

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247156 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437412**

(22) Data zgłoszenia: **2021.03.25**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.09.26 BUP 39/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.05.19 WUP 20/2025**

(51) MKP:

H02K 1/14 (2006.01)

H02K 1/2781 (2022.01)

H02K 29/03 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:
**JERZY SKWARCZYŃSKI, Kraków, PL
TOMASZ DRABEK, Kraków, PL
TOMASZ LERCH, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Maciej Magoński, Kraków, PL

(54) Tytuł:

Maszyna elektryczna zaczepowa

PL 247156 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest maszyna elektryczna zaczepowa, tj. maszyna elektryczna wykorzystująca do swojego funkcjonowania momenty elektromagnetyczne, działające pomiędzy zębami ferromagnetycznego twornika z cewkami nazębnymi, a magnesami trwałymi wzbudzenia w liczbie równej liczbie zębów jednego segmentu twornika.

Maszyny elektryczne z magnesami trwałymi są konstrukcjami powszechnie znanymi i używanymi. Występują one jako maszyny elektryczne pola wirującego, a więc maszyny synchroniczne (Permanent Magnet Synchronous Machine/Motor – PMSM, Internal Permanent Magnet Synchronous Machine/Motor – IPMSM, Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Machine/Motor – SMPMSM, np. [Zalas P., Antal L, SILNIK PMSM MAŁEJ MOCY PRZEZNACZONY DO ROZRUCHU SYNCHRONICZNEGO, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, Nr 3/2012 (96), wyd. INiME „Kornel”, Katowice, 2012]) lub jako maszyny elektryczne przełączalne, o różnych zasadach działania (bezszytkowy silnik prądu stałego DC brushless [Krykowski K., Silniki PM BLDC – właściwości, sterowanie, aplikacje, wyd. BTC, Legionowo, 2015], silnik skokowy hybrydowy [Wróbel T.: Silniki skokowe, wyd. WNT, Warszawa, 1993], maszyny ze strumieniem przełączanym – Switched Flux Machine/Motor – SFM, np. silniki HEFSM – patent [HOANG E., LECRIVAIN M., GABSI M., Machine électrique a commutation de flux et a double excitation. Brevet n° de dépôt FR0602058, déposant: CNRS, 8 mars 2006. March 8, 2007. International patent.], maszyny z polem poprzecznym Transverse Flux Machine – TFM). We wszystkich tych silnikach moment elektromagnetyczny jest sumą trzech momentów składowych, zależnych od położenia wirnika: momentu wzbudzeniowego, momentu reluktancyjnego i momentu zaczepowego [Gajewski M., Analiza pulsacji momentu w silnikach bezsztytkowych z magnesami trwałymi, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2006]. Do wytworzenia momentu użytkowego w w/w maszynach wykorzystywane są dwa pierwsze z nich. Moment zaczepowy jest momentem pasożytniczym, występującym we wszystkich maszynach elektrycznych z magnesami trwałymi i rdzeniem ferromagnetycznym. Jest to moment magnetyczny powstający skutkiem magnetycznego przyciągania się magnesów wzbudzenia i ferromagnetycznych zębów twornika [Gajewski, dz. cyt oraz Goryca Z., Wolnoobrotowy generator tarczowy do małej elektrowni wiatrowej, XVI Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 2008 a także Łukaniszyn M., Młot A., Analiza momentu elektromagnetycznego i składowych pulsacji w bezsztytkowym silniku prądu stałego wzbudzonym magnesami trwałymi, Przegląd Elektrotechniczny 10/2005]. Bardziej ogólnie można stwierdzić, że moment zaczepowy powstaje w wyniku współdziałania pola magnetycznego wytworzonego przez magnesy trwałe z obwodem magnetycznym twornika charakteryzującym się zmiennością przewodności magnetycznej dla strumienia magnetycznego wzbudzenia [Ziółek M., Analiza pracy silnika bezsztytkowego z cylindrycznym uzwojeniem i zewnętrznym wirnikiem, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2013]. Istnienie zębów twornika jest obiektywnie trudne do konstrukcyjnego wyeliminowania, ponieważ wynika ono z konieczności umieszczenia uzwojenia w maszynie w taki sposób, aby jego objętość nie powiększała objętości części maszyny o niskiej przenikalności magnetycznej.

