

Jacek NALEPA

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, AL. MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKÓW

Badania symulacyjne systemu korekcji dynamicznej metodą „w ciemno” przy autoidentyfikacji charakterystyk statycznych obu korygowanych torów

Dr inż. Jacek NALEPA

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki AGH w 1971 roku. W 1980 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie elektrotechniki. Aktualnie jest adiunktem w Katedrze Metrologii AGH na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki. Jego główne zainteresowania naukowe i dydaktyczne dotyczą zagadnień modelowania i badań symulacyjnych systemów i procesów pomiarowych. Jest autorem ponad 60 publikacji i jednego skryptu.
Adres e-mail: jnatal@agh.edu.pl



Streszczenie

Praktyczna realizacja korekcji błędu dynamicznego pomiaru metodą „w ciemno” wykazała, że najtrudniejszym do spełnienia jest warunek zapewnienia jednakowego wzmocnienia w obu torach pomiarowych. Opierając się na algorytmie różnicowym korekcji wykonano badania symulacyjne, w których uwzględniano różne przypadki występowania niejednakowego wzmocnienia w obu torach. W niniejszej pracy przebadano przypadki w których realizowana jest autoidentyfikacja własności statycznych w jednym lub w obu torach pomiarowych. Wyniki symulacji takich systemów porównano z wynikami symulacji systemu w którym dokładnie znamy wartości wzmocnień w obu torach. Jednym z wniosków jest konstatacja, że błędy numeryczne występujące w badaniach symulacyjnych nie pozwalają na wykrycie bardzo małych różnic we wzmocnieniach. Można też stwierdzić, że wpływ na tą sytuację błędów optymalizacji nie jest duży i w przypadku nieznaności własności statycznych korygowanych torów, metoda ich autoidentyfikacji jest dobrym rozwiązaniem.

Słowa kluczowe: błąd dynamiczny, korekcja „w ciemno”

Simulation investigation of the “blind” dynamic correction system with static characteristic auto-identification in both channels

Abstract

The practical application of the dynamic error correction, using the “blind correction” method has showed that ensuring the equal gain in both measuring channels is the most difficult condition to be fulfilled. Basing on the tuning models differential algorithm for the “blind correction” a simulation investigation has been carried out, taking into under consideration various options of non-equal gain factors in both channels. The results obtained from simulation of such system were compared to those of an ideal system. The best results were obtained in case auto-identification both gain factors. One of the conclusions is that the numerical errors, occurring in simulations, do not allow detecting very small differences in the gain factors.

Keywords: dynamic error, blind correction

1. Wprowadzenie

1.1. Opis metody

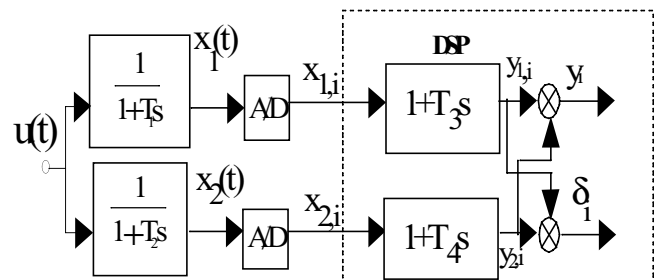
Prezentowana w niniejszej pracy metoda korekcji dynamicznego błędu pomiaru, nazywana metodą „w ciemno”, wykorzystuje do korekcji wyniki pomiaru tej samej wielkości

przez dwa równoległe tory pomiarowe o nieznanach, ale różnych, własnościach dynamicznych.

Pierwszym etapem algorytmu korekcji metodą „w ciemno” jest więc identyfikacja własności dynamicznych torów pomiarowych. Drugim etapem algorytmu, jest korekcja realizowana poprzez szeregowe korektory.

