

# Energooszczędne wentylatory promieniowe

Zbigniew Goryca

## 1. Wstęp

Wentylatory są – obok pomp – urządzeniami najczęściej stosowanymi w budownictwie i przemyśle. Z uwagi na ich dużą liczbę zużywają znaczne ilości energii elektrycznej i z tego powodu obniżenie zużycia energii przez te urządzenia jest ważne. W pracy przedstawiono trzy wentylatory promieniowe o niewielkiej mocy, wyposażone w nowy układ napędowy o wysokiej sprawności. Napęd ten zrealizowany jest w oparciu o wysokosprawny, bezszczotkowy silnik prądu stałego z magnesami trwałymi. Silnik napędu zasilany jest z niskonapięciowego falownika wykorzystującego beczujnikowy algorytm działania. Dlatego nie ma potrzeby montażu czujników położenia wirnika w silniku. Dzięki zastosowaniu niskiego napięcia zasilania (24 V) układ jest bezpieczny i może być zasilany, w przypadkach awarii sieci energetycznej, z akumulatora. Ma to szczególne znaczenie w układach oddymiania włączanych w budynkach podczas pożarów, gdyż wówczas zasilanie z sieci energetycznej zostaje wyłączone, a także w układach, gdzie proces technologiczny nie może zostać przerwany z uwagi na jakość produktu końcowego, np. w procesach chemicznych.

## 2. Konstrukcja wentylatorów i silników

Podstawowym założeniem przy projektowaniu wentylatorów było wykorzystanie jak największej liczby elementów istniejących rozwiązań. Z tego powodu w nowych wentylatorach użyto wirników i obudów dotychczasowych wentylatorów, a zmieniono jedynie układy napędowe. Zaprojektowano nowe, bezszczotkowe silniki prądu stałego z magnesami trwałymi, gdyż przy małych mocach jedynie ten typ silnika gwarantuje uzyskanie wysokiej sprawności [3, 4, 5]. W wirnikach silników przyjęto rozwiązanie z prostopadłościennymi, neodymowymi magnesami zagłębionymi. Ułatwia to znakomicie montaż magnesów i zmniejsza koszt wykonania wirników, gdyż standardowe magnesy prostopadłościenne są około dwa razy tańsze od magnesów kształtowych, przyklejanych do wirników w wielu rozwiązaniach. Dodatkowym atutem takiej konstrukcji wirnika jest brak możliwości odklejenia się magnesów i związanych z tym awarii silników. Założono też, że napięcie zasilania wynosi 24 V, a prędkość wentylatorów ma być regulowana w zakresie od 500 do 2700 obr./min. W skład nowych układów napędowych wchodzi bezszczotkowe silniki prądu stałego z magnesami trwałymi (różniące się długościami pakietów stojanów i wirników) i trójfazowy falownik wyposażony w tranzystory CMOS. Obliczenia obwodu magnetycznego silników przeprowadzono w ostatnio zmodyfikowanym programie FEMM 4.2. Na rys. 1 pokazano obwód magnetyczny zaprojektowanych silników i przykładowy rozkład pola magnetycznego w wybranym położeniu wirnika. Rysunki 2 i 3 przedstawiają wewnętrzną konstrukcję jednego z silników, zaś rys. 4 obrazowe

**Streszczenie:** W pracy pokazano trzy wentylatory promieniowe charakteryzujące się małym poborem energii. Wentylatory te wyposażone zostały w nowy układ napędowy, składający się z bezszczotkowego silnika prądu stałego i energoelektronicznego układu (falownika) sterującego pracą silnika. Pokazano konstrukcję silnika użytego w wentylatorach, na który zużyto znacznie mniej żelaza i miedzi w porównaniu z silnikami dotychczas stosowanymi. Omówiono zasadę sterowania beczujnikowego zastosowaną w falowniku oraz pokazano prototyp falownika. Porównano pobory mocy wentylatorów dotychczas stosowanych z wentylatorami wyposażonymi w nowe układy napędowe. Opracowane wentylatory przeznaczone są do pracy przy piecach centralnego ogrzewania, w ekstruderach do produkcji butelek PET oraz w układach klimatyzacji. Zużywają one ponad dwukrotnie mniej energii niż urządzenia stosowane obecnie.

Słowa kluczowe: wentylator, silnik bezszczotkowy, sterowanie beczujnikowe

## 🇬🇧 ENERGY-SAVING CENTRIFUGAL FANS

**Abstract:** The paper presents three centrifugal fans with low power consumption. The fans are equipped with a new drive system consisting of a brushless DC motor and power electronics system (inverter) used for motor control. The construction of the motor required much less iron and copper than the present motors. The principle of sensorless control of inverter is discussed and the prototype of the inverter is presented. The power consumption of the existing fans and the ones equipped with new drive systems is compared. The developed fans are designed to work with central heating furnaces, in extruders for the production of PET bottles, and in air-conditioning systems. They consume over twice as little energy as currently used fans.

