

Tomasz Rudnicki, Robert Czerwiński
Politechnika Śląska, Gliwice

WYKORZYSTANIE PROCESORA SYGNAŁOWEGO DO STEROWANIA SILNIKIEM Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

THE USE OF THE DSP TO CONTROL OF PERMANENT MAGNET MOTOR

Streszczenie: W artykule opisano prototypowe stanowisko laboratoryjne do uruchamiania silników z magnesami trwałymi. Stanowisko pozwala na badanie silników z magnesami trwałymi o mocy do ok. 1kW. To wymagało wykonanie falownika o odpowiedniej mocy. Interfejs JTAG procesora sygnałowego pozwala na rejestrację wyników pomiarowych w czasie rzeczywistym.

Abstract: The paper describes a laboratory workbench for prototyping and run tests of electric motors with permanent magnets. The workbench enables examination of permanent magnet motors with the power up to 1 kW. The solution required engineering of a frequency converter with sufficient output power. The workbench is provided with a signal processor with the JTAG interface to enable recording of test results in the real time mode.

Słowa kluczowe: stanowisko laboratoryjne, silnik z magnesami trwałymi, uśrednianie, procesor sygnałowy, enkoder, przetwornik prądowy

Keywords: laboratory workbench, PMSM, average, DSP, encoder, current transducer

1. Wstęp

Silniki z magnesami trwałymi NdFeB mają najwyższą sprawność i największy moment obrotowy [1], a konstrukcja ich jest stosunkowo prosta. Stojan silnika jest zwykle identyczny jak w silnikach indukcyjnych, zaś wirnik zawiera magnesy trwałe naklejone w odpowiedni sposób, przy czym istnieją dwie podstawowe konstrukcje wirnika: z magnesami naklejonymi na powierzchni wirnika i z magnesami umieszczonymi wewnątrz jarzma wirnika [1]. Najbardziej rozpowszechnione konstrukcje silników bezszczotkowych to: synchroniczny silnik bezszczotkowy PMSM (ang. Permanent Magnet Synchronous Motor) oraz silnik bezszczotkowy prądu stałego BLDC (ang. Brushless DC electric motor).

W silniku PMSM magnesy są umieszczone w jarzmie wirnika. Ich cechą charakterystyczną jest szeroki zakres regulacji prędkości obrotowej [2,3,4,5]. Ponieważ silniki z magnesami trwałymi pozbawione są komutatora mechanicznego, problem sterowania rozwiązuje układ elektroniczny. Magnesy oraz uzwojenie twornika są umieszczone tak, by powstająca w wyniku rotacji SEM miała postać sinusoidalną w przypadku silników PMSM oraz prostokątną w przypadku silników BLDC. Układ sterowania musi umożliwiać zasilanie silników odpowiednio prądem sinusoidalnym i o charakterystyce

trapezowej. Silniki z magnesami trwałymi, oprócz wysokiej sprawności i momentu obrotowego, cechują się małą masą, co ma duże znaczenie w przypadku projektowania pojazdów.

Po wykonaniu badań symulacyjnych przychodzi pora na sprawdzenie zaproponowanych metod sterowania w układzie rzeczywistym. W związku z tym istnieje konieczność zrealizowania stanowiska badawczego pozwalającego na wykonanie eksperymentów. Stanowisko powinno umożliwiać łatwą rekonfigurację sprzętową układu sterowania tzn. zastosowanie wybranego enkodera do pomiaru kąta obrotu wału czy podłączenie dowolnego silnika z magnesami trwałymi nieprzekraczającego założonej mocy.