W niniejszej pracy do identyfikacji stosowana jest metoda „strojonego modelu”, w której współczynniki korektora w każdym z dwóch torów pomiarowych są tak przestrajane, aby uzyskać jak najmniejszą odległość pomiędzy ich skorygowanymi wynikami w sensie przyjętej normy. To minimum odległości występuje tylko w przypadku dobrego dostrojenia korektorów do torów pomiarowych. W algorytmie tym identyfikacja własności dynamicznych obu torów i właściwa korekcja zachodzą równocześnie. Aby wynik korekcji był prawidłowy niezbędne jest aby obydwie tory miały takie same własności statyczne a ich własności dynamiczne były różne.[1,6] Przedstawiona metoda korekcji dynamicznej pomiaru może być stosowana w takich przypadkach, gdy własności dynamiczne torów pomiarowych nie są dostatecznie dokładnie znane i stosowanie szeregowych korektorów o ustalonych parametrach nie jest możliwe. Przedstawiony algorytm korekcji może być realizowany programowo np. dla korekcji w czasie rzeczywistym może to być program realizowany w procesorze sygnałowym. Może także być to program realizowany na zarejestrowanych wcześniej wynikach pomiarów. W obu tych przypadkach tory pomiarowe powinny być uzupełnione o przetworniki A/C.

Na rysunku 1 przedstawiono system korekcji błędu dynamicznego metodą „w ciemno” dla torów pomiarowych modelowanych jako obiekty inercyjne pierwszego rzędu. Znajomość postaci modelu dynamiki torów pomiarowych, a więc także modeli szeregowych korektorów, jest znaczącym ułatwieniem realizacji korekcji metodą „w ciemno”, ale nie jest warunkiem koniecznym.[1,2,5]



Rys.1. Struktura systemu realizującego korekcję dynamiczną metodą „w ciemno”.
Fig.1. Block diagram of the „blind” dynamic error correction system

1.2. Wyniki dotychczasowych badań

Celem wstępnych badań symulacyjnych było określenie czy wyniki takich badań będą mogły być zastosowane do systemów rzeczywistych. W wyniku tych badań określono parametry symulacji (metoda i krok całkowania i różniczkowania numerycznego, częstotliwość próbkowania i metoda optymalizacji parametrycznej) i parametry systemu korekcji (długość słowa przetwornika A/C) dla których błędy numeryczne są najmniejsze.

Następnie wykonywano badania symulacyjne korekcji metodą 'w ciemno' dla torów pomiarowych modelowanych jako obiekty inercyjne pierwszego rzędu i obiekty drugiego rzędu [1,2,3,4]. Na podstawie wyników tych badań starano się określić zakresy parametrów korygowanych torów pomiarowych (np. wartość stosunku stałych czasowych lub stosunku stałych czasowych do okresu mierzonego sygnału), takich dla których realizacja korekcji metodą 'w ciemno' była by akceptowalna.

Jako kryterium oceny jakości korekcji przyjęto wskaźnik skuteczności Q, który określał ile razy maksymalna chwilowa wartość błędu dynamiczne została zmniejszona w wyniku korekcji w odniesieniu do pomiaru bez korekcji.

Przyjęto jako akceptowalną dla praktycznej realizacji, także ekonomicznie, skuteczność korekcji na poziomie 50 [5]. Badania symulacyjne korekcji dynamicznej metodą 'w ciemno' wykonywano także dla innych algorytmów identyfikacji [2,4]. Dla jednej z tych metod zrealizowano praktyczny - dla fizycznych modeli torów pomiarowych i rzeczywistych przetworników A/C, system korekcji dynamicznej jako program w procesorze sygnałowym. Wyniki pracy rzeczywistego systemu porównywano na bieżąco z wynikami badań symulacyjnych. Stwierdzono, że główną przyczyną różnic pomiędzy wynikami pracy rzeczywistego systemu a wynikami symulacji, jest trudność uzyskania w systemie rzeczywistym jednakowego wzmocnienia w obu torach pomiarowych. Postawiło to problem, możliwy do realizacji numerycznej, identyfikacji w procesie korekcji także własności statycznych obu torów pomiarowych.

Zwiększanie ilości identyfikowanych parametrów torów pomiarowych pociągało zawsze za sobą zmniejszanie uzyskiwanych wartości skuteczności korekcji.