Uzyskuje się to lokując uzwojenia w żłobkach pomiędzy ferromagnetycznymi zębami o dużej przenikalności magnetycznej, przez które zamyka się strumień magnetyczny maszyny.

Minimalizacja momentu zaczepowego jako momentu pasożytniczego prowadzona jest przez odpowiedni dobór wymiarów poszczególnych elementów obwodu magnetycznego maszyny [Łukaniszyn dz. cyt oraz Goryca Z., Ziółek M., Malinowski M., MOMENT ZACZEPOWY WIELOBIEGUNOWEJ MASZINY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, Nr 88/2010, wyd. BOBRME „Kornel”, Katowice, 2010]. Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem minimalizacji momentu zaczepowego jest wykonanie skośnych żłobków stojana, tj. w najpopularniejszych maszynach o ruchu obrotowym i magnesowaniu radialnym, żłobków nierównoległych do wału maszyny [Gajewski dz. cyt, Goryca 2008 dz. cyt, a także Bernatt J., Obwody elektryczne i magnetyczne maszyn elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi, monografia BOBRME „Kornel”, Katowice, 2010]. Dualnym do powyższego sposobem minimalizacji momentu zaczepowego jest zastosowanie zamiast skośnych żłobków, skosu magnesów [Łukaniszyn dz. cyt oraz Ziółek dz. cyt]. Inną metodą minimalizacji momentu zaczepowego w maszynach o ruchu obrotowym i magnesowaniu radialnym jest odpowiedni dobór rozpiętości kątowej magnesów wzbudzenia maszyny względem podziałki żłobkowej (zębowej) jej twornika. Metodą minimalizacji momentu zaczepowego jest również odpowiedni dobór liczby zębów twornika względem liczby magnesów wzbudzenia [Łukaniszyn dz. cyt, Goryca 2010 dz. cyt a także Goryca 2013 dz. cyt.], np. umieszczając uzwojenie twornika w nieparzystej liczbie żłobków, różnej o 1 lub o 3 od

parzystej liczby biegunów (zarazem magnesów) maszyny [Goryca 2008 dz. cyt oraz Łukaniszyn dz. cyt].

Znane jest z opisu zgłoszenia patentowego nr EP2571141A1, rozwiązanie charakteryzujące się tym, że twornik złożony jest z co najmniej dwóch konstrukcyjnie identycznych segmentów, z których każdy posiada cewki nazębne, przesunięte w stosunku do cewek nazębnych innego segmentu o wektor o tym samym kierunku co kierunek ruchu elementu ruchomego maszyny i długości wynikającej z liczby zębów, przy czym liczba zębów każdego segmentu twornika jest liczbą parzystą równą liczbie magnesów jednego segmentu.

W maszynie opisywanej w zgłoszeniu nie zastosowano żadnej ze znanych metod redukcji momentu zaczepowego: na prostych zębach segmentu twornika umieszczone są cewki obejmujące pojedyncze zęby, których liczba jest dokładnie równa liczbie magnesów segmentu wirnika pozbawionych skosu, a podziałka biegunowa magnesów jest równa podziałce żłobkowej segmentu twornika. Wytwarzany moment zaczepowy jest w tych warunkach znaczny i w pewnym zakresie położeń wirnika w sposób ilościowo istotny wspomaga roboczy moment wzbudzeniowy. Dlatego maszynę nazwano zaczepową, mając na uwadze reakcję wirnika na moment elektromagnetyczny wytwarzany w każdym segmencie oddzielnie.

