

Zbigniew GORYCA

WENTYLATOR DO PIECA NA PALIWA STAŁE

STRESZCZENIE *W pracy przedstawiono wentylator z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego przeznaczony do nadmuchu powietrza do komory spalania w piecu na paliwa stałe. Pokazano konstrukcję silnika z magnesami trwałymi, na który zużyto znacznie mniej żelaza i miedzi w porównaniu z silnikiem dotychczas stosowanym. Dzięki zastosowaniu sterowania bezczujnikowego układ sterowania silnika jest prosty i umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej. Nowy wentylator zużywa znacznie mniej energii niż wentylatory stosowane dotychczas. Taki silnik i układ sterowania może być stosowany także w wentylatorach o innym przeznaczeniu.*

Słowa kluczowe: *wentylator, silnik bezszczotkowy, sterowanie bezczujnikowe*

1. WSTĘP

Wentylatory o mocach poniżej 100 W wyposażone są w jednofazowe silniki asynchroniczne z kondensatorem pracy lub silniki ze zwojem zwartym. Ilość wydychanego powietrza regulowana jest w nich przez regulację prędkości obrotowej silnika napędzającego wentylator. W większości przypadków prędkość obrotową takich silników zmienia się skokowo przez zmianę liczby zwojów uzwojenia – odczepy uzwojenia. Zdarzają się przypadki regulacji prędkości obrotowej przez zmianę napięcia zasilania realizowaną na drodze sterowania fazowego. W wymienionych przypadkach sprawność silnika jest niska i przy zastosowanie innego typu silnika można zaoszczędzić znaczne ilości energii. W pracy przedstawiono nowy napęd wentylatora o znacznie wyższej sprawności. Napęd ten zrealizowany jest w oparciu o bezszczotkowy silnik prądu stałego. Zastosowanie tego typu silnika

dr hab. inż. Zbigniew GORYCA, prof. PŚk
e-mail: tgoryca@kki.net.pl

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej, 25-314 Kielce, Aleja 1000-lecia Państwa Polskiego 7

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 272, 2016

[3, 4, 5, 9, 14] eliminuje problemy związane z rozruchem i regulacją prędkości wentylatora. Dodatkowo przy zastosowaniu napięcia zasilania 12 V wentylator taki może być zasilany, w przypadkach awarii sieci energetycznej, z akumulatora (np. samochodowego). Ma to duże znaczenie w sytuacji, gdy wentylator zasila powietrzem piec na paliwa stałe, bowiem przy braku napięcia zasilania i braku powietrza konieczne jest wygaszenie pieca i związany z tym brak ogrzewania.

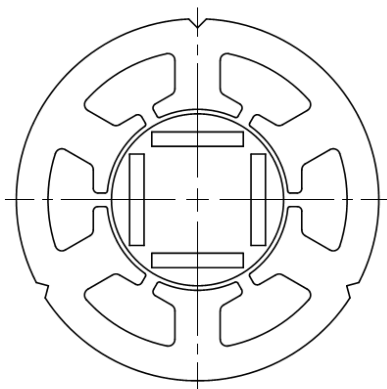
2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

Przy projektowaniu konstrukcji wentylatora założono wykorzystanie jak największej liczby elementów istniejącego rozwiązania. Zastosowano dotychczasowy wirnik i obudowę wentylatora, a zmieniono jedynie silnik napędzający. Zaprojektowano nowy, bezszczotkowy silnik prądu stałego z magnesami trwałymi, gdyż przy małych mocach jedynie ten typ silnika gwarantuje uzyskanie wysokiej sprawności. Z uwagi na szybkość i prostotę montażu oraz cenę magnesów przyjęto rozwiązanie z prostopadłociennymi, neodymowymi magnesami zagłębionymi. Dodatkowym atutem tego rozwiązania konstrukcyjnego jest brak możliwości odklejenia magnesów i związanych z tym awarii silnika. Założono, że prędkość wentylatora ma być regulowana w zakresie od 300 do 2700 obr./min.

3. KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE UKŁADU

Układ napędowy wentylatora składa się z bezszczotkowego silnika prądu stałego i układu sterowania zrealizowanego z użyciem specjalizowanego procesora. W typowych zastosowaniach do poprawnej pracy tego silnika niezbędne są trzy sygnały informujące o położeniu wirnika względem stojana. W przedstawionym napędzie zastosowano sterowanie bezczujnikowe [1, 2, 6 – 8, 10 – 13], dodatkowo zmniejszające koszt układu i poprawiające jego niezawodność. Sterowanie to wykorzystuje do kontroli położenia wirnika pomiar napięcia rotacji w niezasilanej fazie uzwojenia [6]. Na rysunku 1 pokazano obwód magnetyczny opracowanego silnika. Obliczenia tego obwodu przeprowadzono w nowej wersji programu FEMM. Rysunki 2, 3 i 4 przedstawiają wewnętrzną konstrukcję i widok kompletnego wentylatora. Na rysunku 5 przedstawiony został schemat blokowy układu sterowania, z zaznaczonym miejscem przyłączenia akumulatora (w przypadkach awarii), a na rysunku 8 – widok wykonanego układu sterowania silnika.

Jak wspomniano wcześniej do regulacji prędkości obrotowej silnika wykorzystano układ sterowania bezczujnikowego wykorzystujący pomiar napięcia rotacji w niezasilanej fazie uzwojenia. Określając punkt przejścia przez zero międzyfazowej SEM, można w prosty sposób sterować pracą silnika. Najprostszym sposobem sterowania przy wykorzystaniu SEM jest obserwacja napięcia punktu neutralnego. Idealizowane przebiegi napięcia w tym punkcie pokazuje rysunek 6, a przebiegi rzeczywiste rysunek 7.



