ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: ELEKTRYKA z. 180 Nr kol.1525

Arkadiusz DOMORACKI
Janusz HETMAŃCZYK
Krzysztof KRYKOWSKI

UKŁAD STEROWANIA BEZSZCZOTKOWEGO SILNIKA PRĄDU STAŁEGO Z BEZPOŚREDNIM ZADAWANIEM PRĄDU

Streszczenie. W artykule przedstawiono układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego z bezpośrednią regulacją momentu i ograniczeniem prądu. Przedstawiono budowę układu sterowania. Układ ma prostą konstrukcję modułową oraz zapewnia dużą niezawodność działania. Przedstawiono również wybrane wyniki badań laboratoryjnych.

DIRECT CURRENT SETTING DC BRUSHLESS MOTOR CONTROL SYSTEM

Summary. The paper presents a control system of the permanent magnet brushless DC motor with direct torque control and overcurrent protection. The authors describe its structure and also present the results of the selected laboratory tests. The system has a simple and modular structure.

1.WSTĘP

W Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej Politechniki Śląskiej prowadzone są prace związane z sterowaniem oraz regulacją układów energoelektronicznych i napędowych. Jednym z kierunków badań są układy z silnikami bezszczotkowymi prądu stałego o magnesach trwałych.

Własności układu napędowego zależą zarówno od układu sterowania, jak i od rodzaju zastosowanych silników. Bezszczotkowe silniki prądu stałego mają bardzo dobre własności dynamiczne, mniejsze straty (w stosunku do klasycznych silników prądu stałego) oraz duży stosunek mocy do masy silnika. Dlatego tak ważne jest opracowanie pewnego i

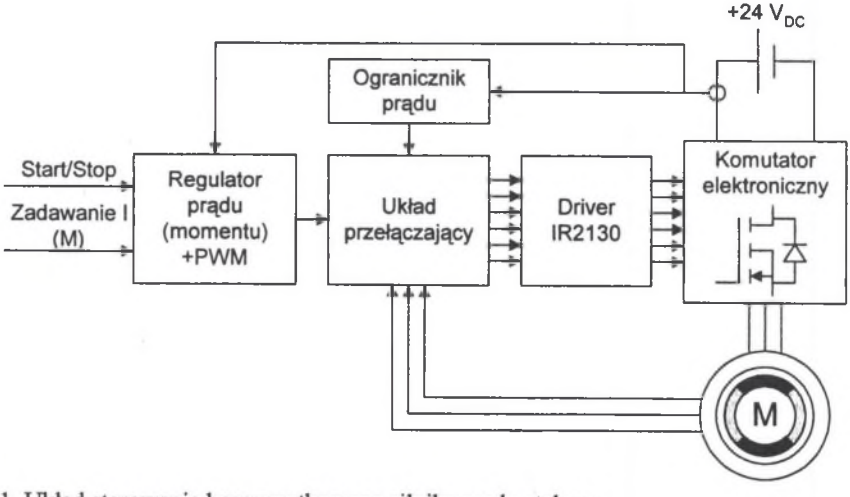
niezawodnego układu sterowania, który umożliwiałby prace w całym zakresie regulacji prędkości obrotowej.

Głównym celem pracy jest przedstawienie układu sterowania bezszczotkowym silnikiem prądu stałego o mocy 3.6 kW z ograniczeniem prądu.

2. UKŁAD STEROWANIA BEZSZCZOTKOWEGO SILNIKA PRĄDU STAŁEGO O MAGNESACH TRWAŁYCH

2.1. Budowa układu

Sterowanie bezszczotkowym silnikiem prądu stałego polega na załączaniu kolejnych par uzwojeń stojana w zależności od położenia wirnika. Wirnik jest wykonany z magnesów trwałych. Struktury układów sterowania bezszczotkowych silników prądu stałego są identyczne z występującymi dla klasycznych silników prądu stałego. Najczęściej stosowana jest struktura, w której układ regulacji prądu (momentu) jest podrzędny w stosunku pętli regulacji prędkości [2,3,5].



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

W wózkach transportowych oraz w niektórych układach prędkość jest zadawana przez operatora. Napęd jest układem z regulacją momentu elektromagnetycznego, a w rezultacie momentu mechanicznego na wale silnika. Na rysunku 1 przedstawiono strukturę sterowania silnika bezszczotkowego z regulatorem prądu i ograniczeniem nadprądowym. Struktura ta jest nazywana układem z regulacją momentu.

