materiałach konferencyjnych oraz ponad dwudziestu wdrożeń w przemyśle. Autor i współautor dwóch książek z serii „Komputerowa Technika Pomiarowa” wydanych przez Agencję Wydawniczą PAK. Obszar zainteresowań obejmuje cyfrową technikę pomiarową, systemy pomiarowe, przyrządy wirtualne.

e-mail: dswis@ely.pg.gda.pl



### Streszczenie

Tematem artykułu jest akwizycja sygnałów w systemie pomiarowym z torami pomiarowymi z napięciowym i częstotliwościowym nośnikiem informacji. Zaproponowano nową metodę akwizycji sygnałów z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Pozwala ona na uzyskanie informacji o częstotliwości sygnału impulsowego modulowanego częstotliwościowo w tych samych chwilach czasu, w których próbkowane są sygnały w torach napięciowych.

### Multi-channel acquisition with measuring channels with voltage and frequency data carrier

#### Abstract

The theme of article is acquisition of signals in measuring system with voltage and frequency data carrier. New method of acquisition of signal with frequency data carrier is proposed. The method lets acquire information about frequency of pulse signal in the same instants which voltage signals are sampled. A value of frequency is calculated from values of two neighbouring periods. The realization of method based on multifunction DAQ cards and LabVIEW software is described.

### 1. Wprowadzenie

W technice pomiarowej, przy przetwarzaniu dowolnej wielkości na postać cyfrową, bardzo często wykorzystywany jest tor pomiarowy z przetwarzaniem mierzonej wielkości na napięcie (lub prąd). Napięcie to w bloku przetwornika analogowo-cyfrowego, w procesie próbkowania i kwantowania przetwarzane jest na postać cyfrową, zapisywaną następnie do pamięci [1].

Czasami jako sygnały pośrednie w torze pomiarowym wykorzystywane są sygnały impulsowe modulowane częstotliwościowo [2-4]. Sygnał impulsowy jako sygnał pośredni jest stosowany chętnie ze względu na prosty sposób przetworzenia na postać cyfrową i małą wrażliwość na zakłócenia np. przy przesyłaniu na większe odległości. Ze względu na wykorzystanie licznika jako przetwornika wielkości analogowej na cyfrową, rozdzielczość zależy od pojemności licznika i czasu pomiaru. Dobierając odpowiedni czas bramkowania przy zastosowaniu licznika o dużej pojemności można w prosty sposób uzyskać przetwornik o rozdzielczości 16 bitów lub większej, co przy przetwarzaniu napięcia może nastęrczać trudności. Do zalet przetwarzania f/C w porównaniu z A/C można również zaliczyć dostępność dokładnych wzorców.

W wieloparametrowych systemach pomiarowych często wykorzystywane są jednocześnie obie metody (np. [5]). Jeżeli zarejestrowane w dziedzinie czasu wyniki będą wykorzystane do analizy zależności między sygnałami w poszczególnych kanałach, ważne jest, by były one uzyskiwane w tych samych chwilach czasu.

W kanałach z przetwarzaniem A/C realizowane jest to przez wykorzystanie układów próbkująco-pamiętających w każdym kanale pomiarowym [6].

Większy problem występuje przy wielokanałowej akwizycji sygnałów z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Znane są metody rekonstrukcji widma przy nierównomiernym próbkowaniu [7], możliwa jest również konwersja chwil próbkowania dla sygnału impulsowego [8, 9]. Autor zaproponował metody pozwalające uzyskać wyniki pomiarów w poszczególnych kanałach ze stałą częstotliwością [4, 10] lub w chwili zbocza sygnału w jednym z kanałów [4, 11].

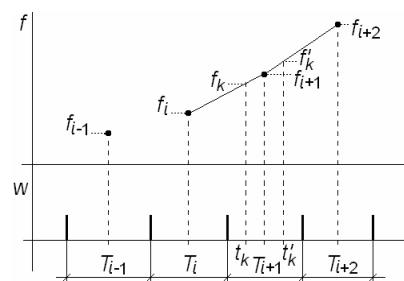
Problem komplikuje się przy połączeniu obu typów torów pomiarowych. Informacja o wartości sygnału w torach napięciowych i częstotliwych powinna być uzyskiwana nie tylko ze stałą i taką samą częstotliwością, ale wymagane jest uzyskanie tych informacji w tych samych chwilach czasu.

