

Wacław GAWĘDZKI, Jerzy JURKIEWICZ

Zakład Metrologii

Akademia Górniczo-Hutnicza

ALGORYTMICZNE ZMNIEJSZANIE BŁĘDÓW KWANTYZACJI PRZETWORNIKA A/C WSPÓLPRACUJĄCEGO Z CZUJNIKAMI Z WYJŚCIEM ILORAZOWYM

Streszczenie. W artykule omówiono pewną metodę zmniejszania błędów kwantyzacji w procesie pomiaru stosunku napięć. Proponowana metoda polega na wykonaniu dodatkowego pomiaru trzeciego napięcia, będącego różnicą wymienionych napięć. Wyrażając wynik pomiaru stosunku napięć jako pewną funkcję wyników trzech pomiarów napięć można uzyskać zmniejszenie błędu kwantyzacji.

ALGORITHMIC REDUCTION OF QUANTIZATION ERRORS OF A/D CONVERTER, WHICH COOPERATES WITH RATIONOMETRIC OUTPUT SENSORS

Summary. The paper presents the method of decrease of quantization errors in measurement of voltages and their ratio. The method suggested in the paper is based on the additional measurement of the third voltage which is the difference of the voltages mentioned above. When measurement result of the voltages ratio is expressed as a result function of three voltages measurements, the decrease of quantisation errors can be obtained.

1. WPROWADZENIE

W przypadku pomiaru wielkości nieelektrycznych z wykorzystaniem zintegrowanych przetworników pomiarowych coraz większą popularność zyskują łatwe w użyciu, niedrogie, a w przypadku zastosowania dodatkowej kalibracji również dokładne, czujniki z wyjściem ilorazowym (wielkość mierzona jest przetwarzana na stosunek napięcia wyjściowego czujnika do jego napięcia zasilania). Zwykle napięcia te podłącza się bezpośrednio do przetwornika A/C

jako napięcie wejściowe i referencyjne. W przypadku takich przetworników A/C jak np. ICL7109 [1,2] bezpośrednie podłączenie napięcia referencyjnego powoduje zwiększenie zakresu przetwarzania 2-3 razy ponad niezbędny zakres i takie samo zwiększenie błędów kwantyzacji. Oczywiście istnieje możliwość zastosowania precyzyjnego dzielnika do napięcia referencyjnego, jednakże jego cena w przypadku porównywalnej z przetwornikiem precyzji, przekracza cenę samego przetwornika.

2. UKŁADY PRACY ZESPOŁU CZUJNIK Z WYJŚCIEM ILORAZOWYM - PRZETWORNIK A/C

Zintegrowany czujnik z wyjściem ilorazowym CWI przetwarza mierzoną wielkość x (np. w zależności od rodzaju czujnika przyspieszenie, temperaturę, wilgotność, ciśnienie) na stosunek napięcia wyjściowego U_2 do zasilającego czujnik U_1 wg funkcji przetwarzania:

$$\frac{U_2}{U_1} = f(x), \quad (1)$$

przy czym jest to najczęściej funkcja liniowa. Wyznaczenie wielkości mierzonej x wymaga zatem określenia, poprzez wykonanie wstępnej kalibracji, współczynników funkcji przetwarzania f (kalibracja taka przeprowadzana jest na ogół przez producenta czujników bądź też przez użytkownika na etapie montażu lub okresowej kontroli systemu pomiarowego) oraz każdorazowo w trakcie pomiarów stosunku p napięć U_2 i U_1 :

$$p = \frac{U_2}{U_1}. \quad (2)$$

Stosunek ten może być wyznaczany bezpośrednio lub pośrednio poprzez oddzielny pomiar napięć U_1 i U_2 . Napięcie wyjściowe U_2 czujnika jest zawsze mniejsze od napięcia zasilającego U_1 i osiąga przeciętnie wartości od kilkunastu do kilkudziesięciu procent jego wartości.

W przypadku współpracy czujnika z cyfrowym (mikroprocesorowym) systemem pomiarowym połączony jest on najczęściej bezpośrednio do wejścia przetwornika A/C układu pomiarowego.

