

## Zastosowanie pamięci stałej do przetwarzania sygnałów optoelektronicznego przetwornika położenia

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problem związany z przetwarzaniem sygnałów optoelektronicznego przetwornika w oparciu o metodę programowalną z zastosowaniem pamięci stałej. W metodzie tej, dwa analogowe sygnały sinusoidalne optoelektronicznego przetwornika położenia podawane są na wejścia przetworników analogowo-cyfrowych i zamieniane na cyfrowe N-bitowe sygnały. Sygnały te wykorzystuje się do adresowania pamięci, w której wartości zawarte w komórkach w sposób bezpośredni dają informację o zmianie wartości sinusoidalnie zmiennych sygnałów przetwornika, co jest jednoznaczne ze zmianą położenia optoelektronicznego przetwornika. Następnie wytwarza się sygnał przyrostu i kierunku przemieszczenia optoelektronicznego przetwornika położenia. Na bazie przyrostu przemieszczenia w układzie licznika śledzącego otrzymuje się dwa przebiegi prostokątne przesunięte względem siebie o  $\frac{1}{4}$  okresu o częstotliwości dwa razy mniejszej od częstotliwości sygnału położenia.

**Abstract.** This article presents problem connected with converting signals of an optoelectronic transducer based on programmable method with usage of read-only memory. In this method two analogue sinusoidal signals of an optoelectronic position transducer are feed on inputs of analog-to-digital converters and then they are converted to N-bit digital signals. These signals are used for addressing memory, the values of which are contained in cells and in direct way give information about the change of values of sinusoidal signals of the converter. This is tantamount to position change of the optoelectronic transducer. Then signal of increment and direction displacement of the position optoelectronic transducer is created. On the basis of displacement increment in the system of tracking counter two square signals shifted one from another of  $\frac{1}{4}$  period and frequency two times smaller from frequency of position signal are obtained. (**Application of read-only memory to conversion of signals of optoelectronic position transducer**)

**Słowa kluczowe:** zwiększenie dokładności przetwornika optoelektronicznego, wyróżnienie kierunku ruchu, programowalne metody przetwarzania sygnałów przetwornika.

**Keywords:** increase of accuracy of optoelectronic transducer, motion direction discrimination, programmable methods of converting signals of the converter.

doi:10.12915/pe.2014.07.16

### Wprowadzenie w zagadnienia przetwarzania sygnałów optoelektronicznego przetwornika położenia

Obecnie najczęściej stosowane są przetworniki optoelektroniczne, składające się z tarczy (lub listwy do pomiaru przemieszczeń liniowych) zawierającej na obwodzie sekwencję pól przezroczystych i nieprzezroczystych dla światła lub odbijających i pochłaniających światło. Przetworniki liniowe długości wyposażone są w linał równy długości pomiaru położenia. Tarcza lub listwa moduluje strumień źródła światła, padającego na fotodetektor tak, że na jego wyjściu pojawia się liczba impulsów proporcjonalna do przemieszczenia liniowego lub kąтового [1],[2]. W pomiarach przemieszczenia obiektu, przywiązywana jest duża waga do dokładności pomiaru położenia, którą można zwiększyć na drodze precyzyjniejszej budowy przetwornika (jego linału pomiarowego) lub na drodze odpowiedniego przetwarzania sygnałów z przetwornika optoelektronicznego, co technologicznie jest prostsze.

Elektroniczne układy do współpracy z przetwornikiem optoelektronicznym mają za zadanie zwiększenie dokładności przetwarzania i rozróżniania kierunku ruchu [4],[5],[6]. Układy do przetwarzania sygnałów wyjściowych przetwornika (sin i cos) zmiernają do wytworzenia dwóch przebiegów prostokątnych przesuniętych o  $\frac{1}{4}$  okresu o tym samym lub wielokrotnie mniejszym okresie w odniesieniu do okresu sygnałów podstawowych przetwornika.

