

Marcin Kowalski, Politechnika Łódzka, Łódź

Zbigniew Kossowski, COBR Maszyn Włókienniczych POLMATEX-CENARO, Łódź

BEZCZUJNIKOWY POMIAR POŁOŻENIA W NAPĘDZIE MAGNETOELEKTRYCZNYM

SENSORLESS POSITION MEASUREMENT IN THE MAGNETOELECTRIC DRIVE

Abstract: The paper of linear magnetoelectric drive designed to steering valves movement in combustion engine. The driving force arises as the result of interaction between the current in moving coil joined with the valve and constant magnetic field of immobile permanent magnets. Measuring position is a fundamental role in the precise control of the present drive. The paper present the results of laboratory tests and schemes of such a linear drive. The drive that made attempts to control without the use of direct reading position of the drive.

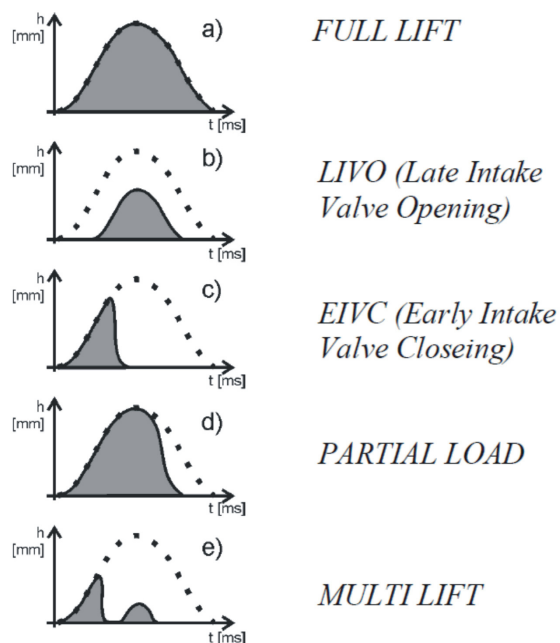
Wstęp

Wykorzystanie procesów miniaturyzacji polega coraz częściej na zaoszczędzeniu miejsca w układzie elektronicznym. Dlatego coraz bardziej powszechna staje się budowa miniaturowych układów specjalizowanych, przeznaczonych do realizacji wyznaczonych zadań. Takie podejście prowadzi do rozwiązań, które możemy obserwować w coraz to nowszych zastosowaniach telefonów komórkowych. Minimalizacja dotyczy również takich dziedzin, jak chociażby wykonanie papierowych pendrive-ów [1]. Niestety, nie we wszystkich dziedzinach rozwiązania miniaturyzacyjne są osiągalne. W automatyce podstawą skutecznego sterowania jest informacja o obiekcie oraz, w niektórych poszczególnych przypadkach, dane dotyczące zarejestrowanych, najczęściej cyfrowo sygnałów. Informacje te umożliwiają prawidłową kontrolę sterowanego obiektu. W przypadku układów napędowych są to z reguły informacje o prądzie oraz napięciu. Dodatkowo, można również uzyskiwać informacje o prędkości, położeniu, czy przekroczeniu pozycji maksymalnej (wyłączniki krańcowe). W artykule zostanie opisana próba wykorzystania dostępnych informacji w postaci prądu i napięcia, oraz informacji o obiekcie, do obliczenia pozycji która w sterowaniu omawianym napędem magnetoelektrycznym potrzebna jest do właściwego sterowania.

Opis napędu

Napęd magnetoelektryczny, może stanowić poważną konkurencję dla tradycyjnego mechanicznego napędu rozrządu. W marcu 2009 na targach motoryzacyjnych w Genewie firma Fiat

zaprezentowała rozwiązanie które ideologicznie jest bardzo zbliżone do omawianego w tym artykule. Propozycja Fiata to technologia MultiAir umożliwiająca – przynajmniej teoretycznie – dowolne kształtowanie ruchu zaworów w silniku spalinowym.



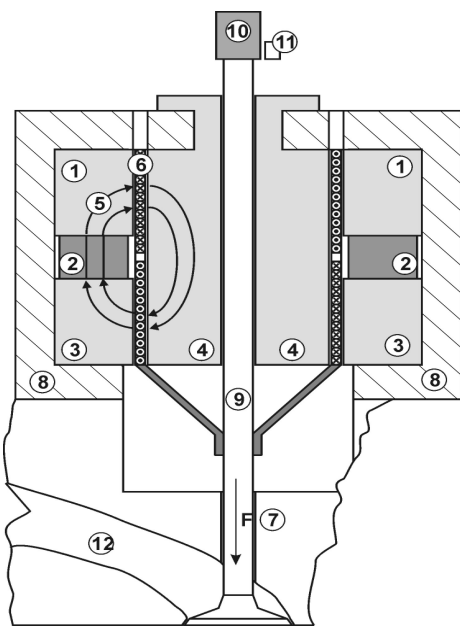
Rys. 1. Technologia MultiAir firmy Fiat [2]

