

Piotr CZAJKA, Jordan MEŻYK
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

METODA POMIARU PRZEMIESZCZENIA TŁOKA Z WYKORZYSTANIEM SENSORÓW HALLA

Słowa kluczowe

Sensor Halla, siłownik pneumatyczny, pomiar pozycji tłoka, indukcja pola magnetycznego.

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę bezdotykowego pomiaru położenia tłoka siłownika pneumatycznego. Zaprezentowane rozwiązanie bazuje na wykorzystaniu linijki analogowych sensorów Halla do pomiaru indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika. Algorytm zaimplementowany w pamięci mikrokontrolera wyznacza położenie tłoka, poprzez porównanie aktualnych sygnałów sensorów z wartościami zapisanymi jako wzorzec. Przedstawiona metoda została wykorzystana przy opracowaniu typoszeregu przetworników do bezkontaktowych pomiarów położenia tłoka siłownika. Zaprezentowano budowę przetwornika oraz wyjaśniono zasadę działania algorytmu obliczającego pozycję tłoka. Opisano sposób montażu sensorów pola magnetycznego w kanałku siłownika oraz dobór rastra rozmieszczenia sensorów Halla na liniice pomiarowej.

Wprowadzenie

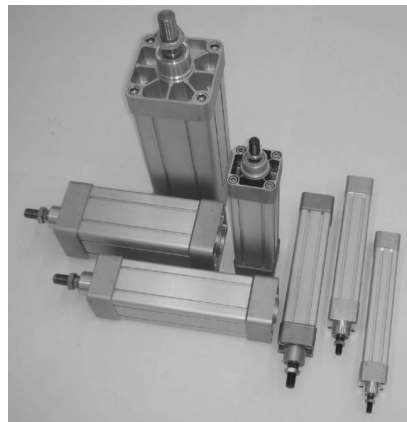
Siłowniki pneumatyczne z zabudowanym na tłoku magnesem są stosowane, w połączeniu z czujnikami kontroli położenia tłoka, do automatyzacji sterowania maszynami i liniami produkcyjnymi. Czujniki takie posiadają wyjście dwustanowe i informują jedynie o obecności tłoka w pobliżu czujnika, dlatego stosowane są najczęściej do sygnalizacji położenia krańcowych w siłownikach pneuma-

tycznych [1, 2]. Umieszczenie elementu magnetycznego na tłoku umożliwia również zbudowanie liniowego przetwornika położenia tłoka [3, 4]. Główną zaletą tej metody jest brak konieczności sprzęgania mechanicznego tłoczyska siłownika z czujnikiem liniowym, jak ma to miejsce w metodach kontaktowych. Proste rozwiązania bezdotykowego pomiaru położenia bazują na układzie sensorów dyskretnych umieszczonych szeregowo w kanałku siłownika. Układ elektroniczny odczytuje stan każdego sensora i na tej podstawie wyznacza dyskretnie położenie tłoka [2]. Główną wadą tego rozwiązania jest ograniczona rozdzielczość, która w zależności od zastosowanych sensorów jest rzędu kilku milimetrów.

Celem prac było opracowanie przetwornika położenia tłoka wykorzystującego układ analogowych sensorów Halla, rozmieszczonych równomiernie w kanałku siłownika. Wartość napięcia wyjściowego każdego z sensorów jest proporcjonalna do wartości indukcji pola magnetycznego w tym punkcie [3, 5–7]. Dzięki zastosowaniu sensorów analogowych możliwe jest ograniczenie ich liczby w porównaniu z rozwiązaniami dyskretnymi. Układ mikroprocesorowy dokonuje skanowania sygnałów z sensorów i porównuje je z danymi zapisanymi w pamięci, wyznaczając na podstawie algorytmu położenie tłoka.

1. Rozkład indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika

Badania przeprowadzono na siłownikach kompaktowych produkowanych przez firmę PREMA S.A. (rys. 1).



