

Janusz HETMAŃCZYK

Krzysztof KRYKOWSKI

Tomasz HAUSER

UKŁAD STEROWANIA SILNIKA BEZSZCZOTKOWEGO PRĄDU STAŁEGO DO NAPĘDÓW DWUSILNIKOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienie związane z problematyką sterowania współbieżnie pracujących silników. Szczególną uwagę poświęcono analogowemu układowi sterowania napędu dwusilnikowego z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego. Opisany został układ sterowania pojedynczego silnika z bezpośrednią regulacją prądu (momentu) oraz układ zadawania. Omówiono zalety i wady układu w stosunku do cyfrowych układów sterowania, przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych. Zaletą przedstawionego układu jest prostota, niska cena i pewność działania.

CONTROL SYSTEM OF DC BRUSHLESS MOTOR FOR TWO-MOTOR DRIVE

Summary. The paper presents some aspects connected with control issues of parallel working motors. The authors describe an analogue control system of a two-motor drive of the permanent magnet brushless DC motors. Particularly, there is presented a control structure of one motor and the common input controller of a two-motor drive. Advantages and disadvantages of the analogue control system in comparison to the digital ones are discussed in the paper. There are also presented the results of laboratory tests. The advantages of the presented system are low complexity, low price and high reliability.

1. WSTĘP

Ostatnio coraz częściej w układach napędowych wykorzystywane są bezszczotkowe silniki prądu stałego (z ang. Brushless DC motor, w skrócie: BLDCM). Zainteresowanie tymi silnikami wynika z ich zalet, do których można zaliczyć: dobre właściwości dynamiczne,

mniejsze straty w stosunku do klasycznych silników prądu stałego spowodowane brakiem uzwojenia wzbudzenia oraz duży stosunek mocy do masy silnika [1,5].

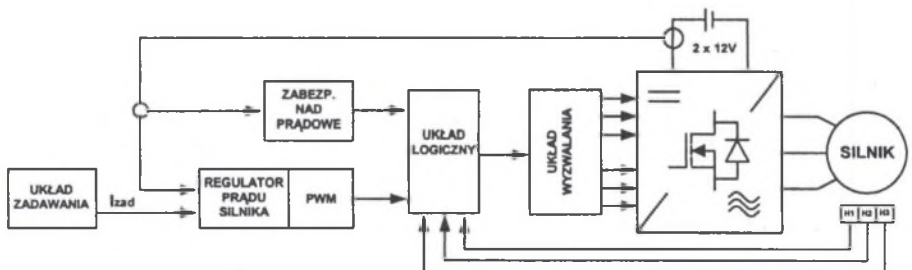
Bezszczotkowe silniki prądu stałego znalazły zastosowanie między innymi w napędach robotów, serwonapędach urządzeń przemysłowych oraz w napędach wózków elektrycznych. W układach tych silniki pracują wspólnie, a kierowanie wózkiem realizuje się poprzez zmianę relacji pomiędzy prędkościami obrotowymi kół wózka [2,3].

Własności napędu dwusilnikowego wózka elektrycznego zależą głównie od koncepcji układu sterowania (analogowego, cyfrowego lub hybrydowego), od doboru silników napędowych oraz stopnia złożoności całego układu. Badania laboratoryjne nad własnościami układów sterowania napędów dwusilnikowych wykazały, że analogowy układ sterowania może być konkurencyjny w stosunku do hybrydowego układu sterowania.

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji analogowego układu sterowania napędu dwusilnikowego z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego.

2. NAPĘD DWUSILNIKOWY Z BEZSZCZOTKOWYMI SILNIKAMI PRĄDU STAŁEGO

Układ sterowania napędu dwusilnikowego składa się z dwóch identycznych układów, z których każdy steruje jednym silnikiem. Rodzaj pracy każdego silnika jest zadawany ze wspólnego układu zadawania.



Rys. 1. Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego
Fig. 1. Schema of DC Brushless motor control system

Na rysunku 1 przedstawiono strukturę sterowania pojedynczego silnika z regulatorem prądu (momentu) i ograniczeniem prądu, które zabezpiecza silnik przed przeciążeniami. Pojedynczy układ sterowania silnika składa się z:

- układu zadawania,
- regulatora prądu wraz z modulatorem PWM,
- układu logicznego przełączania zaworów,

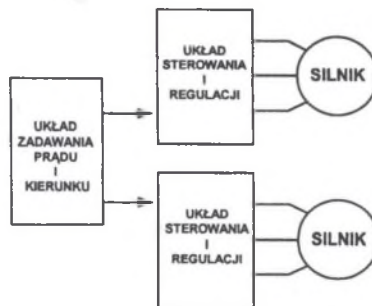
- układu pomiaru prądu i zabezpieczenia nadprądowego,
- układu wyzwalania tranzystorów (scalony sterownik firmy International Rectifire[®]).

