

Przemysław OTOMAŃSKI, Grzegorz WICZYŃSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI, ZAKŁAD METROLOGII

Transmisja sygnałów analogowych z wykorzystaniem separatorów optoelektronicznych

Dr inż. Przemysław OTOMAŃSKI



Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej ukończył w roku 1985. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał na tym samym wydziale w 1996 roku. Obecnie pracuje jako adiunkt w Zakładzie Metrologii Instytutu Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej. Główny obszar zainteresowań naukowych obejmuje zagadnienia związane z teorią pomiarów, w szczególności z oceną niepewności wyniku pomiaru, oraz badaniem właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych, głównie optoelektronicznych. Autor lub współautor ponad 60 publikacji w czasopiśmie oraz materiałach konferencji krajowych i zagranicznych.

e-mail: oتمان@et.put.poznan.pl

Dr inż. Grzegorz WICZYŃSKI



Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej ukończył w roku 1990. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał na tym samym wydziale w roku 1998. Obecnie pracuje jako adiunkt w Zakładzie Metrologii Instytutu Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania naukowe dotyczą metrologii optoelektronicznej z ukierunkowaniem na zastosowania biomedyczne, a także badań w zakresie oceny jakości energii elektrycznej i zastosowania systemów sensorycznych w układach sterowania. Jest autorem lub współautorem ponad 70 publikacji, w tym artykułów w czasopiśmie, referatów prezentowanych na konferencjach międzynarodowych i krajowych oraz 3 patentów.

e-mail: gwicz@et.put.poznan.pl

Streszczenie

W artykule omówiono podstawowe struktury separatorów sygnałów analogowych z transpatorami optoelektronicznymi ze zwróceniem szczególnej uwagi na cechy istotne dla zapewnienia liniowości charakterystyki przetwarzania. Zamieszczono ocenę liniowości charakterystyki przetwarzania wybranego optoelektronicznego separatora sygnałów prądowych. Dla doświadczalnie wyznaczonych statycznych charakterystyk przetwarzania $I_O = f(I_I)$ porównano błędy nieliniowości i aproksymacji. Na podstawie porównania wartości tych błędów sformułowano wnioski określające optymalne wykorzystanie zdolności transmisyjnych separatora.

Abstract

In the paper, basic structures of optocouplers with special focus on their attributes important for linear processing are presented. The static characteristics $I_O = f(I_I)$ of a selected optocoupler was experimentally evaluated, and the linearity of this characteristic was examined. Using the linear regression method, an analytical equation combining the output signal I_O with the input value I_I was modelled. Applying the least square method, the values of regression equation parameters were determined.

Słowa kluczowe: optoelektronika, separator, transpator, nieliniowość

Keywords: optoelectronics, separator, optocoupler, nonlinearity

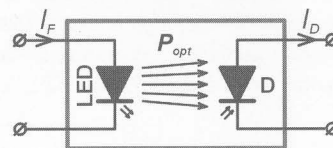
1. Wstęp

Optoelektroniczne separatory sygnałów analogowych to układy składające się z elementów przetwarzających sygnały elektryczne na optyczne i odwrotnie, wprowadzające separację galwaniczną pomiędzy sygnałami: wejściowym i wyjściowym. Separacja galwaniczna wynika z przestrzennego oddalenia elementów optoelektronicznych. Separator jest przetwornikiem sygnału wejściowego na sygnał wyjściowy – w praktyce stosuje się sygnały napięciowe lub prądowe. Od separatora, tak jak od każdego przetwornika, wymaga się niezniekształconego odtworzenia sygnału wejściowego, a do najważniejszych miar jakości statycznego przetwarzania zaliczany jest błąd nieliniowości. W przypadkach oceny charakterystyki przetwarzania o dobrej liniowości pojawiają się wątpliwości interpretacyjne, gdyż wartości błędów instrumentalnych są porównywalne z wartościami błędów nieliniowości. Podstawową trudnością jest wybór sposobu powiązania tych dwóch błędów, który decyduje o stopniu wiarygodności wyznaczenia wartości błędów nieliniowości.