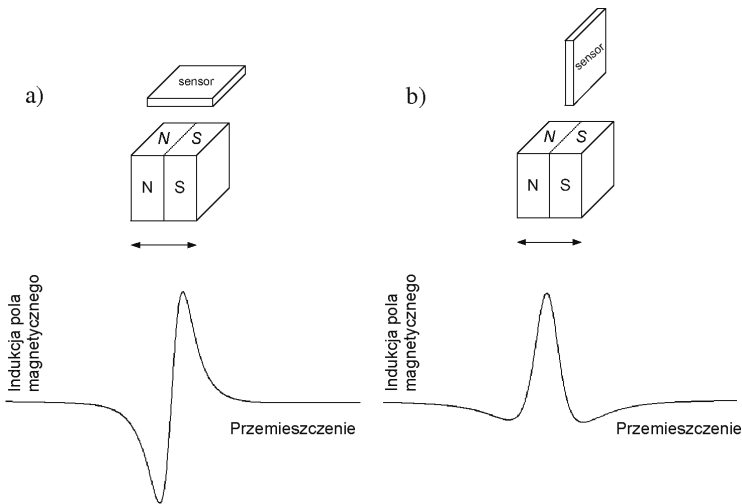
Rys. 1. Typoszereg pneumatycznych siłowników kompaktowych

Korpus siłownika stanowi aluminiowa tuleja kształtowa, na bokach której znajdują się kanałki do mocowania różnego typu czujników. W celu wykrywania położenia tłoka, umieszcza się na nim magnes w postaci pierścienia, wykonany jako element stały lub elastyczny (rys. 2) [1].



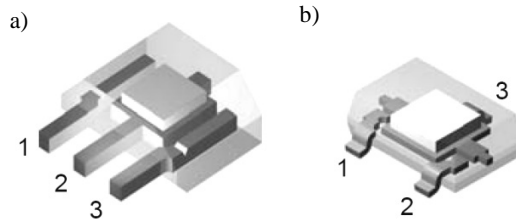
Rys. 2. Kształt i biegunowość magnesów umieszczanych w silownikach

Na wstępnym etapie badań przeprowadzono pomiary rozkładu indukcji pola magnetycznego za pomocą magnetometru. Wykorzystano w tym celu dwa rodzaje sond: poprzeczną (o powierzchni aktywnej sensora umieszczonej poprzecznie do czoła tłoka) oraz osiową (o powierzchni aktywnej w osi czoła tłoka). W zależności od przestrzennego zorientowania sensora względem magnesu na tłoku, uzyskuje się różne rozkłady indukcji pola magnetycznego. Przykładowe wykresy zmian pola w kanałku silownika przy przesuwaniu tłoczyska przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wykresy indukcji pola magnetycznego w kanałku silownika dla sensora umieszczonego poprzecznie (a) i wzdłużnie (b) do osi przesuwu

Dostępne na rynku liniowe sensory pola magnetycznego posiadają powierzchnię aktywną umieszczoną równolegle względem czoła obudowy (rys. 4) [5, 6].

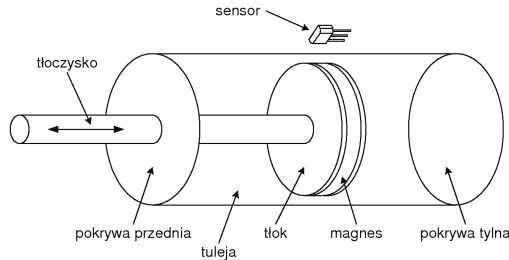


Rys. 4. Widok sensorów Halla w obudowie SIP3 (a) oraz SOT23W (b)

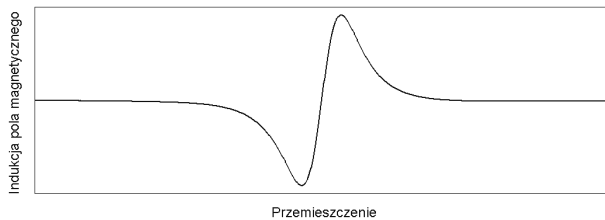
Z tego względu wybrano układ przedstawiony na rys. 3a, w którym sensor jest umieszczony płasko w kanałku siłownika (poprzecznie do osi przesuwu). Rozwiązanie takie upraszcza montaż oraz zwiększa czułość detekcji pola poprzez umieszczenie sensora blisko dna kanałki siłownika.

