

Roman ŻURKOWSKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

## Składanie występujących w systemie pomiarowym błędów opóźnień i przetwarzania

Mgr inż. Roman ŻURKOWSKI

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach – specjalność Automatyka i metrologia elektryczna (1999). Zajmuje się zagadnieniami budowy i analizy metrologicznej komputerowych systemów pomiarowych.



e-mail: roman.zurkowski@polsl.pl

### Streszczenie

W artykule scharakteryzowano typowe przyczyny powstawania opóźnień w systemach pomiarowych i ich wpływ na błędy danych pomiarowych. W postaci histogramu przedstawiono wyniki pomiarów opóźnień wykonanych w przykładowym systemie. W artykule umieszczono model propagacji błędów w systemie uwzględniający opóźnienia. Model propagacji błędów stanowi podstawę do wyznaczenia niepewności wyników pomiarów wykonywanych w systemie.

**Słowa kluczowe:** błąd opóźnienia, składanie błędów, model propagacji błędów.

### Composing of delay errors and measurement system processing errors

#### Abstract

This article characterize typical reasons of generations of delays in measuring systems and influence on errors measuring data. It present results of measurements of delays executed in exemplary system in the histogram form. In article place model of propagation of error in system taking into consideration delay. Model of propagation of error presents base for assignment of uncertainty in system.

**Keywords:** delay error, errors composing, propagation errors model.

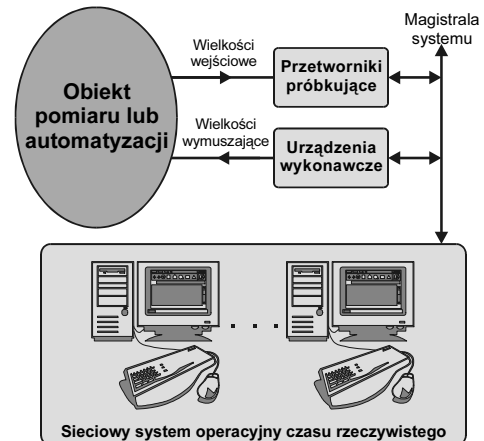
### 1. Wstęp

Z uwagi na szybki rozwój techniki, budowane współcześnie systemy pomiarowo-sterujące to bardzo często systemy komputerowe. Do ich budowy wykorzystywane są zarówno komputery klasy PC, głównie do wizualizacji wyników pomiarów, jak i komputery modułowe i panelowe. Wszystkie te systemy ze względu na budowę, a w szczególności konieczność wykorzystania w komputerach systemów operacyjnych obciążone są pewnymi, opisanymi w dalszej części pracy błędami.

Ogólnie system pomiarowo-sterujący może być przedstawiony w sposób pokazany na rys.1. Źródłem danych w systemie są przetworniki próbkujące [1], które z określoną częstotliwością dostarczają kolejnych wyników pomiaru wartości chwilowych wielkości mierzonych. Wyniki te poprzez magistralę interfejsu rozprawdane są w całym systemie. System po odebraniu danych pomiarowych, przetwarza je i podejmuje odpowiednie działania sterujące (poprzez urządzenia wykonawcze).

Pomiędzy chwilą wykonania pomiaru, a podjęciem działań sterujących upływa pewien czas, który można nazwać czasem reakcji, bądź opóźnieniem reakcji systemu.

Opóźnienie reakcji systemu można traktować jako dodatkowe źródło błędów w systemie. Błędy te należy składać z pozostałymi błędami występującymi w systemie pomiarowym.

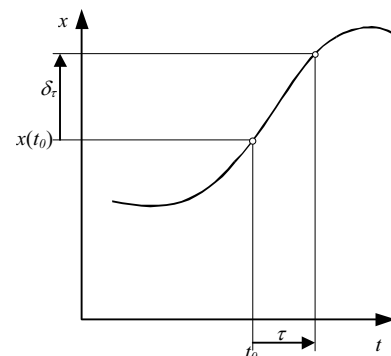


Rys. 1. Struktura systemu pomiarowo-sterującego

Fig. 1. General structure of measuring-control system

### 2. Błąd powodowany opóźnieniem

Opóźnienie reakcji systemu można interpretować jako źródło błędów danych pomiarowych powstających w sposób pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Ilustracja powstawania błędu powodowanego opóźnieniem