Silnik bezszczotkowy prądu stałego z rysunku 1 jest zasilany ze źródła o napięciu 24 V, poprzez przekształtnik z tranzystorami MOSFET, pełniący rolę komutatora elektronicznego. Zawory komutatora są załączane przez układ wyzwalania, zgodnie z funkcją przełączeń wypracowaną przez układ logiczny, na podstawie trzech sygnałów z czujników Halla.

Układ regulacji zawiera pętlę regulacji prądu (momentu) silnika. Regulator prądu porównuje wartość zadaną prądu silnika z rzeczywistą wartością prądu silnika. Z regulatora wychodzi ciąg impulsów o regulowanej szerokości (PWM), ustalający wartość średnią prądu. Pomiar prądu silnika pobieranego z baterii akumulatorowej jest realizowany za pomocą przetwornika LEM. Sygnał napięciowy proporcjonalny do prądu silnika jest dodatkowo podawany na układ ograniczający. Po przekroczeniu wartości maksymalnej prądu następuje wyłączenie układu.

Dobór struktury sterowania napędu wielosilnikowego zależy od wymagań stawianych układowi napędowemu. Przy doborze należy uwzględnić możliwości, jakie zapewnia wybrana struktura. Prędkości obrotowe silników napędu wielosilnikowego mogą być synchronizowane w szerokim zakresie pracy, ewentualnie mogą być powiązane za pomocą określonych relacji. Algorytmy sterowania powinny umożliwiać pracę zarówno współbieżną z jednakowymi prędkościami, jak i pracę w układzie, w którym różnica prędkości wirowania silników jest narzucona przez układ sterowania.

W przypadku napędów dwusilnikowych stosowanych w wózkach elektrycznych dochodzi do wymagania uzależnienia relacji pomiędzy prędkościami obu silników napędu, a nadrzędny układ zadawania musi również zapewniać możliwość zmiany kierunku jazdy.



Rys. 2. Schemat dwusilnikowego napędu z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego
Fig. 2. Schema of DC Brushless motor two-motor drive control system

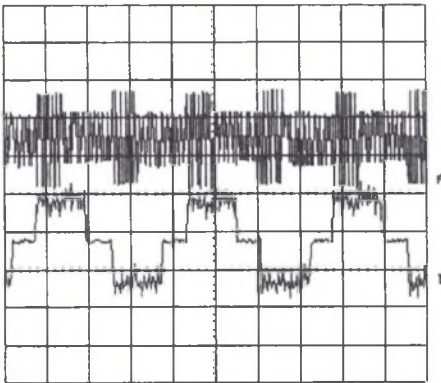
W opracowanym układzie sterowania pojedynczego silnika zrealizowanym wg struktury z rys.1. zadawanie momentu elektromagnetycznego odbywa się z potencjometru. W napędzie

dwusilnikowym o strukturze pokazanej na rys.2 zaistniała potrzeba zastosowania układu zadawania o dwóch stopniach swobody. W miejsce potencjometru zastosowano standardowy drążek sterowniczy (joystick). Wychylenie drążka do przodu (oś x) powoduje jazdę wózka w kierunku do przodu. Podobnie wychylenie drążka z pozycji neutralnej do tyłu powoduje cofanie się wózka. Wychylenie drążka w kierunku w prawo lub w lewo (oś y) powoduje skręcanie wózka w odpowiednim kierunku. Przy skręcaniu w prawo prędkość obrotowa prawego silnika jest mniejsza od prędkości zadanej lewego silnika. Wielkość wychylenia drążka z pozycji neutralnej odpowiada natomiast zadanej prędkości wózka.

Przy przejściu drążka przez pozycję neutralną następuje zmiana kolejności załączenia tranzystorów komutatora elektronicznego. Jest to równoznaczne ze zmianą kierunku jazdy.

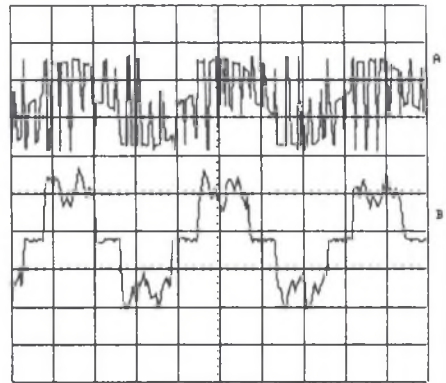
3. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

Badane układy dwusilnikowe z silnikami bezszczotkowymi typu RTMct85-85-1, zasilanymi z baterii akumulatorów, zostały wstępnie przebadane na stanowisku prób. Na rys. 3-6, tytułem przykładu, zamieszczono przebiegi prądu zasilania i fazowego pojedynczego silnika.