Istotą maszyny elektrycznej zaczepowej składającej się z części stojanowej posiadającej uzwojenie utworzone z cewek nawiniętych wokół pojedynczych zębów ferromagnetycznego rdzenia oraz części wirnikowej wyposażonej w magnesy, której obwód magnetyczny części stojanowej złożony jest z co najmniej dwóch, geometrycznie i konstrukcyjnie identycznych, ferromagnetycznych, posiadających żłobki segmentów, przesuniętych kątowno względem siebie o kąt o wartości wynikającej z liczby zębów jednego segmentu, zaś liczba żłobków i zębów każdego segmentu jest liczbą parzystą, jest to, że segmenty są przesunięte kątowno o kąt o wartości spełniającej wzór: $\varphi_s = (360^\circ)/(S \cdot pb)$, gdzie φ_s oznacza przesunięcie kątowne segmentu, S stanowi liczbę segmentów a pb – liczbę par biegunów. Ponadto cewki uzwojenia części stojanowej mają boki umieszczone w żłobkach każdego segmentu i są cewkami nałożonymi na zęby segmentu, czyli cewkami o poskoku równym 1. Cewki jednego segmentu są ze sobą połączone elektrycznie, szeregowo lub równolegle lub szeregowo-równolegle, tworząc jedno uzwojenie fazowe (pasma) części stojanowej, zaś liczba uzwojeń fazowych (pasm) części stojanowej jest równa liczbie segmentów części stojanowej. Ponadto ferromagnetyczny obwód magnetyczny części wirnikowej jest jednosegmentowy, poosiowa długość obwodu magnetycznego części wirnikowej jest równa całkowitej długości poosiowej uzwojonej części stojanowej, natomiast magnesy umieszczone są na obwodzie ferromagnetycznego obwodu magnetycznego części wirnikowej i są namagnesowane naprzemiennie, w kierunku szczeliny powietrznej pomiędzy częścią stojanową a częścią wirnikową maszyny. Ponadto liczba magnesów jest równa liczbie zębów jednego segmentu części stojanowej.

Maszyna elektryczna zaczepowa może stanowić maszynę o ruchu obrotowym, w której twornik umieszczony jest na stojanie, natomiast wzbudzeniem są magnesy wirnika, przy czym możliwa jest również konstrukcja odwrotna, tzn. część ruchoma (wirnik) z magnesami jest zewnętrzną względem nieruchomego twornika.

Główną zaletą zgłaszanego rozwiązania jest lepszy stosunek mocy do masy maszyny w porównaniu do znanych konstrukcji maszyn z magnesami trwałymi. Dzięki zastosowaniu proponowanego rozwiązania będzie można zbudować maszynę elektryczną o danej mocy wykorzystując do tego celu mniejszą ilość materiałów do budowy obwodów elektrycznych i magnetycznych.

Przykład wykonania uwidoczniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia złożony trójsegmentowy, trójfazowy silnik elektryczny zaczepowy w widoku z frontu, Fig. 2 przedstawia ten sam silnik w widoku z boku, Fig. 3 przedstawia ferromagnetyczną, uzwojoną część stojanową trójsegmentowego, trójfazowego silnika elektrycznego zaczepowego w widoku z przodu, Fig. 4 przedstawia tę samą część stojanową w widoku z boku, Fig. 5 przedstawia ferromagnetyczny wirnik z magnesami trwałymi zamontowanymi biegunami magnetycznymi na przemian (N-S-N-S...), natomiast Fig. 6 przedstawia ferromagnetyczny segment wirnika z magnesami trwałymi zamontowanymi biegunami magnetycznymi na przemian (N-S-N-S...).

Przykładowe wykonanie maszyny zaczepowej to wykonanie jej jako trójsegmentowego (1A, 1B, 1C) silnika trójfazowego o ruchu obrotowym i magnesowaniu radialnym, przeznaczonego do zasilania trójfazowym, symetrycznym układem prądów sinusoidalnych. Każdy segment silnika zawiera część stojanową 1 i wirnikową 4, przy czym cylindryczny wirnik z magnesami powierzchniowymi 5, zapewniającymi magnesowanie radialne silnika, może być jeden, wspólny dla wszystkich trzech segmentów części stojanowej (fig. 2, 5).