Jako kolejne przeprowadzono badania symulacyjne korekcji 'w ciemno' dla torów pomiarowych z niestacjonarnością okresową. W badaniach tych tory pomiarowe zamodelowane były w postaci niestacjonarnych równań różniczkowych pierwszego rzędu - współczynniki dynamiki torów (współczynniki przy pierwszej pochodnej), miały postać: składowa stała plus sinusoidalna składowa zmienna (amplituda i faza) o częstotliwości sygnału wejściowego. Tylko dla tego prostego przypadku (pierwszy rząd i jedna, pierwsza, harmoniczna składowej zmiennej) konieczne było obliczenie, w procesie optymalizacji parametrycznej, wartości sześciu parametrów szeregowych korektorów. Prawie we wszystkich wynikach badań symulacyjnych takich systemów korekcji 'w ciemno' uzyskiwano wartości skuteczności Q poniżej 50 [7]. Przyczyną takiego obniżenia skuteczności korekcji mogą być zwiększone błędy numeryczne.

1.3. Problem identyfikacji własności statycznych

Problem dołączenia w algorytmie korekcji „w ciemno” identyfikacji własności statycznych korygowanych torów pomiarowych należy rozpatrywać w aspekcie zwiększenia błędów numerycznych i wpływu tych błędów na zakres stosowalności tej metody korekcji błędu dynamicznego. Postanowiono zbadać ten problem dla przypadku torów pomiarowych modelowanych jako obiekty inercyjne pierwszego rzędu. Identyfikowanymi parametrami statycznymi są wzmocnienia w obu torach pomiarowych.

Możliwe są następujące przypadki:

- konstruktor systemu korekcji nie wie, nie jest świadomy tego, że wzmocnienie w obu torach jest niejednakowe
- konstruktor wie dokładnie ile wynosi wzmocnienie w jednym torze (w tym który koryguje) i nie jest pewien czy w drugim torze jest takie samo wzmocnienie. Wzmocnienie w drugim torze staje się więc kolejnym parametrem poszukiwanym w procesie optymalizacji parametrycznej.
- Konstruktor nie wie ile wynoszą wzmocnienia w obu torach i nie jest pewny czy ich stosunek wynosi 1. Wzmocnienia w

obu torach stają się więc kolejnymi dwoma parametrami poszukiwanymi w procesie optymalizacji parametrycznej.

2. Badania symulacyjne

Wyniki badań symulacyjnych dla przedstawionego powyżej przypadku A. - konstruktor systemu korekcji nie wie, że wzmocnienie w obu torach jest niejednakowe- przedstawiono w pracy[8]. W badaniach tych porównywano skuteczność korekcji dla przypadku jednakowych i niejednakowych wzmocnień w obu torach pomiarowych.

Stwierdzono, że przy nierównomierności wzmocnień na poziomie nie większym niż 2%, błędy numeryczne mają duży wpływ na uzyskiwane wartości skuteczności przede wszystkim w dwóch przypadkach: gdy własności dynamiczne przynajmniej jednego toru są „bardzo dobre” i gdy własności dynamiczne obu torów są „złe”. Są to, niestety, przypadki, gdy w badaniach symulacyjnych uzyskiwane najwyższe wartości skuteczności korekcji.

W związku z tym postanowiono zbadać czy dołączenie do algorytmu korekcji także identyfikacji własności statycznych torów pomiarowych poprawi sytuację na tyle, że uzyskiwane wyniki badań symulacyjnych będą bardziej wiarygodne. Autoidentyfikacja własności statycznych nie jest zgodna z teorią korekcji „w ciemno”, ale teoria ta przyjmowała sytuację idealną statycznie i nie zakładała istnienia błędów obliczeń numerycznych.

2.1. Model matematyczny badanego systemu korekcji

Rysunek 1 przedstawia system korekcji metodą 'w ciemno' dla torów analogowych o modelach w postaci inercyjnych obiektów pierwszego rzędu, o jednostkowych wzmocnieniach i o stałych czasowych odpowiednio T_1 i T_2 .