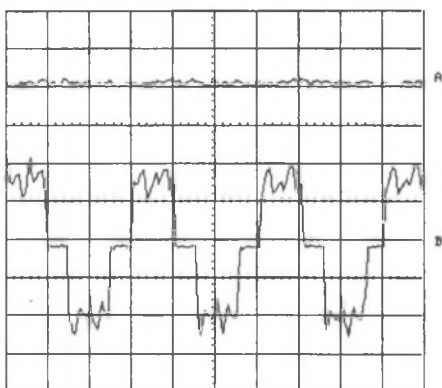
Rys. 3. Przebiegi napięcia międzyfazowego silnika a) oraz prąd fazowy b) dla prędkości $n = 285$ obr/min

Fig. 3. Waveforms of phase-to-phase voltage a) and phase current b) for speed $n = 285$ rpm



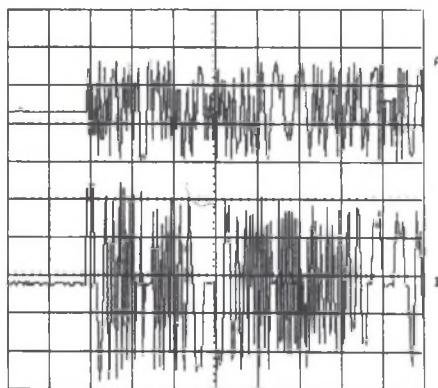
Rys. 4. Przebiegi napięcia międzyfazowego silnika a) oraz prąd fazowy b) dla prędkości $n = 2850$ obr/min

Fig. 4. Waveforms of phase-to-phase voltage a) and phase current b) for speed $n = 2850$ rpm



Rys. 5. Przebiegi prądu zasilania silnika a) oraz prąd fazowy b) dla prędkości $n = 1000$ obr/min

Fig. 5. Waveforms of motor supply current a) and phase current b) for speed $n = 1000$ rpm



Rys. 6. Przebiegi napięcia a) i prądu silnika b) w trakcie rozruchu

Fig. 6. Waveforms of motor voltage a) and current b) during start

Ponieważ układy sterowania obu silników są takie same, to przebiegi prądów dla drugiego silnika są również takie same, jak dla pierwszego silnika. W tej sytuacji zrezygnowano z powtórnego przedstawienia takich samych przebiegów. Badania potwierdziły przydatność zaprezentowanego sterowania do napędów dwusilnikowych w wózkach sterowanych elektrycznie.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono układ sterowania silnikiem bezszczotkowym prądu stałego oraz przedstawiono możliwość wykorzystania tej struktury do pracy w napędach dwusilnikowych sterowanych z analogowego układu zadawania. Uzyskana w ten sposób struktura sterowania napędem dwusilnikowym daje dużą jakość sterowania, przy stosunkowo niskim nakładzie finansowym.

Po wykonaniu badań na stanowisku laboratoryjnym stwierdzono, że układ napędowy z sterowaniem analogowym umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej, a dodatkową zaletą układu jest jego prostota. W wielu układach sterowania cyfrowego często występuje sytuacja nierównomiernego wysterowania silników (dyskretyzacja czasu) [4]. Zaproponowany układ sterowania analogowego nie zawiera tej wady. Oba silniki są sterowane równomiernie. Zastosowanie analogowego układu do sterowania napędem jezdny wózka pozwoliło w sposób płynny kierować jazdą wózka, gdyż napęd ten nie wymaga większych prędkości pracy oraz dużej dynamiki jazdy.

Polepszenie własności sterowania można uzyskać przez zastosowanie cyfrowych układów sterowania, jednak dynamika całego napędu jest w dużym stopniu uzależniona od wyboru struktury układu napędowego i trzeba jednak zawsze mieć na uwadze możliwość pojawienia się nierównego sterowania, co komplikuje budowę układu.

W dalszych badaniach przewiduje się pełną analizę struktur sterowania napędów dwusilnikowych z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego.

LITERATURA

1. Dote Y., Kinoshita S.: Brushless servomotors-Fundamental and Applications, Clarendon Press, Oxford 1990.
2. Glinka T.: Mikromaszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1995.
3. Glinka T.: Silniki z komutatorem elektronicznym do napędu wózków inwalidzkich. Materiały X Międzynarodowego Sympozjum Mikromaszyn i Serwonapędów organizowanego przez instytut Elektrotechniki, Rydzyna 23 - 27. 09. 1996.
4. Hetmańczyk J., Krykowski K.: Modułowy układ sterowania PWM dwusilnikowym napędem z bezszczotkowymi silnikami prądu stałego. IV Krajowa Konferencja Naukowa Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym. SENE'99- Łódź 1999
5. Miller T. J. E.: Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives, Clarendon Press, Oxford 1989.

Recenzent: Dr hab. inż. Krzysztof Zawirski, prof. Pol. Poznańskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 lipca 2001 r.

Abstract

The paper presents the control system of a two-motor drive with permanent magnet DC brushless motors. Figure 1 shows the analogue control system for one of the motors. The drive consists of input setting system, a current controller and an overcurrent protection, a current measurement circuit, a logic circuit, integrated driver IR2130 and power MOSFET transistors. The structure of the control system is modular. The analogue control system of DC brushless motors has better motion properties than digital control systems, because there are not delays between control signals for each motor. Fig. 2 a shows diagram of two-motor drive with permanent magnet DC brushless motors. The experiments were performed using two identical brushless motors. Figures 3 to 6 show current and voltage waveforms during different states of the drive motion.