

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **240640**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **434592**

(22) Data zgłoszenia: **20.12.2018**

(86) Data i numer zgłoszenia międzynarodowego:
20.12.2018, PCT/UA18/000138

(87) Data i numer publikacji zgłoszenia międzynarodowego:
27.06.2019, WO19/125347

(51) Int.Cl.

H02K 16/02 (2006.01)

H02K 7/116 (2006.01)

H02K 7/08 (2006.01)

(54)

Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny

(30) Pierwszeństwo:

22.12.2017, UA, a 2017 12825

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

04.05.2021 BUP 09/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

09.05.2022 WUP 19/22

(73) Uprawniony z patentu:

MUSHINSKY YEVHENII, Kamieńskie, UA

(72) Twórca(y) wynalazku:

YEVHENII MUSHINSKY, Kamieńskie, UA

MYKHAILO POROZOV, Kamieńskie, UA

VITALII MUSHYNSKYI, Kamieńskie, UA

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Anna Cybulka

PL 240640 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny, przeznaczony dla maszyn elektrycznych do konwersji energii, a w szczególności do generatorów i silników o niskiej indukcyjności w obwodach twornika maszyny elektrycznej.

W konstrukcjach nowoczesnych maszyn elektrycznych stosowane bywają konwertery energii, silników elektrycznych i generatorów, które zapewniają wzrost gęstości strumienia energii elektromagnetycznej i wydajności działania dzięki zastosowaniu magnesów trwałych o dużej sile koercji. Zastosowanie takich magnesów trwałych zmniejsza ilość miedzi w uzwojeniach wzbudzących konwerterów, zmniejszając w ten sposób całkowite straty prądu w konwerterach. Zastąpienie cewek magnesami trwałymi zmienia konstrukcję maszyn elektrycznych. Podczas używania magnesów trwałych, pola magnesów trwałych nie można „wyłączyć”, co prowadzi do wzrostu wysokości zębów wirnika, jakie są potrzebne do uruchomienia konwertera. Stały strumień magnetyczny powoduje również, że siła elektromotoryczna silnika z powrotem staje się liniowa wraz z prędkością, co powoduje zależność prędkości liniowej od momentu obrotowego, co zmniejsza wydajność konwertera.

Większość podejść mających na celu kontrolowanie wydajności przy szczytowej mocy wyjściowej konwerterów z magnesami trwałymi została ukierunkowana na elektroniczne sterowanie kątami wzbudzenia faz i prądem. Takie sterowanie elektroniczne jest skuteczne przy zmianach zależności prędkości liniowej od momentu obrotowego w celu uzyskania bardziej hiperbolicznej zależności prędkości od momentu obrotowego, ale wymaga to zwiększenia rozmiaru i ostatecznie ciężaru konwertera. W szczególności, rozmiar i waga konwerterów jest zwiększana do wielkości i wagi konwerterów wykorzystujących uzwojenia miedziane, co neguje korzyści wynikające z zastosowania magnesów trwałych w konwerterach.

W maszynach elektrycznych, takich jak silniki lub generatory, rezystancja wewnętrzna jest ważnym parametrem, wraz z całkowitą rezystancją wewnętrzną obciążenia, potrzebną do określenia wydajności całego systemu. Ponieważ wewnętrzna rezystancja maszyny elektrycznej jest mniejsza niż całkowita wewnętrzna rezystancja obciążenia, napięcie wyjściowe w maszynie elektrycznej staje się większe niż strata napięcia w źródle pola elektromagnetycznego. W znanych rozwiązaniach technicznych, po to, aby zapewnić najkrótszą ścieżkę rezystencji w uzwojeniach miedzianych maszyny elektrycznej, zapewnia się minimalną rezystencję wewnętrzną oraz minimalizację strat mocy i ciepła przy odprowadzaniu ciepła z maszyny elektrycznej i jej rozpraszaniu.

Przeciwnie, w przypadku nieznacznej indukcyjności wewnętrznej, napięcie wyjściowe wzrośnie wraz ze wzrostem częstotliwości prądu z powodu wzrostu zmiany strumienia wraz z upływem czasu. Poziomy prądu wzbudzenia można następnie zmniejszyć zwiększając częstotliwość prądu, unikając w ten sposób zjawiska nasycenia w maszynie elektrycznej. Spadek wzbudzenia prądu zrekompensuje wzrost częstotliwości prądu, po to, aby straty rdzenia stojana pozostały prawie niezmiennione.