Trzy identyczne, kołowe segmenty 1A, 1B, 1C części stojanowej 1 umieszczone są liniowo jeden za drugim, w odległościach od siebie umożliwiających fizyczne zmieszczenie cewki 2 uzwojenia każdego z segmentów pomiędzy nimi, i przekręcone względem siebie o kąt 120 stopni elektrycznych (fig. 3). Każdy segment części stojanowej 1 wykonany jest z izolowanych od siebie ferromagnetycznych blach silnikowych z parzystą liczbą żłobków 3 i zębów 8 pomiędzy nimi, znajdujących się po stronie szczeliny powietrznej pomiędzy częścią stojanową 1 a częścią wirnikową 4. W żłobkach umieszczone jest uzwojenie jednej z trzech faz twornika, wykonane w postaci cewek 2 nawiniętych na pojedynczych zębach, tj. cewek 2 o poskoku $y=1$. Cewki 2 wykonane są z miedzianego drutu nawojowego w izolacji (np. w emalii) i korzystnie umieszczone na karkasach, nakładanych na zęby 8 części stojanowej 1. Wszystkie cewki 2 danej fazy, tj. danego segmentu części stojanowej 1: 1A lub 1B lub 1C, połączone są ze sobą szeregowo. Jako blachy segmentów części stojanowej 1 mogą być wykorzystane blachy o wykrojach stojanów maszyn pola wirującego (np. silników indukcyjnych), a więc typowe blachy silnikowe o parzystej ilości żłobków 3 i zarazem zębów 8 pomiędzy nimi.

Cylindryczny wirnik 4 (fig. 5) z otworem na wał napędowy 6 jest również wykonany z ferromagnetyka (w sensie obwodu magnetycznego), złożonego z izolowanych od siebie blach ferromagnetycznych lub litego, z magnesami 5 umieszczonymi na pobocznicy walca wirnika (np. znaną techniką klejenia magnesów), równoległe do jego osi, biegunami magnetycznymi na przemian (N-S-N-S-...), zaznaczonymi na fig. 1, 2, 5, 6. Przekrój poprzeczny każdego magnesu ograniczony jest dwoma łukami: o promieniu walca wirnika (od strony wirnika, gdzie magnes jest zamocowany) i promieniu powiększonym o przyjętą grubość magnesu 5 (od strony szczeliny powietrznej pomiędzy magnesami a segmentami części stojanowej 1). Dzięki temu magnesy 5 mają kształt łukowy. Liczba magnesów 5 (będących biegunami wzbudzenia silnika) jest równa liczbie zębów 8 części stojanowej 1 i jest liczbą parzystą. Część wirnikowa 4 nie musi podlegać segmentyzacji, tj. może być wykonana jako jeden cylinder ferromagnetyczny z magnesami (fig. 5), o długości równej sumie długości wszystkich trzech segmentów i dwóch odległości pomiędzy nimi. Widoczne na fig. 1, 5, 6 otwory 7 w części wirnikowej 4, równoległe do osi maszyny, są opcjonalne i nieistotne dla prawidłowego funkcjonowania maszyny.

Część wirnikowa 4 i segmenty części stojanowej 1 zmontowane są współśrodkowo, ze stałą (niezależną od położenia części wirnikowej 4) szczeliną powietrzną pomiędzy magnesami a segmentami części stojanowej 1, o wielkości typowo nie przekraczającej kilku mm. Część wirnikowa 4 może się obracać wewnątrz współśrodkowych otworów segmentów części stojanowej 1 dzięki ułożyskowaniu wału 6.