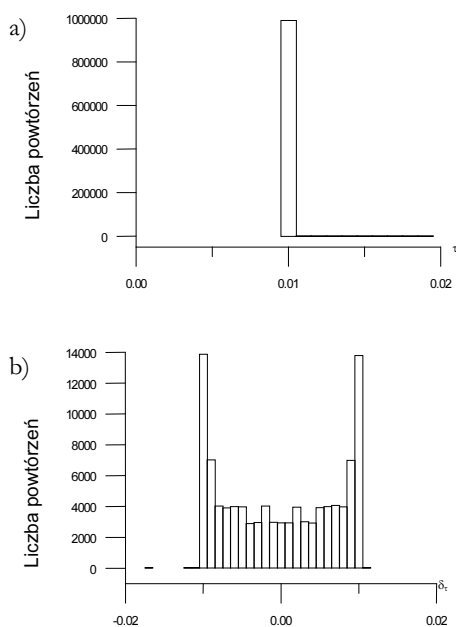
Fig. 2. Illustration of arising the error caused by result propagation delay in the system

Przy wykonaniu pomiaru zmiennej w czasie wielkości  $x(t)$  w chwili  $t_0$  otrzymuje się wartość  $x(t_0)$ . Jednak wynik pomiaru dociera do urządzenia wykonawczego z pewnym opóźnieniem  $\tau$ . W chwili wykorzystania (w urządzeniu wykonawczym) wyniku pomiaru rzeczywista wartość wielkości mierzonej jest więc inna niż w chwili wykonywania pomiaru i wynosi  $x(t_0 + \tau)$ . Różnica tych wartości stanowi błąd spowodowany opóźnieniem reakcji systemu. Wartość tego błędu zależy od szybkości zmian mierzonej wielkości i od wartości opóźnienia  $\tau$ , można ją wyrazić następującym wzorem:

$$\delta_x(t_0) = x(t_0) - x(t_0 + \tau) \quad (1)$$

gdzie:  $x(t)$  – wartość chwilowa wielkości mierzonej,  $\tau$  – opóźnienie reakcji systemu,  $\delta(\tau)$  – błąd powodowany opóźnieniem,  $t_0$  – chwila wykonania pomiaru.

Systemy pomiarowo-sterujące pracują z reguły w sposób ciągły, a pomiary wykonywane są wielokrotnie. Należy więc zbiór opóźnień  $\{\tau\}$  (histogram z rys. 3a), przekształcić w zbiór błędów  $\{\delta(\tau)\}$  (histogram z rys. 3b) wykorzystując zależność (1). W systemie pracującym w czasie rzeczywistym, przy założonej maksymalnej szybkości zmian wielkości mierzonej, można określić dopuszczalne opóźnienie, które nie spowoduje powstania błędów większych od dopuszczalnych.



Rys. 3. Przykładowe histogramy a) opóźnień b) błędów dla sinusoidalnie zmiennej wartości wielkości mierzonej

Fig. 3. Exemplary histogram of a) delays b) errors for sinusoidal measurement quantity

Źródłem opóźnień reakcji systemu są różne jego elementy. Do podstawowych zaliczyć należy:

- czasy dostępu do zasobów systemu takich jak: magistrale, procesory, przetworniki itp. ,
- czas przetwarzania analogowo-cyfrowego,
- czas transmisji danych,
- czas przetwarzania (obliczania) wyników.

Część z tych czasów ma wartości stałe (czas przetwarzania analogowo-cyfrowego), a część może przyjmować wartości losowe zależne od bieżącego obciążenia systemu pomiarowego (czasu dostępu).

W celu wykonania pomiarów opóźnień w przykładowym systemie którego schemat blokowy przedstawia rys.4. zbudowano przyrząd [2], którego podstawowe parametry to:

- pomiar czasu reakcji z rozdzielczością  $< 0,1 \mu s$ ,
- generacja „zdarzeń” z częstotliwością  $> 10 \text{ kHz}$ ,
- możliwość rejestracji czasu reakcji z 8 wejść,
- generacja zdarzeń na 2 wyjściach.

Oprogramowanie stworzone do obsługi przyrządu do pomiaru opóźnień pozwala na gromadzenie wyników pomiarów i późniejsze przetworzenie ich w histogram. Przykładowy histogram przedstawiony na rys.3a. uwzględnia opóźnienia powodowane czasem przetwarzania analogowo-cyfrowego oraz czasem transmisji wyników pomiarów poprzez sieć (stąd duże wartości opóźnień). Spośród w/w źródeł opóźnień w systemie, największy wpływ, na sumaryczną wartość opóźnienia mają czasy dostępu do zasobów systemu oraz czas potrzebny na transmisję wyników pomiarów przez sieć.

### 3. Błędy przetwornika próbkującego

Nieidealny proces przetwarzania A/C jest głównym źródłem błędów w przetwornikach próbkujących, ale są nimi również błędy algorytmów przetwarzania danych realizowane przez procesory systemu (przetwarzanie cyfrowe).