2. Przegląd struktur optoelektronicznych separatorów sygnałów analogowych

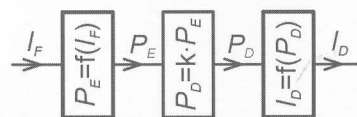
Pierwotna struktura separatora optoelektronicznego to transpator składający się z diody LED i fotodetektora (fotodiody, fototranzystora lub fotorezystora), oddalonych od siebie i umieszczonych w zamkniętej przestrzeni. Oddalenie diody LED od fotodetektora powinno być na tyle duże, aby zapewnić wymaganą wytrzymałość napięciową. Umieszczenie w zamkniętej prze-

strzeni przeciwdziała oddziaływaniu zakłóceń optycznych na fotodetektor. Struktura zawierająca fotodiodę (rys. 1) ma najlepsze właściwości metrologiczne, ale charakteryzuje się najmniejszą wartością sygnału wyjściowego.



Rys. 1. Schemat struktury transpatora o konfiguracji dioda LED – fotodioda D.

Sygnałem wejściowym jest prąd sterujący I_F diody LED, a sygnałem wyjściowym – prąd I_D fotodiody D. W separatorze zachodzi dwukrotne przetwarzanie: prądu I_F na promieniowanie optyczne o mocy P_E (generowane przez diodę LED) oraz sygnału optycznego o mocy P_D (na powierzchni czynnej fotodetektora) na prąd I_D . Ze względu na niecałkowite sprzężenie optyczne źródła promieniowania optycznego P_{opt} i fotodetektora zachodzi relacja $P_D = kP_E$, gdzie $0 \leq k < 1$ (rys. 2).



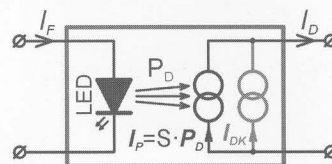
Rys. 2. Schemat blokowy toru sygnałowego transpatora o konfiguracji dioda LED – fotodioda.

Zależność $I_D = f(P_D)$ fotodiody jest w szerokim zakresie zmian wartości P_D liniowa, zarówno w układzie z napięciem polaryzującym, jak i bez niego. Funkcja przetwarzania diody LED $P_E = f(I_F)$ jest nieliniowa. Tym samym wypadkowa charakterystyka $I_D = f(I_F)$ jest nieliniowa oraz – co jest bardzo uciążliwe – zmienna w funkcji temperatury i czasu.

Fotodiodę w dużym uproszczeniu można zamodelować za pomocą dwóch źródeł prądowych (rys. 3). Dla czułości S wypadkowy prąd I_D jest sumą dwóch składowych:

$$I_D = S \cdot P_D + I_{DK} \quad (1)$$

$I_P = f(P_D)$ jest składową proporcjonalną do mocy optycznej P_D promieniowania padającego na powierzchnię światłoczułą fotodiody, a I_{DK} to tzw. prąd ciemny (składowa addytywna).

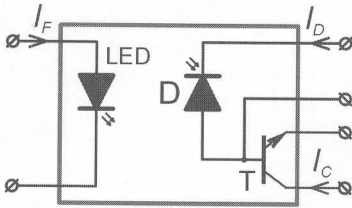


Rys. 3. Schemat zastępczy transpatora z fotodiodą.

Jednym z parametrów opisujących właściwości transmisyjne jest współczynnik CTR (ang. *current transfer ratio*) definiowany zależnością:

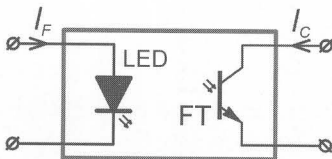
$$CTR = (I_D/I_F) \cdot 100\% \quad (2)$$

Poważnym utrudnieniem w praktycznym wykorzystaniu układu z fotodiodyą jest mała wartość współczynnika CTR , zazwyczaj nie przekracza ona 1%. Tę niekorzystną właściwość eliminuje włączenie fotodiody w obwodzie bazy tranzystora (rys. 4). Przykładowo: dla układu transoptora HCPL-4562 pozwala to na zwiększenie wartości CTR do 50% [1]. Nadal jednak występuje silna zależność wartości tego współczynnika od prądu I_F i dodatkowo od punktu pracy tranzystora T.



