

Piotr CZAJKA

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

METODA KONTROLI POŁOŻENIA TŁOKA W SIŁOWNIKU PROFILOWYM Z WYKORZYSTANIEM SENSORA HALLA

Słowa kluczowe

Sensor Halla, czujnik kontroli położenia tłoka, siłownik pneumatyczny, indukcja pola magnetycznego.

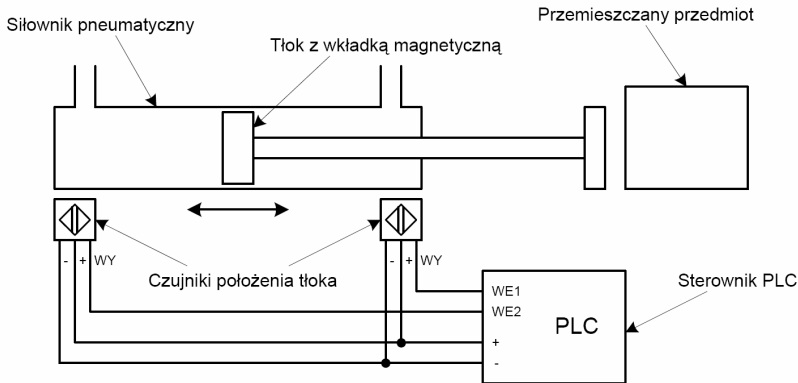
Streszczenie

W artykule zaprezentowano bezdotykową metodę wykrywania położenia tłoka przy wykorzystaniu czujnika półprzewodnikowego z sensorem Halla. Opisano zasadę działania i sposób doboru czujnika w celu zapewnienia prawidłowej współpracy z siłownikami pneumatycznymi. W tym celu wyznaczono rzeczywiste charakterystyki rozkładu indukcji pola magnetycznego w kanałkach siłowników profilowych. Na tej podstawie przeprowadzono badania symulacyjne oraz weryfikację poprawności działania czujnika z siłownikami. Przedstawiona wiedza została wykorzystana podczas opracowania półprzewodnikowych czujników kontroli położenia tłoka.

Wprowadzenie

Poprzez umieszczenie na tłoku elementu magnetycznego możliwa jest bezdotykowa sygnalizacja położenia tłoka w dowolnym miejscu za pomocą czujnika pola magnetycznego. Magnes umieszczony na tłoku powoduje pobudzenie czujnika w momencie zbliżenia się do niego tłoka. Stan ten sygnalizowany jest świeceniem diody LED oraz przekazywany do układu sterowania. Czujnik może

współpracować ze sterownikami programowalnymi lub bezpośrednio z przekaźnikami i układami wykonawczymi o małym poborze prądu. Najczęściej czujniki kontroli położenia tłoka stosuje się do detekcji położenia krańcowych w siłownikach pneumatycznych (rys. 1) [6].



Rys. 1. Przykładowe zastosowanie czujników kontroli położenia tłoka

Układ zawiera siłownik pneumatyczny, na tłoku którego jest zamontowana wkładka magnetyczna. Czujniki wykrywają skrajne pozycje ruchu tłoka i wysyłają sygnał do sterownika PLC o osiągnięciu pozycji.

Ze względu na budowę i zasadę działania, czujniki kontroli położenia tłoka dzielimy na kontaktronowe i półprzewodnikowe [5]. W kontaktronowych czujnikach rolę sensora i elementu przełączającego pełni kontaktron. W półprzewodnikowych czujnikach rolę sensora spełnia czujnik pola magnetycznego typu załącz-wyłącz, działający w oparciu o efekt Halla. W czujniku półprzewodnikowym, oprócz samego sensora pola magnetycznego, znajduje się układ sygnalizacji z diodą LED oraz stopień wyjściowy z tranzystorem npn lub pnp w celu zapewnienia większej wydajności prądowej.