W literaturze [8],[9],[10],[11],[12],[13] przeanalizowano metody zrealizowane na podstawie funkcji logicznych sygnałów przetwornika, funkcji logicznych sygnałów przetwornika i impulsów ruchu wygenerowanych z sygnałów tego przetwornika w układach przerzutnikowych lub w układach RC oraz metodę fazowego przetwarzania sygnałów przetwornika położenia. Wielokrotnie częstotliwości sygnałów można uzyskać wytwarzając sygnały fazowe o założonym przesunięciu fazowym w

stosunku do sygnałów podstawowych. Metoda generowania sinusoidalnie zmiennych napięć fazowych oraz ich przetwarzania, przy przesunięciu  $180^\circ$  umożliwia uzyskanie sygnałów prostokątnych o częstotliwości pięciokrotnie większej w odniesieniu do sygnału podstawowego. Stosując następnie metody przetwarzania w oparciu o przebiegi prostokątne można dodatkowo zwielokrotnić dokładność przetwarzania czterokrotnie, co w sumie umożliwia na drodze elektronicznej, dwudziestokrotne zwiększenie dokładności przetwornika. Z reguły urządzenia elektroniczne mogą przetwarzać jedynie takie sygnały, których oddzielenie zboczy pomiędzy dowolnymi dwoma sąsiadującymi sygnałami prostokątnymi nie zmniejsza się poniżej minimalnego dopuszczalnego oddzielenia zboczy sygnałów prostokątnych, wynikającego z parametrów zastosowanych elementów przełączających [3],[7].

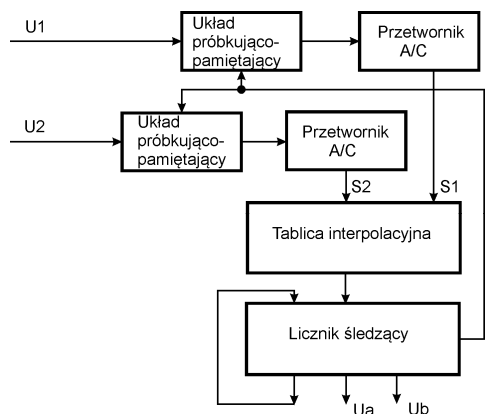
W artykule przedstawiono opracowaną metodę z zastosowaniem pamięci stałej do określania położenia na podstawie sygnałów przetwornika optoelektronicznego.

### Metoda i struktura układu realizującego przetwarzanie sygnału z optoelektronicznego przetwornika położenia z zastosowaniem licznika śledzącego i tablicy interpolacyjnej.

Metody programowalne, ze względu na takie zalety jak: zmniejszenie struktury urządzenia, niższe koszty realizacji, większa dokładność i niezawodność przetwarzania, są coraz częściej stosowane.

Wyjściowe sygnały z fotoelektrycznego przetwornika położenia to dwa sygnały sinusoidalne  $U_1$ ,  $U_2$ , przesunięte w fazie względem siebie o  $\frac{1}{4}$  okresu. Okres sygnału jest równy okresowi siatki podziałki skali (linału) tego przetwornika.

W układzie próbkująco - pamiętającym napięcia  $U_1$ ,  $U_2$ , są zapamiętywane i przekazywane w regularnych przedziałach czasu do przetwornika analogowo-cyfrowego, gdzie zamieniane są na postać cyfrową.

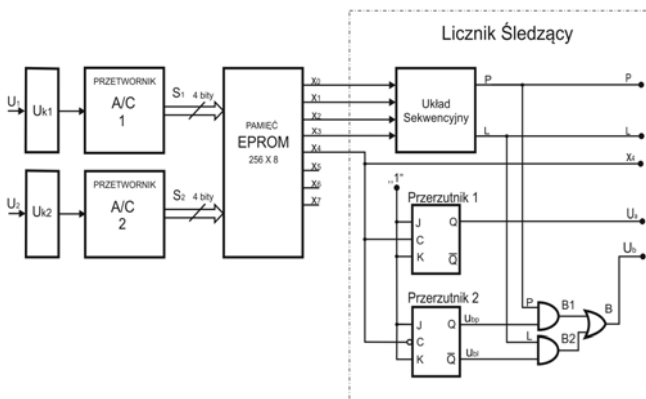


Rys.1. Schemat ogólny cyfrowego układu interpolującego z zastosowaniem licznika śledzącego i tablicy interpolującej

Dwie cyfrowe wartości napięcia  $S_1, S_2$  wykorzystywane są do adresowania interpolacyjnej tablicy przeglądowej w celu określenia chwilowej wartości położenia. Układ śledzący porównuje chwilową wartość położenia z wartością określoną w poprzednim cyklu. Z różnicy dwóch wartości położenia licznik śledzący generuje dwa przyrostowe sygnały prostokątne  $U_a, U_b$  przesunięte względem siebie o  $1/4$  okresu [12].