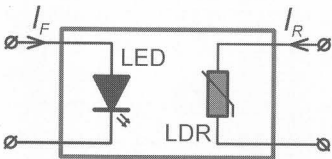
Rys. 4. Schemat transoptora w konfiguracji LED – fotodiody D/tranzystor T.

Inną strukturą o dużej wartości CTR jest konfiguracja dioda LED – fototranzystor FT, o nieliniowej charakterystyce $I_C = f(I_F)$ (rys. 5).



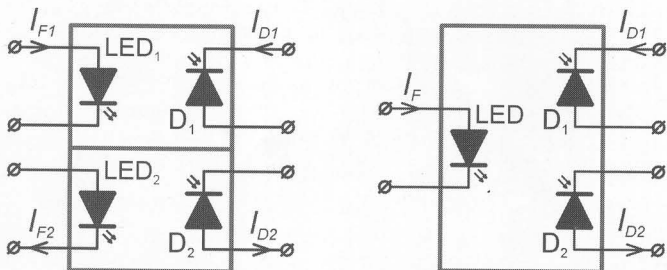
Rys. 5. Schemat transoptora w konfiguracji LED – fototranzystor FT.

Najbardziej spotykana konfiguracja to układ LED – fotorezystor LDR (rys. 6), którego podstawową charakterystyką jest zależność rezystancji fotorezystora od prądu sterującego I_F . Tego typu transoptory stosowane są w zaawansowanym sprzęcie audio (przykładowy transoptor to VTL5C1 [2]).



Rys. 6. Schemat transoptora w konfiguracji dioda LED – fotorezystor LDR.

We wszystkich wymienionych konfiguracjach transoptory mają wadę, którą jest znaczna nieliniowość. Wadę tę można jednak znacznie ograniczyć, stosując konfiguracje z elementami aktywnymi co wymaga rozbudowy struktury transoptora. Dodatkowe elementy włączane w pętlę sprzężenia zwrotnego kompensują nieliniowość diody LED. Dostępne są transoptory ułatwiające takie aplikacje, wśród których można wyróżnić następujące konfiguracje: dwa niezależne kanały dioda LED – fotodiody oraz dioda LED – dwie fotodiody (rys. 7).



Rys. 7. Podstawowe konfiguracje transoptorów analogowych: a) dwa kanały LED-fotodiody, b) jedna LED – dwie fotodiody.

Szczególnie korzystne właściwości przydatne w transmisji sygnałów analogowych ma konfiguracja jedna dioda LED – dwie fo-

todiody (rys. 7b), co wynika z faktu, że znacznie łatwiej wykonać symetryczne fotodiody niż diody elektroluminescencyjne. Sprzężenie optyczne i termiczne trzech elementów ułatwia zbudowanie liniowego separatora galwanicznego. Oczywiście jest to możliwe przy wykorzystaniu elementów aktywnych (najczęściej są to wzmacniacze operacyjne). Dla konfiguracji trójelementowej można określić następujące relacje:

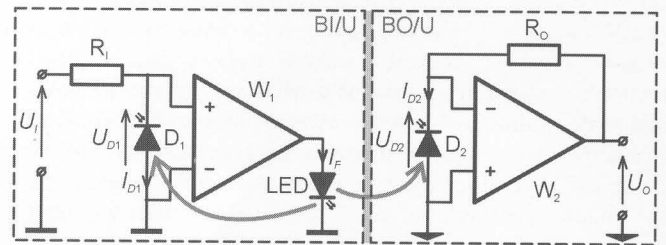
$$P_{D1} = k_1 \cdot P_E \quad (3)$$

$$P_{D2} = k_2 \cdot P_E \quad (4)$$

$$K = k_2/k_1 \quad (5)$$

Wartości współczynników k_1 i k_2 zależą od sprzężenia optycznego między daną LED a daną fotodiodyą. Typowe wartości k_1 i k_2 wynoszą około 1%, przy czym wskazane jest, aby $K \approx 1$ [3, 4].