Na rys.1 przedstawiono różne możliwe konfiguracje współpracy czujnika z wyjściem ilorazowym z przetwornikiem A/C. Ze względu na różne konstrukcje przetworników A/C zakresowe napięcie mierzone U_2 może osiągać wartość :

$$U_2 = U_{ref} \quad (3)$$

lub
$$U_2 = 2 \cdot U_{ref}, \quad (4)$$

gdzie: U_{ref} - napięcie referencyjne przetwornika A/C.

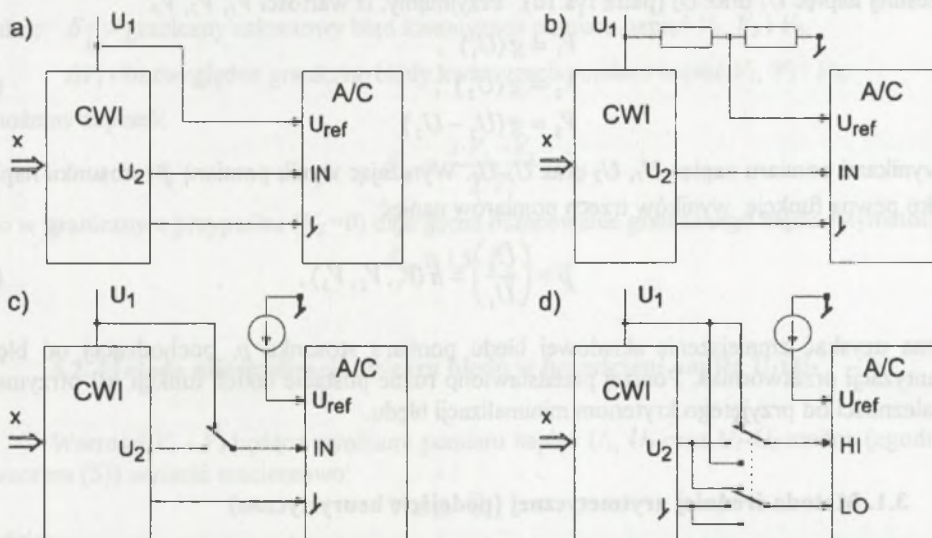
Na przykład popularne i tanie przetworniki z podwójnym całkowaniem ICL7109 mają napięcie zakresowe określone zgodnie z zależnością (4).

Na rys.1a przedstawiono układ, w którym napięcie zasilające U_1 jest równocześnie napięciem referencyjnym przetwornika A/C. Poprzez taką konfigurację układu pomiarowego wynik przetwarzania otrzymany na wyjściu przetwornika A/C odpowiada bezpośrednio stosunkowi p napięć U_2 i U_1 . W przypadku stosowania przetwornika A/C o zakresie

przetwarzania zgodnie ze wzorem (3) składowa względnego granicznego błędu δ_p wyznaczania wartości p , spowodowana błędem kwantowania przetwornika, jest równa wartości błędu kwantowania przetwornika δ_k (przy zaniedbaniu innych składowych błędów). Jednakże w przypadku przetwornika o zakresie przetwarzania, zgodnie ze wzorem (4), prowadzi to do dwukrotnego zwiększenia względnego błędu δ_p pomiaru stosunku napięć p (tab.1). Jak widać z tab.1 dla przetworników pomiarowych o napięciu zakresowym zgodnie z (3) jest to najkorzystniejsza ze wszystkich konfiguracji pracy przetwornika.

Na rys.1b przedstawiono zmodyfikowany, w stosunku do układu z rys.1a, układ pomiarowy, w którym zastosowano dodatkowo dzielnik napięcia referencyjnego. Konfiguracja ta dotyczy w zasadzie przetworników A/C o zakresowym napięciu zgodnie z (4) (patrz tabela 1) lub układów pracy przetwornika współpracującego z czujnikami o silnym tłumieniu. Składowa błędu pomiaru stosunku napięć p spowodowana błędem kwantowania przetwornika jest wówczas mniejsza niż w przypadku układu z rys.1a, jednakże dochodzi dodatkowa składowa błędu δ_D , pochodząca od niedokładności wykonania precyzyjnego dzielnika napięcia.

