

Zbigniew Goryca, Artur Pakosz
 Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Zespół Szkół Elektronicznych, Radom

WOLNOOBROTOWY BEZSZCZOTKOWY SILNIK PRĄDU STAŁEGO DO NAPĘDU ROGATKOWEGO

LOW SPEED BRUSHLESS DC MOTOR FOR LEVEL CROSSING BARRIER DRIVE

Streszczenie: W pracy przedstawiono konstrukcję i wybrane wyniki badań wolnoobrotowego, bezszczotkowego silnika prądu stałego przeznaczonego do kolejowego napędu rogatkowego. Obliczenia obwodu magnetycznego silnika przeprowadzono w programie FEMM 4.2. Blachy stojana i wirnika silnika wykonano metodą cięcia laserowego. Taka technologia umożliwia umieszczenie magnesów wewnątrz wirnika, co w znaczący sposób upraszcza technologię wykonania wirnika i zapewnia pewność mocowania magnesów. Do kontroli położenia wirnika względem stojana zastosowano wielobiegunowy magnes współpracujący ze specjalizowanym, programowanym układem elektronicznym. W zależności od potrzeby układ ten może dostarczać różne sygnały informujące o położeniu wirnika. Silnik zasilany jest z niskonapięciowego falownika, którego tranzystory sterowane są sygnałami mikroprocesora.

Abstract: The paper presents the construction and chosen experimental results for brushless motor using in level crossing barrier drive. Calculations for magnetic circuit have been conducted in FEMM 4.2 program. Steel sheets both for the stator and the rotor have been made using laser. Such technology allows placing magnets inside the rotor what in turn simplifies significantly the rotor and enhances durability of the motor. The position of the rotor towards the stator is controlled by multi-pole magnet connected to special electronic circuit. This circuit can generate different signals indicating the rotor's position. The motor is supplied by low voltage converter whose transistors are controlled by microprocessor.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, silnik bezszczotkowy, szlaban kolejowy
Keywords: electrical machines, brushless DC motor, crossing barrier

1. Wstęp

W krajowej sieci kolejowej znajduje się kilka tysięcy przejazdów kolejowych. Większość z nich chroniona jest szlabanami zamykanymi na czas przejazdu pociągu oraz dodatkową sygnalizacją świetlną. Około 60% szlabanów wyposażonych jest w stare, mechaniczne napędy typu JEGD z szeregowo-bocznikowymi silnikami prądu stałego zasilanymi napięciem 24 V. Napędy te nie są produkowane od wielu lat i z tego powodu zainteresowano się nowymi konstrukcjami mechanicznymi, w których jest zastosowany nowoczesny, bezszczotkowy silnik z magnesami trwałymi. Poniższy artykuł pokazuje konstrukcję silnika zbudowanego na potrzeby tego napędu. Silnik ten jest znacznie tańszy i trwalszy od szeregowo-bocznikowego silnika dotychczas stosowanego. Praktycznie nie wymaga on serwisowania ma wyższą sprawność, pracuje cicho, a jego trwałość jest ograniczona jedynie trwałością użytych łożysk. Dodatkowym atutem tego silnika jest szeroki zakres zmian prędkości obrotowej, dzięki które-

mu można płynnie ruszać i zatrzymywać szlaban.

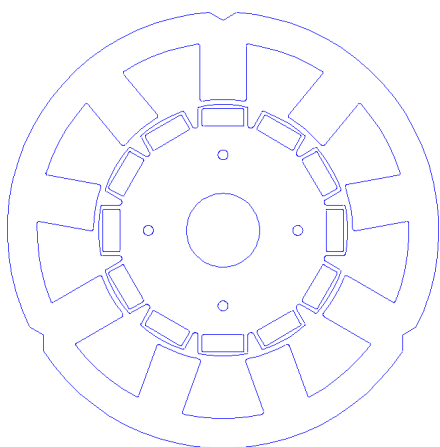
2. Założenia konstrukcyjne

Przy projektowaniu silnika kierowano się głównie wymogami czasu zamykania i otwierania napędu i określonym przez przekładnię, wymaganym momentem mechanicznym. Na podstawie znanych zależności [1], [2], [3] obliczono prędkość obrotową silnika na poziomie 300 obr./min. oraz moc silnika 100 W. Silnik zasilany jest napięciem stałym 24 V i podstawowym rodzajem pracy jest praca dorywcza. Ze względu na terenową lokalizację określono zakres temperatur pracy od -40°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Z uwagi na trudne warunki pracy i możliwość zapylenia założono wykorzystanie magnetycznego czujnika położenia wału silnika.