### 2. Założenia metody

Rejestracja częstotliwości sygnału impulsowego realizowana jest zwykle w ten sposób, że wartość częstotliwości w dowolnej chwili  $t_k$  obliczana jest na podstawie długości ostatniego okresu  $T_i$  poprzedzającego chwilę  $t_k$ .

Jeżeli częstotliwość sygnału zmienia się w czasie pomiaru w wyniku zmiany mierzonej wielkości fizycznej, a jednocześnie przy dłuższym okresie sygnału impulsowego, a w rezultacie dłuższym czasie między zakończeniem okresu  $T_i$  i chwilą  $t_k$ , wartość uzyskana z pomiaru może odbiegać od wartości w chwili próbkowania [12]. Dlatego lepszym rozwiązaniem jest wyznaczenie wartości częstotliwości z dwóch sąsiednich okresów, przy założeniu liniowej zmiany częstotliwości oraz założeniu, że wartość częstotliwości  $f_i$  uzyskana z pomiaru okresu  $T_i$  jest równa chwilowej wartości częstotliwości w środkowym punkcie tego okresu [12].

Jako wartość częstotliwości  $f_k$  w chwili  $t_k$  można przyjąć wartość wyznaczoną z dwóch sąsiednich okresów, przy założeniu, że częstotliwość zmienia się w czasie tych okresów liniowo. W zależności od położenia chwili  $t_k$  okresami tymi są  $T_i$  i  $T_{i+1}$  lub  $T_{i+1}$  i  $T_{i+2}$  (rys. 1).



Rys. 1. Pomiar częstotliwości z dwóch okresów  
Fig. 1. Frequency measurement from two periods

Dla  $\sum_{j=1}^i T_j \leq t_k \leq \sum_{j=1}^i T_j + \frac{1}{2} T_{i+1}$  obliczamy częstotliwość  $f_k$

z wzoru (1), natomiast dla  $\sum_{j=1}^i T_j + \frac{1}{2} T_{i+1} < t_k < \sum_{j=1}^{i+1} T_j$  ( $f_k$  na rys. 1)

z wzoru (2).

$$f_k = f_i + \frac{(f_{i+1} - f_i) \left( t_k - \left( \sum_{j=1}^{i-1} T_j + \frac{1}{2} T_i \right) \right)}{\left( \sum_{j=1}^i T_j + \frac{1}{2} T_{i+1} \right) - \left( \sum_{j=1}^{i-1} T_j + \frac{1}{2} T_i \right)} =$$

$$= f_i + \frac{2(f_{i+1} - f_i) \left( t_k - \sum_{j=1}^{i-1} T_j - \frac{1}{2} T_i \right)}{T_i + T_{i+1}} \quad (1)$$

$$f_k = f_{i+1} + \frac{(f_{i+2} - f_{i+1}) \left( t_k - \left( \sum_{j=1}^i T_j + \frac{1}{2} T_{i+1} \right) \right)}{\left( \sum_{j=1}^{i+1} T_j + \frac{1}{2} T_{i+2} \right) - \left( \sum_{j=1}^i T_j + \frac{1}{2} T_{i+1} \right)} =$$

$$= f_{i+1} + \frac{2(f_{i+2} - f_{i+1}) \left( t_k - \sum_{j=1}^i T_j - \frac{1}{2} T_{i+1} \right)}{T_{i+1} + T_{i+2}} \quad (2)$$

Jednocześnie z pomiarem częstotliwości, w chwili  $t_k$  próbkowa-  
ne są napięcia w torach z napięciowym nośnikiem informacji.

### 3. Realizacja pomiarów

Przedstawiona zasada pomiarów wymaga zsynchronizowania  
próbkowania sygnału napięciowego i związanych z chwilami  
próbkowania pomiarów długości okresów sygnału impulsowego.  
Zrealizowano to przez wykorzystanie zewnętrznego sygnału  
taktującego.