Na rys.1c przedstawiono układ, w którym pomiar stosunku p dwóch napięć U_2 i U_1 , dokonywany jest przez oddzielny pomiar każdego z nich, przy czym źródło referencyjne może mieć przeciętne parametry, a wartość U_{ref} jest dobierana w zależności od wielkości mierzonych napięć przy uwzględnieniu odpowiednio wzorów (3) lub (4). W takim przypadku otrzymany wynik pomiaru obciążony jest błędami kwantyzacji z dwóch pomiarów (tabela 1).



Rys.1. Układy połączeń czujnika z wyjściem ilorazowym z przetwornikiem A/C

Fig.1. Connection circuits of ratiometric output sensor with A/D converter

Tabela 1

Graniczne względne błędy zakresowe wyznaczania stosunku napięć p

Metoda	$U_z = U_{ref}$	$U_z = 2 \cdot U_{ref}$
z rys.1a	$\delta_p = \delta_k$	$\delta_p = 2 \cdot \delta_k$
z rys.1b	$\delta_p = \delta_k + \delta_D$	$\delta_p = \delta_k + \delta_D$
z rys.1c	$\delta_p = 2 \cdot \delta_k$	$\delta_p = 2 \cdot \delta_k$

Na podstawie tabeli 1 można stwierdzić, iż dla konfiguracji z rys.1a przy $U_z = U_{ref}$ składowa błędu pomiaru stosunku napięć p pochodząca od błędu kwantyzacji jest równa wartości błędu kwantyzacji przetwornika, jednakże zastosowanie tej konfiguracji ograniczone jest do przypadków, gdy przetwornik A/C spełnia warunek (3) oraz sygnał wyjściowy z czujnika ma dostatecznie wysoki poziom (czujnik o słabym tłumieniu). Dla pozostałych konfiguracji pracy składowa błędu pomiaru stosunku napięć p pochodząca od błędu kwantyzacji jest równa podwójnej wartości błędu kwantyzacji przetwornika bądź pojedynczej wartości błędu kwantyzacji powiększonej o błąd dzielnika napięcia. Oczywiście, istnieje możliwość zastosowania precyzyjnego dzielnika do napięcia referencyjnego, jednakże jego cena w przypadku porównywalnej z przetwornikiem precyzji przekracza cenę samego przetwornika.

3. METODA POMIARU TRZECH NAPIĘĆ

Proponowana metoda pomiaru bazuje na konfiguracji przedstawionej na rys.1c i polega na wykonaniu dodatkowego pomiaru trzeciego napięcia, będącego różnicą wymienionych wcześniej napięć U_1 oraz U_2 (patrz rys.1d). Przyjmijmy, iż wartości V_1, V_2, V_3 :

$$\begin{aligned} V_1 &= g(U_1) , \\ V_2 &= g(U_2) , \\ V_3 &= g(U_1 - U_2) \end{aligned} \quad (5)$$

są wynikami pomiaru napięć U_1, U_2 oraz $U_1 - U_2$. Wyróżając wynik pomiaru \bar{p} stosunku napięć p jako pewną funkcję wyników trzech pomiarów napięć:

$$\bar{p} = \left(\frac{\tilde{U}_2}{U_1} \right) = h(V_1, V_2, V_3), \quad (6)$$

można uzyskać zmniejszenie składowej błędu pomiaru stosunku p , pochodzącej od błędu kwantyzacji przetwornika. Poniżej przedstawiono różne postacie takich funkcji $h()$ otrzymane w zależności od przyjętego kryterium minimalizacji błędu.

3.1. Metoda średniej arytmetycznej (podejście heurystyczne)

Wartość estymatora \tilde{U}_1 napięcia U_1 wyznaczmy jako średnią arytmetyczną bezpośrednio zmierzonego napięcia V_1 oraz napięcia wyznaczonego pośrednio z pomiarów V_2 i V_3 (porównaj ze wzorem (5)):

$$\tilde{U}_1 = \frac{V_1 + (V_2 + V_3)}{2} \quad (7)$$

i odpowiednio wartość estymatora \tilde{U}_2 napięcia U_2 wyznaczamy jako średnią arytmetyczną bezpośrednio zmierzonego napięcia V_2 oraz napięcia wyznaczonego pośrednio z pomiarów V_1 i V_3 (porównaj ze wzorem (5)):

$$\tilde{U}_2 = \frac{V_2 + (V_1 - V_3)}{2} \quad (8)$$

Wartość estymatora stosunku napięć wynosi zatem:

$$\tilde{p} = \frac{\tilde{U}_2}{\tilde{U}_1} = \frac{V_1 + V_2 - V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \quad (9)$$