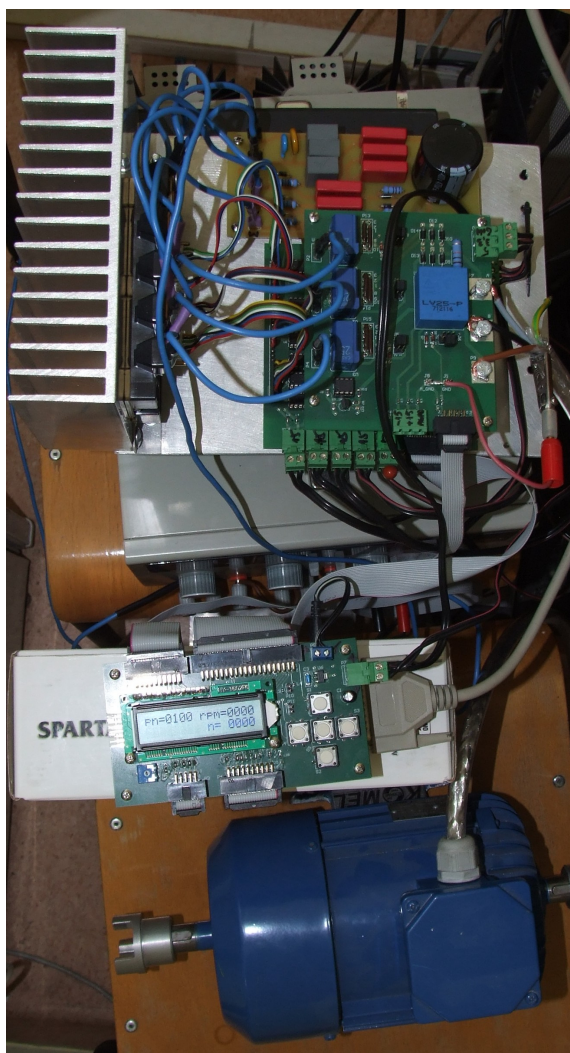
W artykule opisano prototypowe stanowisko laboratoryjne do uruchamiania silników z magnesami trwałymi. Stanowisko pozwala na badanie silników z magnesami trwałymi o mocy do ok. 1kW. To wymagało wykonanie falownika o odpowiedniej mocy. Interfejs JTAG procesora sygnałowego pozwala na rejestrację wyników pomiarowych w czasie rzeczywistym.

2. Stanowisko laboratoryjne

Stanowisko laboratoryjne składa się z kilku połączonych ze sobą modułów sprzętowych. Można wyróżnić następujące moduły:

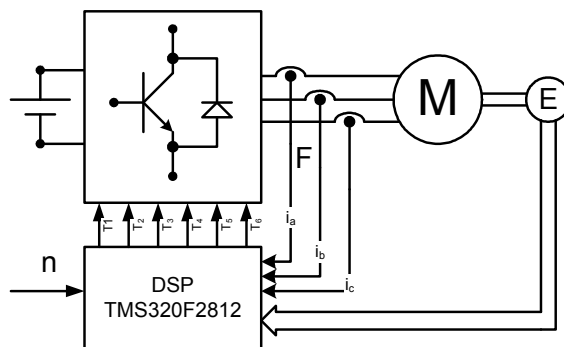
- moduł procesora sygnałowego,
- moduł komunikacji z użytkownikiem,
- moduł optoizolacji,
- moduł pomiarowy,
- moduł falownika,
- moduł zasilania.

Zdjęcie badawczego stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na Rys. 1.



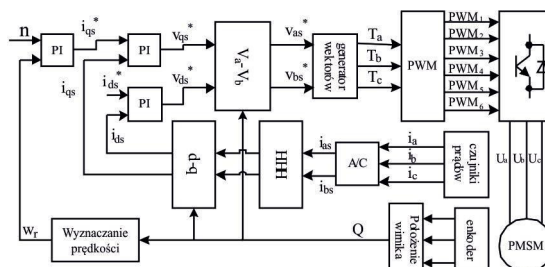
Rys. 1. Badawcze stanowisko laboratoryjne

Moduł procesora sygnałowego składa się ze zestawu uruchomieniowego eZdspF2812 z procesorem sygnałowym TMS320F2812. Jednostka ta w swoim założeniu jest dedykowana do układów sterowania silnikami z magnesami trwałymi. Blok sterowania przedstawiono na Rys. 2 [4,7].