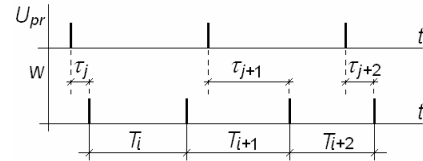
Pełen pomiar dla pojedynczego kanału pomiarowego z czę-  
stotliwościowym nośnikiem informacji wykonywany jest za pomocą  
dwóch liczników pracujących w sposób ciągły w trybie z bufor-  
owaniem. Pierwszy z tych liczników zlicza impulsy sygnału wzor-  
cowego w trakcie kolejnych okresów sygnału impulsowego, które  
zapisywane są do pamięci. Drugi z liczników zlicza impulsy  
sygnału wzorcowego w czasie między impulsem wyznaczającym  
chwilę próbkowania i najbliższym impulsem sygnału impulsowego.

W chwili każdego impulsu sygnału taktującego układ  
próbkująco-pamiętający pobiera wartość napięcia, przetwarzaną  
następnie w przetworniku A/C na postać cyfrową. Jednocześnie  
w tej samej chwili do pamięci zostaje zapisany numer ostatniego  
zmierzonego okresu (liczba okresów zmierzonych do chwili dane-  
go impulsu taktującego).

W rezultacie dla akwizycji dwukanałowej (jeden tor pomiarowy  
napięciowy i jeden częstotliwościowy) po zakończonym pomiarze  
w pamięci znajdują się cztery tablice jednowymiarowe:

- próbki napięcia po przetworzeniu na postać cyfrową :  $U_1, U_2, \dots, U_m$ ,
- indeksy okresów sygnału impulsowego w chwilach impulsów  
taktujących: :  $a_1, a_2, \dots, a_m$ ,
- długości okresów sygnału impulsowego:  $T_1, T_2, \dots, T_n$ ,
- odległości między impulsem próbkującym i najbliższym impul-  
sem sygnału impulsowego:  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$ .

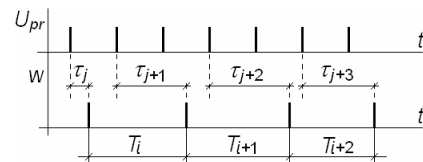
Pierwsze dwie tablice mają jednakową liczbę elementów  $m$ .  
Czwarta tablica w przypadku, gdy najdłuższy okres sygnału im-  
pulsowego jest mniejszy lub równy okresowi próbkowania  
( $\max T_i \leq T_{pr}$ ), ma taką samą liczbę elementów, co dwie pierwsze  
tablice ( $p = m$ ) (patrz rys. 2).



Rys. 2. Próbkowanie dla  $\max T_i \leq T_{pr}$

Fig. 2. Sampling for  $\max T_i \leq T_{pr}$

Jeżeli natomiast najdłuższy okres sygnału impulsowego jest  
większy od okresu próbkowania ( $\max T_i > T_{pr}$ ), czwarta tablica  
może mieć mniejszą liczbę elementów, niż dwie pierwsze tablice  
( $p \leq m$ ). Wynika to z działania liczników pracujących w trybie  
pomiaru odstepu między impulsami różnych sygnałów. Po impul-  
sie pierwszego sygnału rozpoczynającym pomiar, zostaje on  
zakończony w chwili pierwszego impulsu drugiego sygnału, bez  
względu na to, czy w pierwszym sygnale pojawią się kolejne  
impulsy (rys. 3).



Rys. 3. Próbkowanie dla  $\max T_i > T_{pr}$

Fig. 3. Sampling for  $\max T_i > T_{pr}$

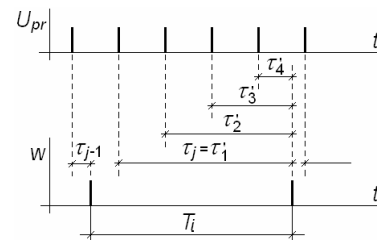
Aby uwzględnić „pominięte” odstępy  $\tau_j$  między impulsami obu  
sygnałów w czwartej tablicy, w miejsce pojedynczego elementu  $\tau_j$   
dla  $\tau_j > T_{pr}$  należy wstawić  $s$  elementów  $\tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_s$  (rys. 4),  
gdzie:

$$\tau'_1 = \tau_j, \quad \tau'_2 = \tau_j - T_{pr}, \quad (3)$$

$$\tau'_s = \tau_j - (s-1)T_{pr}$$

$$s = \text{trunc} \left[ \frac{\tau_j}{T_{pr}} \right] + 1 \quad (4)$$

a  $\text{trunc}[x]$  oznacza część całkowitą liczby  $x$ .