2. Dobór odległości rozmieszczenia sensorów

Przesuwając tłok z zamontowanym elementem magnetycznym przy umieszczonym w kanałku siłownika pojedynczym analogowym sensorze (rys. 5), otrzymano wykres indukcji pola magnetycznego (rys. 6).



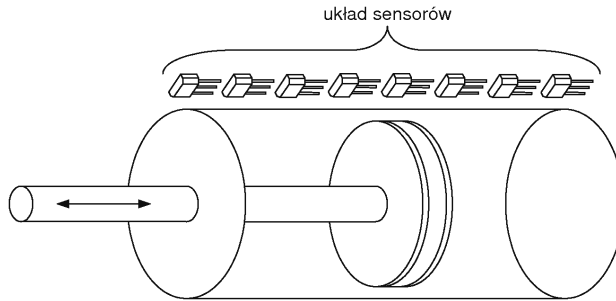
Rys. 5. Siłownik pneumatyczny z zamontowanym pojedynczym sensorem



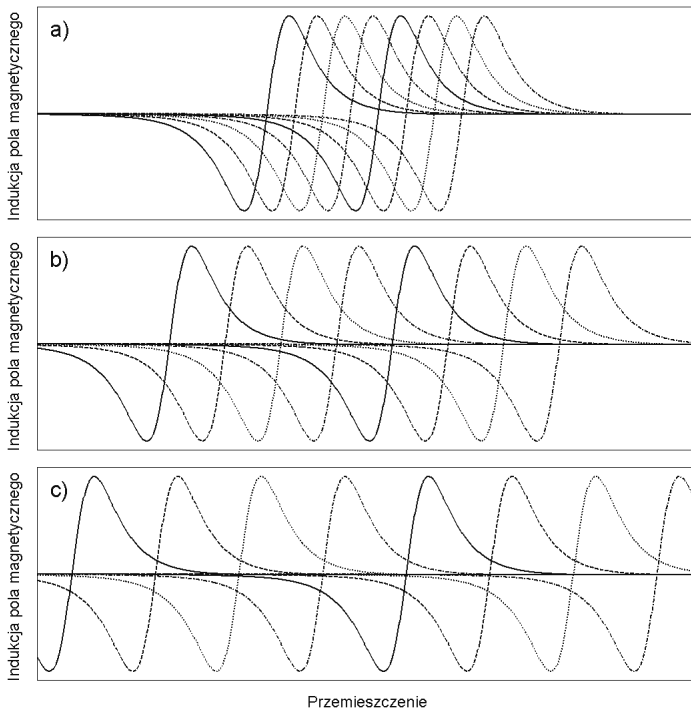
Rys. 6. Wykres indukcji pola magnetycznego pojedynczego sensora

Informacja z pojedynczego sensora jest niewystarczająca do wyznaczenia położenia tłoka w całym zakresie przemieszczeń. Zastosowano zatem układ sensorów analogowych równomiernie rozmieszczonych w osi przesuwu tłocy-

ska (rys. 7). Wówczas uzyskuje się rodzinę charakterystyk indukcji pola magnetycznego w funkcji przemieszczenia. Poszczególne wykresy przesunięte są względem siebie o wartość wynikającą z rastra rozmieszczenia sensorów (rys. 8). Odległość ta ma duży wpływ na dokładność wyznaczenia położenia tłoczyska.