Rys. 2. Blok sterowania silnikiem z magnesami trwałymi

W jednostce tej ze względu na zasoby sprzętowe zaimplementowano cały algorytm sterowania silnikiem PMSM (Rys. 3.).



Rys. 3. Algorytm sterowania silnikiem PMSM

Jak można zauważyć z zasobów sprzętowych TMS320F2812 wykorzystano między innymi moduł PWM z wyjściami komplementarnymi, regulatory proporcjonalno-całkowe PI oraz przetwornik A/C. Do podłączenia enkodera E wykorzystano protokół SPI procesora sygnałowego TMS320F2812.

Moduł komunikacyjny z użytkownikiem zawiera klawiaturę i wyświetlacz LCD. Klawiatura służy do zadawania zarówno prędkości obrotowej jak i kierunku obrotu silnika. Wyświetlacz LCD pokazuje aktualną pozycję wału, prędkość zadaną oraz rzeczywistą prędkość obrotową.

Moduł optoizolacji służy do separacji galwanicznej części cyfrowej układu sterowania od napięcia silnika z magnesami trwałymi.

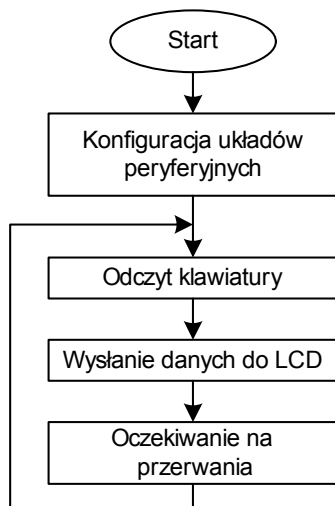
Moduł pomiarowy służy do pomiaru prądów fazowych silnika (i_a , i_b , i_c) oraz do pomiaru kąta położenia wału silnika. W celu zmierzenia prądów fazowych zostały użyte przekładniki prądowe (ze wzmacniaczem pomiarowym) CASR 25-NP. Na Rys. 4 przedstawiono schemat blokowy zastosowanego przekładnika prądowego.

3. Oprogramowanie procesora DSP

Oprogramowanie zaimplementowano w procesorze sygnałowym TMS320F2812. Oprogramowanie to realizuje:

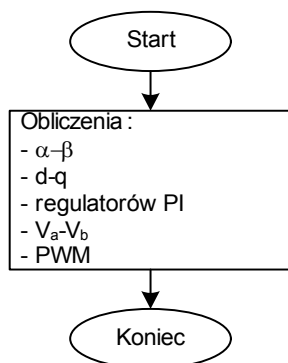
- odczyt z enkodera 12-bitowej pozycji wału silnika,
- przeliczanie pozycji na kąt obrotu wału,
- obliczanie prędkości obrotowej silnika,
- pomiar sygnału napięciowego z przekładników CASR 25-NP,
- przeliczanie sygnału napięciowego na wartość prądu,
- obsługa klawiatury i wyświetlacza LCD,
- obliczanie transformat d-q, α - β oraz odwrotnej transformaty d-q,
- sterowanie modułem PWM,
- obsługa timerów sprzętowych procesora,
- wykonywanie obliczeń związanych z regulatorami PI.

Na Rys. 8 przedstawiono schemat blokowy programu głównego.



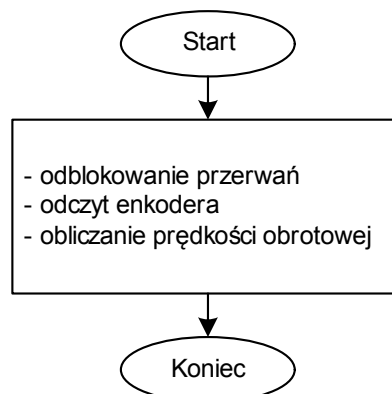
Rys. 8. Schemat blokowy programu głównego

Na Rys. 9 przedstawiono schemat blokowy programu obsługi przerwania z timera 1.