Zastrzeżenie patentowe

1. Maszyna elektryczna zaczepowa składająca się z części stojanowej (1) posiadającej uzwojenie utworzone z cewek (2) nawiniętych wokół pojedynczych zębów (8) ferromagnetycznego rdzenia oraz części wirnikowej (4) wyposażonej w magnesy (5), której obwód magnetyczny części stojanowej (1) złożony jest z co najmniej dwóch, geometrycznie i konstrukcyjnie identycznych, ferromagnetycznych, posiadających żłobki (3) segmentów (1A, 1B, 1C), przesuniętych kątowno względem siebie o kąt o wartości wynikającej z liczby zębów (8) jednego segmentu, zaś liczba żłobków (3) i zębów (8) każdego segmentu jest liczbą parzystą, **znamienna tym**, że segmenty są przesunięte kątowno o kąt o wartości spełniającej wzór: $\varphi_s = (360^\circ)/(S \cdot p_b)$, gdzie φ_s oznacza przesunięcie kątowne segmentu, S stanowi liczbę segmentów a p_b – liczbę par biegunów, ponadto cewki (2) uzwojenia części stojanowej (1) mają boki umieszczone w żłobkach (3) każdego segmentu i są cewkami (2) nałożonymi na zęby (8) segmentu, czyli cewkami o poskoku równym 1, cewki (2) jednego segmentu są ze sobą połączone elektrycznie, szeregowo lub równoległe lub szeregowo-równoległe, tworząc jedno uzwojenie fazowe (pasma) części stojanowej (1), zaś liczba uzwojeń fazowych (pasm) części stojanowej (1) jest równa liczbie segmentów części stojanowej (1), ponadto ferromagnetyczny obwód magnetyczny części wirnikowej (4) jest jednosegmentowy, poosiowa długość obwodu magnetycznego części wirnikowej (4) jest równa całkowitej długości poosiowej uzwojonej części stojanowej (1), natomiast magnesy (5) umieszczone są na obwodzie ferromagnetycznego obwodu magnetycznego części wirnikowej (4) i są namagnesowane naprzemiennie, w kierunku szczeliny powietrznej pomiędzy częścią stojanową (1) a częścią wirnikową (4) maszyny, ponadto liczba magnesów (5) jest równa liczbie zębów (8) jednego segmentu części stojanowej (1).

Rysunki

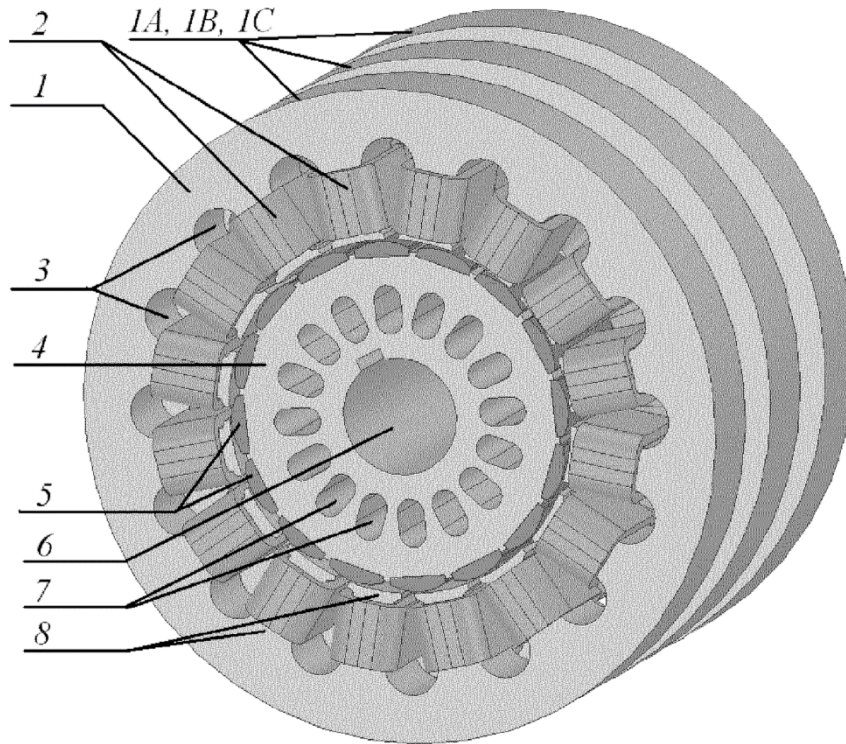


Fig. 1.