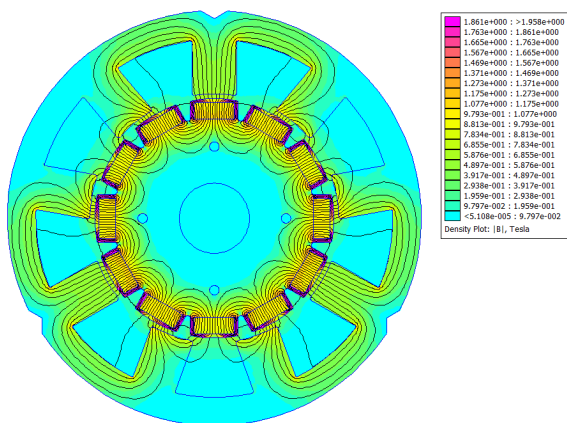
3. Budowa i działanie silnika

W skład nowego układu napędowego wchodzi bezszczotkowy silnik prądu stałego z magnesami trwałymi i niskonapięciowy, trójfazowy falownik wyposażony w tranzystory CMOS.

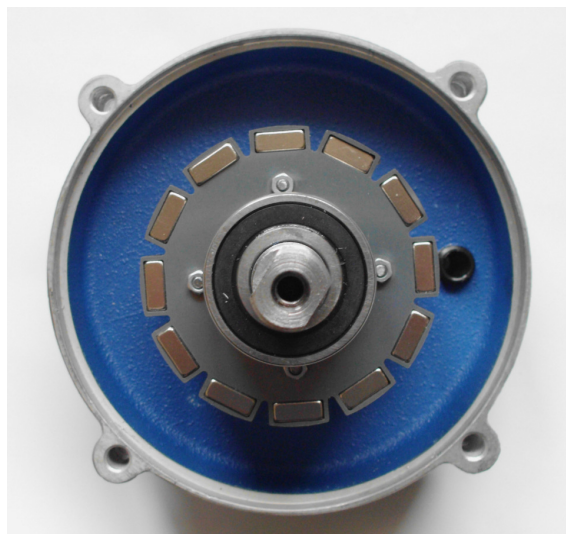
Obliczenia obwodu magnetycznego silnika przeprowadzono w ostatnio zmodyfikowanym programie FEMM 4.2. Na rysunku 1 pokazano obwód magnetyczny zaprojektowanego silnika, a na rysunku 2 przykładowy rozkład pola magnetycznego w wybranym położeniu wirnika. Średnica zewnętrzna blach stojana wynosi 130 mm, szerokość jarzma 9 mm, szerokość zęba 12,7 mm, zaś średnica wewnętrzna stojana to 76 mm. Szczelina powietrzna ma szerokość 1 mm. W wirniku umieszczono 12 magnesów neodymowych typu N38SH zajmujących 75% podziałki biegunowej. Magnesy mają wysokość 5 mm. Rysunki nr 3 i 4 przedstawiają wewnętrzną konstrukcję silnika.



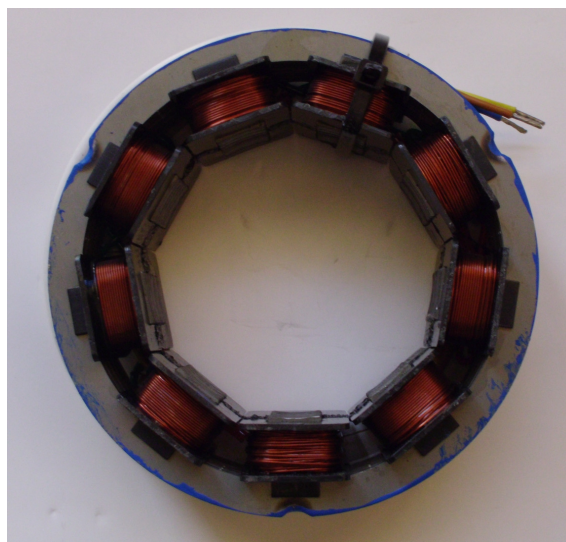
Rys. 1. Obwód magnetyczny nowego silnika



Rys. 2. Przykładowy rozkład pola magnetycznego



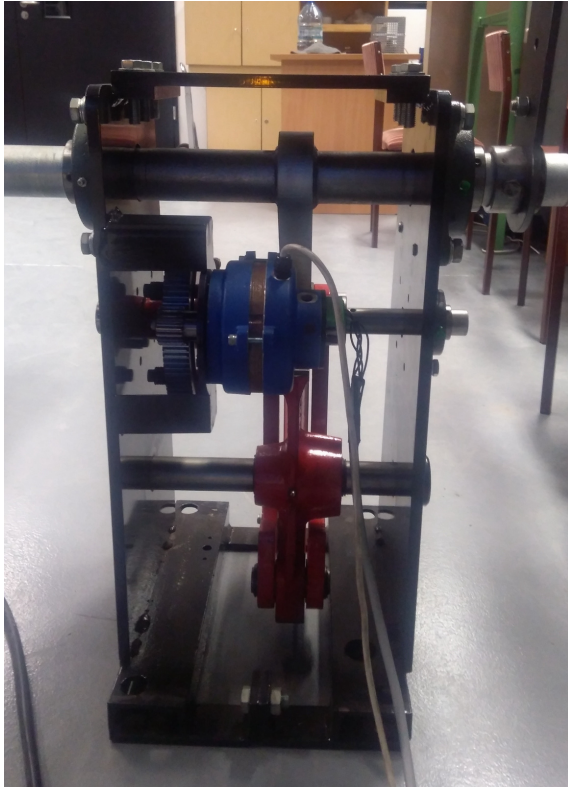
Rys. 3. Wirnik z 12-ma zagłębionymi magnesami i tarczą łożyskową