Opracowane rozwiązanie układu (rys.2) zawiera w swej strukturze :

- dwa układy  $U_k$  ograniczające wejściowe przebiegi sinusoidalne do napięcia  $U_z$ , co przedstawiono na rys.3;
- dwa bipolarne 4-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe;
- 256-bajtową pamięć EPROM;
- licznik śledzący w skład, którego wchodzi układ sekwencyjny oraz układ formujący wyjściowe przebiegi prostokątne.



Rys.2. Schemat blokowy układu interpolującego z zastosowaniem licznika śledzącego i tablicy interpolującej

Z optoelektronicznego przetwornika położenia otrzymujemy dwa sinusoidalne sygnały  $U_1 = A \sin \alpha$ ,  $U_2 = A \cos \alpha$ . W celu przetworzenia tych sygnałów w przetwornikach A/C dokonuje się ich ograniczenia do napięcia  $U_z$  (rys.3). Zakładając liniowość sygnałów w tym przedziale, tylko te części poddawane są przetwarzaniu na sygnał cyfrowy. Najbardziej korzystne z punktu widzenia dokładności dalszego przetwarzania okazuje się ograniczenie przebiegów  $U_1, U_2$  do wartości, w której następuje przecięcie się obu sygnałów. Dla jednakowych wartości amplitud sygnałów  $U_1, U_2$  przecięcie następuje dla względnego przesunięcia wzorca i przystony przetwornika położenia wynoszącego  $45^\circ$ .

W związku z tym zastosowanie konkretnych układów ograniczających  $U_k$ , charakteryzujących się określoną

wartością napięcia  $U_z$ , powiązane jest ściśle z amplitudą sygnałów  $U_1, U_2$ . Amplitudy tych sygnałów należy dobrać według:

$$(1) \quad A = \sqrt{2} U_z$$

gdzie:  $A$  - amplituda sygnałów  $U_1, U_2$ ;  $U_z$  - wartość napięcia ograniczająca sygnały  $U_1$  i  $U_2$

W celu przetwarzania jedynie części przebiegów ograniczonych przez układ  $U_k$  należy odpowiednio dobrać napięcie referencyjne ( $U_{ref}$ ) przetwornika A/C. Zakładając liniowość przebiegów  $U_1, U_2$  w przedziale ograniczonym napięciem  $U_z$ , napięcie referencyjne określono jako:

$$(2) \quad U_{ref} = U_z \cdot \frac{2^{N-1}}{2^{N-1} - 0,5}$$

gdzie:  $U_{ref}$  - napięcie referencyjne przetwornika,  $U_z$  - napięcie stabilizacji diody Zenera,  $N$  - ilość bitów przetwornika A/C

Kwant napięcia przetwarzania (przedział kwantowania) określa się z zależności

$$(3) \quad q = \frac{U_{ref}}{2^{N-1}}$$

gdzie:  $q$  - kwant napięcia przetwarzania (przedział kwantowania)

Kolejne napięcia, przy których nastąpi przełączenie stanów (poziomów kwantowania) można wyznaczyć na podstawie

$$(4) \quad U_n = -U_{ref} + \frac{n \cdot U_{ref}}{2^{N-1}}$$

Przedziały, których wartości odpowiadają względnemu przesunięciu wzorca i przystony  $\alpha_k$ , tj. przedziały wyznaczające punkty przecięcia się sygnałów  $U_1, U_2$  z poziomami napięcia  $U_n$  można określić z zależności:

$$(5) \quad \alpha_k = \arcsin \frac{U_n}{A} \quad \text{oraz} \quad \alpha_k = \arccos \frac{U_n}{A}$$

gdzie:  $\alpha_k$  - graniczne wartości przedziałów

Sygnały  $U_1, U_2$  poprzez układy  $U_k$  podawane są na dwa oddzielne bipolarne N-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe. W przetwornikach tych zawarte są trzy bloki realizujące funkcje próbkowania, kwantowania i kodowania sygnału.

Próbkowanie polega na pobieraniu w określonych odstępach czasu próbek wartości sygnału  $U_1$  w taki sposób, aby ciąg próbek umożliwiał jak najwierniejsze odtworzenie całego przebiegu funkcji  $U_1$ .