Obarczone błędami dynamicznymi sygnały wyjściowe torów analogowych oznaczone odpowiednio $x_1(t)$ i $x_2(t)$ zostają przetworzone do postaci cyfrowej $x_{1,i}$ i $x_{2,i}$ w chwilach próbkowania t_i . Sygnały te, w procesorze sygnałowym, zostają przetworzone przez algorytmy korektorów (stałe czasowe T_3 i T_4) na sygnały $y_{1,i}$ i $y_{2,i}$ będące odtworzeniem wartości chwilowych wielkości mierzonej przez, odpowiednio, tor pierwszy i drugi. Ostatecznie wielkość wyjściowa y_i jest zdefiniowana, w każdej chwili próbkowania, jako średnia arytmetyczna $y_{1,i}$ oraz $y_{2,i}$. Wskaźnik kryterium minimalizowanego w algorytmie optymalizacji parametrów korektorów zdefiniowany jest jako norma H_1 na różnicy $|y_{1,i} - y_{2,i}|$.

Jeżeli uwzględnimy istnienie niejednostkowych i różnych wzmocnień K_1 i K_2 to modele torów będą miały postać:

$$\frac{X_1(s)}{X_{we}(s)} = \frac{K_1}{1 + T_1s} \quad \frac{X_2(s)}{X_{we}(s)} = \frac{K_2}{1 + T_2s} \quad (1)$$

Przetworniki A/C zamodelowano w postaci operacji kwantowania:

$$X_{1i} = q \cdot \text{Entier} \left[\frac{X_1(t_i) + \frac{q}{2}}{q} \right] \quad X_{2i} = q \cdot \text{Entier} \left[\frac{X_2(t_i) + \frac{q}{2}}{q} \right] \quad (2)$$

Korektory zamodelowano w postaci:

$$\frac{Y_{1i}(s)}{X_{1i}(s)} = (1 + T_3s) / K_1 \quad \frac{Y_{2i}(s)}{X_{2i}(s)} = (1 + T_4s) / K_2 \quad (3)$$

2.2 Wyniki badań symulacyjnych

Aby możliwe było porównanie uzyskanych wyników do wyników poprzednich badań symulacyjnych [5,8], obecne badania przeprowadzono dla identycznych parametrów wymuszenia, parametrów przetwarzania A/C, parametrów symulacji i dla identycznych zmian stałych czasowych obu torów.

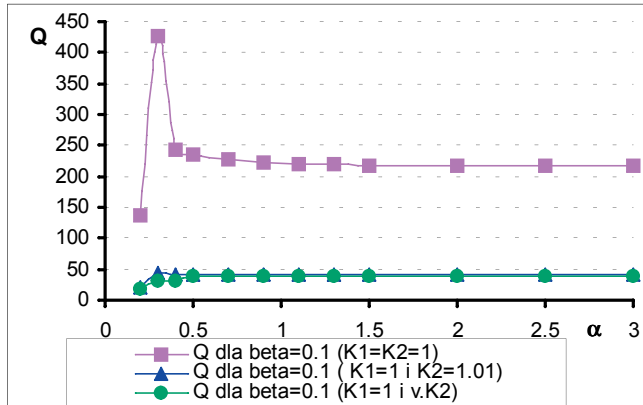
Badania symulacyjne wykonano dla następujących warunków:

- wymuszenie - sygnał sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz
- przetwornik A/C - zakres $\pm 1V$ i długość słowa 24 bity
- częstotliwość próbkowania – 2 kHz
- metoda optymalizacji parametrycznej – Monte Carlo;