W praktyce możliwe jest skonfigurowanie separatorów napięciowych, prądowych lub mieszanych transmitujących sygnały unipolarnie lub bipolarne. Na rysunku 8 przedstawiono układ separatora napięć unipolarnych składającego się z dwóch bloków: wejściowego BI/U i wyjściowego BO/U. Fotodiody włączono bez napięcia polaryzacyjnego: w porównaniu z układem przy polaryzacji napięciem wstecznym uzyskuje się w ten sposób lepsze parametry szumowe, ale jednocześnie ogranicza pasmo [3].



Rys. 8. Uproszczony schemat separatora napięć unipolarnych.

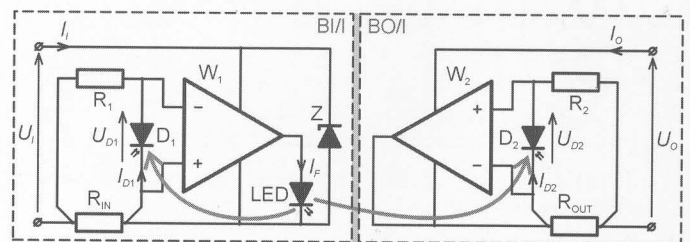
W stanie ustalonym napięcie U_{D1} na fotodiody D1 wynosi 0 (co odpowiada stanowi zwarcia). Zatem prąd I_{D1} określa zależność:

$$I_{D1} = \frac{U_I}{R_1} = S \cdot P_{D1} \quad (6)$$

w której P_{D1} wyraża moc optyczną na powierzchni fotodiody D_1 , odpowiadającą prądowi I_{D1} . Ponieważ fotodiody D_2 jest tego samego typu co D_1 i pracuje w zbliżonym punkcie pracy, można zapisać:

$$I_{D2} = K \cdot I_{D1} = S \cdot P_{D2} \quad (7)$$

Układ separatora prądów unipolarnych z fotodiodyami włączonymi bez napięcia polaryzacyjnego [3] przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Uproszczony schemat separatora prądów unipolarnych.

W stanie ustalonym fotodiody D_1 jest w stanie zwarcia i wartość prądu I_{D1} zależy od mocy optycznej padającej na powierzchnię D_1 . Można zapisać równanie:

$$I_{D1} = I_I \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_1} \quad (8)$$

Natomiast wartość prądu wyjściowego I_O określa zależność:

$$I_O = I_{D2} \frac{R_{OUT} + R_2}{R_{OUT}} \quad (9)$$

Zakładając symetrię elektryczną i optyczną fotodiody D_1 i D_2 , równanie przetwarzania można zapisać w postaci

$$I_O = K \cdot I_I \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_1} \cdot \frac{R_{OUT} + R_2}{R_{OUT}} \quad (10)$$

która w przypadku gdy $R_{IN} = R_{OUT} = R_B$ oraz $R_2 = R_1 + \Delta R_1$ upraszcza się do wyrażenia

$$I_O = K \cdot I_I \frac{R_B + R_1 + \Delta R_1}{R_B + R_1} \quad (10)$$

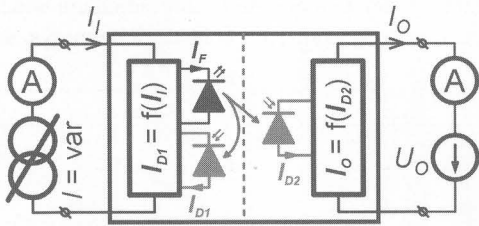
Odpowiedni dobór wartości ΔR_1 umożliwia uzyskanie relacji $I_O = I_I$.

Układ przedstawiony na rys. 9 zasilany jest energią z pętli prądowych, a zatem wzmacniacze W_1 i W_2 muszą być tak dobrane, aby ich prądy zasilania miały wartości mniejsze od wartości prądów I_I i I_O . Prądy polaryzacyjne obu wzmacniaczy muszą być tak małe, aby prawdziwe były równania (6–9). Przy doborze wartości rezystorów R_1 i R_2 należy uwzględnić prąd ciemny I_{DK} fotodiody.