Kwantowanie, stanowiące jeden z etapów przetwarzania analogowo-cyfrowego, polega na przyporządkowaniu wartości sygnału ciągłego  $U_1$  skwantowanej wartości dyskretniej. Danej wartości dyskretniej odpowiadają wartości sygnału ciągłego zawarte w pewnym przedziale. Następnie wartość ta jest kodowana i przedstawiana za pomocą kodu binarnego w wyniku czego na wyjściu przetwornika otrzymujemy n-bitową wartość w postaci cyfrowej  $S_1$ . Analogicznie otrzymujemy cyfrowy sygnał  $S_2$  w wyniku przetworzenia ciągłego sygnału  $U_2$ .

Tabela 1. Adresowanie i zawartość komórek pamięci EPROM

Tabela obrazująca adresowanie i zawartość komórek pamięci EPROM dla poszczególnych przedziałów					
L.p.	Przedziały w stopniach	8 bitów adresowania pamięci		Zawartość pamięci	
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>2</sub> X <sub>1</sub> X <sub>0</sub>
1	0,00 - 5,41	1000	1111	0	0 0 0 1
2	5,41 - 10,87	1001	1111	1	0 0 1 0
3	10,87 - 16,43	1010	1111	0	0 1 0 0
4	16,43 - 22,16	1011	1111	1	1 0 0 0
5	22,16 - 28,13	1100	1111	0	0 0 0 1
6	28,13 - 34,55	1101	1111	1	0 0 1 0
7	34,55 - 41,30	1110	1111	0	0 1 0 0
8	41,30 - 48,70	1111	1111	1	1 0 0 0
9	48,70 - 55,55	1111	1110	0	0 0 0 1
10	55,55 - 61,87	1111	1101	1	0 0 1 0
11	61,87 - 67,84	1111	1100	0	0 1 0 0
12	67,84 - 73,57	1111	1011	1	1 0 0 0
13	73,57 - 79,13	1111	1010	0	0 0 0 1
14	79,13 - 84,59	1111	1001	1	0 0 1 0
15	84,59 - 90,00	1111	1000	0	0 1 0 0
16	90,00 - 95,41	1111	0111	1	1 0 0 0
17	95,41 - 100,87	1111	0110	0	0 0 0 1
18	100,87 - 106,43	1111	0101	1	0 0 1 0
19	106,43 - 112,16	1111	0100	0	0 1 0 0
20	112,16 - 118,13	1111	0011	1	1 0 0 0
21	118,13 - 124,55	1111	0010	0	0 0 0 1
22	124,55 - 131,30	1111	0001	1	0 0 1 0
23	131,30 - 138,70	1111	0000	0	0 1 0 0
24	138,70 - 145,55	1110	0000	1	1 0 0 0
25	145,55 - 151,87	1101	0000	0	0 0 0 1
26	151,87 - 157,84	1100	0000	1	0 0 1 0
27	157,84 - 163,57	1011	0000	0	0 1 0 0
28	163,57 - 169,13	1010	0000	1	1 0 0 0
29	169,13 - 174,59	1001	0000	0	0 0 0 1
30	174,59 - 180,00	1000	0000	1	0 0 1 0
31	180,00 - 185,41	0111	0000	0	0 1 0 0
32	185,41 - 190,87	0110	0000	1	1 0 0 0
33	190,87 - 196,43	0101	0000	0	0 0 0 1
34	196,43 - 202,16	0100	0000	1	0 0 1 0
35	202,16 - 208,13	0011	0000	0	0 1 0 0
36	208,13 - 214,55	0010	0000	1	1 0 0 0
37	214,55 - 221,30	0001	0000	0	0 0 0 1
38	221,30 - 228,70	0000	0000	1	0 0 1 0
39	228,70 - 235,55	0000	0001	0	0 1 0 0
40	235,55 - 241,87	0000	0010	1	1 0 0 0
41	241,87 - 247,84	0000	0011	0	0 0 0 1
42	247,84 - 253,57	0000	0100	1	0 0 1 0
43	253,57 - 259,13	0000	0101	0	0 1 0 0
44	259,13 - 264,59	0000	0110	1	1 0 0 0
45	264,59 - 270,00	0000	0111	0	0 0 0 1
46	270,00 - 275,41	0000	1000	1	0 0 1 0
47	275,41 - 280,87	0000	1001	0	0 1 0 0
48	280,87 - 286,43	0000	1010	1	1 0 0 0
49	286,43 - 292,16	0000	1011	0	0 0 0 1
50	292,16 - 298,13	0000	1100	1	0 0 1 0
51	298,13 - 304,55	0000	1101	0	0 1 0 0
52	304,55 - 311,30	0000	1110	1	1 0 0 0
53	311,30 - 318,70	0000	1111	0	0 0 0 1
54	318,70 - 325,55	0001	1111	1	0 0 1 0
55	325,55 - 331,87	0010	1111	0	0 1 0 0
56	331,87 - 337,82	0011	1111	1	1 0 0 0
57	337,82 - 343,57	0100	1111	0	0 0 0 1
58	343,57 - 349,13	0101	1111	1	0 0 1 0
59	349,13 - 354,59	0110	1111	0	0 1 0 0
60	354,59 - 360,00	0111	1111	1	1 0 0 0