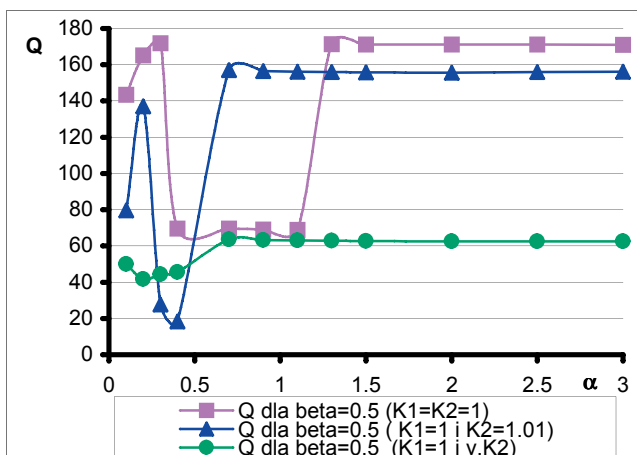
Dla uogólnienia oceny uzyskanych wyników przyjęto wielkości względne: α – stosunek stałej T_1 do okresu sygnału mierzonego i β – stosunek stałej T_2 do okresu sygnału mierzonego. Badania wykonywano każdorazowo dla dwunastu wartości α - od 0.1 do 3.0 i pięciu wartości β w takim samym zakresie zmian.

2.2.1. Wzmocnienie w torze pierwszym ma znaną wartość $K_1=1$, a wartość wzmocnienia w torze drugim jest wielkością poszukiwaną w procesie autoidentyfikacji (przypadek B)

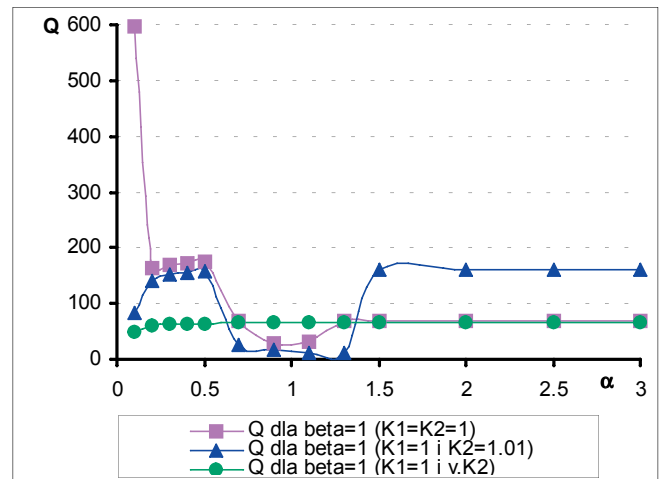
Wykonano badania symulacyjne dla K_2 równego: 1.02, 1.01, 1.005 i 1.002. Poniżej, jako przykładowe, przedstawiono wyniki dla przypadku, gdy wartość poszukiwanego wzmocnienia K_2 równa jest 1.01.



Rys. 2. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku $K_1 = 1$ i $\beta = 0.1$.
Fig. 2. The correction efficiency index Q as a function of α for $K_1 = 1$ and $\beta = 0.1$



Rys. 3. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku $K_1 = 1$ i $\beta = 0.1$.
Fig. 3. The correction efficiency index Q as a function of α for $K_1 = 1$ and $\beta = 0.1$



Rys. 4. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku $K_1 = 1$ i $\beta = 1$.
Fig. 4. The correction efficiency index Q as a function of α for $K_1 = 1$ and $\beta = 1$

Rysunki prezentują skuteczność korekcji Q w funkcji α i dla trzech wartości β . Dla porównania na rysunkach zamieszczono także przebiegi skuteczności korekcji Q dla odpowiednich przypadków: idealnego i wykonanego wcześniej przypadku A.

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że dla różnicy wzmocnień 1 %:

- jeżeli β jest małe (dobre parametry dynamiki) to nie obserwuje się różnicy pomiędzy przypadkami A i B
- dla większych (średnich) wartości β , uwidaczniają się różnice pomiędzy wynikami przypadków A i B, na korzyść przypadku A (mniejsze różnice w uzyskiwanych wartościach skuteczności Q w stosunku do przypadku idealnego)
- dla dużych wartości β i α dla przypadku B uzyskuje się wyniki bardziej zbliżone do przypadku idealnego, ale uzyskiwane wtedy wartości skuteczności Q dla przypadku A są wyższe.

