

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **234702**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **425236**

(51) Int.Cl.  
**H02K 21/24 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **16.04.2018**

(54) **Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy, zwłaszcza do zastosowań lotniczych w systemach sterowania elektronicznego, oraz jego zastosowanie do napędu suwaka obrotowego w serwośłonikach lub serwozaworach stosowanych w systemach sterowania elektronicznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**21.10.2019 BUP 22/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**31.03.2020 WUP 03/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**YASA MOTORS POLAND SPÓŁKA  
Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ  
SPÓŁKA KOMANDYTOWO-AKCYJNA,  
Mielec, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**KRZYSZTOF WARZOCHA, Rzeszów, PL  
PIOTR BĄK, Jaślany, PL  
JERZY SZURA, Przemyśl, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Damian Krężel**

**PL 234702 B1**

## Opis wynalazku

### Dziedzina techniki

Przedmiotem wynalazku jest wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy, zwłaszcza do zastosowań lotniczych w systemach sterowania elektronicznego (FBW). Bardziej szczegółowo, wynalazek dotyczy trójfazowego, wielobiegunowego, synchronicznego silnika bezszczotkowego z magnesami trwałymi o konfiguracji osiowej, przeznaczonego do zastosowań lotniczych w elementach takich jak serwośiłowniki i serwozawory, w szczególności do napędu suwaka obrotowego w serwośiłownikach stosowanych w systemach FBW w zastosowaniach lotniczych.

### Stan techniki

Silniki o konfiguracji promieniowej, w zależności od zapotrzebowania na moc, mają wyższą masę i gabaryty w porównaniu do silników osiowych. Ponadto, uzwojenie silników promieniowych o dużym wypełnieniu żłobka jest czasochłonne i zwykle odbywa się poza silnikiem, a następnie jest ono nasuwane na zęby stojana.

Silnik o osiowym przepływie strumienia magnetycznego umożliwia uzyskanie większej mocy i sprawności przy mniejszej masie elementów w porównaniu do silników promieniowych, ze względu na bardziej upakowany i w konsekwencji mniejszy obwód magnetyczny. Ponadto, silniki o strumieniu osiowym pozwalają osiągnąć wyższy i stabilniejszy moment obrotowy, co jest cechą niezwykle pożądaną w przypadku napędu suwaków zaworów hydraulicznych, gdzie silnik musi płynnie reagować na siły powstałe na skutek przepływającego medium o określonej lepkości, tarcia, a także inercji napędzanych elementów.

Znane są wielokanałowe silniki o konfiguracji promieniowo-strumieniowej w zastosowaniach lotniczych, np. z europejskiego zgłoszenia patentowego nr EP3300214A1. Ten znany silnik wielokanałowy składa się z wirnika z magnesami trwałymi oraz stojana z zębami podzielonymi na trzy niezależne sekcje oddzielone od siebie szczelinami, przy czym każda sekcja posiada niezależne uzwojenie.

Z polskiego patentu PL218406B1 znany jest również wielobiegunowy silnik osiowo-strumieniowy do napędu pompy, którego zęby stojana ulokowane są w obwodowym kanale korpusu pompy, zawierającym pierścień magnetyczny z zamocowanymi magnesami. Zęby stojana są zamocowane w obwodowych wycięciach pierścienia stojana i mają umieszczone obwodowo cewki. Pierścień stojana stanowi zamknięcie zwrotne. Natomiast pierścień magnetyczny zawiera 56 magnesów w postaci prostokątnych płytek, zamocowanych na pierścieniu zwrotnym. Zęby stojana mają prostokątne wycięcia pod obwodowe wycięcia pierścienia stojana. W silniku tym zastosowano dużą liczbę magnesów, co skutkuje dłuższym czasem nawijania i montażu, a także wyższymi stratami w rdzeniu magnetycznym.

Silnik o osiowym przepływie strumienia magnetycznego o takich samych parametrach elektrycznych może być nawet 5-krotnie lżejszy i 4-krotnie krótszy od klasycznego silnika o promieniowym przepływie strumienia opisanego w zgłoszeniu patentowym EP3300214A1. Ponadto, w silnikach osiowych strumień magnetyczny przewodzony jest krótszą drogą w obwodzie magnetycznym co znacząco zmniejsza straty w rdzeniu.