Stosując powyższe założenia i korzystając z zależności 1, 2, 3; dla układu z ograniczeniem amplitudy napięcia do  $U_z = 2,4V$  przebiegi sygnałów 4-bitowego przetwornika A/C przyjmą następujące parametry:

$$A=3,394V, U_{ref} = 2,56V, q = 0,32V$$

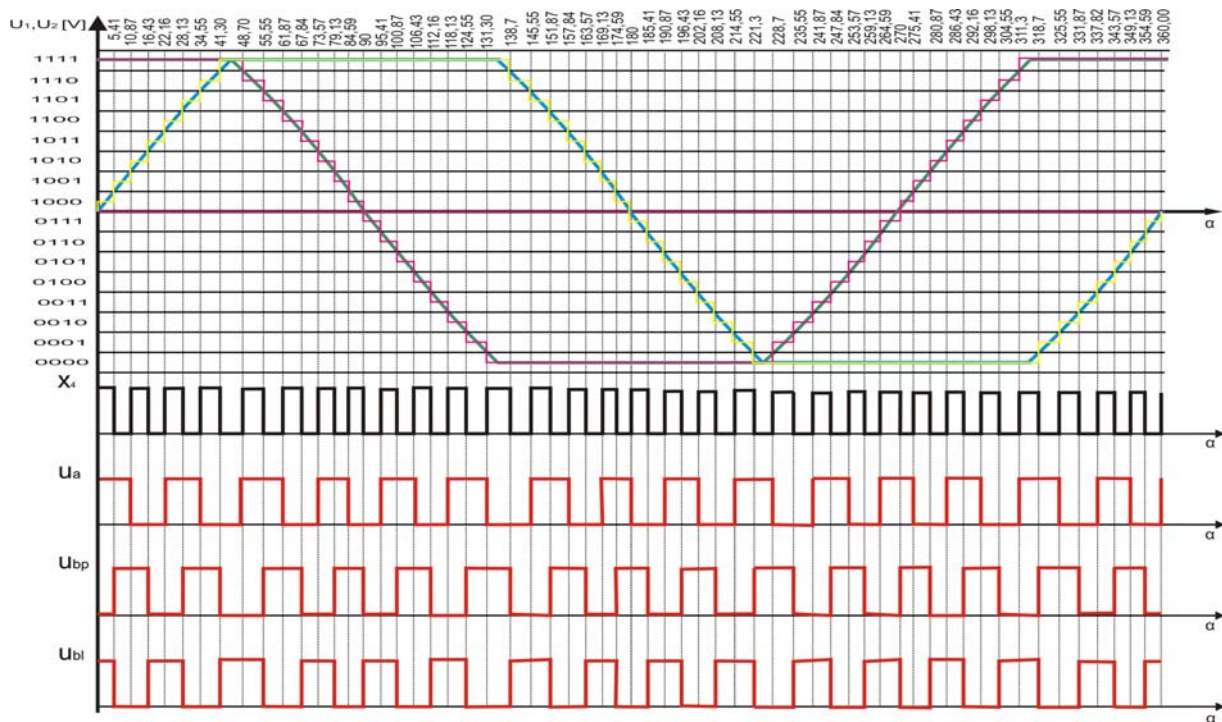
W omawianym przypadku zastosowane 4-bitowe przetworniki A/C przetwarzają sygnały analogowe  $U_1, U_2$  w zakresie od  $-2,4V$  do  $2,4V$ . Otrzymujemy w ten sposób odpowiadające im sygnały cyfrowe  $S_1$  i  $S_2$  zawarte w przedziałach 0000 do 1111. W ten sposób otrzymujemy szesnaście poziomów kwantowania przecinających sygnały  $U_1, U_2$ . Punkty przecięcia sygnałów  $U_1$  i  $U_2$  z poziomami kwantowania wyznaczają pewną liczbę przedziałów  $a_k$  których wartości oblicza się ze wzorów 4 i 5. Przykładowe wartości dla  $n=5$  wynoszą:  $U_5 = -0,96 V, a_k = 106,43^\circ$