Rys. 4. Konwersja tablicy  $\tau_p$   
Fig. 4. Conversion of table  $\tau_p$

W ten sposób otrzymujemy tablicę  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$  o  $m$  elemen-  
tach, gdzie kolejne wartości odpowiadają odstępowi między każ-  
dym impulsem próbkującym i najbliższym impulsem sygnału im-  
pulsowego.

Wartość częstotliwości  $f_k$  sygnału impulsowego w chwili  $k$ -tego  
impulsu sygnału taktującego wyznaczana jest na podstawie wzor-  
ów (1, 2) z dwóch okresów ( $T_{a_k}$  i  $T_{a_k+1}$  lub  $T_{a_k+1}$  i  $T_{a_k+2}$ ) oraz  
odstepu  $\tau_{a_k}$ , gdzie  $a_k$  jest indeksem okresu poprzedzającego im-  
puls taktujący.

Dla  $\tau_{a_k} \geq \frac{1}{2} T_{a_k+1}$  częstotliwość  $f_k$  obliczamy ze wzoru:

$$f_k = \frac{1}{T_{a_k}} + \frac{\left(\frac{1}{T_{a_{k+1}}} - \frac{1}{T_{a_k}}\right) \left(\frac{1}{2}T_{a_k} + T_{a_{k+1}} + \tau_{a_k}\right)}{\frac{1}{2}T_{a_k} + \frac{1}{2}T_{a_{k+1}}} =$$

$$= \frac{T_{a_k}^2 - T_{a_{k+1}}^2 + 2 \cdot T_{a_k} \cdot T_{a_{k+1}} - 2 \cdot \tau_{a_k} \cdot (T_{a_k} + T_{a_{k+1}})}{(T_{a_k} + T_{a_{k+1}}) \cdot T_{a_k} \cdot T_{a_{k+1}}} \quad (5)$$

Natomiast dla  $\tau_{a_k} < \frac{1}{2}T_{a_{k+1}}$  częstotliwość  $f_k$  obliczamy ze wzoru:

$$f_k = \frac{1}{T_{a_{k+1}}} + \frac{\left(\frac{1}{T_{a_{k+2}}} - \frac{1}{T_{a_{k+1}}}\right) \left(\frac{1}{2}T_{a_{k+1}} - \tau_{a_k}\right)}{\frac{1}{2}T_{a_{k+1}} + \frac{1}{2}T_{a_{k+2}}} =$$

$$= \frac{T_{a_{k+1}}^2 - T_{a_{k+2}}^2 - 2 \cdot \tau_{a_k} \cdot (T_{a_{k+1}} - T_{a_{k+2}})}{(T_{a_{k+1}} + T_{a_{k+2}}) \cdot T_{a_{k+1}} \cdot T_{a_{k+2}}} \quad (6)$$

Po tej operacji dla pomiaru w dwóch kanałach (jeden napięciowy i jeden częstotliwościowy) otrzymujemy dwie tablice jedno-wymiarowe:

- wartości napięcia:  $U_1, U_2, \dots, U_m$ ,
- wartości częstotliwości uzyskane dla tych samych chwil próbkowania:  $f_1, f_2, \dots, f_m$ .

Oczywiście liczba kanałów, w których wykonywany jest pomiar może być większa. Dla torów napięciowych ograniczona jest liczbą układów próbkująco-pamiętających, dla torów częstotliwościowych liczbą liczników (dwa liczniki na jeden kanał).

#### 4. Oprogramowanie układu pomiarowego

Przedstawiona metoda może być wykorzystana zarówno w układzie autonomicznego przyrządu mikroprocesorowego, jak i jako przyrząd wirtualny na bazie kart akwizycji sygnałów pomiarowych [13].

Do realizacji układu wykorzystano moduły akwizycji sygnałów pomiarowych firmy National Instruments (PCI-6251 i PCI-6601) oraz dodatkowy generator, jako źródło sygnału taktującego, wyznaczającego chwile próbkowania. Pierwszy z modułów wykonuje pomiar w kanałach analogowych, drugi w kanałach częstotliwościowych. Dla pojedynczego kanału częstotliwościowego wykorzystano dwa liczniki, jeden pracujący w trybie *buffered period measurement*, drugi w trybie *buffered two signal edge separation measurement* [11]. Oprogramowanie zostało przygotowane w środowisku LabVIEW, z wykorzystaniem sterowników DAQmx [14]. Sterowniki te pozwalają na zrealizowanie w prosty sposób synchronizacji działania różnych funkcji modułów pomiarowych. Jednoczesny start różnych zadań można wykonać z użyciem struktury *Sequence*, gdzie w kolejnych ramkach umieszczone są funkcje *DAQmx Start Task* poszczególnych zadań [15]. Za pomocą sterowników DAQmx można zsynchronizować również zadania związane z wejściami analogowymi i licznikowymi [16].