### Opis istoty wynalazku

Celem wynalazku jest opracowanie silnika, który zapewni niezawodność działania w systemach sterowania elektronicznego (FBW).

Innym celem wynalazku jest opracowanie kompaktowego silnika do napędu suwaka obrotowego w serwośiłownikach lub serwozaworach stosowanych w systemach sterowania elektronicznego (FBW) w zastosowaniach lotniczych.

Cel ten spełnia urządzenie według dołączonej treści zastrzeżeń patentowych.

Zgodnie z wynalazkiem, wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy, zwłaszcza do zastosowań lotniczych w systemach sterowania elektronicznego (FBW), posiada stojan z wieloma zębami, na które nawinięte jest uzwojenie oraz rozmieszczonymi obwodowo w równych odstępach, wirnik z wieloma magnesami trwałymi obracający się wokół osi silnika, przy czym stojan oraz wirnik usytuowane są w układzie osiowym względem osi obrotu silnika tak, że pomiędzy nimi występuje szczelina. Wirnik posiada co najmniej osiem magnesów, a stojan posiada co najmniej dwanaście zębów, z których każdy umieszczony jest w obwodowym wycięciu jarzma i połączonych przynajmniej w cztery niezależne kanały, przy czym na końcu zęba, który jest zwrócony w stronę magnesów wirnika znajduje się nabiegunnik mający postać stopy, która rozszerza się w kierunku magnesów. Bliżej przeciwnego końca zęba, po jego obu bokach znajdują się ramiona, na których wspiera się jarzmo stojana.

Korzystnie, silnik zasilany jest prądem trójfazowym, przy czym każdy kanał posiada niezależny obwód uzwojenia i układ sterowania, a do każdego z trzech zębów w każdym kanale przyłączona jest osobna faza.

Korzystnie, jarzmo oraz zęby stojana wykonane są z pakietu blach elektrotechnicznych.

W jednym z alternatywnych przykładów silnik posiada dwanaście zębów i osiem magnesów trwałych albo dwadzieścia cztery zęby i szesnaście magnesów trwałych.

Korzystnie, stosunek średnicy zewnętrznej do średnicy wewnętrznej wynosi 0,6.

Zastosowanie wielokanałowego bezszczotkowego silnika osiowo-strumieniowego według któregośkolwiek z zastrzeżeń patentowych do napędu suwaka obrotowego w serwośiłownikach lub serwozaworach stosowanych w systemach sterowania elektronicznego (FBW) w zastosowaniach lotniczych.

#### **Korzystne skutki wynalazku**

Przedstawione rozwiązanie jest urządzeniem lżejszym niż dotychczasowe konstrukcje, co przekłada się na niższą wagę statku powietrznego. Silnik osiowy przy odpowiednim sterowaniu uzyskuje stabilniejszy moment obrotowy i lepszą sprawność konwersji energii elektrycznej na mechaniczną, dzięki zastosowaniu specjalnej konstrukcji zębów z poszerzoną stopą połączonych w układzie wielokanałowym.

#### **Objaśnienie rysunków**

Wynalazek zostanie poniżej przedstawiony w korzystnym przykładzie wykonania, z odniesieniem do załączonych rysunków, na których:

Fig. 1 – przedstawia silnik składający się z połączonych w układzie osiowym stojana i wirnika.

Fig. 2 – przedstawia konstrukcję zęba stojana.

Fig. 3 – przedstawia tarczę wirnika z magnesami trwałymi.

Fig. 4 – przedstawia połączenie wirnika ze stojanem z widokiem pojedynczego kanału.

Fig. 5 – przedstawia schemat połączenia silnika w układzie czterokanałowym.

#### **Szczegółowy opis korzystnego przykładu realizacji wynalazku**

W jednym z korzystnych przykładów realizacji wynalazku na fig. 1 przedstawiono wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy, zwłaszcza do zastosowań lotniczych w systemach sterowania elektronicznego. Jest to w szczególności wielokanałowy, wielobiegunowy i trójfazowy synchroniczny silnik bezszczotkowy z magnesami trwałymi o konfiguracji osiowej przeznaczony do napędu serwozaworów w siłownikach lub zaworach stosowanych w systemach FBW, sterowany za pomocą przemienników częstotliwości.

Silnik posiada stojan 1 oraz wirnik 2 o kształcie cylindrycznym, które usytuowane są w układzie osiowym względem osi obrotu silnika tak, że pomiędzy nimi występuje niewielka szczelina.