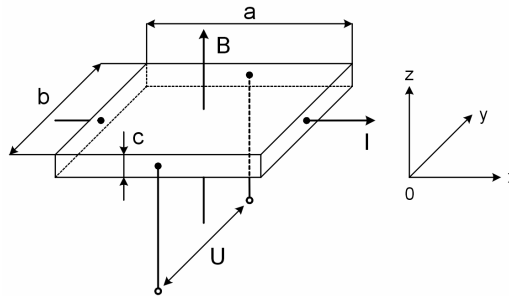
Przy projektowaniu półprzewodnikowego czujnika kontroli położenia tłoka najważniejsze znaczenie ma prawidłowy dobór sensora pola magnetycznego, decydujący o poprawnym działaniu czujnika i jego parametrach takich, jak powtarzalność, strefa zadziałania, histereza.

Podstawy wykorzystania sensorów Halla

Zjawisko Halla polega na powstawaniu poprzecznej różnicy potencjałów w płytce półprzewodnika lub metalu, przez którą przepływa prąd elektryczny, jeśli jest ona umieszczona w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku przepływu prądu [1–4]. Na nośniki ładunku działa siła Lorentza określona równaniem:

$$\vec{F}_L = q \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (1)$$

gdzie: q – ładunek elektryczny nośnika,
 v – prędkość nośników,
 B – indukcja pola magnetycznego.



Rys. 2. Ilustracja efektu Halla

W przypadku gdy prąd płynie w kierunku osi x (rys. 2), a indukcja pola magnetycznego skierowana jest wzdłuż osi z (prostopadle do kierunku przepływu prądu), wówczas siła Lorentza będzie skierowana wzdłuż osi y , a jej wartość będzie wynosić:

$$F_L = q \cdot v \cdot B \quad (2)$$

Siła ta powoduje zakrzywienie torów nośników ładunku w kierunku jednej ze ścianek płytki, co powoduje powstanie różnicy potencjałów U . Napięcie to wytwarza w płytce pole elektryczne przeciwdziałające sile Lorentza, którego wartość wynosi:

$$E_H = \frac{U}{b} \quad (3)$$

W warunkach równowagi pole elektryczne, wywołane efektem Halla, będzie działało na nośniki ładunku siłą o wartości:

$$q \cdot E_H = q \cdot v \cdot B \quad (4)$$

Na podstawie równania (3) i (4) można wyznaczyć wartość napięcia Halla:

$$U = b \cdot v \cdot B \quad (5)$$

Gęstość prądu płynącego przez jednorodną płytkę wynosi:

$$j = n \cdot q \cdot v \quad (6)$$

gdzie: n – liczba nośników ładunku w jednostce objętości.

Natężenie przepływającego prądu jest zatem równe:

$$I = j \cdot S = j \cdot b \cdot c \quad (7)$$

gdzie: S – przekrój przewodnika.

Uwzględniając równanie (6) i (7) wartość natężenia prądu wynosi:

$$I = n \cdot q \cdot v \cdot b \cdot c \quad (8)$$

Na podstawie równania (5) i (8) otrzymuje się wzór na napięcie Halla w postaci:

$$U = \frac{1}{n \cdot q} \cdot \frac{I \cdot B}{c} \quad (9)$$

gdzie: $1/nq$ – nosi nazwę stałej Halla i jest oznaczana literą R .

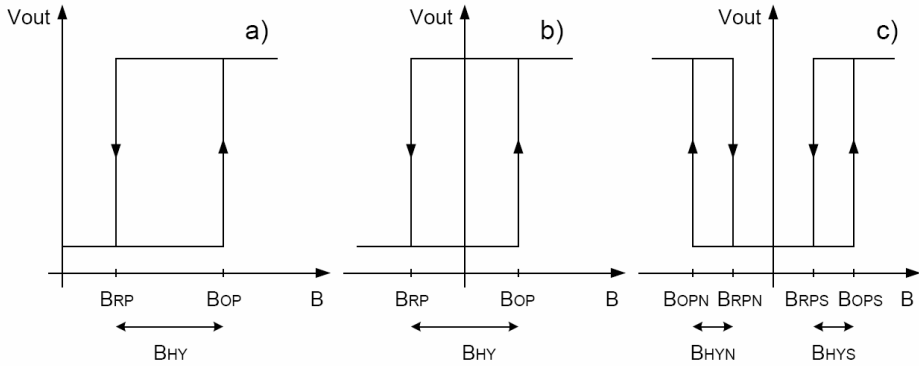
Przy przepływie przez płytkę prądu o stałym natężeniu, napięcie Halla jest wprost proporcjonalne do indukcji pola magnetycznego.