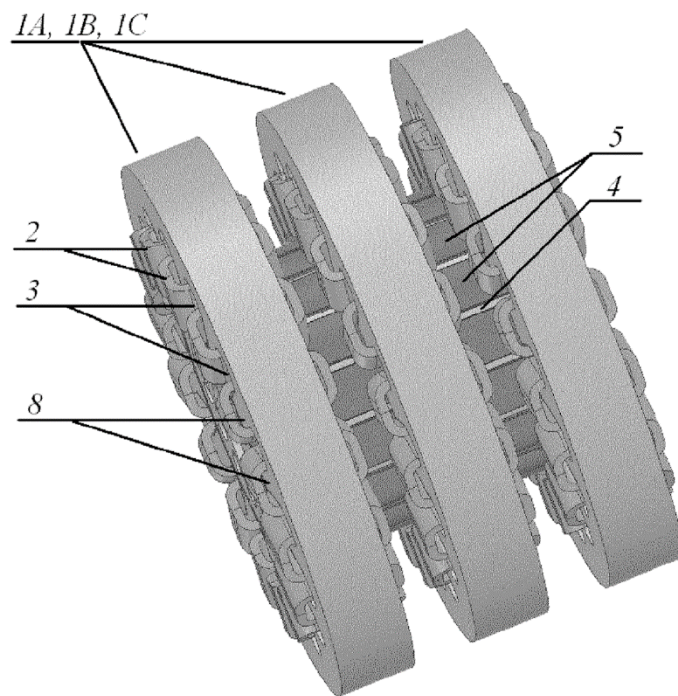


Fig. 2.

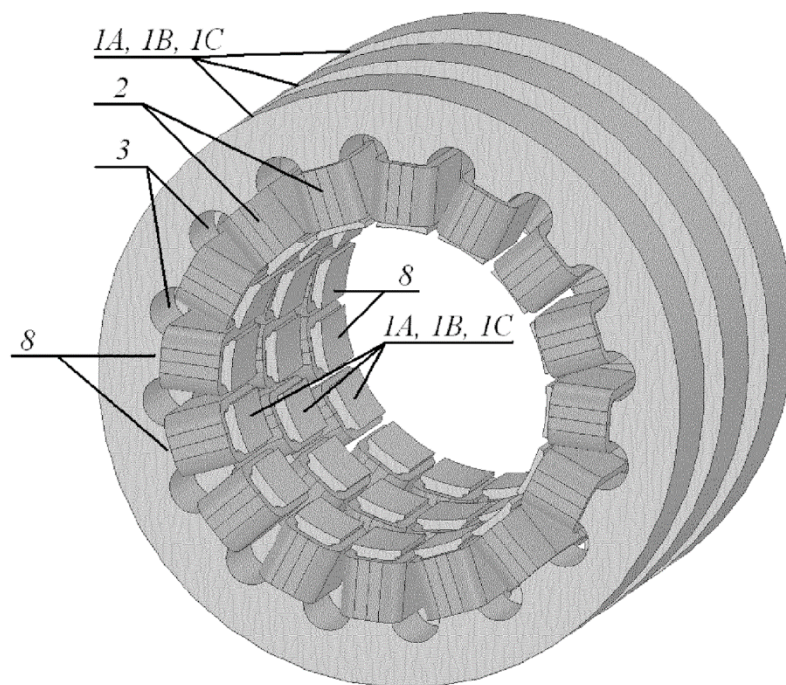


Fig. 3.

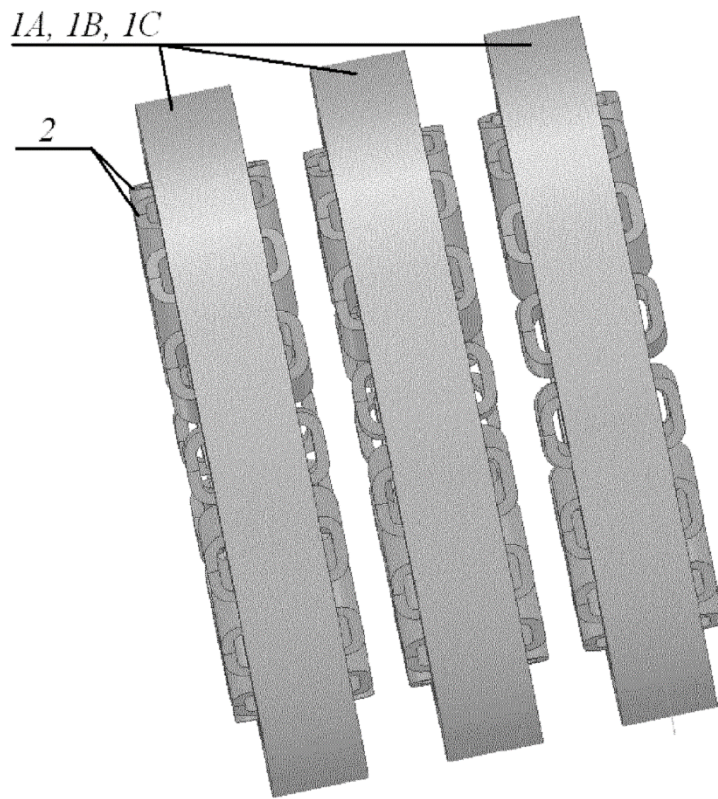


Fig. 4.