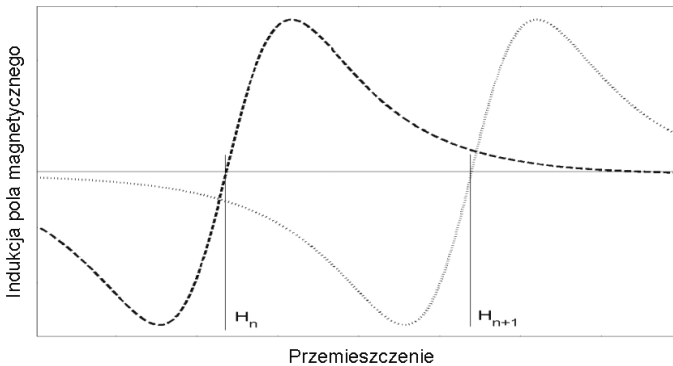


Rys. 7. Siłownik pneumatyczny z zamocowanym układem sensorów



Rys. 8. Rodzina wykresów indukcji pola magnetycznego układu sensorów

Optymalna odległość między sensorami była dobierana w taki sposób, aby odczyty z układu pomiarowego jednoznacznie określały położenie tłoczyska. Stan taki uzyskuje się w momencie, gdy dla dowolnego położenia tłoczyska dominuje sygnał tylko z jednego sensora. Na rys. 9 przedstawiono charakterystyki dwóch sąsiadujących sensorów H_n i H_{n+1} , które znajdują się w miejscach przecięć charakterystyk z osią OX.

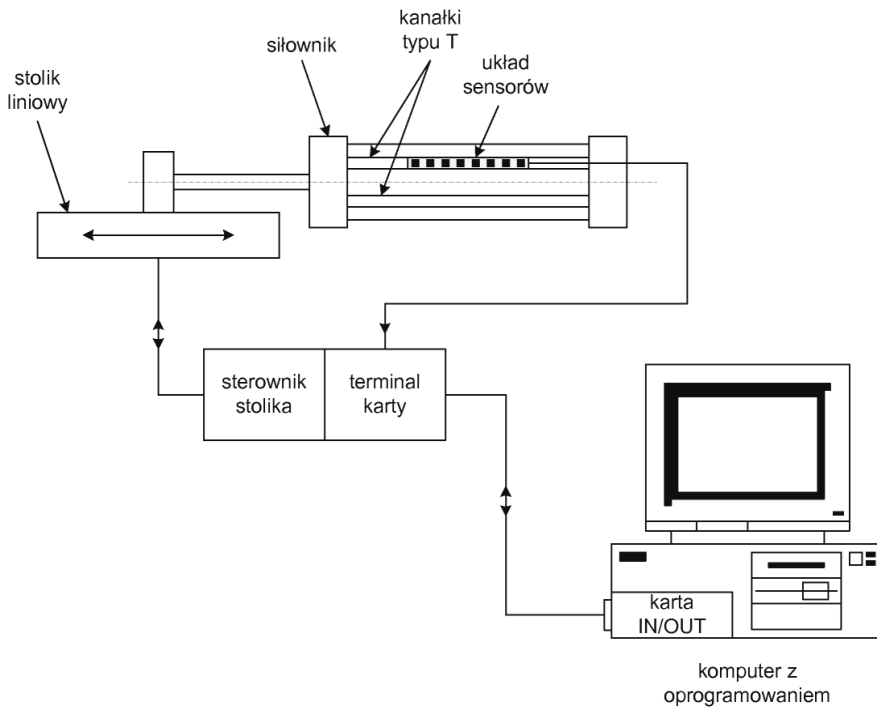


Rys. 9. Charakterystyki sensorów H_n oraz H_{n+1} (linia przerywana – sygnał H_n , linia kropkowana – H_{n+1})

Przy odpowiednio dobranym rastrze sygnał z sensora H_n jest dodatni i dominujący na całym dystansie do następnego sensora, natomiast sygnał z sensora H_{n+1} jest ujemny i dominujący na całym dystansie. Przy zbyt małej odległości między sensorami (rys. 8a,b) poszczególne charakterystyki „zachodzą” na siebie nawzajem utrudniając identyfikację położenia tłoczyska. Przy zbyt dużej odległości pojawiają się puste obszary, gdzie żaden z sensorów nie daje znaczącego sygnału, co również uniemożliwia określenie pozycji tłoczyska.