Graniczny względny błąd zakresowy wyznaczenia estymatora \tilde{p} określony metodą różniczki zupełnej na podstawie wzoru (9) wynosi [3]:

$$\delta_{\tilde{p}} = \frac{1}{p_z} \left(\left| \frac{2 \cdot V_3}{(V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_1 + \left| \frac{2 \cdot V_3}{(V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_2 + \left| \frac{2 \cdot (V_1 + V_2)}{(V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_3 \right), \quad (10)$$

gdzie: p_z - zakresowa wartość stosunku napięć.

Przyjmując założenia:

$$p_z = 1, \quad (11)$$

$$V_3 \cong V_1 - V_2, \quad (12)$$

$$V_1 \cong V_z, \quad (13)$$

$$\frac{\Delta V_1}{V_z} \cong \frac{\Delta V_2}{V_z} \cong \frac{\Delta V_3}{V_z} = \delta_k, \quad (14)$$

$$V_i \geq 0 \text{ dla } i = 1+3, \quad (15)$$

gdzie: δ_k - graniczny zakresowy błąd kwantyzacji pomiaru napięć V_1 , V_2 i V_3 ,

ΔV_i - bezwzględne graniczne błędy kwantyzacji pomiaru napięć V_1 , V_2 i V_3 ,

możemy zapisać:

$$\delta_{\tilde{p}} \cong \frac{3 \cdot V_1 - V_2}{2 \cdot V_1} \cdot \delta_k, \quad (16)$$

co w granicznym przypadku ($V_2=0$) daje górne oszacowanie granicznego błędu estymatora \tilde{p} :

$$\delta_{\tilde{p}} \cong 1,5 \cdot \delta_k. \quad (17)$$

3.2. Metoda minimalizacji obszaru błędu w przestrzeni napięć $U_1 \times U_2$

Wartości $V_1 - V_3$ będące wynikami pomiaru napięć U_1 , U_2 oraz $U_1 - U_2$ można (zgodnie ze wzorem (5)) wyrazić macierzowo:

$$\mathbf{V} \cong \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{U}}, \quad (18)$$

gdzie:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{U}} = \begin{bmatrix} \tilde{U}_1 \\ \tilde{U}_2 \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Znajdźmy z równania (18) wektor $\tilde{\mathbf{U}}$ minimalizując w tym celu wartość funkcji błędu:

$$E = (\mathbf{V} - \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{U}})^T \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{U}}). \quad (20)$$

Wartość funkcji błędu (20) osiąga minimum, gdy spełniony jest warunek:

$$\frac{\partial E}{\partial \bar{U}} = 0, \quad (21)$$

czyli:
$$-2 \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{V} + 2 \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A} \cdot \bar{\mathbf{U}} = 0, \quad (22)$$

skąd:
$$\bar{\mathbf{U}} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{V}. \quad (23)$$

Podstawiając wzór (19) do (23), otrzymujemy:

$$\bar{U}_1 = \frac{1}{3} [2 \cdot V_1 + V_2 + V_3], \quad (24)$$

$$\bar{U}_2 = \frac{1}{3} [V_1 + 2 \cdot V_2 - V_3]. \quad (25)$$

Wartość estymatora stosunku napięć wynosi zatem:

$$\bar{p} = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} = \frac{V_1 + 2 \cdot V_2 - V_3}{2 \cdot V_1 + V_2 + V_3}. \quad (26)$$

Graniczny względny błąd zakresowy wyznaczenia estymatora \bar{p} określony metodą różniczki zupełnej na podstawie wzoru (26) wynosi:

$$\delta_{\bar{p}} = \frac{1}{\bar{p}} \left(\left| \frac{-3 \cdot (V_2 - V_3)}{(2 \cdot V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_1 + \left| \frac{3 \cdot (V_1 + V_3)}{(2 \cdot V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_2 + \left| \frac{3 \cdot (V_1 + V_2)}{(2 \cdot V_1 + V_2 + V_3)^2} \right| \cdot \Delta V_3 \right). \quad (27)$$