Keywords: fan, brushless motor, sensorless control

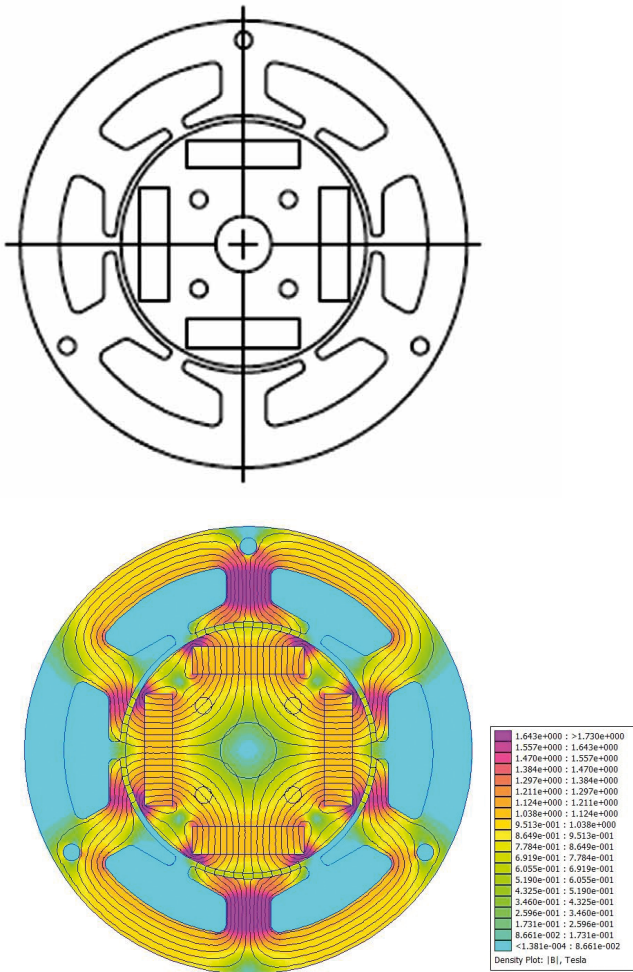
porównanie silnika dotychczas stosowanego w wentylatorze DNG2-2,5 z nowym silnikiem.

Jak widać, do budowy nowych silników użyto znacznie mniej materiałów niż do silników dotychczasowych. Dlatego też nowe silniki powinny być tańsze pomimo zastosowania drogich magnesów neodymowych.

## 3. Zasada działania falownika

W wielu typowych zastosowaniach do poprawnej pracy silnika bezszczotkowego niezbędne są trzy sygnały określające położenie wirnika względem stojana. W prezentowanym

reklama



Rys. 1. Obwód magnetyczny nowego silnika i przykładowy rozkład pola magnetycznego



Rys. 2. Wirlnik silnika wentylatora z zagłębionymi magnesami trwałymi



Rys. 3. Stojan silnika wentylatora z jawnymi biegunami

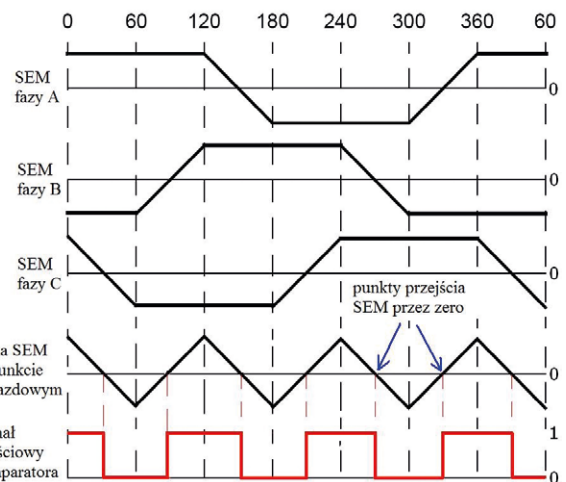


Rys. 4. Dotychczasowy i nowy silnik wentylatora

napędzie zastosowano sterowanie bezczujnikowe [1, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13]. Atutami takiego rozwiązania są brak czujników w silniku, brak związanych z tym połączeń oraz poprawa niezawodności działania. Algorytm sterowania wykorzystany w falowniku określa położenie wirnika przez pomiar napięcia w sztucznym punkcie zerowym [6]. Idealizowane przebiegi napięcia w tym punkcie pokazuje rys. 5, a przebiegi rzeczywiste rys. 6.

