

Krzysztof TOMCZUK<sup>1</sup>, Joanna FEDER-KUBIS<sup>2</sup>

e-mail: joanna.feder-kubis@pwr.wroc.pl

<sup>1</sup> Zakład Automatyki i Kriogeniki, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wrocławska<sup>2</sup> Zakład Inżynierii Chemicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

## Zastosowanie pakietu LabView do korekcji właściwości dynamicznych przyrządów pomiarowych

### Wstęp

Synteza układów pomiarowych takich wielkości fizycznych jak ciśnienie, temperatura czy prędkość przepływu polega m.in. na właściwym doborze konstrukcji czujników, aby zapewnić im odporność na działanie różnorodnych czynników, jakie stosuje się m.in. w inżynierii chemicznej. Stąd przyrządy wykorzystywane do pomiarów występują najczęściej w postaci czujnika właściwego osłoniętego obudową, np. metalową lub ceramiczną. Nadanie w ten sposób czujnikowi odporności zwykle nie wpływa na jego dokładność w warunkach ustalonych. Jednakże pociąga to za sobą pogorszenie właściwości dynamicznych przyrządu tym większe, im większa jest prędkość zmian mierzonej wielkości fizycznej [Benedict, 1984; Bentley, 1998].

Celem niniejszej pracy było opracowanie narzędzia prostego do praktycznego zastosowania, służącego znaczącej poprawie dokładności dynamicznej czujników wymagających osłony ochronnej.

W pracy opisano podstawy teoretyczne algorytmicznej metody kompensacji, jej adaptację do obliczeń numerycznych oraz zaproponowano realizację praktyczną na przykładzie termometru rezystancyjnego Pt100 (stosowanego np. w układzie automatycznej regulacji temperatury w autoklawie) z wykorzystaniem karty kontrolno-pomiarowej NI USB-6009 i pakietu oprogramowania LabView firmy National Instruments.

### Algorytmiczna metoda kompensacji

Metoda oparta jest na modelu matematycznym kompensowanego przyrządu [Dorf i Bishop, 2008]. Do rozważań przyjęto model w postaci układu inercyjnego (Rys. 1), opisywanego liniowym równaniem różniczkowym pierwszego rzędu (1),



Rys. 1. Schemat układu inercyjnego pierwszego rzędu

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (1)$$

gdzie:

 $x$  – wielkość mierzona, $y$  – sygnał wyjściowy przyrządu, $k$  – stała przetwarzania w stanie statycznym, $T$  – stała czasowa.

Wartość stałej czasowej  $T$  jest wyznaczana z doświadczalnej charakterystyki skokowej badanego przyrządu. Natomiast wartość stałej przetwarzania  $k$  można zaczerpnąć z kart katalogowych lub z doświadczalnej charakterystyki statycznej przyrządu.

Równanie opisujące model przyrządu można interpretować w następujący sposób: jeżeli w określonej chwili  $t_0$  wartość sygnału wyjściowego  $y_0$  oraz jego pochodna po czasie są znane, to z odpowiedniego równania można wyznaczyć wartość wielkości  $x_0$  (również w chwili  $t_0$ ). Dokonując obliczeń w szeregu następujących po sobie odstępów czasu można odtworzyć przebieg wielkości mierzonej  $x$ , teoretycznie nie obciążony błędem dynamicznym.

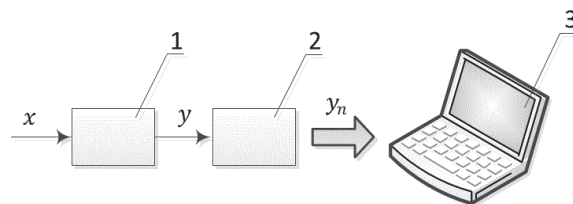
Ponieważ obliczenia te są wykonywane przez komputer, wyznaczenie pochodnych sygnału  $y$  odbywa się metodą numeryczną. Równ. (1) przyjmuje zatem postać dyskretną [Doebelin, 1990; Michalski i in., 2001]:

$$x_n = \frac{1}{k} \left[ y_n + \frac{T}{\tau} (y_n - y_{n-1}) \right] \quad (2)$$

gdzie:

 $x_n$  – wartość próbkowana wielkości mierzonej w chwili  $t = n\tau$ , $y_n, y_{n-1}$  – wartości próbkowane sygnału wyjściowego w chwilach: $t = n\tau, t = (n-1)\tau$ , $n$  – numer próbki, $\tau$  – czas próbkowania.