Przyjmując założenia (11) - (15) zależność (27) możemy uprościć do postaci:

$$\delta_{\bar{p}} \cong \frac{6 \cdot (V_1 + V_2)}{9 \cdot V_1} \cdot \delta_k \quad \text{dla } V_2 \geq V_3 \quad (28)$$

i
$$\delta_{\bar{p}} \cong \frac{2 \cdot (2 \cdot V_1 - V_2)}{3 \cdot V_1} \cdot \delta_k \quad \text{dla } V_2 < V_3, \quad (29)$$

co w granicznym przypadku ($V_2 = V_1$ we wzorze (28) i $V_2 = 0$ w (29)) daje górne oszacowanie granicznego błędu estymatora \bar{p} :

$$\delta_{\bar{p}} \cong 1,3 \cdot \delta_k. \quad (30)$$

3.3. Metoda minimalizacji obszaru błędu w przestrzeni stosunku napięć p

Wartość estymatora stosunku napięć \bar{p} można wyrazić dwoma sposobami, korzystając z wartości $V_1 - V_3$ będących wynikami pomiaru napięć U_1, U_2 oraz $U_1 - U_2$ (zgodnie ze wzorami (5) i (6)), uwzględniając zależności (18) i (19):

$$\bar{p} = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} \cong \frac{V_2}{V_1} \quad (31)$$

oraz

$$\bar{p} = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} \cong \frac{V_1 - V_3}{V_1}. \quad (32)$$

Znajdźmy na podstawie powyższych równań wartość estymatora stosunku napięć \bar{p} , minimalizując w tym celu wartość funkcji błędu:

$$E_1 = \left(\bar{p} - \frac{V_2}{V_1} \right)^2 + \left(\bar{p} - \frac{V_1 - V_3}{V_1} \right)^2. \quad (33)$$

Wartość funkcji błędu (20) osiąga minimum, gdy spełniony jest warunek:

$$\frac{\partial E_1}{\partial \bar{p}} = 0, \quad (34)$$

skąd wyznaczamy wartość estymatora stosunku napięć \bar{p} :

$$\bar{p} = \frac{V_1 + V_2 - V_3}{2 \cdot V_1}. \quad (35)$$

Graniczny względny błąd zakresowy wyznaczenia estymatora \bar{p} określony metodą różniczki zupełnej na podstawie wzoru (35) wynosi:

$$\delta_{\bar{p}} = \frac{1}{2 \cdot p_z} \left(\left| \frac{(V_3 - V_2)}{V_1^2} \right| \cdot \Delta V_1 + \left| \frac{1}{V_1} \right| \cdot \Delta V_2 + \left| \frac{-1}{V_1} \right| \cdot \Delta V_3 \right). \quad (36)$$

Przyjmując założenia (11) - (15) zależność (36) możemy uprościć do postaci:

$$\delta_{\bar{p}} \cong \frac{V_1 + 2 \cdot V_2}{2 \cdot V_1} \cdot \delta_k \quad \text{dla } V_2 \geq V_3 \quad (37)$$

$$\text{i} \quad \delta_{\bar{p}} \cong \frac{3 \cdot V_1 - 2 \cdot V_2}{2 \cdot V_1} \cdot \delta_k \quad \text{dla } V_2 < V_3, \quad (38)$$

co w granicznym przypadku ($V_2 = V_1$ we wzorze (37) i $V_2 = 0$ w (38)) daje górne oszacowanie granicznego błędu estymatora \bar{p} :

$$\delta_{\bar{p}} \cong 1,5 \cdot \delta_k. \quad (39)$$

3.4. Porównanie metod pomiaru stosunku napięć p

Omówione 3 metody wyznaczenia stosunku napięć p , bazujące na pomiarach trzech napięć, wykazują pomimo zastosowania zróżnicowanego podejścia i uzyskania różnych zależności końcowych (9), (26) i (35) na wartość p , praktycznie takie same wartości granicznych względnych błędów zakresowych wyznaczenia stosunku napięć p na poziomie $1,5 \cdot \delta_k$ (zależności (17), (30) i (39)). Porównując te metody z przedstawioną na rys.1c metodą wyznaczenia p z pomiaru dwóch napięć (tabela 1) należy zauważyć zmniejszenie o ok.