W napędzie magnetoelektrycznym, możliwe jest realizowanie podobnych kształtów przebiegu wzniosu zaworu. Potencjalne zalety takiego napędu powodujące, że rozwiązanie fiатовskie MultiAir pozostawia pewien niedosyt, są następujące: a) lepsze pogodzenie wymagań dotyczących mocy silnika, zużycia paliwa i emisji spalin, b) regulacja stopnia napełnienia,

c) możliwość wyeliminowania przepustnicy w kanale dolotowym, d) wyłączanie poszczególnych cylindrów z pracy „on line”, e) zminimalizowanie zużycia paliwa na biegu jałowym, f) ułatwienie startu poprzez „wyłączenie sprzężania”, g) wyeliminowanie całego układu napędu rozrządu.

Do wad można zaliczyć: a) hałaśliwość pracy zaworów przy niewłaściwym sterowaniu, b) zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Duża ilość zalet i możliwość eliminacji wad powoduje, że warto przyjrzeć się bliżej omawianemu napędowi.

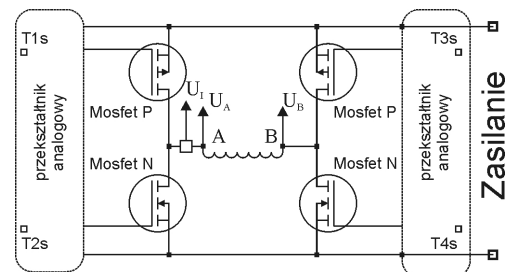


Rys. 2. Rysunek przekrojowy napędu

Zasada działania opiera się na wykorzystaniu zjawiska wzajemnego oddziaływania przewodu z prądem i stałego pola magnetycznego (Rys. 2). Pierścienie żelazne (1,3) tworzą obwód magnetyczny, kierujący linie sił pola magnetycznego (5) wytworzonego przez magnesy neodymowe (2) w stronę uzwojeń cewki (6). Z drugiej strony linie zamykają się przez żelazny rdzeń (4) przecinając drugą część cewki, zwiększając w ten sposób siłę (7) jaka działa na zawór (9) przymocowany do cewki. Taki sposób wykorzystania pola magnetycznego został opatentowany przez jednego z autorów [3]. Nieruchomy czujnik Halla (11) wraz z przymocowanym do trzpienia magnesem (10) stanowią czujnik położenia zaworu, umożliwiający kontrolę jego ruchu.

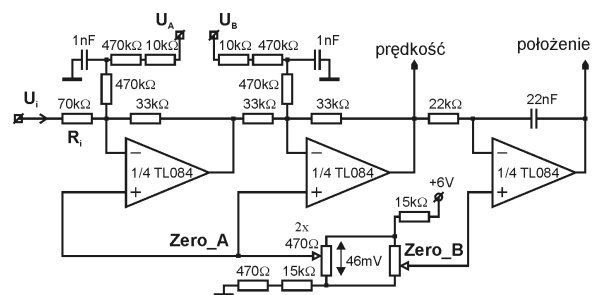
Siła napędowa powstaje w wyniku oddziaływania pola magnetycznego na płynący w cewce

prąd. Ponieważ pole magnetyczne wytworzone przez magnes stały, istnieje przez cały czas, siła może być generowana natychmiast po pojawieniu się prądu i znika natychmiast po jego wyłączeniu. Zwrot wytwarzanej siły zależy od kierunku przepływu prądu tak więc za pomocą jednej cewki można uzyskać zarówno siłę zamykającą jak i otwierającą zawór. Ponieważ siła wytwarzana przez napęd jest praktycznie zależna tylko od prądu dla danego położenia, i jest prawie dokładnie wprost proporcjonalna do jego wartości, dlatego zastosowany układ sterowania jest stosunkowo prosty (Rys. 3). Układ przekształtnika zasilającego cewkę został zrealizowany za pomocą mostka typu „H”, składającego się z czterech tranzystorów MOSFET.



Rys. 3. Schemat połączeń mostka z zaznaczonymi sygnałami odtwarzania informacji

Na zaciskach uzwojenia doprowadzających prąd do cewki został umieszczony przetwornik prądowy do pomiaru prądu oraz wyprowadzone przewody poprzez rezystory o wartości kilkuset kiloomów do pomiaru napięcia. Oba sygnały służące do odtworzenia położenia doprowadzone zostały do układu analogowego (Rys.4) który na podstawie informacji wejściowej odtwarza położenie i prędkość napędu. W celu właściwego i możliwie wiernego odtworzenia tych wielkości, wymagana jest dokładna znajomość parametrów cewki oraz obwodu magnetycznego w którym ona porusza się.