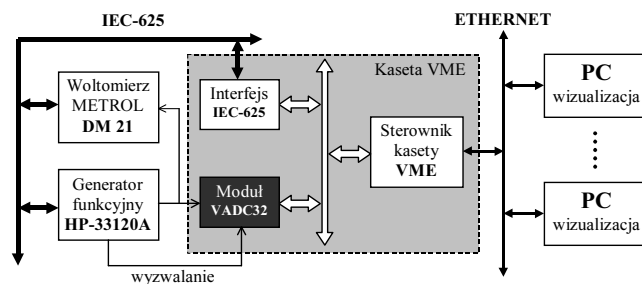
Do podstawowych błędów przetwarzania A/C należą:

- błąd kwantowania (rozdzielczość przetwornika),
- błąd dynamiczny,
- błąd nieliniowości,
- błąd powodowany „szumami”.

W celu identyfikacji w/w błędów zbudowano stanowisko którego schemat blokowy przedstawiono na rys.4. W skład stanowiska wchodzi:

- Komputer(y) klasy IBM-PC (QNX),
- kaseeta VME z systemem QNX,
- karta interfejsu IEC-625,
- moduł przetwornika VADC32,
- generator funkcyjny HP-33120A,
- woltomierz METROL-DM21.

Karta przetwornika analogowo-cyfrowego VADC32 podłączona do magistrali VME jest głównym elementem przetwornika próbkującego. Zastosowany jest w niej przetwornik analogowo-cyfrowy o rozdzielczości 12 bitów. Na karcie umieszczony jest również wzmacniacz pomiarowy o regulowanym wzmocnieniu. Przetwornik ma wejście zewnętrznego startu konwersji, które wykorzystywane jest w procesie wyznaczania czasu reakcji systemu oraz jednoznaczemu określeniu wartości chwilowej sygnału wejściowego i w konsekwencji błędów poszczególnych pomiarów. Wykorzystanie pozostałych elementów stanowiska oraz zestawienie wyników identyfikacji zostało szerzej omówione w pracy [3].



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

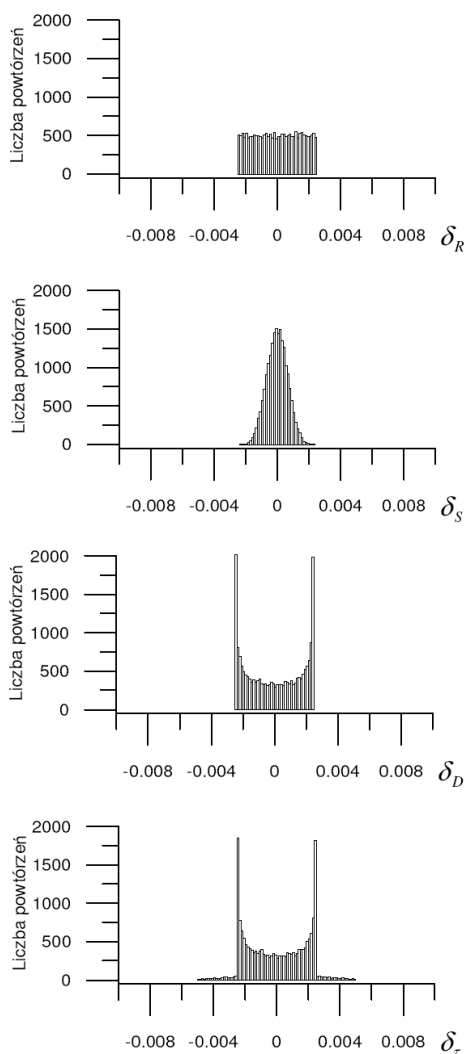
Fig. 4. Scheme of the measuring system

### 4. Składanie błędów

W wyniku identyfikacji źródeł błędów [2, 3] stwierdzono że ich rozkłady są następujące: dla błędu kwantowania rozkład jednostajny o szerokości równej wielkości kwantu przetwornika A/C, błąd szumu ma rozkład normalny natomiast błąd dynamiczny dla sinusoidalnie zmiennej wielkości mierzonej ma również przebieg sinusoidalny. Dla błędu nieliniowości nie wyznaczono rozkładu, gdyż można go usunąć przez zastosowanie poprawek. Jako że wykonanie wszystkich potrzebnych pomiarów w rzeczywistym systemie nie jest możliwe, dalsze badania przeprowadzono na podstawie symulacji działania systemu. W tym celu w programie symulacyjnym napisanym w języku C stworzono funkcje generujące błędy o rozkładach analogicznych do tych uzyskanych w wyniku identyfikacji. W programie możliwe jest również dowolne określenie szerokości każdego z rozkładów, co pozwala na analizę systemów innych niż badany. Przykładowe histogramy generowanych błędów, dla przyjętych porównywalnych szerokości rozkładów, przedstawiono na rys.5. W programie symulującym uwzględniono również fakt, że błędy przetwarzania należą w różny sposób składać z błędem powodowanym opóźnieniem.