25% składowej wartości błędu granicznego pochodzącej od błędu kwantowania w metodzie pomiaru trzech napięć. Należy jednakże podkreślić, że wartości te są jedynie górnym oszacowaniem rzeczywistych błędów i np. nie uwzględniają wzajemnej korelacji pomiędzy składowymi wpływającymi na wartość błędu. Niedogodności te w dużym stopniu eliminuje symulacja rzeczywistych warunków pracy przetwornika i prezentowanych w artykule metod pomiaru.

4. BADANIA SYMULACYJNE DOKŁADNOŚCI METOD WYZNACZANIA STOSUNKU NAPIĘĆ p

Porównawczym badaniom symulacyjnym poddane zostały cztery układy pracy przetwornika:

- jeden, bazujący na pomiarze dwóch napięć (z rys. 1c) oraz
- trzy, omówione w rozdz.3, bazujące na pomiarach trzech napięć (z rys. 1d).

Dla celów badań symulacyjnych przyjęto unormowane wartości napięć i zakresów:

- napięcie zakresowe $U_z = 1 + 5\% = 1,05$ (konieczny margines),
- zakresowy stosunek $p_z = 1$,
- $N = 2^n$ - liczba poziomów kwantowania (n - liczba bitów przetwornika, w badaniach przyjęto $n=12$, tzn. $N=4096$),
- napięcie zasilające czujnik $U_l \in [(1 - 3\text{kwanty}) - 1]$ - symulowany zakres zmienności,
- $p \in [0,1 - 1,0]$ - symulowany zakres zmienności stosunku napięć.

Funkcję kwantyzacji g w zależności (5) przyjęto w postaci:

$$g(U) = \text{round}\left(\frac{U}{U_z} \cdot N\right) \cdot \frac{1}{N} \cdot U_z \quad (40)$$

Badania symulacyjne przeprowadzono dla funkcji h w zależności (6) w czterech postaciach: h_0 wg zależności otrzymanej na podstawie (2) ($\bar{p} = V_2/V_1$), h_1 wg zależności (9), h_2 wg zależności (26), h_3 wg zależności (35). Dla każdej pary (U_l, p) wyznaczono U_z z zależności (2), a następnie wartości V_1 , V_2 i V_3 z zależności (5) z zastosowaniem funkcji kwantyzującej g (40) i estymatę \bar{p} wg wzoru (6) z użyciem odpowiedniej funkcji h . Względny zakresowy błąd estymacji wartości p wyraża zależność:

$$e_1 = \frac{\bar{p} - p}{p_z} = e_1(p, U_l; U_z, N) \quad (41)$$

przy czym wygodniej będzie rozpatrywać krotność błędu $\delta_{\bar{p}}/\delta_k$ występującą w zależnościach (17) (30) i (39) i wówczas:

$$e_2 = e_1 \cdot 2 \cdot N \quad (42)$$

Parametry U_z i N są stałymi eksperymentu, stąd e_2 jest rodziną krzywych dla różnych wartości U_l . Wygodnie jednak jest operować granicznymi wartościami błędu:

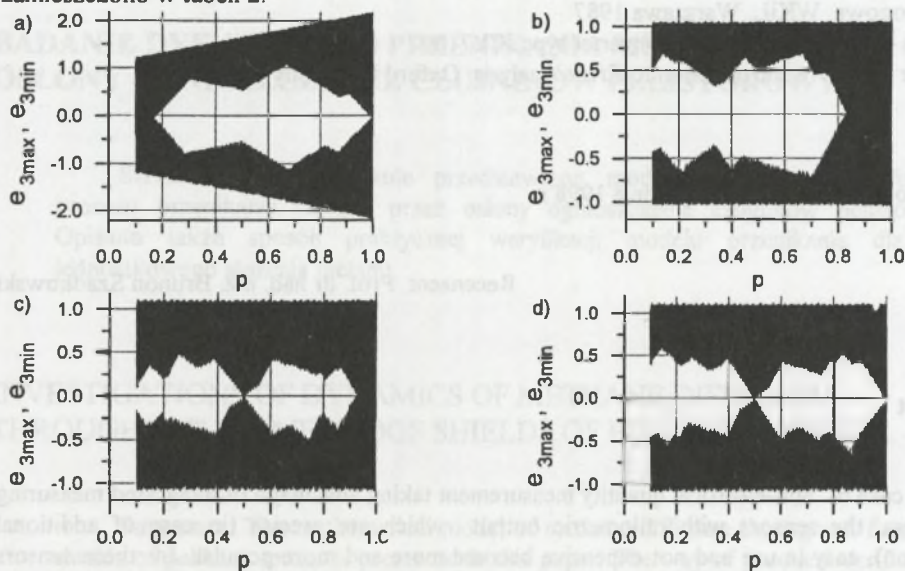
$$e_{3\max}(p) = \max_{U_1} e_2(p, U_1), \quad (43)$$