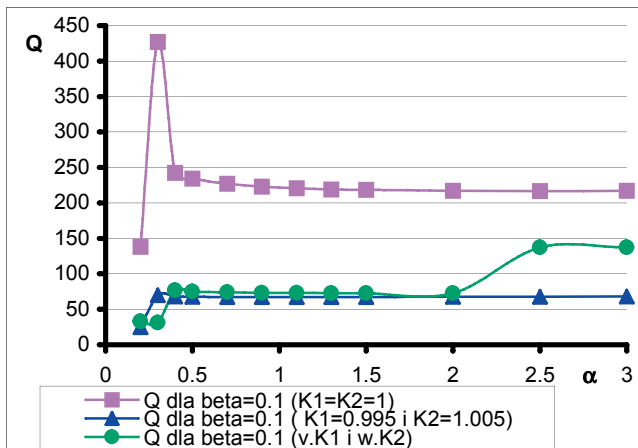
2.2.2. Wzmocnienia w obu torach pomiarowych K_1 i K_2 są parametrami poszukiwanymi w procesie autoidentyfikacji (przypadek C)

Poniżej, jako przykładowe z wielu uzyskiwanych, przedstawiono wyniki dla przypadku gdy różnica pomiędzy wzmocnieniami wynosiła 1 % ale symetrycznie wokół wartości 1 czyli $K_1 = 0.995$ i $K_2 = 1.005$.

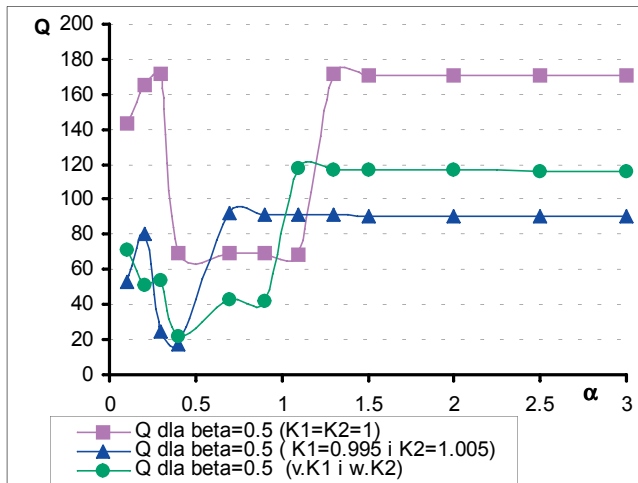
Rysunki prezentują skuteczność korekcji Q w funkcji α i dla trzech wartości β . Dla porównania na rysunkach zamieszczono także przebiegi skuteczności korekcji Q dla odpowiednich przypadków: idealnego i wykonanego wcześniej przypadku A.

Na podstawie przedstawionych poniżej wyników można stwierdzić, że dla różnicy wzmocnień 1 %:

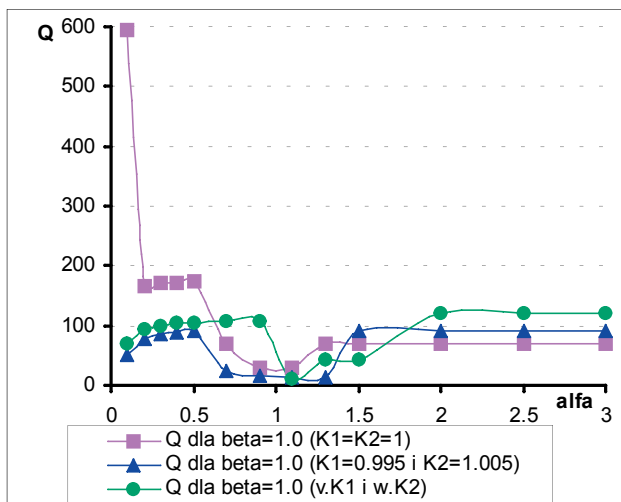
- dla równocześnie małych wartości α i nie obserwuje się różnicy pomiędzy przypadkami A i C
- dla wszystkich przedstawionych wartości α dla większych wartości β uwidacznia się różnica pomiędzy przypadkami A i C – na korzyść C (wartości skuteczności bliższe wartościom uzyskiwanym w przypadku idealnym lub większe)