Przedstawiona metoda korekcji właściwości dynamicznych przyrządu pomiarowego może być realizowana w układzie pokazanym na rys. 2. Napięciowy sygnał wyjściowy  $y$ , najczęściej analogowy, kompensowanego przyrządu pomiarowego – 1, przed wprowadzeniem go do komputera – 3 za pośrednictwem np. portu USB, zostaje przetworzony na postać cyfrową w karcie pomiarowej – 2, gdzie następuje jego dyskretyzacja: sygnał analogowy  $y$  jest zastępowany przez ciąg wartości tego sygnału  $y_n$ , odczytywanych w chwilach próbkowania.

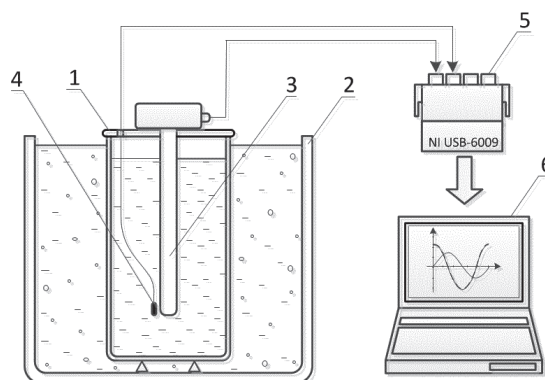


Rys. 2. Ogólny schemat układu algorytmicznej kompensacji właściwości przyrządów pomiarowych

Próbkowane wartości  $y_n$  są zapamiętywane i wykorzystywane do obliczeń skorygowanych wartości sygnału wyjściowego przyrządu. Odbywa się to w oparciu o wprowadzone do komputera równanie kompensujące (2), którego zmiennymi są bieżące próbkowane wartości  $y_n$ .

### Weryfikacja metody kompensacji

Weryfikację metody przeprowadzono na fizycznym modelu autoklawu (Rys. 3). Składa się on z wypełnionego wodą naczynia – 1, zanurzonego w naczyniu – 2 z czynnikiem grzewczym lub chłodzącym (również wykorzystano do tego celu wodę).



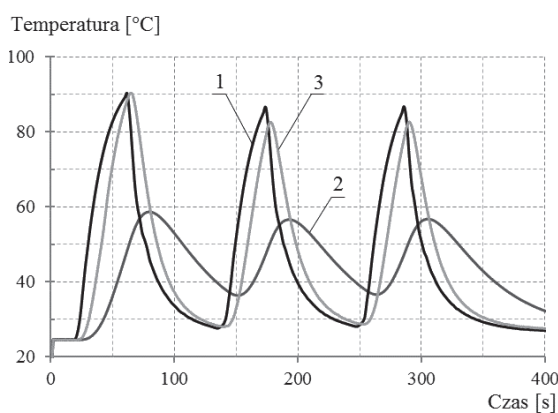
Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego – uproszczony model autoklawu z układem pomiarowym

Temperaturę wody w naczyniu 1 mierzono badanym termometrem rezystancyjnym ( $T-109G$ ) – 3 o klasie dokładności 0,2% i stałej czasowej  $T = 28,80 \pm 0,26$  s (wyznaczonej eksperymentalnie) oraz termo-

metrem pomocniczym – 4 bez osłony (PT106051), wykorzystywanym w badaniach jako przyrząd referencyjny o stałej czasowej blisko 2 rzędy niższej niż termometru badanego oraz wzorcowych wskazaniach wartości mierzonej temperatury (klasa dokładności 0,2%). W obydwu przypadkach były to termometry platynowe Pt100, których wyjścia połączono z wejściami karty pomiarowej – 5 (NI USB-6009, National Instruments). Mierzone sygnały, przetworzone na postać cyfrową, trafiały następnie do portu USB komputera – 6 z oprogramowaniem LabView w celu ich wizualizacji, zapisu oraz dalszego przetwarzania.