Czujniki Halla można podzielić na liniowe (analogowe) i dwustanowe (przełączniki cyfrowe). Do budowy czujników kontroli położenia tłoka wykorzystuje się czujniki Halla o działaniu dwustanowym typu załącz – wyłącz. Wykonane są one w postaci układu scalonego. Układ taki, oprócz samego sensora pola magnetycznego, zawiera również regulator, układ kształtowania sygnału ze wzmacniaczem i bramką Schmitta oraz stopień wyjściowy z tranzystorem bipolarnym bądź unipolarnym [4].

Rodzaje cyfrowych czujników Halla

Ze względu na rodzaj charakterystyki przełączania wyróżnia się trzy typy półprzewodnikowych czujników pola magnetycznego. Czujnik unipolarny (reaguje na określoną polaryzację pola magnetycznego), czujnik bipolarny/zatraskowy (wyłączenie następuje przeciwnym biegunem pola magnetycznego niż włączenie), omnipolarny (reaguje na dowolną polaryzację pola magne-

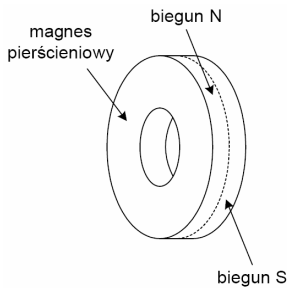
tycznego) [3]. Charakterystyki przełączania poszczególnych czujników zostały przedstawione na rys. 3 [4].



Rys. 3. Charakterystyki przełączania cyfrowych czujników pola magnetycznego: a) czujnik unipolarny, b) czujnik bipolarny, c) czujnik omnipolarny, B_{OP} – indukcja załączenia czujnika, B_{RP} – indukcja wyłączenia czujnika, B_{HY} – histereza czujnika

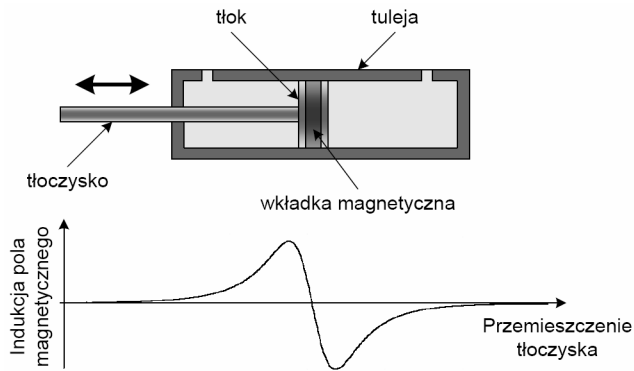
Rozkład indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika profilowego

W celu wykrywania położenia tłoka umieszcza się na nim magnes w postaci pierścienia, wykonany jako element stały lub elastyczny (rys. 4).



Rys. 4. Kształt i biegunowość magnesów umieszczonych w siłownikach

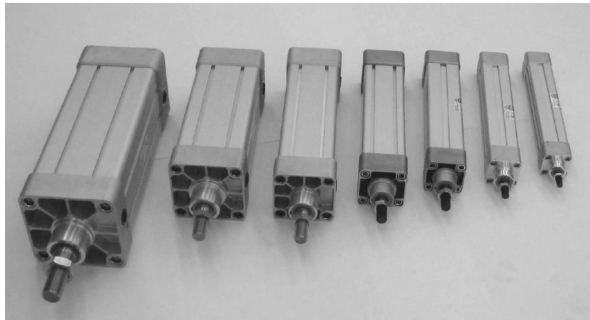
Przykładowy wykres zmian indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika przy przesuwaniu tłoczyska przedstawiony jest na rys. 5. Kształt rozkładu pola magnetycznego uzyskano dla pomiarowego czujnika pola magnetycznego (sonda magnetometru), którego powierzchnia aktywna jest umieszczona poprzecznie do czoła tłoka. Odpowiada to docelowej pozycji pracy czujnika kontroli położenia tłoka.