Rys. 4. Schemat analogowego układu odtwarzania położenia

Opis matematyczny

Opis matematyczny układu składa się z dwóch części: pierwszej – związanej ze zjawiskami elektrycznymi i elektromagnetycznymi oraz drugiej - będącej równaniem ruchu. Pierwszą część opisu stanowi równanie prądowo-napięciowe obwodu sterowania cewki napędu:

$$L(x) \frac{d}{dt} i(t) + R \cdot i(t) + u_{sem}(t, x) = u_{zacisk}(t)$$

gdzie:

$u_{sem}(t, x)$ - siła elektromotoryczna indukowana w cewce, wyrażona wzorem:

$$u_{sem}(t, x) = B \cdot l(x) \cdot v(t)$$

(B – indukcja w szczelinie pochodząca od magnesu stałego, $l(x)$ – długość przewodu z prądem w obrębie działania pola magnetycznego, $v(t)$ – prędkość z jaką aktualnie porusza się cewka),

$u_{zacisk}(t)$ - napięcie na zaciskach cewki wyrażone wzorem:

$$u_{zacisk}(t) = u_z(t) - u_p(t) - u_{most}(t) - u_{sem}(t, x)$$

które jest napięciem zasilacza $u_z(t)$, pomniejszonym o spadki napięć na tranzystorach mocy $u_{most}(t) = 2 \cdot R_{DS(ON)} \cdot i(t)$, przewodach połączeniowych

$$u_p(t) = 2 \cdot R_{zas-most} \cdot i(t) + 2 \cdot R_{most-cewka} \cdot i(t)$$

$u_p(t)$ oraz siłę elektromotoryczną.

Mechaniczne równanie ruchu opisujące dynamikę przesuwanego się niemagnetycznego trzpienia względem nieruchomej obudowy przedstawiono w postaci równania różniczkowego drugiego rzędu:

$$m \frac{d^2}{dt^2} x = F_{cewki}(t, x) + mg + F_{tlum}$$

w którym uwzględniono wszystkie siły występujące w napędzie:

$F_{cewki}(t, x) = B \cdot l(x) \cdot i(t)$ - siła wzajemnego oddziaływania uzwojeń cewki i pola magnetycznego nieruchomych magnesów neodymowych,

mg - siła przyciągania ziemskiego uwzględniana w ruchu,

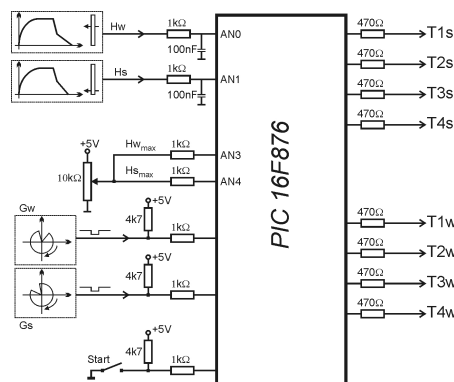
F_{tlum} - suma sił przeciwdziałających poruszaniu się napędu (z wyłączeniem siły przyciągania ziemskiego) m.in. ruch powietrza w szczelinie, siły tarcia w miejscu mocowania trzpienia oraz siła generowana przez część

uzwojeń w obszarze pola przeciwnie skierowanego. Powyższe rozważania doprowadziły do powstania kompletnego opisu matematycznego w postaci poniższego układu równań różniczkowych:

$$\begin{aligned} L(x) \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) &= \\ &= u_{zas}(t) - u_{most}(t) - u_{sem}(B, l(x), v(t)) \\ m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} &= mg + F(v, x) + F(B, l(x), i(t)) \end{aligned}$$

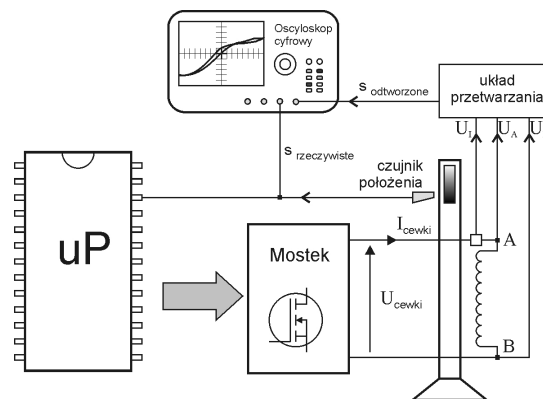
Badania laboratoryjne

Do sterowania całym układem zastosowano procesor, którego zadaniem było otwieranie i zamykanie zaworu zgodnie z wytycznymi (Rys.5). Zadanie to polegało na odtworzeniu sygnału z generatora który symulował impulsy położenia wału.