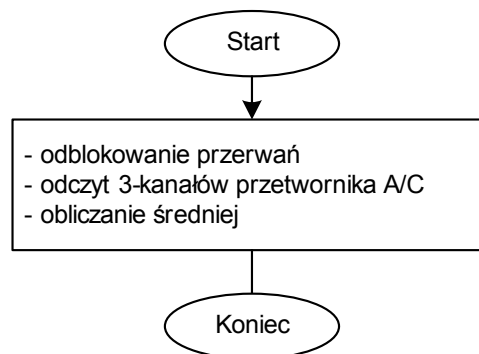
Rys. 9. Schemat blokowy programu obsługi przerwania z timera 1

Na Rys. 10 przedstawiono schemat blokowy programu przerwania z timera 2.



Rys. 10. Schemat blokowy programu obsługi przerwania z timera 2

Na Rys. 11 przedstawiono schemat blokowy programu przerwania z przetwornika A/C.



Rys. 11. Schemat blokowy programu obsługi przerwania z przetwornika A/C.

Interfejs JTAG procesora sygnałowego TMS320F2812 pozwala na zapisywanie w pamięci RAM interesujących danych pomiarowych i dostęp do nich poprzez środowisko Code Composer Studio.

4. Podsumowanie

W artykule zamieszczono opis prototypowego stanowiska laboratoryjnego do badania silników z magnesami trwałymi. Poprzez zastosowanie budowy modułowej istnieje możliwość stosowania dowolnych modułów w zależności od badanego silnika. Istnieje możliwość zastosowania dowolnego enkodera, który będzie podłączony do układu za pomocą protokołu SPI. Można również zastosować dowolny sposób pomiaru prądów fazowych silnika, a sygnały napięciowe podłączyć do przetwornika A/C procesora TMS320F2812. Zastosowany moduł mocy falownika PM50RLA060 wraz z przekładnikami pomiarowymi CASR 25-NP po-

zwala na badanie silników, których prądy fazowe nie przekraczają prądu 25A.

Przeprowadzone testy z silnikiem PMSM o mocy 1kW udowodniły, że przyjęta koncepcja stanowiska laboratoryjnego okazała się prawidłowa.

5. Literatura

- [1]. Glinka T.: *Mikromaszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1995.
- [2]. Krishan R.: *Electric motor drives modeling, analysis and control*. Prentice Hall, 2001.
- [3]. Lee G.B., Park J.S., Lee S.H., Kwon Y.A.: *High-performance sensor-less control of PMSM using back-EMF and reactive power*. ICCAS-SICE, 2009, pp.407-411
- [4]. Łastowiecki J.: *Elementy i podzespoły półprzewodnikowych układów napędowych*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1999.
- [5]. Pillay P., Krishnan R.: *Modeling, simulation, and analysis of permanent-magnet motor drives. Part I. The permanent-magnet synchronous motor drive*. IEEE Transactions on Industry Application, vol.25, no.2, 1989, pp.265-273
- [6]. Rudnicki T., Czerwiński R.: *Pomiar prądów fazowych silnika z magnesami trwałymi*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 97, 2012, ss. 57-61.
- [7]. Rudnicki T., Czerwiński R.: *Zastosowanie enkodera absolutnego do sterowania silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi*. Elektronika Konstrukcje Technologie Zastosowania, 8/2012, ss. 121-125.

Autorzy

dr inż. Tomasz Rudnicki

email: trudnicki@polsl.pl

dr inż. Robert Czerwiński

email: rczerwinski@polsl.pl

Politechnika Śląska

Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Instytut Elektroniki

Informacje dodatkowe

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy Nr N N510 077638.