Rys. 5. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku C i $\beta = 0.1$.
Fig.5. The correction efficiency index Q as a function of α for case C and $\beta = 0.1$



Rys. 6. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku C i $\beta = 0.5$.
Fig. 6. The correction efficiency index Q as a function of α for case C and $\beta = 0.5$



Rys. 6. Skuteczność korekcji Q w funkcji zmiany α dla przypadku C i $\beta = 1$.
Fig. 6. The correction efficiency index Q as a function of α for case C and $\beta = 1$

3. Podsumowanie

Przedstawione powyżej wnioski dotyczące przykładowych wyników znajdują potwierdzenie w zdecydowanej większości przeprowadzonych badań symulacyjnych przypadków B i C. Wnioski te nie są na tyle jednoznaczne żeby można było precyzyjnie określić zakres (np. w aspekcie zmienności α i β) zastosowań metody symulacji komputerowej dla określenia praktycznej stosowności korekcji błędu dynamicznego metodą „w ciemno”.

Można jednak stwierdzić, że dodatkowe (zwiększenie ilości parametrów) błędy optymalizacji parametrycznej nie są istotne w całości błędów numerycznych. Ta konstatacja pozwala stwierdzić, że jeśli konstruktor systemu pomiarowego z korekcją „w ciemno” nie jest pewny co do wartości charakterystyk statycznych jednego lub obu torów to autoidentyfikacja obu tych charakterystyk nie zwiększy zasadniczo błędów numerycznych badań symulacyjnych.

Należy dodać, że przedstawione w niniejszej pracy wyniki nie zmieniają poglądu autora, że metoda symulacji komputerowej jest najlepszym narzędziem dla określenia warunków praktycznej stosowności korekcji dynamicznej ‘w ciemno’. Świadomość istnienia błędów numerycznych nakłada jednak na konstruktora obowiązek wykonania badań symulacyjnych w szerokim zakresie zmienności ich parametrów.

4. Literatura

- [1]. J. Nalepa: Ocena skuteczności korekcji błędu dynamicznego metodą 'w ciemno' - badania symulacyjne toru inercyjnego pierwszego rzędu Materiały XI Sympozjum „Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych”, Krynica, 2001, pp. 167-173
- [2]. J. Nabielec, J. Nalepa: Korekcja błędu dynamicznego pomiaru metodą ‘w ciemno’ – badania symulacyjne obiektu pierwszego rzędu, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 5/6, 2002, strony 25 – 28
- [3]. J. Nalepa: The ‘Blind’ Dynamic Error Correction Method – Simulation Study for the First-and Second-Order Measurement Channel, Measurement Science Review – Journal of Institute Of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava 2002, vol. 2, Section 1 pp 33-42
- [4]. J. Nabielec, J. Nalepa: The ‘Blind’ Method of Dynamic Error Correction for Second Order System, Proceedings of XVII IMEKO World Congress, Dubrownik 22-27.06. 2003, pp. 841-846
- [5]. J. Nalepa: Correction of Dynamic Error by the „Blind” Method. A Differential Algorithm Simulation Study, Proceedings of 10th IMEKO TC7 International Symposium on Advances of Measurement Science, Saint-Petersburg, Russia, 30.06-2.07. 2004, vol. 1, pp 109-114
- [6]. W. Minkina, S. Gryś: Korekcja charakterystyk dynamicznych czujników termometrycznych – metody, układy, algorytmy, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004
- [7]. J. Nabielec, J. Nalepa: A Simulation Investigation of Differential Algorithm for the “Blind Correction” of Dynamic Error in Measuring Channels with Periodic Nonstationarity, Proceedings of XVIII IMEKO World Congress, Rio de Janeiro, 17-22.09 2006,
- [8]. J. Nalepa: „Badania symulacyjne systemu korekcji dynamicznej metodą „w ciemno” przy niespełnieniu warunku jednakowych wzmacnień w obu torach”, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 10bis 2006, str. 12-15

Artykuł recenzowany