3. Badania układu analogowych sensorów

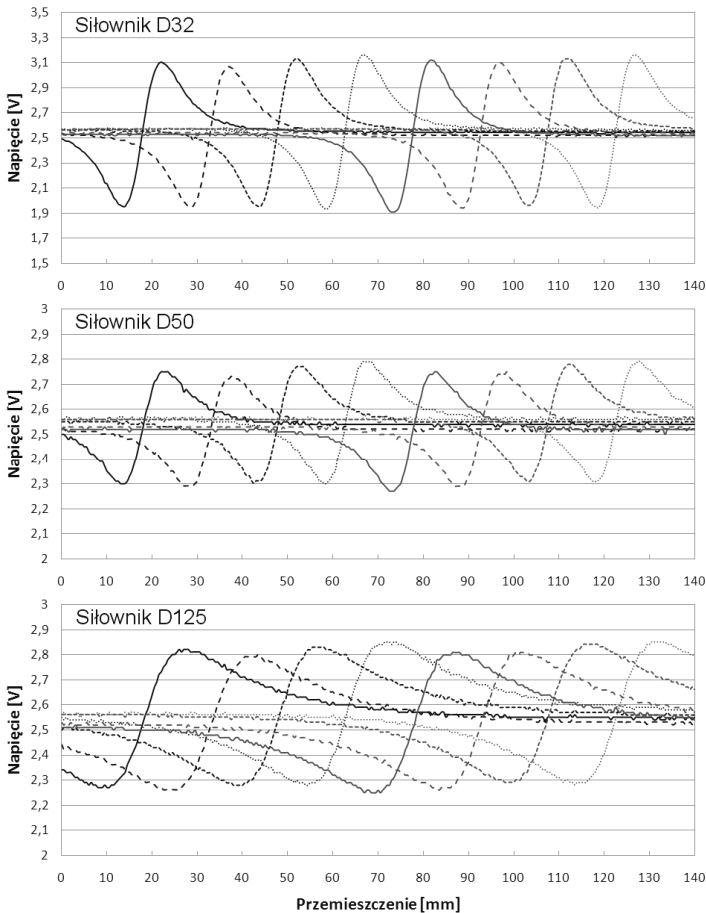
W celu realizacji badań i przeprowadzenia weryfikacji poprawności funkcjonowania układu analogowych sensorów Halla, opracowano i wykonano stanowisko przedstawione na rys. 10. Układ pomiarowy umieszczono nieruchomo w kanałku siłownika pneumatycznego. Napięciowe sygnały z sensorów pola magnetycznego mierzono za pomocą karty akwizycji danych, umieszczonej w komputerze. Tłoczysko siłownika pozycjonowano za pomocą stolika liniowego. Sterowanie procesem pomiarowym przeprowadzono z poziomu komputera. Napęd stolika stanowił silnik krokowy. Pozycję tłoczyska wyznaczano za pomocą enkodera, zamontowanego na osi silnika. Dokładność wyznaczenia położenia tłoczyska oszacowano na $\pm 0,03$ mm. Pomiaru wykonano dla przemieszczeń tłoczyska w zakresie 140 mm z krokiem 0,5 mm.



Rys. 10. Stanowisko do badań układu analogowych sensorów Halla

Na rys. 11 przedstawiono przykładowe wyniki sygnałów wyjściowych z układu analogowych sensorów Halla dla siłowników o średnicy tłoka 32, 50 oraz 125 mm. Układ pomiarowy składa się z linijki 8 sensorów Halla, rozmieszczonych równomiernie co 15 mm. Zastosowane układy posiadają napięcie wyjściowe proporcjonalne do wartości pola magnetycznego. Czułość sensorów wynosi 5 mV/G, a poziom sygnału przy braku pola magnetycznego (napięcie offsetu) około 2,5 V [6]. Na podstawie analizy wyników sformułowano wniosek, iż nie można stworzyć jednego uniwersalnego sygnału wzorcowego dla całego typoszeregu siłowników pneumatycznych. Uzyskane wykresy dla poszczególnych siłowników różnią się znacząco zarówno osiąganymi wartościami pola, jak i jego rozkładem w funkcji przemieszczenia [1]. Zauważono również różnice pomiędzy poszczególnymi wykresami w ramach tego samego siłownika. Są one wynikiem rozrzutu parametrów sensorów (poziomu offsetu, wzmacnienia), szumu pomiarowego oraz dokładności montażu. Część tych różnic jest niwelowana poprzez zastosowanie operacji symetryzacji i dyskryminacji sygnałów wyjściowych z sensorów.