Stojan 1 składa się z jarzma 5 z wieloma zębami 4, na które nawinięte jest uzwojenie oraz rozmieszczonymi obwodowo w równych odstępach. Elementy stojana 1, tj. zęby 4 i jarzmo 5 wykonane są z pakietu blach elektrotechnicznych. Jarzmo 5 posiada obwodowe wycięcia 6 rozmieszczone w regularnych odstępach, korzystnie o kształcie prostokąta lub trapezu, w których montowane są zęby 4 z uzwojeniem, dzięki czemu możliwy jest montaż zębów 4 poprzez wsuwanie od czoła jak i od boku stojana 1.

Ząb 4 z nabiegunkiem składają się z pakietu blach elektrotechnicznych, które łączone są w taki sposób, aby poszerzyć stopę 9 zęba 4, co umożliwia zminimalizowanie momentu zaczepowego, hałasu oraz w pewnym zakresie na manipulowanie kształtem przebiegu napięcia indukowanego BEMF. Jak pokazano na fig. 2 – na końcu zęba 4, który jest zwrócony w stronę magnesów 3 wirnika 2 znajduje się nabiegunek 9 mający postać stopy, która rozszerza się w kierunku magnesów 3. Bliżej przeciwnego końca zęba 4, po jego obu bokach znajdują się ramiona 8, na których wspiera się jarzmo 5 stojana 1. Pomiedzy stopą 9 a ramionami 8 nawinięte jest uzwojenie. Ząb 4 w przekroju poprzecznym ma kształt prostokąta lub trapezu odpowiadającego kształtowi wycięć 6 w jarzmie 5.

Uzwojenie nawijane jest na zębach 4 przed montażem w jarzmie 5, co znacznie upraszcza operację nawijania, uzyskując przy tym bardzo wysoki współczynnik wypełnienia żłobka 7.

Na fig. 3 przedstawiono wirnik 2 z wieloma magnesami trwałymi 3 obracający się wokół osi silnika. Wirnik 2 składający się z tarczy 10 z magnesami trwałymi 3 znajduje się w strefie zanurzonej w oleju hydraulicznym. Dobrana liczba magnesów 3 do liczby żłobków 7 umożliwia nawinięcie stojana 1 w sposób wielokanałowy. Każdy kanał I, II, III, IV uzwojenia jest od siebie elektrycznie odizolowany i zasilany z osobnego sterownika. Korzystnie w tym rozwiązaniu wszystkie kanały I, II, III, IV współdzielą ten sam obwód magnetyczny poprzez jarzmo 5 stojana 1.

Wirnik 2 łożyskowany jest na co najmniej jednym łożysku oporowym (osiowym) i jednym łożysku promieniowym. Korzystnie w zaprezentowanym rozwiązaniu w przypadku awarii sekcji (kanałów) naprzeciwległych np. I–III albo II–IV, pozostałe dwie działające zapewniają względną równowagę osiową, co nie prowadzi do szybszego zużycia łożysk.

W prezentowanym przykładzie silnik składa się z wirnika 2 z ośmioma magnesami 3 oraz stojana 1 z dwunastoma zębami 4 z uzwojeniem połączonym w cztery niezależne kanały (sekcje) od I do IV, przy czym zasilanie cewek odbywa się w sposób wieloredundancyjny z czterech oddzielnych sterowników. Stojan 1 podzielony jest na cztery sekcje (kanały) co 90 stopni. Każda z sekcji I, II, III, IV składa się z trzech zębów 4, na których umieszczone jest uzwojenie faz U-V-V połączonych w gwiazdę lub trójkąt. Umożliwia to nawinięcie osobno i niezależnie każdego kanału. Każdy kanał I, II, III, IV uzwojenia jest od siebie elektrycznie odizolowany i zasilany z osobnego sterownika. Kiedy jeden z kanałów I, II, III, IV ulegnie awarii, pracują pozostałe trzy. Opisana konstrukcja umożliwia poprawną pracę silnika nawet w ekstremalnie trudnej sytuacji, kiedy trzy kanały silnika ulegną awarii. Cztery trójfazowe niezależnie współpracujące obwody uzwojenia silnika niemal całkowicie eliminują ryzyko wystąpienia awarii w czasie trwania lotu. Moc silnika dobrana jest tak, aby nawet jeden kanał był w stanie zapewnić normalną pracę urządzenia i obracać wirnikiem z magnesami stałymi.