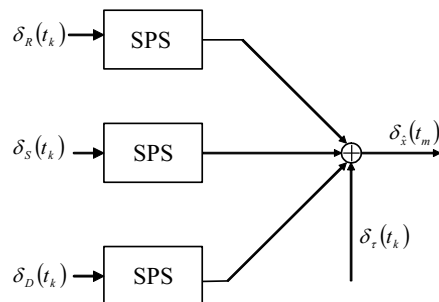
Ma to szczególne znaczenie w przypadku składania błędu opóźnienia z błędem dynamicznym, gdyż zachodzi tu silna korelacja między tymi dwoma źródłami błędów. Błąd dynamiczny i błąd opóźnienia zależą od szybkości zmian wielkości mierzonej. W programie symulującym ich wartości wyznaczone są dla tej samej chwilowej szybkości zmian, przy zachowaniu losowej wartości opóźnienia (przykładowy rozkład z rys. 3a).

Każdy wynik pomiaru dostarczony przez przetwornik próbkujący obciążony jest błędem, czyli jest to suma wartości poprawnej i błędów. Przy założeniu, że w otoczeniu wyniku pomiaru wartość wielkości mierzonej zmienia się w sposób liniowy, można stosując zasadę superpozycji, rozdzielnie analizować propagację sygnału i błędów. Model propagacji błędów w systemie, przedstawiono na rys. 6 i wyróżniono w nim cztery źródła błędów. Błąd powodowany szumami  $\delta_s$ , kwantowania  $\delta_R$  oraz dynamiczny  $\delta_D$ , to błędy którymi obciążone są wyniki pomiarów dostarczane przez przetworniki próbkujące. W systemie pomiarowo-sterującym (SPS) może powstać błąd powodowany opóźnieniem  $\delta_\tau$ .

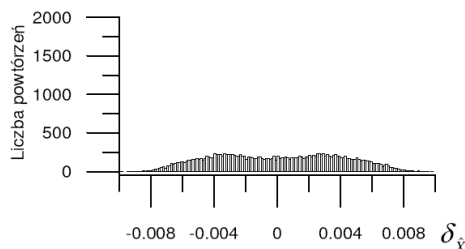


Rys. 5. Przykładowe histogramy błędów  
Fig. 5. Exemplary error histograms

Stosując model propagacji błędów przedstawiony na rys. 6 uzyskuje się w wyniku symulacji histogram złożonych błędów przedstawiony na rys. 7.



Rys. 6. Model propagacji błędów w systemie pomiarowo-sterującym  
Fig. 6. Error propagation model in the measuring-control system



Rys. 7. Histogram składanych błędów  
Fig. 7. Consistent error histogram

## 5. Wnioski

W systemach pomiarowo-sterujących może istnieć potrzeba uwzględnienia błędów powodowanych opóźnieniem. W sytuacjach takich konieczna jest znajomość histogramów opóźnień. Znajomość histogramów opóźnień pozwala na wyznaczenie histogramów błędów nimi powodowanych, a to prowadzi do wyznaczenia niepewności związanej z opóźnieniami w systemie. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe histogramy błędów: dynamicznego, kwantowania, szumu i opóźnień. Natomiast na rys. 7 przedstawiono wynik złożenia błędów systemu pomiarowego. Wartość niepewności wyników pomiarów uzyskiwanych w systemie można wyznaczyć na podstawie parametrów rozkładu złożonych błędów. Stworzone oprogramowanie pozwala na dowolne przyjęcie udziałów poszczególnych źródeł błędów na sumaryczną niepewność wyników pomiarów.

W pracy [4] przedstawiono metodę obliczenia wartości niepewności w przypadku, kiedy pomiędzy poszczególnymi źródłami błędów występuje korelacja. W przypadku rozpatrywanym w tej pracy korelacja taka występuje pomiędzy błędem dynamicznym, a błędem powodowanym opóźnieniem.

## 6. Literatura

- [1] J. Jakubiec, J. Roj: Pomiarowe przetwarzanie próbkujące. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2000
- [2] R. Żurkowski: Pomiar czasu reakcji systemu operacyjnego na zdarzenia zewnętrzne. PAR nr 7-8, Warszawa 2004
- [3] R. Żurkowski, K. Konopka: Identyfikacja źródeł błędów przetwarzania próbkującego. Materiały Konferencyjne IV Ogólnopolskich Warsztatów Doktoranckich, Zeszyt 5, Istebna-Zaolzie 2002
- [4] K. Konopka: Wpływ korelacji między błędami na współczynnik koherencji w ocenie niepewności za pomocą redukcyjnej arytmetyki interwałowej. ZN Politechniki Łódzkiej z.98, Łódź 2001