Rys. 1. Obwód magnetyczny opracowanego silnika



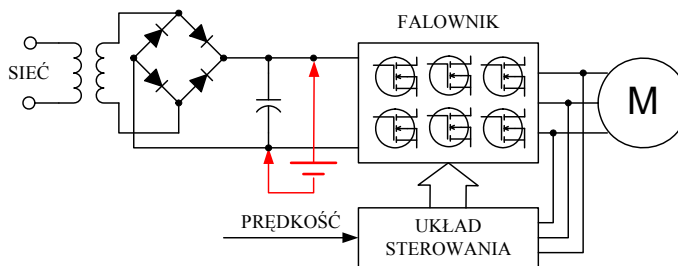
Rys. 2. Widok wirnika



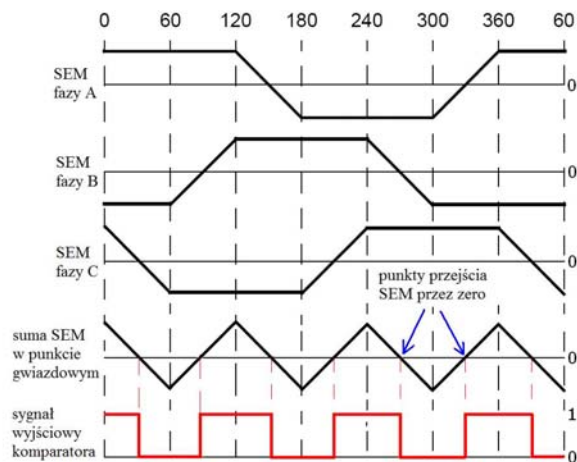
Rys. 3. Widok uzwojonego stojana



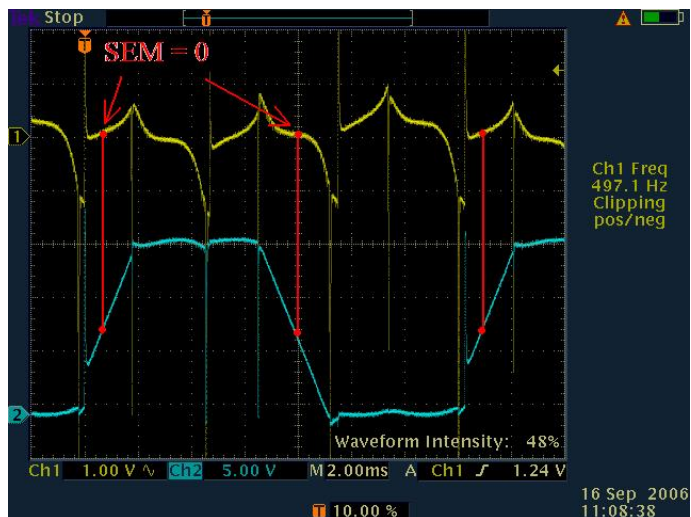
Rys. 4. Widok kompletnego wentylatora



Rys. 5. Schemat blokowy układu zasilania silnika

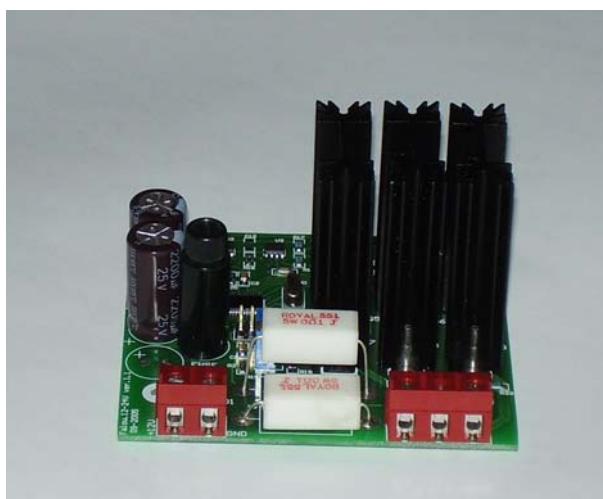


Rys. 6. Idealizowane przebiegi fazowych SEM i ich suma w punkcie gwiazdowym (neutralnym)



Rys. 7. Rzeczywisty przebieg napięcia w punkcie gwiazdowym (żółty), oraz przebieg SEM jednej z faz (niebieski) z zaznaczonymi punktami przejścia przez 0

Chwila przejścia przez zero SEM w niezasilanej fazie nie jest równoznaczna z włączeniem kolejnych tranzystorów układu pokazanego na rysunku 5. Aby wyznaczyć chwilę komutacji zaworów falownika należy zastosować opóźnienie zależne od prędkości wirnika takie, w którym wirnik przebędzie drogę równą 30° elektrycznych. Metody oparte na obserwacji SEM można stosować w zakresie prędkości obrotowych od 10 do 100%. Poniżej tych wartości SEM jest zbyt mała, aby na jej podstawie



Rys. 8. Widok układu sterowania silnika

poprawnie określać położenie wirnika [5, 10]. Na rysunku 8 pokazano wykonany układ sterowania pracujący zgodnie z omówioną zasadą działania.

4. BADANIA UKŁADU

Badania układu obejmowały sprawdzenie poprawności rozruchu i pracy silnika w zakresie prędkości od 5 do 100% w warunkach normalnego i obniżonego o 15% napięcia zasilania. We wszystkich przypadkach napęd pracował stabilnie, zaś rozruch następował bez żadnych problemów. Wentylator z nowym silnikiem zużywa znacznie mniej energii czego dowodem są wyniki pomiarów mocy pobieranej zawarte w tabeli 1.

TABELA 1

Prędkość obrotowa [obr/min]	2700	2200	1800	1000	500
Moc pobierana przez dotychczasowy wentylator [VA]	69	53	35		
Moc pobierana przez nowy wentylator [VA]	41	32	19	13	9

Jak widać z pomiarów wentylator z nowym silnikiem zużywa średnio o 40% energii mniej niż wentylator z silnikiem asynchronicznym.

5. WNIOSKI

Prezentowany wentylator jest niewiele droższy od dotychczas stosowanego, a zapewnia stabilną i regulowaną w zależności od potrzeb prędkość obrotową. Na niską cenę składają się zarówno prostota samego silnika jak również mała liczba elementów układu sterowania. Jak wykazały pomiary wentylator zużywa znacznie mniej energii.