W innym przykładzie wykonania wynalazku, silnik do napędu pomp składa się z dwudziestu czterech zębów 4 umieszczonych w strefie suchej i szesnastu magnesów 3 umieszczonych bezpośrednio na jarzmie 5 wirnika 2 znajdującym się w strefie mokrej.

Stosunek średnicy zewnętrznej  $d_2$  do średnicy wewnętrznej  $d_1$  wirnika 2 pokazanych na fig. 4 wynosi 0,6 i został dobrany w taki sposób, aby uzyskać możliwie maksymalny moment znamionowy.

Wielobiegunowy silnik bezszczotkowy z magnesami trwałymi może być wykorzystany do napędu suwaków rozdzielaczy serwozaworów w siłowniku FBW jak i również do lotniczych zaworów o tzw. napędzie bezpośrednim.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy, zwłaszcza do zastosowań lotniczych w systemach sterowania elektronicznego (FBW), posiadający stojan z wieloma zębami, na które nawinięte jest uzwojenie oraz rozmieszczonymi obwodowo w równych odstępach, wirnik z wieloma magnesami trwałymi obracający się wokół osi silnika, przy czym stojan oraz wirnik usytuowane są w układzie osiowym względem osi obrotu silnika tak, że pomiędzy nimi występuje szczelina, **znamienny tym**, że wirnik (2) posiada co najmniej osiem magnesów (3), a stojan (1) posiada co najmniej dwanaście zębów (4), z których każdy umieszczony jest w obwodowym wycięciu (6) jarzma (5) i połączonych przynajmniej w cztery niezależne kanały (I, II, III, IV), przy czym na końcu zęba (4), który jest zwrócony w stronę magnesów (3) wirnika (2) znajduje się nabiegunk (9) mający postać stopy, która rozszerza się w kierunku magnesów (3), a bliżej przeciwnego końca zęba (4), po jego obu bokach znajdują się ramiona (8), na których wspiera się jarzmo (5) stojana (1).
2. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że silnik zasilany jest prądem trójfazowym, przy czym każdy kanał (I, II, III, IV) posiada niezależny obwód uzwojenia i układ sterowania, a do każdego z trzech zębów (4) w każdym kanale (I, II, III, IV) przyłączona jest osobna faza.
3. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jarzmo (5) oraz zęby (4) stojana (1) wykonane są z pakietu blach elektrotechnicznych.
4. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że posiada dwanaście zębów (4) i osiem magnesów trwałych (3).
5. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że posiada dwadzieścia cztery zęby (4) i szesnaście magnesów trwałych (3).
6. Wielokanałowy bezszczotkowy silnik osiowo-strumieniowy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stosunek średnicy zewnętrznej ( $d_2$ ) do średnicy wewnętrznej ( $d_1$ ) wirnika (2) wynosi 0,6.
7. Zastosowanie wielokanałowego bezszczotkowego silnika osiowo-strumieniowego określonego w którymkolwiek z zastrzeżeń od 1 do 6 do napędu suwaka obrotowego w serwo-siłownikach lub serwozaworach stosowanych w systemach sterowania elektronicznego (FBW) w zastosowaniach lotniczych.