Rys. 4. Uzwojony stojan silnika



Rys. 5. Widok kompletnego silnika

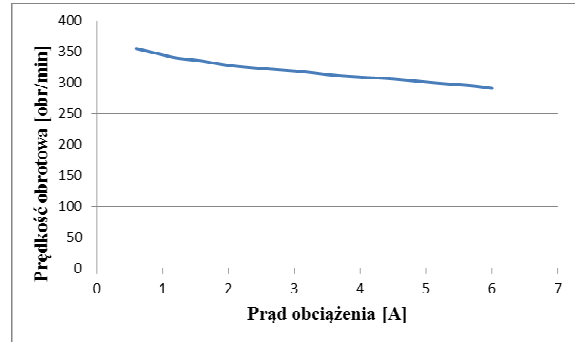


Rys. 6. Napęd rogatekowy z opracowanym silnikiem

W omawianym zastosowaniu silnika – napędzie rogatekowym występuje duży, początkowy moment oporowy i w takich przypadkach powszechnie stosuje się metody sterowania z użyciem czujników położenia wirnika [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Współpracujący z silnikiem falownik wykorzystuje informację o położeniu wirnika względem stojana uzyskiwaną z układu elektronicznego współpracującego z wielobiegunowym magnesem przyklejonym do wału silnika. Falownik umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej silnika, zmianę kierunku wirowania i szybkie hamowanie.

4. Badania silnika

Badania silnika, obejmowały wyznaczenie jego charakterystyki mechanicznej, sprawdzenie zakresu regulacji prędkości obrotowej oraz sprawdzenie funkcji falownika – zmiany kierunku wirowania silnika i hamowania. Badany silnik obciążony był niewielką prądnicą prądu stałego, a z uwagi na brak momentomierza o odpowiednio małym zakresie prędkość obrotowa mierzona była w funkcji prądu obciążenia. Tak wyznaczoną zależność pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Zależność prędkości obrotowej od prądu obciążenia silnika

Prędkość obrotową silnika można regulować w zakresie od 10 do 300 obr/min. Przy odpowiednio wydajnym źródle zasilania (powyżej 12 A) możliwy jest nawrót silnika przy znamionowej prędkości obrotowej. Po włączeniu sygnału hamowania silnik zatrzymuje się w czasie poniżej 0,1 s. Badania silnika na napędzie rogatekowym wykazały jego pełną przydatność. Zmierzony podczas pracy prąd wahał się w zakresie 4,0 A.

5. Wnioski

Opracowany silnik jest znacznie tańszy i trwalszy od dotychczas stosowanych silników komutatorowych, zapewnia znacznie dłuższy okres bezserwisowej pracy oraz mniejsze zużycie energii. Pełny zakres regulacji prędkości obrotowej pozwala płynnie ruszać i zatrzymywać szlaban bez drgań i uderzeń, a niskie napięcie zasilania umożliwia pracę napędu w przypadku awarii sieci energetycznej i zasilanie z akumulatorów. Niskie napięcie zasilania sprzyja także poprawie bezpieczeństwa obsługi.

6. Literatura

- [1]. Glinka T., „Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [2]. Goryca Z., Bojarczak P.: „Manner of controlling of three-winding brushless motor”, Forth International Conference Unconventional Electromechanical and Electrical Systems, St.Petersburg, Russia, June 21-24, 1999.
- [3]. Goryca Z.: „Niskonapięciowy układ napędowy z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego”, X Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 28-30 maj, 2003, s. 59-61.
- [4]. Goryca Z., Bojarczak P.: „Driving system of electric wheelchair”, International XIV Symposium Micromachines & Servodrives, Tuczno, Poland, 12 – 16.09.2004.

- [5]. Goryca Z.: „Niskonapięciowy, wolnoobrotowy napęd z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego”, XV Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 17-19 maj, 2006.
- [6]. Goryca Z.: „Bezczotkowe silniki prądu stałego – konstrukcje i sterowanie”, AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA [ISSN 2082-4149] nr 13, 2013 r.7.
- [7]. Krykowski K., „Silnik PM BLDC w napędzie elektrycznym analiza, właściwości, modelowanie”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
- [8]. Wiśniewski J., Koczara W., Dobroń P., „Analiza momentu rozruchowego silnika z magnesami trwałymi przy zastosowaniu metody HPI”. Przegląd Elektrotechniczny nr 2/2010, s. 77-81.
- [9]. Zawirski K., „Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

Autorzy

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk –
Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki
e-mail: zgoryca@tu.kielce.pl
tel.: 601-25-05-30
mgr inż. Artur Pakosz, Zespół Szkół Elektronicznych w Radomiu, e-mail: apakosz@wp.pl,
tel. 663-301-290