3. Badanie wybranego separatora sygnałów prądowych (4–20) mA

Jako przykładowy obiekt pomiaru wybrano optoelektroniczny separator sygnałów prądowych w standardzie (4–20) mA i konfiguracji z rys. 11. W separatorze tym zastosowano transoptor analogowy HCNR200 [1], który jest typowym układem stosowanym w rozwiązaniach przemysłowych. Wejściowy sygnał prądowy $I_I = (4–20)$ mA przetwarzany jest na wyjściowy sygnał prądowy I_O o tej samej wartości. Zastosowano układ, w którym blok wejściowy i wyjściowy zasilany jest odpowiednio sygnałem wejściowym I_I i wyjściowym I_O . Ponieważ układ pobiera moc bezpośrednio z obwodów sygnałowych, na obu jego blokach musi występować niezerowy spadek napięcia (odpowiednio U_I i U_O). Moc pobierana przez obwód wejściowy wynosi $P_I = I_I U_I$, a pobierana przez obwód wyjściowy $P_O = I_O U_O$. Wartości napięć U_I i U_O wynoszą ok. 5 V, a więc minimalna wartość mocy pobierana dla $I = 4$ mA wynosi $P \approx 20$ mW. Ze względu na niezerowy spadek napięcia blok wejściowy powinien zasilany być źródłem prądowym, natomiast blok wyjściowy jest źródłem prądowym i wymaga zasilania źródłem napięciowym o odpowiednio dobranych parametrach.

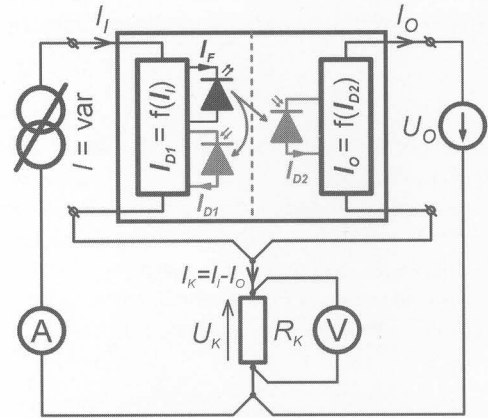
Do oceny liniowości wykorzystano charakterystykę opisującą zależność sygnału wyjściowego I_O od sygnału wejściowego I_I . Statyczną charakterystykę przetwarzania $I_O = f(I_I)$ można wyznaczyć w układzie z dwoma amperomierzami (Rys. 10).



Rys.10. Układ do wyznaczania charakterystyki $I_O = f(I_I)$ w układzie z dwoma amperomierzami.

Z zastosowania dwóch amperomierzy wynikają niedokładności pomiaru prądów wejściowego I_I i wyjściowego I_O , odwzorowywane w postaci tzw. prostokątów błędów o wymiarach odpowiednio $2\Delta I_I$ i $2\Delta I_O$.

Jeżeli do oceny liniowości zastosuje się charakterystykę $I_O = f(I_I)$, to w układzie pomiarowym z częściową kompensacją prądów możliwe jest zredukowanie prostokąta do odcinka błędów. Wynika to z pomiaru obu prądów jednym amperomierzem. Różnicę prądów o znacznie mniejszej wartości od wartości każdego z prądów oddzielnie wyznacza się na podstawie spadku napięcia na rezystorze kompensacyjnym R_K . Na rys. 11 przedstawiono schemat układu do wyznaczania charakterystyki statycznej z wykorzystaniem częściowej kompensacji prądowej. Zgodnie z przyjętymi oznaczeniami bezpośredni pomiarowi podlegają prąd I_I i napięcie U_K przy znanej wartości R_K .