Ze względu na napięcie znamionowe wynoszące 12 V wentylator może być zasilany z akumulatora. Ma to duże znaczenie w przypadku zaniku napięcia sieci energetycznej.

Niebagatelną rolę odgrywają również oszczędności materiałowe. O ich skali – zmniejszeniu obwodu magnetycznego i zmniejszeniu masy uzwojenia świadczy rysunku 9, na którym przedstawiono wirniki nowego i starego rozwiązania.

Najważniejszą cechą nowego rozwiązania jest możliwość pracy w warunkach awarii sieci energetycznej zapewniająca ogrzewanie budynków.



Rys. 9. Porównanie wirników nowego i dotychczasowego silnika

LITERATURA

1. Chen H., Liaw C.: Current-mode control for sensorless BLDC drive with intelligent commutation tuning. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 17, No. 5, 2002, s. 747–756.
2. Ertugrul N., Acarnley P.: A New algorithm for sensor less operations of permanent magnet motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 30, No. 3, 1994, s. 126-133.
3. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
4. Goryca Z.: Napęd z bezczujnikowym, bezszczotkowym silnikiem prądu stałego. XLII International Symposium on Electrical Machines SME 2006, Cracow, Poland, July 3-6, 2006, s. 359–362.
5. 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.
6. Goryca Z., Pakosz A.: Bezczujnikowe sterowanie bezszczotkowego silnika prądu stałego, *Przegląd Elektrotechniczny* nr 6, 2008, s. 172–174.
7. Janiszewski D.: Nowy obserwator oparty na filtrze Kalmana dla bezczujnikowego napędu z silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych, *SENE*, Łódź, 2007, s. 181–186.
8. Kumar R., Padmanaban S.V.: An Artificial neural network based rotor position estimation for sensorless permanent magnet brushless motor drive. 32 Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, IECON 06, 2006, s. 649–654.
9. Krykowski K.: *Silnik PM BLDC w napędzie elektrycznym analiza, właściwości, modelowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
10. Park B.G., Kim T.S., Ryu J.S., Huyn D.S.: Fuzzy back EMF observer for improving performance of sensor less brushless DC motor drive. *Power Electronics Conference and Exposition 2006, APEC 06*, s. 674–678.

11. Siostrzonek T.: Bezczujnikowy układ napędowy z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego z magnesami trwałymi sterowany systemem proporcjonalnym do momentu. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 2008.
12. 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.
13. Wiśniewski J., Jakubowski P., Koczara W.: Metoda PIPCRM do identyfikacji położenia biegunów silnika z magnesami trwałymi o polu osiowym w układzie napędowym bez czujnika mechanicznego. XLII Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Poznań, 2007, s. 276–279.
14. Zawirski K.: Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

Przyjęto do druku dnia 22.02.2016 r.

FAN WITH A DC BRUSHLESS MOTOR

Zbigniew GORYCA

ABSTRACT *The paper presents the fan with DC brushless motor used to circulate an air in the combustion chamber of the furnace. The construction of the permanent magnet motor having much less of the steel and copper than present motors has been shown. The new motor allows for continuous speed control and consumes much less energy. It can be applied in other fans.*

Keywords: *fan, brushless motor, sensorless control*



Dr hab. inż. Zbigniew GORYCA, prof. PŚk, absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, autor 175 publikacji, 11 patentów i 6 zgłoszeń patentowych z zakresu energoelektroniki, sterowania i maszyn elektrycznych. W swojej pracy koncentruje się na opracowywaniu i wdrażaniu praktycznych rozwiązań. Twórca około 50 różnych maszyn z magnesami trwałymi i wielu układów energoelektrycznych współpracujących z tymi maszynami. W ostatnim okresie twórca wielu wolnobrotowych generatorów stosowanych w małych elektrowniach wiatrowych i wodnych.