Zadaniem autoklawu jest okresowe, szybkie nagrzewanie substancji (wody) w naczyniu – 1, a następnie równie szybkie chłodzenie. W rzeczywistym autoklawie przez naczynie – 2 przepływa na przemian para wodna (grzanie) oraz solanka (chłodzenie). W przypadku realizowanego eksperymentu laboratoryjnego ograniczono się do okresowego przenoszenia naczynia – 1 z naczynia z wrzącą wodą do naczynia zawierającego mieszaninę wody z lodem i na odwrót.

Na rys. 4 krzywa 1 ilustruje rzeczywistą zmianę temperatury w naczyniu 1 (pomiar termometrem pomocniczym), a krzywa 2 – temperaturę wskazywaną przez termometr w osłonie.



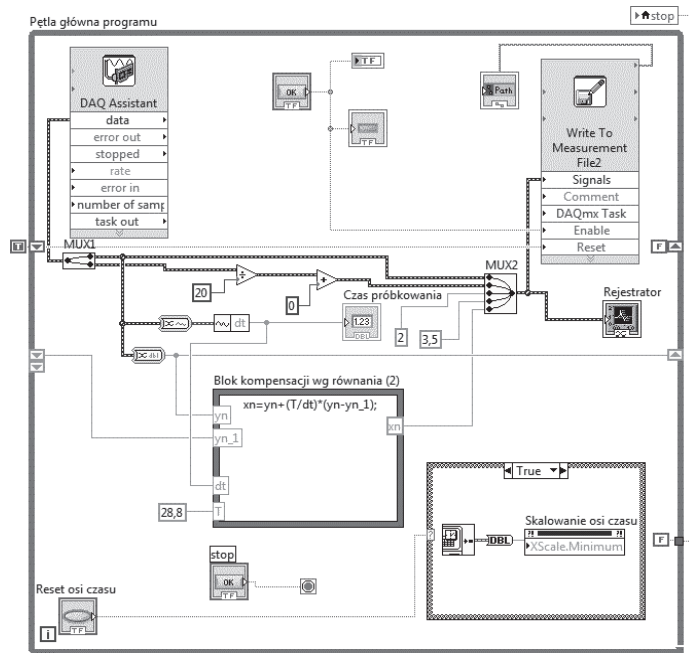
Rys. 4. Przebiegi temperatury w autoklawie

Natomiast krzywa 3 ilustruje przebieg temperatury w naczyniu – 1 odtworzony w oparciu o równ. (2). Kształty przebiegów 1 i 3 są bardzo podobne, a różnica ich amplitud średnio wynosi 3,4°C, co w odniesieniu do wartości amplitudy przebiegu 1 daje błąd  $\delta = 6,0\%$ . Natomiast analogiczny błąd między amplitudami przebiegów 1 i 2 wynosi  $\delta = 62,8\%$ . Wartości te potwierdzają przydatność przedstawionej metody kompensacji błędów dynamicznych termometrów rezystancyjnych.

### Implementacja metody w środowisku LabView

Przedstawioną metodę kompensacji właściwości dynamicznych przyrządu pomiarowego zaimplementowano w środowisku LabView w wersji 11.0 w układzie pokazanym na rys. 3, przy czym w miejscu autoklawu może pojawić się dowolny aparat (proces) wymagający monitorowania, archiwizacji danych lub/i korekcji układu metrologicznego.