Rys. 5. Ilustracja rozkładu indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika

Konstrukcja siłowników pneumatycznych

Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu typoszeregu siłowników kompaktowych firmy Prema (rys. 6). Są to siłowniki o zwartej budowie, wyposażone w zabudowany element magnetyczny w tłoku. Korpus siłownika stanowi aluminiowa tuleja kształtowa, do której bezpośrednio mocowane są przy pomocy śrub aluminiowe pokrywy. Na bokach profilu znajdują się kanałki, które umożliwiają wygodne mocowanie bezdotykowych czujników położenia tłoka.



Rys. 6. Typoszereg pneumatycznych siłowników kompaktowych

Podstawowym elementem siłownika pneumatycznego jest zespół tłoka (rys. 7), składający się z następujących elementów:

- dwóch półtłoków wykonanych ze stopu aluminium, do których montowane są wszystkie inne elementy zespołu,
- dwóch uszczelk tłoka wykonanych z poliuretanu, spełniających oprócz uszczelnienia funkcję amortyzacji mechanicznej,

- magnesu pierścieniowego wykonanego w postaci stałego magnesu ferrytowego lub magnesu elastycznego FLEXO 150,
- pierścienia prowadzącego z tworzywa sztucznego, zapewniającego właściwe przesuwanie się tłoka w środku tulei kształtowej.

a)



b)



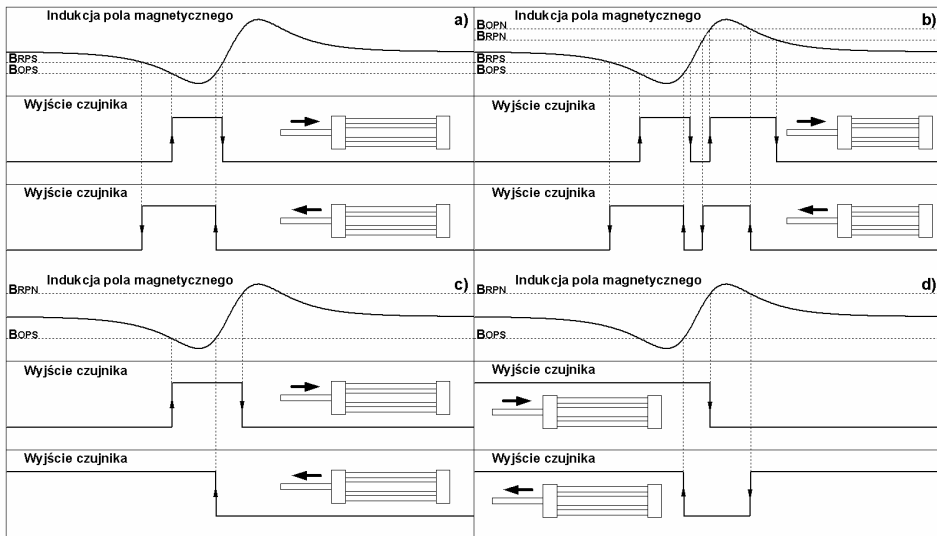
Rys. 7. Zespół tłoka siłownika pneumatycznego: a) części składowe, b) kompletny tłok

Dobór czujnika pola magnetycznego

Dla sensorów pola magnetycznego wyznacza się parametr indukcji pola magnetycznego zadziałania (włączenia) B_{OP} oraz indukcję pola magnetycznego zwolnienia (wyłączenia) B_{RP} . Dwie różne wielkości wynikają ze zjawiska histerezy [4]. Dobór sensora polega na określeniu, na podstawie badań, maksymalnej wartości indukcji pola magnetycznego wewnątrz kanałka siłownika. Postępuje się tak dla całego typoszeregu siłowników, z którymi ma współpracować czujnik. Spośród uzyskanych wartości jest wybierana najmniejsza, która stanowi poziom minimalnej czułości sensora. Z uwagi na niedokładności wykonania magnesów, czujników oraz montażu wprowadza się dopuszczalny zakres zmian wartości indukcji pola magnetycznego, który należy uwzględnić poprzez dobór sensora o indukcji zadziałania B_{OP} o mniejszej wartości niż wyznaczona doświadczalnie. Wartość indukcji wyłączenia B_{RP} wpływa na szerokość strefy zadziałania czujnika. W sensorach półprzewodnikowych nie występuje problem kilkukrotnych przełączeń pod wpływem zbyt silnego pola magnetycznego (nie występują boczne obszary przełączania tak jak w kontaktronach).