Schemat blokowy układu sterowania silnika zawiera:

1) układ zadawania prądu (momentu),
2) regulator prądu PI wraz z układem PWM,
3) układ ograniczający wartość prądu silnika (zabezpieczenie nadprądowe),
4) kombinacyjny układ przełączający, który określa kolejność załączeń i wyłączeń poszczególnych tranzystorów komutatora elektronicznego w zależności od sygnałów z czujników Halla,
5) trójfazowy układu wyzwalania tranzystorów IR2130 (firmy International Rectifire ®),
6) komutator elektroniczny, wykonany z tranzystorów MOSFET typy SUB75N08-10,
7) silnik bezszczotkowy prądu stałego o magnesach trwałych typu SP 084-29-1 (z hallotronowymi czujnikami położenia wirnika) o parametrach:

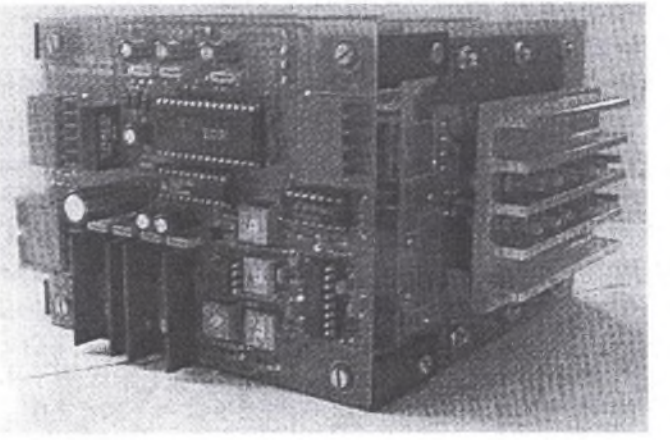
$U_n = 24$ V, $n_n = 2860$ obr/min,
$I_n = 265$ A, $R_t = 0.94$ mΩ,
$P_n = 3.6$ kW, $L_t = 3.66$ mH.

2.2. Układu sterowania

Struktura przedstawiona na rysunku 1 umożliwia płynną regulację momentu. Silnik wyposażony jest w zestaw trzech czujników hallotronowych, które przekazują do układu sterowania (układu przełączającego) informację o położeniu wirnika względem stojana. Silnik jest zasilany z baterii akumulatorowej 24 V poprzez przekształtnik z połączonymi równolegle tranzystorami MOSFET (pełniący rolę komutatora elektronicznego). Widok układu komutator wraz z układem sterowania przedstawiono na rysunku 2.

Sygnał napięciowy proporcjonalny do prądu (momentu) silnika jest zadawany za pomocą potencjometru, zaś pomiar całkowitego prądu silnika jest uzyskiwany z hallotronowego przetwornika prądu - własnej konstrukcji, zabudowanego na płytce zasilającej. Regulator prądu wraz z układem PWM generuje ciąg impulsów prostokątnych o zmiennym współczynniku wypełnienia. Zmiana czasu trwania impulsu pozwala zmieniać średnią i skuteczną wartość prądu, a tym samym wartość momentu obrotowego.

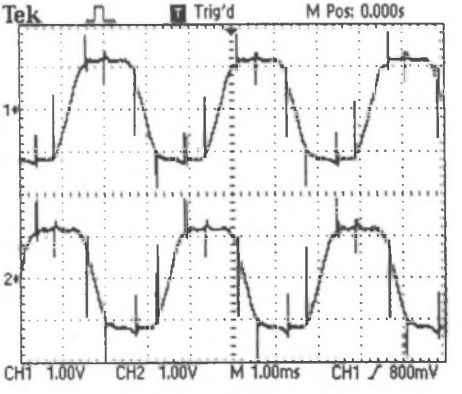
Zastosowanie układu przełączającego wynika z konieczności zamiany trzech sygnałów z czujników hallotronowych na funkcję załączania i wyłączania sześciu zaworów komutatora elektronicznego. Jako układ przełączający wykorzystano programowalną matrycę logiczną, co pozwoliło w istotnie zmniejszyć układ sterowania silnika oraz podwyższyć pewność jego działania. Do załączania tranzystorów komutatora elektronicznego zastosowano trójfazowy sterownik IR2130. Do wyjścia mostka komutatora elektronicznego dołączony jest stojan silnika bezszczotkowego, połączony w gwiazdę.



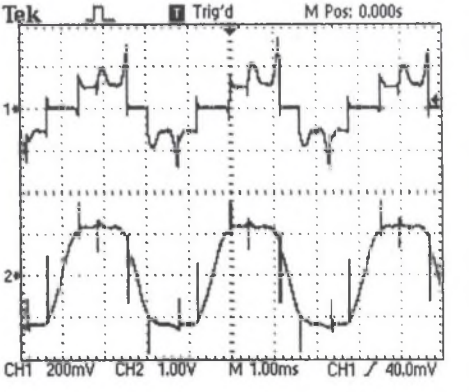
Rys. 2. Zdjęcie komutatora elektronicznego i układu sterowania silnika bezszczotkowego
Fig.2. Photo of electronic commutator and control system of brushless DC motor