W ten sposób otrzymuje się sześćdziesiąt przedziałów, których wartości zawierają się w określonych granicach. Każdemu z tych przedziałów odpowiadają wartości 4-bitowych sygnałów  $S_1$  i  $S_2$ , co przedstawia tabela 1.

Sygnały  $S_1$  i  $S_2$  wykorzystywane są do 8-bitowego adresowania komórek pamięci EPROM. Adresując daną komórkę pamięci, jej wartość (8-bitów) jest wystawiana na wyjście równoległe w postaci 8 bitowego słowa binarnego (bity od  $x_0$  do  $x_7$ ). Wartości zawarte w komórkach pamięci w sposób bezpośredni informują o zmianie wartości ciągłych sygnałów  $U_1, U_2$ , co jest jednoznaczne ze zmianą względnego przesunięcia wzorca i przesłony optoelektronicznego przetwornika położenia.

W celu określenia przyrostu i kierunku przesunięcia wzorca optoelektronicznego przetwornika położenia wykorzystuje się pięć bitów wystawianych na równoległe wyjście pamięci EPROM ( $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4$ ). Cztery mniej znaczące bity  $x_0, x_1, x_2$  i  $x_3$  podawane są bezpośrednio na wejście układu sekwencyjnego, który służy do wyróżnienia kierunku ruchu poprzez wystawienie na jednym z wyjść  $P$  lub  $L$  stanu wysokiego ( $P=1 L=0$ -ruch w prawo,  $P=0 L=1$ -ruch w lewo). Bit  $x_4$  tworzy sygnał zegarowy dla przerzutników JK. Na wyjściu przerzutnika A otrzymujemy pierwszy sygnał prostokątny  $U_a$  o częstotliwości dwa razy mniejszej od częstotliwości sygnału  $x_4$ . Na wyjściu przerzutnika B otrzymujemy dwa przebiegi  $U_{bp}$  i  $U_{bl}$ . Sygnał  $U_{bp}$  wyprzedza przebieg  $U_a$  o  $1/4$  okresu natomiast sygnał  $U_{bl}$  opóźnia się za przebiegiem  $U_a$  o  $1/4$  okresu. Oba te sygnały jak również bity z wyjścia układu sekwencyjnego podawane są na wejścia układu kombinacyjnego. Układ ten w zależności od kierunku ruchu wyróżnionego przez układ sekwencyjny, na wyjście  $U_b$  podaje przebieg  $U_{bp}$  lub  $U_{bl}$ . W ten sposób otrzymujemy dwa gotowe sygnały prostokątne dające informacje o położeniu i kierunku ruchu optoelektronicznego przetwornika położenia (rys.3).

Istnieje również możliwość otrzymania tej samej informacji wykorzystując przebieg  $x_4$  oraz wyjścia układu sekwencyjnego  $P$  i  $L$ . Dzięki temu dokładność pomiaru jest dwukrotnie większa niż przy wykorzystaniu sygnałów  $U_a$  i  $U_b$ . Najczęściej jednak przy pomiarach z wykorzystaniem optoelektronicznego przetwornika położenia wykorzystuje się dwa przebiegi prostokątne przesunięte względem siebie o  $1/4$  okresu co związane jest ze standaryzacją urządzeń pomiarowych. Przebiegi czasowe przetwarzania sygnałów z optoelektronicznego przetwornika położenia przedstawiono na rys.3



Rys.3. Przebiegi czasowe sygnałów z optoelektronicznego przetwornika położenia i odpowiadające im przebiegi cyfrowe po zastosowaniu układu z licznikiem śledzącym i tablicą interpolacyjną

## Podsumowanie

1. Precyzyjne optoelektroniczne przetworniki położenia wymagają stosowania wysokiej technologii ich produkcji, co wiąże się z wysokimi kosztami ich wytworzenia. Jest tendencja do stosowania optoelektronicznych przetworników kwantujących prostszej budowy, o mniejszej dokładności przetwarzania, przenosząc wagę uzyskania zwiększonej dokładności na drogę elektroniczną.