Rys.11. Układ do wyznaczania charakterystyki $I_O = f(I_I)$ z wykorzystaniem częściowej kompensacji prądowej

Sygnaly w obwodzie przedstawionym na rys. 11 wiążę zależność:

$$I_O = I_I - \frac{U_K}{R_K} = I_I - I_K \quad (10)$$

Bezwzględną wartość graniczną błędu pomiaru I_O można zapisać następująco:

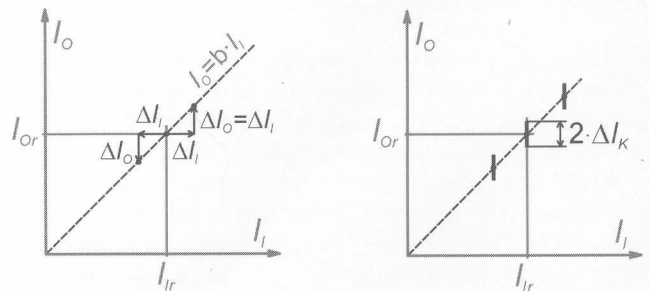
$$\Delta I_O = \Delta I_I + \Delta I_K = \Delta I_I + \frac{I_K \cdot \delta I_K}{100\%} \quad (11)$$

Ponieważ dla rzeczywistych wartości zachodzi związek $I_O \approx I_I$, wartość różnicy prądów I_K jest znacznie mniejsza od wartości prądów I_I i I_O . Wartość błędu względnego δI_K określona jest zależnością:

$$\delta I_K = \delta U_K + \delta R_K \quad (12)$$

gdzie: δU_K – względny błąd pomiaru napięcia U_K ,
 δR_K – wskaźnik klasy rezystora R_K .

W celu wykazania zalet tej metody założono, że $I_I = I_O$ – wówczas pomiar wartości I_I jest obciążony błędem instrumentalnym ΔI_I , a wartość I_O błędem $\Delta I_O = \Delta I_I$. Jednak przy ocenie nieliniowości nie ma to znaczenia. Zmiana wartości I_I o ΔI_I powoduje zmianę wartości I_O o ΔI_O . W efekcie dany punkt pomiarowy, niezależnie od wartości ΔI_I , znajduje się na prostej $I_O = b I_I$ (co zilustrowano na rys. 12).



a) b)
Rys.12. Przykładowe charakterystyki przetwarzania $I_O = f(I_I)$ bez i z uwzględnieniem błędu instrumentalnego ΔI_K dla układu z rys. 11.

Jeżeli I_{Ir} i I_{Or} są nieznanymi wartościami rzeczywistymi I_I i I_O , to niezależnie od wartości i znaku ΔI_I , punkt określony wartościami z pomiaru I_{II} i I_{OI} znajduje się na prostej przechodzącej przez punkty o rzeczywistych (ale nieznanach) współrzędnych. Oznacza to, że rozbieżność pomiędzy wartościami rzeczywistymi i zmierzonymi nie wprowadza błędów do oceny nieliniowości. Dla stanu, w którym $I_I \neq I_O$ występuje błąd instrumentalny ΔI_K związany z pomiarami wartości U_K i R_K . Ma on wpływ tylko na wartość I_O , redukując prostokąt do odcinka błędów (rys. 12b) oraz wprowadza błąd w ocenie nieliniowości (w prawidłowym układzie pomiarowym $\Delta I_K \ll \Delta I_I$). Na zalety częściowej kompensacji prądów zwrócono uwagę w [5].

4. Ocena nieliniowości i niedokładności aproksymacji charakterystyki badanego separatora

Badania separatora przeprowadzono w celu uzyskania modelowego opisu statycznego równania przetwarzania. Tego typu układy w odpowiednim przedziale wartości sygnału wejściowego są w przybliżeniu elementami liniowymi. Badania przykładowego separatora przeprowadzono w układzie pomiarowym, którego schemat przedstawiono na rys. 11. Celem pomiarów było wyznaczenie charakterystyki $I_O = f(I_I)$. Pomiaru prądu wejściowego I_I i napięcia U_K dokonano multimetrami cyfrowymi HP34401A.