Wyniki badań, oprócz weryfikacji układu pomiarowego, posłużyły również do wyznaczenia sygnałów wzorcowych w postaci dwuwymiarowej tabeli, opracowanej niezależnie dla każdego siłownika z typoszeregu.

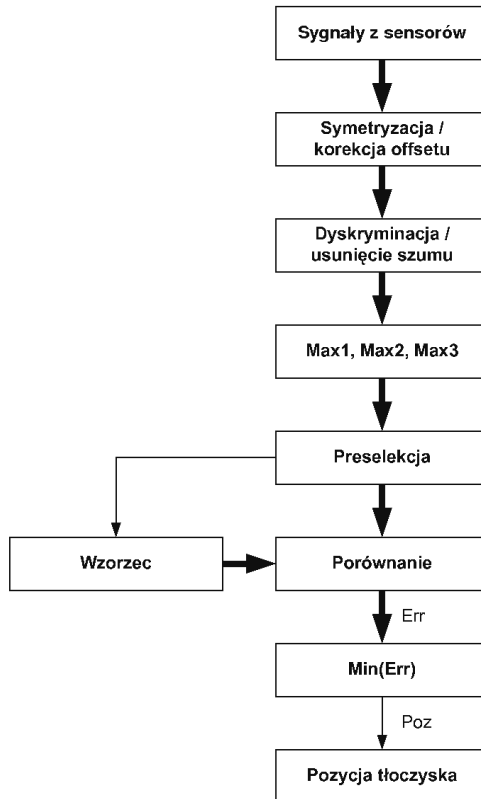


Rys. 11. Przykładowe wyniki badań układu sensorów Halla dla różnych siłowników

4. Algorytm wyznaczania położenia tłoka

Opracowano algorytm wyznaczania pozycji tłoka, przedstawiony na rys. 12. Odczyty z sensorów (8 do 16 liczb 8-bitowych) zapisane w tablicy, poddawane są obróbce wstępnej. Najpierw przeprowadzana jest symetryzacja. Od każdej wartości w tablicy odejmowana jest pewna liczba (dla każdej pozycji w tablicy wyznaczana oddzielnie), będąca offsetem danego egzemplarza sensora. Dzięki temu wartości w tabeli odpowiadają biegunowości pola magnetycznego. Następnie przeprowadza się dyskryminację, tj. zeruje się wszystkie wartości mniejsze niż stwierdzona w toku badań maksymalna wartość szumu pomiarowego. Operacja ta pozostawia w tabeli tylko dwie lub trzy wartości niezerowe dla tych sensorów, których sygnał jest dominujący. Etap preselekcji polega na ogranicze-

niu możliwości wyboru tylko do sensorów, dających sygnał dominujący. Dalsze etapy algorytmu przeprowadzane są tylko na tych wartościach.

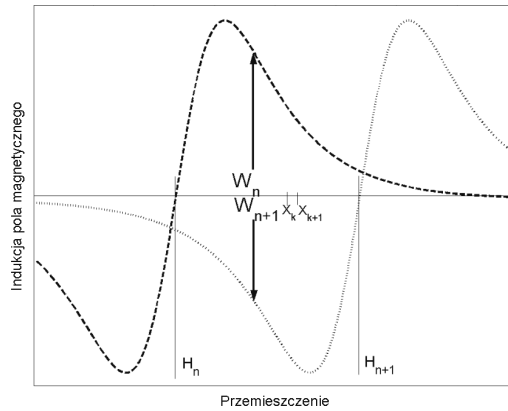


Rys. 12. Algorytm wyznaczania położenia tłoka

Dane z sensorów porównywane są z wzorcem zapisanym w postaci dwuwymiarowej tabeli (rys. 13). Porównanie przeprowadzane jest oddzielnie dla każdej wartości W_k i W_{k+1} z odpowiednim wzorcem. Kolejne elementy tabeli odpowiadają kolejnym położeniom tłoka x_k . Jako pozycję tłoka przyjmuje się taką wartość x_k , dla której różnica wartości W_k , W_{k+1} i wartości zapisanych we wzorcu jest najmniejsza. Jako kryterium wyboru pozycji x_k przyjęto kryterium minimalno-kwadratowe. Ostatecznie pozycja tłoczyska wyznaczana jest jako suma pozycji danego sensora i offsetu wynikającego z porównania ze wzorcem:

$$P_T = P_{H_n} + x_w \quad (1)$$

gdzie: P_T – wynikowa pozycja tłoczyska, P_{H_n} – pozycja n -tego sensora, x_w – wynik porównania.