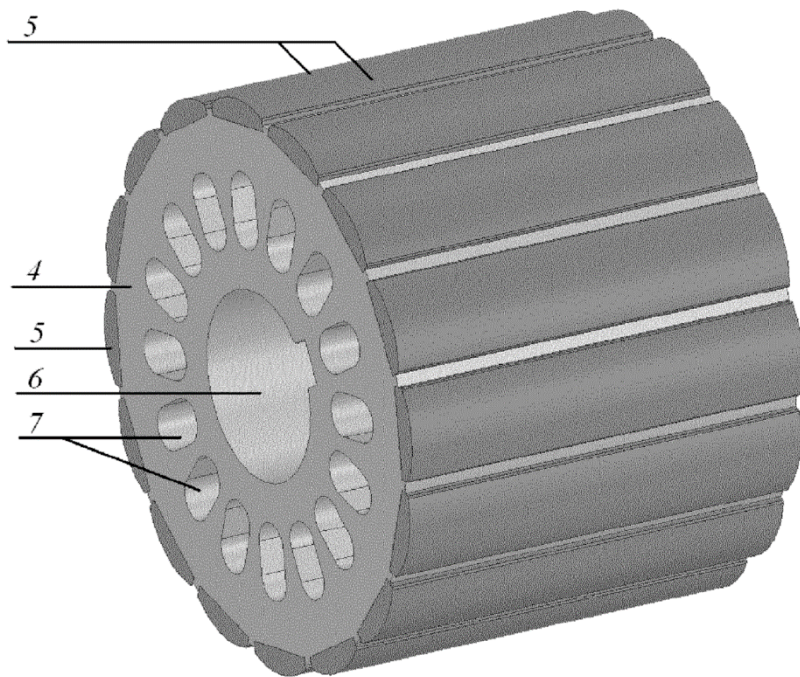


Fig. 5.

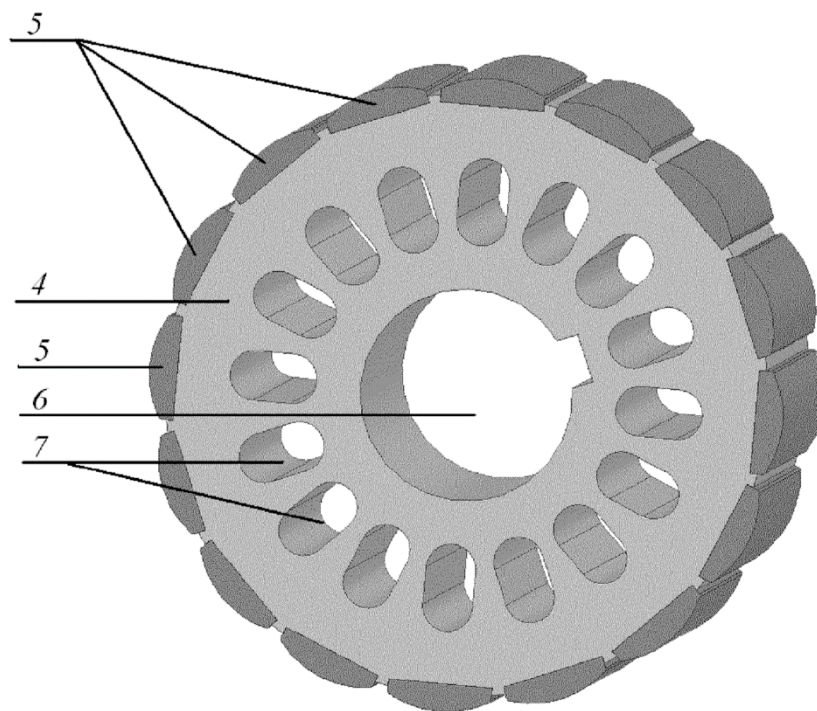


Fig. 6.