Na podstawie wykresu rozkładu indukcji pola magnetycznego przeprowadzono symulację zachowania się sensorów półprzewodnikowych o różnych charakterystykach przełączania (rys. 8).

Z przeprowadzonych badań (rys. 8) wynika, że jedynie charakterystyka unipolarna zapewnia poprawne wykrywanie położenia tłoka. Przy charakterystyce omnipolarnej następuje dwukrotne przełączenie, natomiast przy charakterystyce bipolarnej występuje niepożądane zjawisko pamiętania.

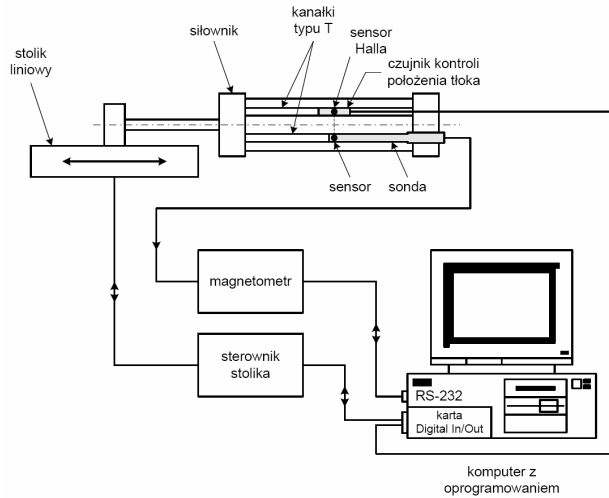


Rys. 8. Symulacja działania czujników pola magnetycznego: a) czujnik unipolarny, b) czujnik omnipolarny, c) czujnik bipolarny (stan początkowy – czujnik wyłączony), d) czujnik bipolarny (stan początkowy – czujnik włączony)

Badania weryfikacyjne

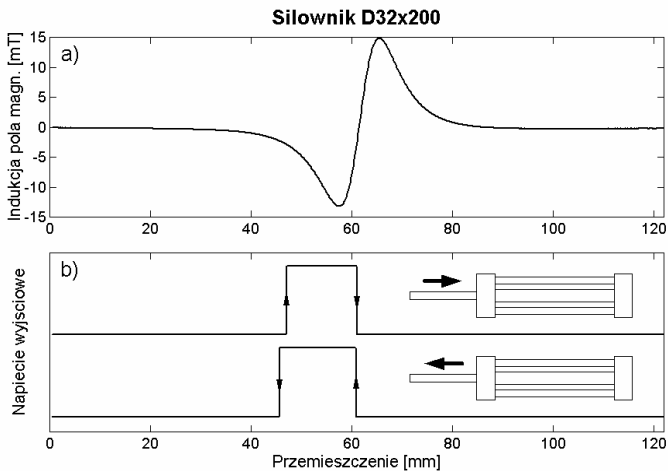
Badania polegały na równoczesnym pomiarze indukcji pola magnetycznego za pomocą magnetometru oraz napięcia na wyjściu czujnika kontroli położenia tłoka. W jednym kanałku siłownika umieszczono sondę pomiarową, w drugim równoległym znajdował się czujnik kontroli położenia tłoka. W obu kanałkach sensory były umieszczone poprzecznie do czoła tłoka. Ze względu na zjawisko histerezy czujnika pomiary były wykonywane dla obu kierunków przesuwu tłoczyska. Na potrzeby badań wykonano stanowisko badawcze, będące zautomatyzowanym systemem pomiarowym (rys. 9). Pomiar pola magnetycznego był realizowany przez magnetometr SMS-102 firmy Asonik, którego sondę pomiarową zamontowano nieruchomo w kanałku siłownika. Zastosowano sondę poprzeczną typu T, której powierzchnia aktywna umieszczona jest poprzecznie do czoła tłoka. Dokładność pomiaru indukcji pola magnetycznego przez miernik wynosi $\pm (0,5\% + 1 \text{ cyfra})$. Pomiar napięcia na wyjściu czujnika kontroli położenia tłoka był dokonywany za pomocą karty pomiarowej umieszczonej w komputerze. Tłoczysko z zamontowanym magnesem pozycjonowano za pomocą stolika liniowego. Napęd stolika stanowił silnik krokowy, którego kolejne pozycje zadawane były ze sterownika. Układ napędowy pracował w otwartej pętli sterowania. Przemieszczanie tłoczyska odbywało się pomiędzy położeniami skrajnymi stolika wyznaczanymi przez wyłączniki krańcowe. W celu wyeliminowania przesunięcia pomiędzy wynikami dla obu kierunków przesuwu tłoczy-