Rys. 5. Schemat podłączenia sygnałów do procesora sterującego

Na ich podstawie procesor był w stanie generować odpowiednie sekwencje załączania tranzystorów w mostku H tak, aby przebieg wyjściowy zgodny był z założonym kształtem przebiegu wniosku zaworu.



Rys. 6. Schemat blokowy układu porównawczego

W celu porównania wyników prezentowanego rozwiązania w układzie pokazanym na rys. 6 zarejestrowano właściwe przebiegi. Przebiegi porównawcze – z czujnika magnetycznego i obliczony przez układ analogowy zostały przedstawione na rys.7. Oscylogramy przedstawiają porównanie przebiegów wzniosu uzyskanych z czujnika magnetycznego (przebieg żółty), i obliczonych przez układ analogowy (przebieg niebieski).

Zadaniem układu sterowania, było zrealizowanie wymaganego przebiegu wzniosu zaworu w funkcji czasu. W sytuacji, gdy na zawór działają tylko siły pochodzące od napędu, to przez odpowiedni, z góry zaplanowany dobór czasów działania napędu, można uzyskać określone i powtarzalne przebiegi. W takiej sytuacji nie istnieje konieczność kontroli rzeczywistego położenia zaworu, gdyż określonym przebiegom napięć, generowanym przez układ sterowania odpowiada ściśle określony i powtarzalny przebieg wzniosu. W rzeczywistym układzie na zawór działa wiele innych sił, takich jak gazowe, tarcia i inne. Siły te są niepowtarzalne i przypadkowe. Przy takim samym przebiegu napięcia z układu sterowania toru ruchu zaworu będą różne. Istnieje zatem konieczność wprowadzenia sygnału sprzężenia zwrotnego informującego o rzeczywistej pozycji zaworu.

Stosowanie czujnika związane jest jednak z szeregiem niedogodności. Konieczny jest sam czujnik, układ mechaniczny do jego zamocowania, przewody łączące czujnik z układem sterowania, układ zasilania czujnika i dodatkowa przestrzeń do jego umieszczenia.

zaniu zaworu inną drogą – bez zewnętrznego czujnika pozycji. Relacje kosztów układów elektronicznych i mechanicznych wskazują na celowość eliminowania tych ostatnich i zastępowania ich układami elektronicznymi.

Układ bezczujnikowy podobnie jak układ z czujnikiem pozycji, jest z punktu widzenia sterowania układem ze sprzężeniem zwrotnym, a różnica polega tylko na sposobie pozyskiwania sygnału sprzężenia zwrotnego.

Literatura

- [1]. <http://gadzetomania.pl/2011/02/18/kartonowy-pendrive> 21.02.2011.
- [2]. <http://moto.gda.pl/> (TECHNOLOGIA FIAT MULTIAIR) 15.01.2011.
- [3]. Zgłoszenie patentowe Nr P339870.: Układ napędu zaworów tłokowego silnika spalinowego. 2004.04.20.
- [4]. Dębowski A., Kolasa T., Kowalski M., Kossowski Z., Zbierski K.: Mikroprocesorowy układ sterowania magnetoelektrycznym napędem zaworów rozrządu silnika spalinowego. Mat. VII Krajowej Konferencji Naukowej, SENE'2005, Łódź, 23-25 listopada 2005, t.1, s.75 - 82.

Autorzy

mgr inż. Marcin Kowalski

Politechnika Łódzka, Instytut Automatyki
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
e-mail: Marcin.Kowalski@p.lodz.pl

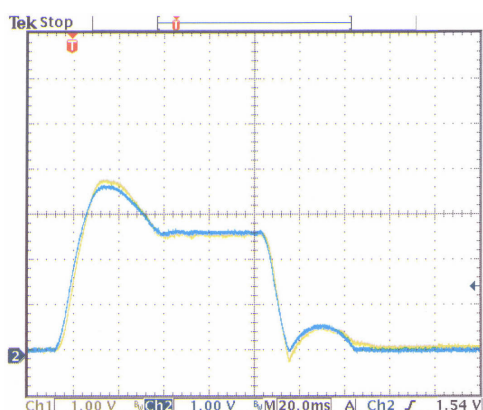
dr inż. Zbigniew Kossowski,

COBR Maszyn Włókienniczych

POLMATEX-CENARO

ul. Wólczańska 55/59, 90-608 Łódź

e-mail: automatyka@cenaro.lodz.pl



Rys. 7. Porównanie przebiegów rzeczywistego i odtworzonego

Powoduje to wzrost kosztów wykonania całego układu. Dla napędu magnetoelektrycznego istnieje możliwość uzyskania informacji o poło-