3. BADANIA LABORATORYJNE

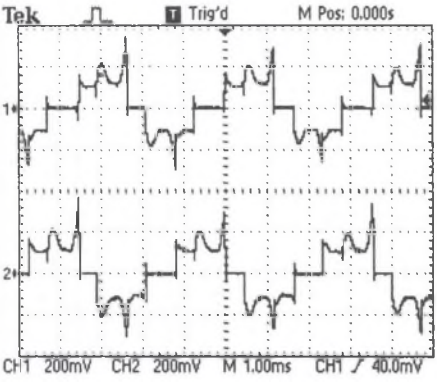
Badania układu sterowania silnika bezszczotkowego prądu stałego (przedstawionego na rysunku 1) wykonano dla biegu jałowego oraz dla silnika obciążonego. Tytułem przykładu przedstawiono wybrane oscylogramy napięć i prądów silnika dla biegu jałowego, którego



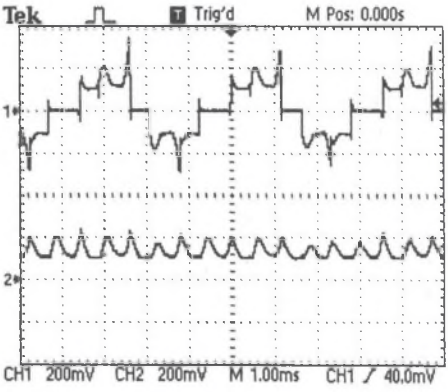
Rys. 3. Przebiegi napięć fazowych silnika
Fig. 3. Waveforms of motor phases voltage



Rys. 4. Przebieg prądu fazowego silnika 1) oraz napięcie fazowe 2)
Fig. 4. Waveforms of motor phase current 1) and phases voltage 2)



Rys. 5. Przebiegi prądów fazowych silnika
Fig. 5. Waveforms of motor phases current



Rys. 6. Przebieg prądu fazowego silnika 1) i prądu zasilającego 2)
Fig. 6. Waveforms of motor phase current 1) and supply current 2)

prędkość obrotowa biegu jałowego wynosiła 4200 obr/min (współczynniki wzmocnienia oraz podstawy czasu pomiarów znajdują się pod oscylogramami). Na rysunkach 3, 4 i 5 pokazano przebiegi napięcia i prądu fazowego, zaś na rysunku 6 przedstawiono przebieg prądu zasilania. Do pomiarów wykorzystano oscyloskop TDS 210 firmy TEKTRONIX wraz z osprzętem pomiarowym.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono układ sterowania silnika bezszczotkowego prądu stałego o magnesach trwałych z bezpośrednią regulacją prądu (momentu) i ograniczeniem prądu. Zastosowanie scalonego układu wyzwalania tranzystorów IR 2130 umożliwiło znaczne uproszczenie układ sterowania. Sterownik ten również zapewnia galwaniczną izolację między wejściami sygnałów sterujących oraz realizuje funkcję zabezpieczającą. Wykorzystanie jako układu przełączającego programowalnej matrycy logicznej pozwoliło istotnie zmniejszyć układ sterowania silnika oraz podwyższyć pewność działania.

Układ ma prostą konstrukcję modułową, charakteryzuje się dużą niezawodnością oraz niskim kosztem wytworzenia.

LITERATURA

1. Domoracki A., Krykowski K.: Sterowanie silnika bezszczotkowego - badania symulacyjne i laboratoryjne. Sympozjum PPEE'2000, Gliwice – Ustroń. 10-13 grudzień 2000.
2. Dote Y., Kinoshita S.: Brushless servomotors-Fundamental and Applications, Clarendon Press, Oxford 1990.
3. Glinka T.: Mikromaszyny elektryczne wzbudzane magnesami trwałymi. Podręcznik akademicki. Wyd. Pol. Śląskiej. Gliwice 1995.
4. Hetmańczyk J., Krykowski K.: Sterowanie napędem dwusilnikowym z silnikami bezszczotkowymi prądu stałego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka z.172. Gliwice 2000.
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 describes a control system of the permanent magnet brushless DC motor, which is presented in Fig 1. The motor is fed from an electronic commutator made of power MOSFET transistors connected in parallel to each other. The control algorithm is performed by a logic circuit that obtains signals from a setting input system, three Hall sensors detecting the rotor position, current supply and an overcurrent protection circuit. The input signals are transferred to an integrated driver IR 2130 that generates signals to switch on and off the electronic commutator transistors.

Figure 2 shows a view of the electronic commutator and the control system. The experiments were performed with 3.6 kW permanent magnet brushless DC motor. The authors present the obtained experiment results. There are current and voltage waveforms depicted in Figs. 3 to 6.