Zgodnie z przewidywaniami uzyskano charakterystyki przetwarzania, które są w przybliżeniu liniowe, co wymaga bardziej dokładnej oceny liniowości przy wykorzystaniu odpowiedniego modelu matematycznego. Istnieje wiele możliwości opisu danych eksperymentalnych za pomocą równania podającego związek pomiędzy wartościami zmiennych pochodzących z pomiarów. Przy doborze postaci równania empirycznego przedstawiającego dane eksperymentalne należy kierować się dwoma postulatami: równanie to powinno z jednej strony możliwie najlepiej przedstawiać zależność między wartościami zmiennych wynikającymi z pomiarów, a z drugiej zawierać możliwie najmniejszą liczbę stałych [6].

Na podstawie wyników z próby wyznaczono estymatory współczynnika korelacji. Po wykonaniu obliczeń uzyskano $r_{I_O, I_I} \approx 0,999$ dla wszystkich temperatur. Przyjęto równanie regresji liniowej dla opisu charakterystyki przetwarzania badanego przetwornika w badanym zakresie zmian temperatur:

$$\dot{I}_O = \alpha + \beta \cdot I_I \quad (13)$$

Estymatory a oraz b parametrów α i β wyznaczono z próby. Liczbowe wartości tych parametrów wyznaczono korzystając z metody najmniejszych kwadratów. Po przeprowadzeniu obliczeń dla każdej serii wyników pomiarów uzyskano wartości a_g i b_g . Błędy nieliniowości δ_{nl} poszczególnych serii pomiarów (dla każdej temperatury oddzielnie) wyznaczono zgodnie z zależnością:

$$\delta_{nl} = \max \left(\frac{|\dot{I}_O - I_O|}{I_m} \right) \cdot 100\% = \max \left(\frac{|(a_g + b_g \cdot I_I) - I_O|}{I_m} \right) \cdot 100\% \quad (14)$$

gdzie: I_m wyraża zakres ($I_m = (20-4) \text{ mA} = 16 \text{ mA}$), a \dot{I}_O jest estymowaną wartością I_O . Zestawienie eksperymentalnie wyznaczonych współczynników dla badanego separatora zamieszczono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie eksperymentalnie wyznaczonych wartości współczynników dla badanego separatora.

ϑ_A [°C]	31,0	42,0	50,3	60,2	70,2
b_g [-]	1,0235	1,0253	1,0266	1,0271	1,0290
a_g [mA]	-0,225	-0,227	-0,217	-0,204	-0,204
δ_{nl} [%]	0,005	0,006	0,014	0,018	0,006
δ_{ap} [%]	0,80	0,60	0,43	0,56	0,80

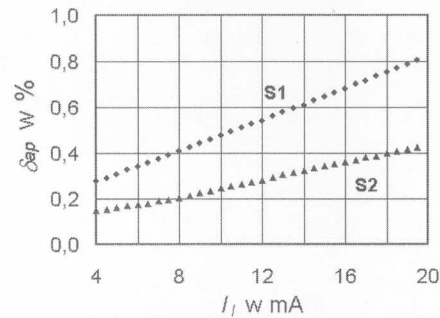
W pracach [7, 8] autorzy dokonywali oceny błędu nieliniowości badanego przetwornika dla określonej temperatury pracy, przy zastosowaniu zarówno liniowych, jak i nieliniowych funkcji aproksymujących. Dla liniowego modelu opisu charakterystyki przetwarzania, często stosowanego w praktyce ze względu na jego prostotę, uzyskano wartości błędów nieliniowości rzędu setek ppm. Taki sposób oceny liniowości badanego separatora optoelektronicznego jest jednak przydatny tylko w sytuacji, w której badany przetwornik pracuje w stałej i niezmiennej temperaturze. Wynika to z wpływu temperatury ϑ_A na wartości współczynników a_g i b_g . Podjęto więc próbę wyznaczenia jednego równania opisującego charakterystyki przetwarzania przetwornika, niezależnie od temperatury pracy, przy minimalnej wartości błędu aproksymacji δ_{ap} określonej zależnością

$$\delta_{ap} = \max \left(\frac{|(a_{ap} + b_{ap} \cdot I_I) - I_O(\vartheta)|}{I_m} \right) \cdot 100\% \quad (15)$$

gdzie: b_{ap} i a_{ap} – jednakowe wartości współczynników dla wszystkich temperatur.