2. Metody programowalne z zastosowaniem pamięci stałej do określania położenia na podstawie sygnałów przetwornika optoelektronicznego umożliwiają uzyskanie wysokiej interpolacji sygnałów dzięki czemu wypierają one inne metody przetwarzania sygnałów. Również za stosowaniem programowalnych metod przetwarzania przemawiają takie zalety jak: zmniejszenie struktury urządzenia, niższe koszty realizacji, większa dokładność i niezawodność.

## LITERATURA

- [1] Ching-Fen Kao, Mao-Hong Lu „Optical encoder based on the fractional Talbot effect” *Optics Communications* 25/ 2005 p. 16–23 Elsevier
- [2] Feel-Soon Kang, Sung-Jun Park A linear encoder using a chiaroscuro and its extension to switched reluctance motor drive *Energy Conversion and Management* 46/ 2005 p. 1119–1128 Elsevier
- [3] Szcześniak Zb. „Analysis of the position and velocity measurement line for the hydraulic press crossbar with the use of photoelectric transducer”. *Advances of Manufacturing Science and Technology*, Polish Academy of Sciences, vol. 29 No 3/2005 p. 75-84
- [4] Szcześniak A., Myczuda Z. „Analiza prądów wpływu logarytmicznego przetwornika analogowo-cyfrowego z sukcesywną aproksymacją” *Przegląd Elektrotechniczny* (Electrical Review), ISSN 0033-2097 R. 88 Nr 5a/2012, s. 247-250.
- [5] Szcześniak Zb. „Method of processing accuracy enhancement of the photoelectric position transducer signals”. *Metrology and Measurement Systems*, Polish Academy of Sciences, Vol. XII No 3/2005 p. 315-322
- [6] Szcześniak A., Szcześniak J. “An Application of the microcontroller structure in the incremental optoelectronic transducer”, *Elektronika, Konstrukcje, Technologie, Zastosowania* Nr 5 /2011 s.161-163
- [7] Szcześniak Zb.: „Metoda kompensacji składowej stałej sygnałów pomiarowych optoelektronicznego przetwornika położenia” *Pomiary Automatyka Kontrola* 6/2005 s.12,13
- [8] Szcześniak Zb.: „Methods of converting of electric signals from photoelectric position transducer for discrimination of its motion direction and for increasing its measurement accuracy”. *Electronics and Telecommunications*. Polish Academy of Sciences, Vol. 52 No 1 / 2006 p. 23-30
- [9] Szcześniak A. Szcześniak Zb. „Mikroprocesorowy symulator sygnałów optoelektronicznego przetwornika położenia.” *Przegląd Elektrotechniczny* (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 85 Nr 8/2009 s. 119 – 122
- [10] Szcześniak A. Szcześniak Zb. „Mikroprocesorowe przetwarzanie sygnałów optoelektronicznego przetwornika położenia” *Przegląd Elektrotechniczny* (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 85 Nr 4/2009 s. 153 – 158
- [11] Szcześniak A. Szcześniak Zb. „Methods and analysis of processing signals of incremental optoelectronic transducer” *Review of Scientific Instruments* Vol.80, 094701 /2009 p.1-6
- [12] Szcześniak A. Szcześniak Zb. “Methods and devices of processing signals of optoelectronic position transducers” rozdział w książce „Optoelectronic Devices and Properties”, *Wydawnictwo INTECH* , ISBN 978-953-307-511-2, Wiedza 2011 r.
- [13] Szcześniak A., Szcześniak Zb. „Signals of optoelectronic transducer processed in flip-flop circuits” *Przegląd Elektrotechniczny* (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 86 Nr 9/2010 s. 348-350

**Autorzy:** Dr inż. Adam Szcześniak, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, Kielce PL - 25-314, e-mail: adam\_szczesniak@o2.pl

Mgr inż. Jacek Szcześniak, Doktorant, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, Kielce PL - 25-314, e-mail: j.szczesniak@g.pl