ska, spowodowanego histerezą sensorów krańcowych, zastosowano korekcję opierając się na wynikach z miernika pola magnetycznego. Dokładność wyznaczenia położenia tłoczyska oszacowano na $\pm 0,5$ mm.

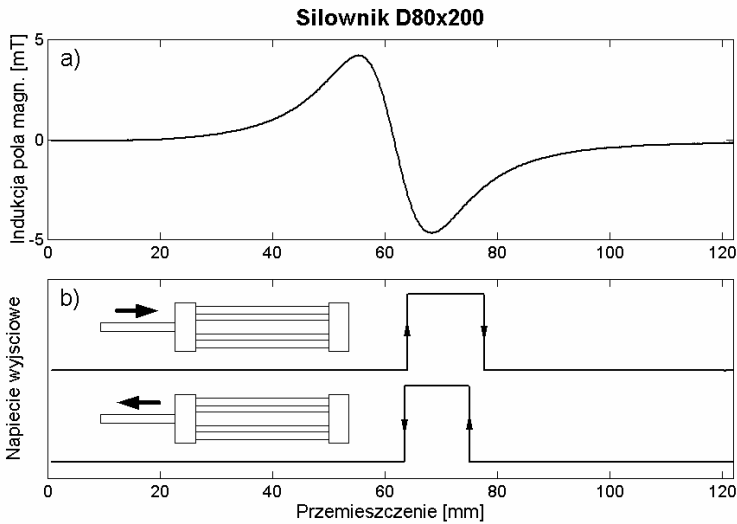


Rys. 9. Stanowisko do równoczesnego pomiaru indukcji pola magnetycznego oraz napięcia na wyjściu czujnika kontroli położenia tłoka

Na podstawie badań wyznaczono odpowiedzi czujnika kontroli położenia tłoka oraz odpowiadające temu wartości indukcji pola magnetycznego w kanałkach siłowników. Przykładowe wykresy zostały przedstawione na rys. 10 i 11.



Rys. 10. Wyniki pomiaru pola magnetycznego oraz odpowiedzi czujnika kontroli położenia tłoka dla siłownika D32x200: a) rozkład indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika, b) napięcie na wyjściu czujnika przy wsuwaniu i wysuwaniu tłoczyska



Rys. 11. Wyniki pomiaru pola magnetycznego oraz odpowiedzi czujnika kontroli położenia tłoka dla siłownika D80x200: a) rozkład indukcji pola magnetycznego w kanałku siłownika, b) napięcie na wyjściu czujnika przy wsuwaniu i wysuwaniu tłoczyska

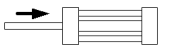
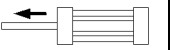


Wyniki badań zostały wykorzystane do określenia pozycji załączenia i wyłączenia czujnika dla typoszeregu siłowników kompaktowych (tab. 1).

Tab. 1. Pozycje załączenia i wyłączenia czujnika pola magnetycznego

Typ siłownika	→		←	
	Pozycja [mm] załączenia	Pozycja [mm] wyłączenia	Pozycja [mm] załączenia	Pozycja [mm] wyłączenia
D32x200	47,0	61,0	60,8	45,5
D40x200	50,8	61,2	60,9	49,4
D50x200	51,2	60,5	60,3	49,8
D63x200	63,7	76,0	73,8	63,2
D80x200	64,1	77,7	75,1	63,6
D100x160	63,7	78,7	76,3	63,3
D125x200	35,3	59,9	59,4	30,4

Na podstawie powyższych wyników wyznaczono wartości strefy zadzia-
nia i histerezy czujnika (tab. 2).