Rysunki

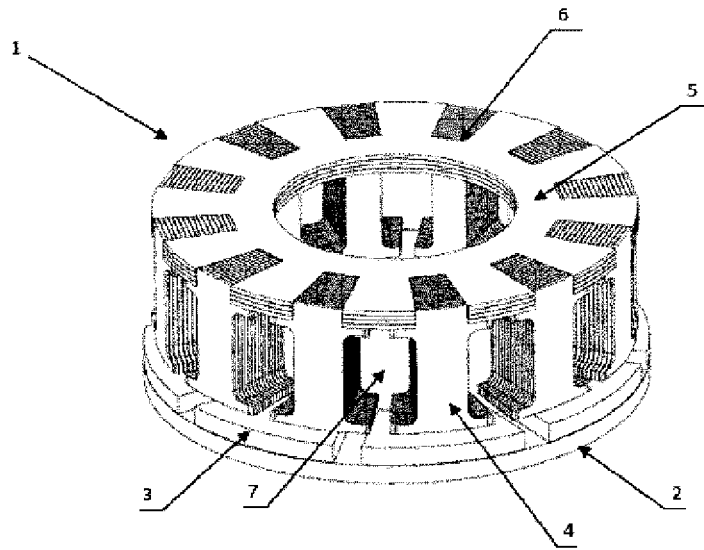


Fig. 1

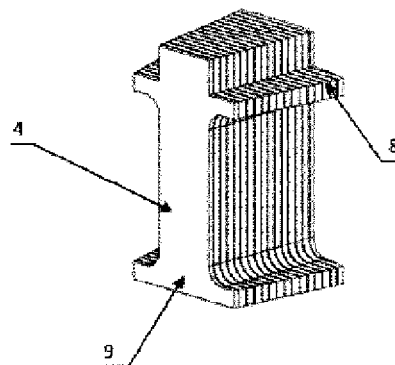


Fig. 2

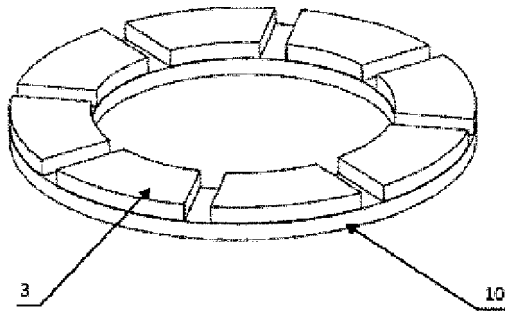


Fig. 3

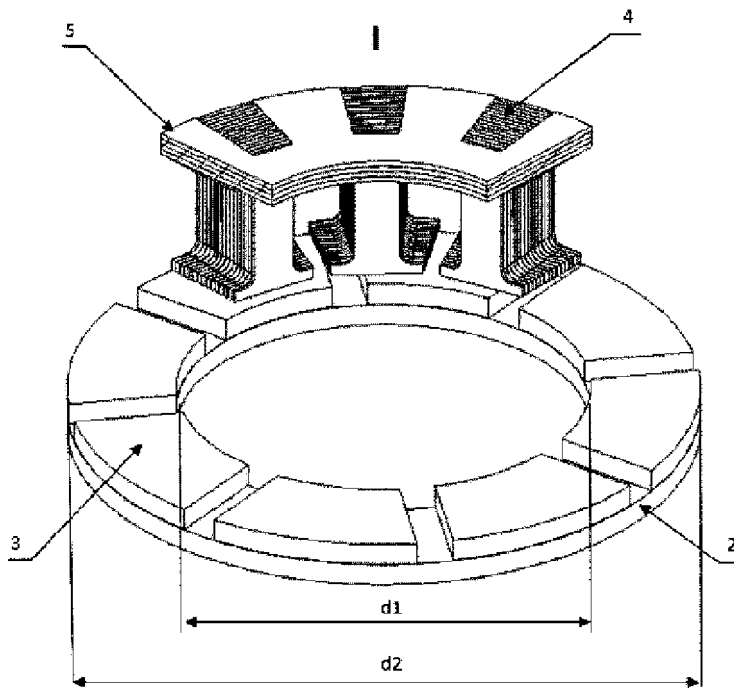


Fig. 4

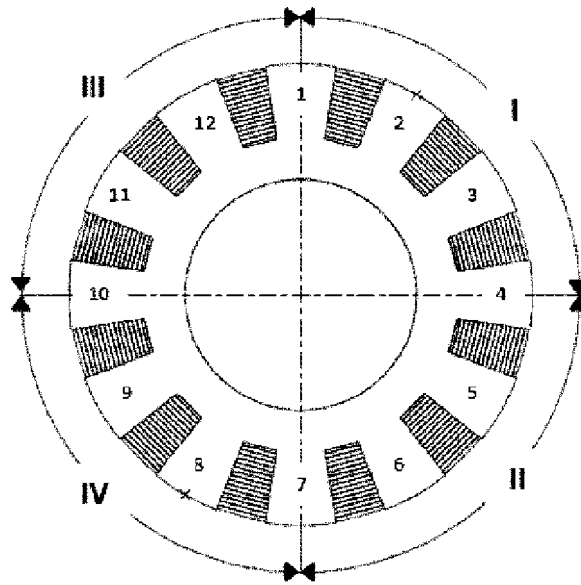


Fig. 5