Maszyny do przełączania strumienia magnetycznego (FSM) należą do klasy maszyn o podwójnie wypukłym magnesie trwałym (DPMS) opisanych na przykład w artykule A. Mahmoudi*, N.A. Rahim i W.P. Hew, Axial-flux permanent-magnet machine modeling, design, simulation and analysis, Scientific Research and Essays Tom 6 (12), s. 2525–2549, data publikacji 18 czerwca 2011 r., dostępnym na stronie <http://www.academicjournals.org/SRE>. Istniejące maszyny do przełączania strumienia magnetycznego wykazują pewne wady, w tym stosunkowo niska gęstość momentu obrotowego w porównaniu do innych maszyn z magnesem trwałym.

Takie wady opisano na przykład w opisie zgłoszeniowym wynalazku do patentu USA numer US 20140049124 A1, data publikacji 20 lutego 2014 r. Przedmiotowe zgłoszenie patentowe opisuje maszynę z magnesem trwałym, podobną do maszyny elektrycznej (konwertera) zgodnie z zastrzeżeniem. Przetwornik ma dwa wirniki obracające się w tym samym kierunku. Wadą takiej maszyny są możliwe stosunkowo duże straty indukcji magnetycznej na wirnikach, o czym świadczy schemat na Rys. 2 do opisu wspomnianego wynalazku. Ponadto podobna maszyna jest stosunkowo ciężka z uwagi na zastosowanie ciężkich stalowych wirników.

Znana jest rotacyjna maszyna elektryczna składająca się ze stojana i dwóch wirników ujawniona w opisie zgłoszeniowym wynalazku do patentu USA numer US20060175923 A1, data publikacji 10 sierpnia 2006. Zewnętrzny wirnik jest umieszczony promieniowo na zewnątrz stojana. Wirnik wewnętrzny jest umieszczony promieniowo wewnątrz stojana. Wirniki zewnętrzny i wewnętrzny są wyposażone w magnesy trwałe i obracają się synchronicznie w tym samym kierunku, w przeciwieństwie do konwertera zgodnie z zastrzeżeniem, który ma wirniki z obrotem synchronicznym przeciwbieżnym.

Konwertery, podobne do wspomnianych powyżej, są opisane również w artykule Morenko, K.S. *Bi-rotor electric generators for the wind sets / Morenko K. S., Stepanchuk G.V. // Don Agrarian Science Bulletin. – Zernograd: FGBOU VPO AChAA, 2011. – Nr. 2(14), s. 66–73.* W artykule przedstawiono podwójnie zasilane generatory z podwójnym wirnikiem. Wady podobnych konwerterów opisano powyżej i zostały one wyeliminowane przez konwertery, których oba wirniki obracają się synchronicznie przeciwnie.