Wartość sygnału wyjściowego zapisano w postaci $I_O = f(\vartheta_A)$ w celu jednoznacznie przyjęcia sposobu wyznaczania wartości błędu aproksymacji δ_{ap} oraz podkreślenia różnicy między wyrażeniami (14) i (15). Na rys. 13 zaprezentowano charakterystykę $\delta_{ap} = f(I_I)$ odpowiednio dla najbardziej niekorzystnego i najlepszego przypadku (tzn. dla maksymalnej i minimalnej wartości błędu aproksymacji).

Dla rozpatrywanego zakresu temperatur uzyskano wartości błędów aproksymacji δ_{ap} (nie przekraczające 0,8 %), a więc znacząco większe od wartości błędów nieliniowości δ_{nl} .



Rys. 13. Charakterystyki $\delta_{ap} = f(I_I)$ badanego przetwornika: współczynniki a i b wyznaczono dla temperatury $\vartheta = 31,0^\circ\text{C}$ (charakterystyka S1) oraz $\vartheta = 50,3^\circ\text{C}$ (charakterystyka S2).

5. Podsumowanie

Uzyskane wyniki pomiarów świadczą o dobrej liniowości badanego separatora optoelektronicznego. Potwierdzają to wyznaczone eksperymentalnie wartości błędów nieliniowości δ_{nl} . Uzyskane wartości błędów aproksymacji δ_{ap} rzędu dziesiątych części procenta są wprawdzie o dwa rzędy większe od wyznaczonych błędów nieliniowości, ale pozwalają na ocenę wartości sygnału wyjściowego I_I tylko na podstawie znajomości wejściowego prądu I_O , i to w szerokim zakresie temperatury pracy. Trudno jednoznacznie ocenić, czy taki sposób aproksymacji charakterystyki przetwarzania jest wystarczający. Ostateczną ocenę podejmuje eksperymentator. Musi on dokonać wyboru pomiędzy żadaną wartością błędu aproksymacji a prostotą równania podającego związek pomiędzy wartościami zmiennych pochodzących z pomiarów, przy znanej i stałej temperaturze, z jednej strony a uniwersalnością funkcji aproksymującej, przy mniejszej dokładności, niezależnie od temperatury pracy, z drugiej. Dobra liniowość badanego separatora uzasadnia jego stosowanie w transmisji wolnozmiennych sygnałów niosących informację zapisaną za pomocą ilorazu wybranych miar tego sygnału.

6. Literatura

- [1] Karta katalogowa High Bandwidth, Analog/Video Optocouplers HCPL-4562/HCLR4562, Agilent Technologies, 2005.
- [2] Karta Katalogowa VTL5C1, 5C2 Analog Optical Isolators, EG&G Optoelectronics, 1999.
- [3] Karta katalogowa High-Linearity Analog Optocouplers HCLR200, HCLR201, Agilent Technologies, 2005.
- [4] Karta katalogowa Linear Optocoupler, High Gain Stability, Wide Bandwidth IL300, Vishay Semiconductors, 2005.
- [5] Otomański P., Wiczyński W.: Charakterystyka przetwarzania optoelektronicznego separatora sygnałów prądowych 4-20 mA, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice, tom 1, s. 361-364, Poznań/Kiekrz, 2003.
- [6] Strzałkowski A., Śliżyński A.: Matematyczne metody opracowania wyników pomiarów, PWN, Warszawa, 1978.
- [7] Otomański P., Wiczyński G.: Nieliniowe aproksymacje charakterystyk przetwarzania separatorów optoelektronicznych, Materiały VIII Konferencji Naukowej Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne, 27-30 czerwiec, Wrocław, 2004, s. 465-468.
- [8] Otomański P., Wiczyński W.: Eksperymentalna weryfikacja matematycznego modelu statycznego równania przetwarzania separatora optoelektronicznego, Materiały XI Międzynarodowego Seminarium Metrologów, 17-20 wrzesień, Rzeszów, 2003, s. 235-242.

Title: Transmission of analogue signals with the use of optoelectronic separators.

Artykuł recenzowany