Rys. 13. Porównanie odczytanych wartości z wzorcem zapisanym w tabeli

Podsumowanie

Wykorzystanie układu analogowych sensorów Halla umożliwia pomiar przemieszczenia liniowego tłoka. Rozszerza to zakres stosowania siłowników z wkładką magnetyczną również o aplikacje, w których wymagane jest śledzenie położenia tłoka w określonym zakresie [4]. Główną zaletą tej metody jest brak konieczności sprzęgania mechanicznego tłoczyska siłownika z czujnikiem liniowym (enkoderem, transformatorem położenia), jak ma to miejsce w metodach kontaktowych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że rozkłady pola magnetycznego w poszczególnych siłownikach znacznie się różnią. Dotyczy to zarówno wartości indukcji pola magnetycznego, jak i jego kształtu [1]. Powoduje to brak możliwości stworzenia jednego uniwersalnego wzorca dla całego typoszeregu siłowników pneumatycznych, przez co należy go wyznaczyć niezależnie dla każdego typu siłownika.

Z uwagi na rozrzut parametrów sensorów, szum pomiarowy oraz niedokładności montażu, sygnały wyjściowe z sensorów są poddane operacji symetryzacji (korekcji offsetu) i dyskryminacji (usunięcia szumu).

Przedstawiony algorytm wyznaczania położenia tłoka z selekcją wstępną sygnałów dominujących został wybrany jako najbardziej odpowiedni do implementacji w pamięci mikrokontrolera. Analizie poddano kilka rozwiązań bazujących na wykorzystaniu m.in. funkcji korelacji, błędu bezwzględnego, sygnału maksymalnego itp. Przy wyborze brano pod uwagę łatwość implementacji, objętość kodu, szybkość wykonywania programu, odporność na szum pomiarowy.

Zastosowanie metody bezkontaktowego pomiaru położenia tłoka zapewnia dużą trwałość przetwornika. Wykorzystanie do budowy elementów półprzewodnikowych, zamiast sensorów kontaktronowych, również wpływa korzystnie na trwałość. Zwiększa ponadto odporność na wibracje i udary [1].

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Bibliografia

1. Czajka P.: Metoda kontroli położenia tłoka w siłowniku profilowym z wykorzystaniem sensora Halla. *Problemy Eksploatacji*, 2008, 1, 43–54.
2. Czujniki kontaktronowe w automatyce, zastosowania i praktyczne problemy. *Elektronika praktyczna*, 2006, 1, 137–140.
3. Position and Level Sensing Using Hall Effect Sensing Technology. <http://www.allegromicro.com>,
4. Przetwornik położenia SMAT-8E. *Automatyka, podzespoły, aplikacje*, 2007, 10, 76–77.
5. Hall effect sensing and application. <http://www.honeywell.com>.
6. Hall effect applications guide. <http://www.allegromicro.com>.
7. Ratyńska J., Cioć R.: Badanie rozkładu pola magnetycznego za pomocą hallotronu ze wspomaganiami komputerowym. *Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania*, 2006, 5, 50–52.

Recenzent:
Piotr KRZYWORZEKA

Measure method of piston position in profiling pneumatic cylinder using Hall effect sensor

Key words

Hall effect sensor, pneumatic cylinder, piston position measurement, magnetic induction.

Summary

The article presents a contactless method for pneumatic piston position measurement. The presented solution is based on a set of analogue Hall sensors measuring magnetic induction in a T-slot in the cylinder chassis. The algorithm embedded in a microcontroller calculates the position of the piston by matching of measured readouts to a pattern. The presented method was used to design a

series of sensors for contactless measurement of piston position in pneumatic cylinders. The article describes the construction of the position sensor and explains the operation method of the calculation algorithm. It includes considerations concerning the method of installation of magnetic field sensors in a T-slot. The choice of spacing of Hall sensors on the line of measurement is also described.