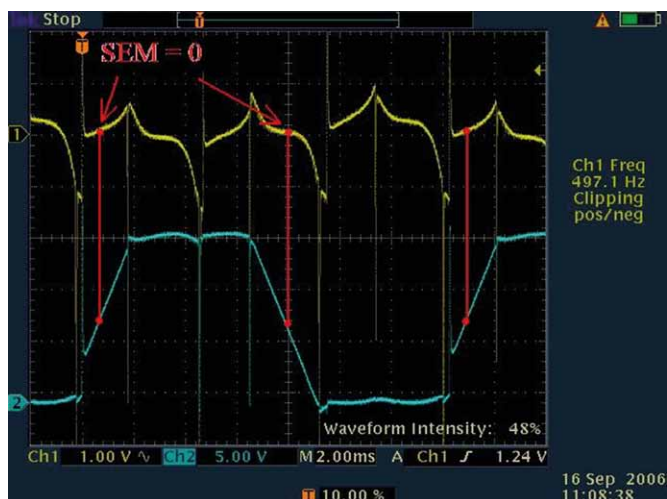
Porównując napięcia punktu neutralnego z napięciem indukowanym w niezasilanej fazie, otrzymujemy informację o położeniu wirnika. Rysunek 7 pokazuje sposób uzyskania tej informacji w przypadkach, gdy mamy dostęp do punktu neutralnego uzwojenia i bez tego dostępu.

Jak pokazują doświadczenia autora, 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 poprawnie określać położenie wirnika [5, 10]. Metody bezczujnikowe dobrze sprawdzają się tam, gdzie początkowy moment obciążenia silnika jest mały – w pompach i wentylatorach. W przypadkach, gdy początkowy moment

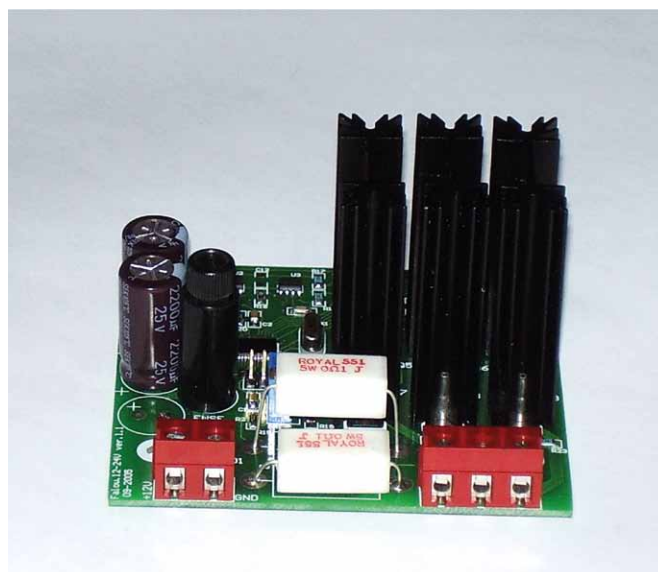


Rys. 5. Idealizowane przebiegi fazowych SEM i ich suma w punkcie neutralnym

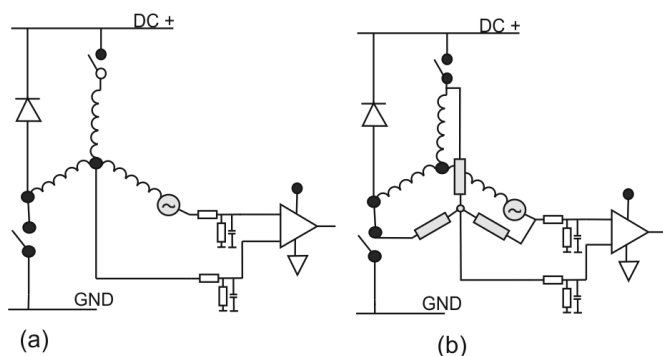
reklama



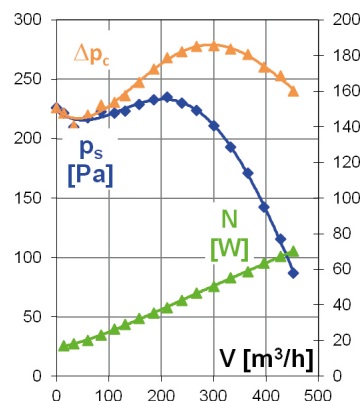
Rys. 6. Rzeczywisty przebieg napięcia w punkcie gwiazdowym (żółty), oraz przebieg SEM jednej z faz (niebieski) z zaznaczonymi punktami przejścia przez 0



Rys. 8. Falownik zasilający silnik wentylatora



Rys. 7. Układ detekcji SEM: (a) z dostępem do punktu neutralnego; (b) z wykorzystaniem sztucznego punktu neutralnego



Rys. 9. Charakterystyka wentylatora o wydajności 430 m³/h

obciążenia jest duży, powszechnie stosuje się metody sterowania z użyciem czujników położenia wirnika [9, 14]. Na rys. 8 pokazano wykonany prototypowy falownik pracujący zgodnie z omówioną zasadą działania.