Odpowiednie oprogramowanie pozwala na przeliczenie wyników pośrednich według zadanego algorytmu po zakończonym pomiarze. W rezultacie otrzymujemy zapisane w pamięci wyniki końcowe.

#### 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodę pozwalającą zintegrować kanały pomiarowe z napięciowym i częstotliwościowym nośnikiem informacji. Pozwala ona na uzyskiwanie informacji o wartościach sygnałów w tych samych chwilach czasu.

Przedstawiona metoda dotyczy analizy off-line, gdy przetwarzanie danych realizowane jest po zakończonym pomiarze. Dla analizy on-line metoda może być zmodyfikowana w taki sposób, by wartość częstotliwości w danej chwili próbkowania była ekstrapolowana na podstawie długości dwóch ostatnich okresów poprzedzających chwilę próbkowania.

#### 6. Literatura

- [1] J. Jakubiec, J. Roj: Pomiarowe przetwarzanie próbkujące. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
- [2] N. V. Kirianaki, S. Y. Yurish, N. O. Shpak, V. P. Denega: Data acquisition and signal processing for smart sensors. John Wiley & Sons, Ltd, Baffins Lane 2002.
- [3] J. R. Jasik: Przetwarzanie sygnałów pomiarowych w systemach z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
- [4] D. Świsulski: Cyfrowa rejestracja sygnałów impulsowych z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- [5] D. Świsulski, M. Wołoszyk, M. T. Galewski, M. Porzeziński: Rejestracja parametrów pracy wiertnicy wytwarzającej pale betonowe. Pomiar Automatyka Robotyka, nr 7 8/2004, s. 91-94.
- [6] D. Świsulski: Systemy pomiarowe. Laboratorium. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001.
- [7] Y. C. Jenq: Perfect reconstruction of digital spectrum from nonuniformly sampled signals. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 46, No 3, June 1997, s. 649 652.
- [8] D. Świsulski: Przetwarzanie sygnału impulsowego z konwersją okresu próbkowania. Krajowy Kongres Metrologii, Gdańsk 15-18 września 1998, t. 2, s. 190-197.
- [9] E. Pawłowski: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów próbkowanych nierównomiernie. Joint IMEKO TC-1 & XXXIV MKM Conference 2002, Wrocław, 8-10 września 2002, vol. II, s. 175 182.
- [10] D. Świsulski: Elimination of errors due to measurement-time variation in continuous measurements of time-encoded signals. Proceedings of 9th International Fair and Congress for Sensors, Transducers & Systems SENSOR'99, vol. 2, Nürnberg, May 18-20, 1999, s. 463 468.
- [11] D. Świsulski: Wielokanałowa rejestracja częstotliwości licznikami NI-TIO. Materiały VII Szkoły - Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK-2005, Waplewo, 17 20 maja 2005, t. 2, s. 63 70.
- [12] D. Świsulski: Błąd dynamiczny w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji. Pomiar Automatyka Kontrola, nr 2/2000, s. 2-6.
- [13] D. Świsulski: Cyfrowa rejestracja sygnałów z wykorzystaniem przyrządów autonomicznych i wirtualnych. Materiały V Szkoły - Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK-2001, Rynia k/Warszawy, 21 24 maja 2001, t. 2, s. 299 304.
- [14] D. Świsulski: Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW. Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2005.
- [15] National Instruments: Advanced Data Acquisition Series - Synchronization with NI LabVIEW and NI-DAQmx. Strona internetowa zone.ni.com.
- [16] D. Świsulski: Pomiar położenia wrzeciona zaworów regulacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 223, seria Elektrotechnika z. 28, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005, Materiały XIII Międzynarodowego Seminarium Metrologów, Rzeszów 17-19 października 2005, s. 199-206.