$$e_{3\min}(p) = \min_{U_1} e_2(p, U_1). \quad (44)$$

Wykresy e_3 dla poszczególnych $h_0 - h_3$ przedstawiono na rys.2, a wartości maksymalne błędów (krotności błędów kwantyzacji δ_k):

$$e_4 = \max \left(\max_p |e_{3\max}(p)|, \max_p |e_{3\min}(p)| \right) \quad (45)$$

zamieszczono w tabeli 2.



Rys.2. Wykresy błędów e_3 wg wzorów (43) i (44) dla funkcji: a) h_0 , b) h_1 , c) h_2 , d) h_3

Fig.2. Diagram of the errors e_3 according to (43) & (44) for functions: a) h_0 , b) h_1 , c) h_2 , d) h_3

Tabela 2

Graniczne błędy zakresowe wyznaczone symulacyjnie i analitycznie

Metoda pomiaru	e_4 (krotność δ_k)	$\delta_{\bar{p}}/\delta_k$
	symulacja	obl. analityczne
2 napięcie h_0 wg. (2)	2,08	2
3 napięcie h_1 wg. (9)	1,05	1,5
3 napięcie h_2 wg. (26)	1,05	1,3
3 napięcie h_3 wg. (35)	1,05	1,5

Z przedstawionych wyników badań symulacyjnych wynika, iż zaproponowana metoda pomiaru trzech napięć prowadzi do wyraźnego zmniejszenia składowej błędu kwantyzacji, przy czym wszystkie z zaproponowanych funkcji $h_1 - h_3$ dają praktycznie takie same wartości błędu granicznego (tab. 2). Wartości błędów e_4 przedstawione w tab. 2 wyznaczone zostały przy założeniu, iż unormowany zakres wartości napięć mierzonych przez przetwornik A/C

wynosi $U_z = 1,05$ ze względu na niezbędny margines błędu dla warunków praktycznych. Przyjmując dla rozważań teoretycznych, że wartość $U_z = 1$, wielkości błędu e_4 zmniejszą się dla wszystkich symulowanych przypadków 1,05 razy.

LITERATURA

1. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M. - Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987
2. Harris - Data sheets of A/D converter type ICL7109
3. Taylor J.R. - An Introduction to Error Analysis. Oxford University Press 1982

Wpłynęło do redakcji dnia 1 grudnia 1998 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Brunon Szadkowski

Abstract

In case of non-electrical quantity measurement taking advantage of integrated measuring converters, the sensors with ratiometric output which are precise (in case of additional calibration), easy in use and not expensive become more and more popular. In these sensors the measured quantity is converted into the output voltage to the supply voltage ratio. Usually the voltages are connected directly to A/D converter as input and reference voltages. In case of A/D converters like ICL 7109 direct connection of reference voltage increases both the range of conversion above the necessary one (2-3 times) and the quantization errors. There is a possibility of the precision usage of reference voltage divider but its price in comparison to precision converter exceed the converter price.

The paper presents the method of decrease of quantization errors in measurement of voltages and their ratio. The problem appears at measurement of voltage to voltage ratio by each separate measurement each of them (with the reference source at ordinary parameters) instead of voltages connection as input and reference ones to the A/C converter. In that case the obtained measurement result is biased by the quantization errors caused by two measurements. The method suggested in the paper is based on the additional measurement of the third voltage which is the difference of the voltages mentioned above. When measurement result of the voltages ratio is expressed as a result function of three voltages measurements, the decrease of quantisation errors can be obtained. The different forms of the functions obtained in dependence of chosen criterion of error minimization are showed. Simulation experiments which make possible to define the quantisation errors of measurement result in dependence of the used function were made.