Tab. 2. Strefy zadziałania i histerezy czujnika pola magnetycznego

Typ siłownika	Strefa zadziałania [mm]		Histereza [mm]	
				
D32x200	14,0	15,3	1,5	0,2
D40x200	10,4	11,5	1,4	0,3
D50x200	9,3	10,5	1,4	0,2
D63x200	12,3	10,6	0,5	2,2
D80x200	13,6	11,5	0,5	2,6
D100x160	15,0	13,0	0,4	2,4
D125x200	24,6	29,0	4,9	0,5

Wnioski

Do budowy półprzewodnikowych czujników kontroli położenia tłoka stosuje się czujniki pola magnetycznego o działaniu dwustanowym typu załącz–wyłącz. W celu zapewnienia poprawnego wykrywania położenia tłoka czujnik musi posiadać charakterystykę przełączania typu unipolarnego. Oznacza to, że czujnik reaguje tylko na określoną polaryzację pola magnetycznego. Przy charakterystyce omnipolarnej następuje dwukrotne przełączenie, natomiast przy charakterystyce bipolarnej występuje niepożądane zjawisko pamiętania.

W czujniku występuje zjawisko histerezy, załączenie i wyłączenie następuje przy innych wartościach pola magnetycznego $I_{B_{Op1}} > I_{B_{Rp1}}$. Powoduje to zmianę miejsca reakcji czujnika w zależności od kierunku przesuwu tłoczyska. Ze względu na kształt rozkładu indukcji pola magnetycznego wzdłuż kanałka, przesunięcie to nie jest jednakowe i zależy od kierunku ruchu tłoka. Z tego powodu występuje różnica w wielkości obszaru zadziałania czujnika przy wysuwaniu i wsuwaniu tłoczyska.

Z przeprowadzonych badań wynika, że rozkłady pola magnetycznego w poszczególnych typach siłowników znacznie się różnią. Dotyczy to zarówno wartości indukcji pola magnetycznego, jak i jego kształtu (różna szerokość i kolejność biegunów pola magnetycznego). Wszystkie te parametry wpływają na lokalizację i rozmiary obszaru zadziałania czujnika.

Poprawna konstrukcja czujnika wymaga dostosowania sensora Halla do rzeczywistego rozkładu pola magnetycznego wytwarzanego przez magnes zamontowany w tłoku siłownika.

Czujniki kontroli położenia tłoka w wykonaniu półprzewodnikowym w porównaniu z czujnikami kontaktronowymi mają większą trwałość, mniejszy czas odpowiedzi, są odporne na wibracje i udary, nie występuje w nich także zjawisko kilkakrotnych przełączeń. Z powyższych powodów znajdują coraz szersze zastosowanie.

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. Bobrowski Cz.: Fizyka krótki kurs dla inżynierów. WNT, Warszawa 1981, s. 437–438.
2. Halliday D., Resnick R.: Fizyka tom II. PWN, Warszawa 1996, s. 190–192.
3. Ratyńska J., Cioć R.: Badanie rozkładu pola magnetycznego za pomocą halotronu ze wspomaganie komputerowym. Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania, 2006, 5.
4. Hall effect sensing and application. <http://www.honeywell.com>.
5. Karty katalogowe czujników firmy Dolam. <http://www.dolam.pl>.
6. Czujniki kontaktronowe w automatyce, zastosowania i praktyczne problemy. Elektronika praktyczna, 2006, 1.

Recenzent:
Andrzej BIEN

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

Key words

Hall effect sensor, proximity sensor for pneumatic cylinder, pneumatic cylinder, magnetic induction.

Summary

The article presents a non-contact method of piston position detection using a semiconductor Hall effect sensor. The text describes the principle of operation and the selection method for the sensor to assure correct cooperation with pneumatic cylinders. To achieve this target, the real characteristic of magnetic field induction distribution was measured in canals of pneumatic cylinders. Based on this, research was conducted through the simulation and verification of sensor work with pneumatic cylinders. Gained knowledge was used to produce semiconductor sensors for piston position control.