#### 4. Badania układu

Badania wentylatorów obejmowały sprawdzenie poprawności rozruchu i pracy silnika w zakresie prędkości od 10 do 100% w warunkach normalnego i obniżonego o 15% napięcia zasilania, pomiary charakterystyk wentylatorów oraz pomiary mocy pobieranej. We wszystkich przypadkach napęd pracował stabilnie, zaś rozruch następował bez żadnych problemów. Wybraną charakterystykę największego badanego wentylatora pokazano na rys. 9.

Wentylatory z nowymi układami napędowymi zużywają znacznie mniej energii, czego dowodem są wyniki pomiarów mocy pobieranej przy znamionowej prędkości obrotowej i przy znamionowym napięciu zasilania, zawarte w tabeli 1.

Jak widać z pomiarów, wentylatory z nowymi układami napędowymi zużywają średnio o 40% mniej energii niż wentylatory z silnikami asynchronicznymi.

Tabela 1. Wyniki pomiarów mocy pobieranej przy znamionowej prędkości obrotowej i przy znamionowym napięciu zasilania

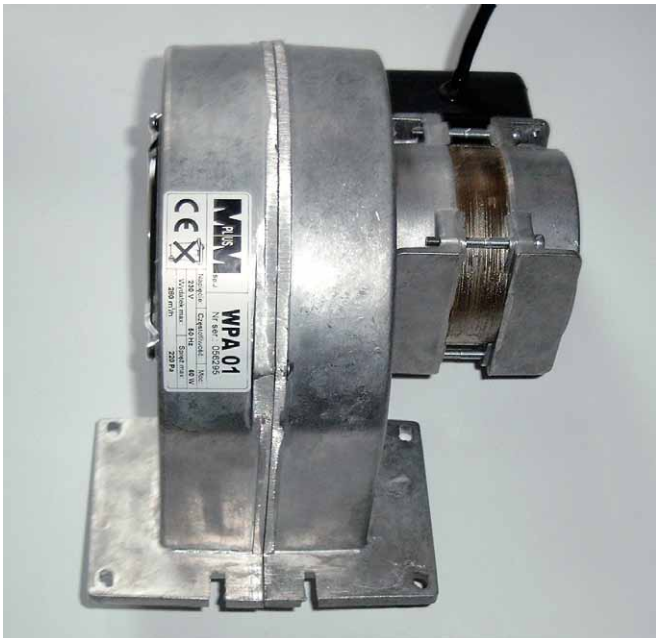
Rodzaj wentylatora Wydajność [m³/h]	WPA01 280	DNG2-2,5 190	DNG3-6 430
Moc dotychczasowego wentylatora [VA]	69	141	165
Moc nowego wentylatora VA]	34	36	45

#### 4. Wnioski

Opracowane układy napędowe wentylatorów są niewiele droższe od dotychczas stosowanych silników asynchronicznych, a zapewniają znacznie niższe zużycie energii, umożliwiają regulację prędkości obrotowej i mogą być zasilane z akumulatorów w przypadkach awarii lub wyłączenia zasilania z sieci energetycznej. Niskie napięcie zasilania sprzyja także poprawie bezpieczeństwa obsługi. Na rys. 10 pokazano trzy badane wentylatory z nowymi układami napędowymi.

Zastosowanie nowych napędów wydatnie zmniejsza gabaryty i masę wentylatorów. Najważniejszą cechą nowych rozwiązań jest zapewnienie ciągłości pracy w warunkach awarii sieci energetycznej.






Rys. 10. Wentylatory z nowymi silnikami

## 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.
- [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.
- [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 SME2006, Cracow, Poland, July 3–6, 2006.
- [5] GORYCA Z.: *Niskonapięciowy układ napędowy z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego*. X Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 28–30 maja 2003.
- [6] GORYCA Z., PAKOSZ A.: *Bezczujnikowe sterowanie bezszczotkowego silnika prądu stałego*. „Przegląd Elektrotechniczny” 6/2008.
- [7] JANISZEWSKI D.: *Nowy obserwator oparty na filtrze Kalmana dla bezczujnikowego napędu z silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych*. SENE, Łódź 2007.
- [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.
- [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.
- [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., DOBRON P.: *Analiza momentu rozruchowego silnika z magnesami trwałymi przy zastosowaniu metody HPI*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2/2010.
- [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.
- [14] ZAWIRSKI K.: *Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

 dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska,  
Geomatyki i Energetyki, Katedra Inżynierii Budowli i Energii  
Odnawialnych, e-mail: tgoryca@kki.net.pl