Zasadnicza część programu (Rys. 5) wykonywana jest w pętli głównej z prędkością odpowiadającą czasowi próbkowania ustalanemu w bloku DAQ Assistant. Blok ten służy również do wyboru i parametryzacji fizycznych wejść (lub w razie potrzeby wyjść) karty pomiarowej – 5 (Rys. 3). Dane rejestrowane przez kartę pomiarową wyprowadzane są z wyjścia data tego bloku i wprowadzane na multiplexer MUX1 skąd sygnał odpowiadający termometrowi pomocniczemu – 4 doprowadzany jest poprzez multiplexer MUX2 na rejestrator a sygnał z termometru podlegającego korekcji – 3 trafia jednocześnie do multiplexera MUX2 skąd bezpośrednio do rejestratora oraz do bloku kompensacji wg równ. (2). Blok ten wymaga doprowadzenia zmiennych  $y_n$  oraz  $y_{n-1}$  (ozn. jako  $yn$  oraz  $yn_1$ ) oraz parametrów  $dt$  (czas próbkowania) i  $T$  (stała czasowa przyrządu). Sygnał wyjściowy bloku kompensacji poprzez multiplexer MUX2 trafia następnie do rejestratora. Aplikacja prezentowana na rys. 5 pozwala monitorować w postaci graficznej przebiegi wszystkich wyszczególnionych wyżej sygnałów oraz archiwizować dane w postaci plików tekstowych (blok Write To Measurement File2).



Rys. 5. Program realizujący kompensację własności dynamicznych termometru Pt100 w czasie rzeczywistym

### Wnioski

Pomiar zmieniających się wielkości fizycznych zwykle jest obciążony większym lub mniejszym błędem dynamicznym. Błąd ten można zminimalizować, korygując zarejestrowany przebieg w czasie rzeczywistym za pomocą stosunkowo prostego algorytmu, pod warunkiem znajomości stałych czasowych układu pomiarowego.

Przeprowadzone doświadczenia na przykładzie pomiarów temperatury w modelu fizycznym autoklawu pokazały, że błąd dynamiczny można zmniejszyć ponad dziesięciokrotnie: z ok. 62 do 6%.

W kontekście wykorzystania wyników pomiarów w układzie automatycznej regulacji, nie bez znaczenia jest również błąd fazy, jaki wprowadza czujnik w osłonie ochronnej. Zaproponowany w niniejszej pracy algorytm kompensacji, także w tym przypadku zapewnia zdecydowaną poprawę właściwości metrologicznych przyrządu pomiarowego, co bezpośrednio powoduje zwiększenie efektywności samego układu regulacji.

Eksperymentalnie stwierdzono również, że najodpowiedniejszą wartością czasu próbkowania dla rozważanego przypadku jest  $\tau = 2$  s. Przy dłuższych czasach krzywe odtwarzane były gładziej ale ich amplitudy – mniejsze. Natomiast przy krótszych czasach wspomniane krzywe były bardziej zakłócone wskutek operacji różniczkowania. Wartość  $\tau = 2$  s jest zbliżona z zaleceniami o doborze tego parametru prezentowanymi w literaturze [Dorf i Bishop, 2008].

Proponowana przez autorów metoda korekcji właściwości dynamicznych przyrządów pomiarowych jest łatwa do aplikacji w nowoczesnych układach kontrolno-pomiarowych i w zakresie zastosowania w pomiarach wielkości wolnozmiennych nie wymaga kosztownych kart pomiarowych.

Istotnym ograniczeniem dla wykorzystania w pełni zalet przedstawionej metody korekcji byłaby nieliniowość czujnika. W takim przypadku, przed implementacją algorytmu korekcji, wskazane byłoby przeprowadzenie linearyzacji charakterystyki statycznej przyrządu pomiarowego.

### LITERATURA

Benedict R.P., 1984. *Fundamentals of temperature, pressure and flow measurements*. J. Wiley & Sons, 255-279  
 Bentley R.E., 1998. *Temperature and humidity measurement – Handbook of temperature measurement*, t. 11. Springer  
 Doebelin E.O., 1990. *Measurement systems: application and design*. McGraw-Hill, 612-706  
 Dorf R.C., Bishop R.H., 2008. *Modern control systems*. Pearson Prentice Hall, 493-497  
 Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski J., McGhee J., 2001. *Temperature measurement*. J. Wiley & Sons, 279-329