Znany jest wzór użytkowy, ujawniony w opisie do prawa ochronnego Chińskiej Republiki Ludowej numer CN204578318, w którym hybrydowy silnik z pamięcią z magnesami trwałymi o osiowym polu magnetycznym i sterowanym strumieniem magnetycznym zawiera dwie tarcze wirnika, stojan i wałek montażowy. Dwie tarcze wirnika są rozmieszczone symetrycznie po obu stronach stojana, stojana i dwóch wirników. Dysk jest montowany współosiowo na wale montażowym, a magnes trwały NdFeB i biegun rdzenia żelaznego, które są naprzemiennie rozmieszczone na pierścieniu wewnętrznym i zewnętrznym, są odpowiednio przyklejone do wewnętrznej powierzchni tarczy wirnika, przy czym namagnesowanie osiowe magnesu trwałego NdFeB, polaryzacja magnesu trwałego NdFeB na zewnątrz pierścienia są takie same, natomiast polaryzacja magnesu trwałego NdFeB na pierścieniu wewnętrznym jest przeciwna do polaryzacji magnesu trwałego NdFeB na pierścieniu zewnętrznym, a względne pozycje na dwóch tarczach wirnika magnesów trwałych NdFeB mają ten sam kierunek namagnesowania. W kolejnym kroku optymalizacji konstrukcji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi sterowanego strumieniem magnetycznym osiowego według tego wzoru, stojan zawiera rdzeń stojana, trójfazowe uzwojenie twornika i jednofazowe uzwojenie impulsowe, rdzeń stojana jest dwustronnie symetryczny. Rdzeń stojana zawiera jarzmo stojana i ząb stojana, zęby stojana są połączone w kształt cylindryczny wraz z jarzmem stojana, a pomiędzy sąsiednimi zębami stojana są utworzone szczeliny stojana, trójfazowe uzwojenie twornika i jednofazowe uzwojenie impulsowe znajdują się w gnieździe stojana i są owinięte wokół stojana na zębach. W następnym podejściu do optymalizacji konstrukcji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi, sterowanego strumieniem magnetycznym, z osiowym polem magnetycznym, według tegoż wzoru, rdzeń stojana jest wykonany z blachy stalowej krzemowej. W dalszym kroku w optymalizacji konstrukcji hybrydowego silnika z pamięcią magnesów trwałych o osiowym polu magnetycznym o sterowanym strumieniu magnetycznym według niniejszego wzoru użytkowego, magnesy trwałe AlNiCo są mocowane na zębach stojana w celu utworzenia przemiennych zębów z magnesami trwałymi stojana i zęby rdzenia stojana, trzy uzwojenia twornika fazowego są owinięte wokół zębów rdzenia stojana, a uzwojenia impulsów jednofazowych są owinięte wokół zębów magnesu stałego stojana. W dalszym kroku w optymalizacji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi o sterowanym strumieniem magnetycznym osiowego według niniejszego wynalazku, magnes trwały AlNiCo ma kształt wentylatora i jest namagnesowany osiowo. Jako dalszy schemat optymalizacji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi sterowanego strumieniem magnetycznym osiowego według niniejszego wynalazku, trójfazowe uzwojenie twornika i jednofazowe uzwojenie impulsowe przyjmują nienakładający się typ uzwojenia skoncentrowanego. W innym podejściu do optymalizacji konstrukcji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi o sterowaniu strumieniem magnetycznym osiowego według niniejszego wynalazku, liczba magnesów trwałych NdFeB i żelaznego rdzenia są takie same. Hybrydowym silnikiem z pamięcią z magnesami trwałymi o sterowanym strumieniu, z osiowym polem magnetycznym, według niniejszego wzoru, jest tarcza wirnika wykonana z materiału niemagnetycznego. W następnym kroku w optymalizacji konstrukcji hybrydowego silnika z pamięcią z magnesami trwałymi sterowanego strumieniem magnetycznym osiowego według niniejszego wynalazku, kształt magnesu stałego neodymowo-żelazowo-borowego i żelaznego rdzenia ma kształt wachlarza, a wirnik ma ten sam kierunek promieniowy dysk. Kierunki to odpowiednio magnesy trwałe NdFeB i rdzenie żelazne.

W opisie do międzynarodowego zgłoszenia wynalazku numer WO 2008/096600, data publikacji 14 sierpnia 2008 r. ujawniono konwerter (silnik) zawierający stojan z pierwszym i drugim twornikiem tworzącym wirujące pole magnetyczne oraz wirnik wewnętrzny posiadający pierwszy i drugi magnes trwały, a wirnik zewnętrzny jest umieszczony między stojanem a wirnikiem wewnętrznym. Zewnętrzny wirnik posiada korpus wirnika do podparcia pierwszego i drugiego dielektrycznego bieguna magnetycznego wykonanego z materiału magnetycznie miękkiego, dzięki czemu są one wkładane do korpusu wirnika. Pierwsze dielektryczne bieguny magnetyczne i drugie dielektryczne bieguny magnetyczne są wyrównane w fazie. Pierwsze i drugie magnetyczne bieguny dielektryczne są wkładane do korpusu wirnika tak, aby były ustawione w kierunku wspólnej osi obrotu konwerterów. Z uwagi na obrót dwuo-

siowy, wirnik zewnętrzny ma nie tylko uproszczoną budowę, aby poprawić swoją wytrzymałość i niezawodność, ale także ma ułatwione podparcie lub montaż dzięki pierwszym i drugim dielektrycznym biegunom magnetycznym w zewnętrznym wirniku. Opisany analog nie zapewnia jednego synchronicznego przeciwnego obrotu ani wirników zewnętrznych ani wewnętrznych.

W opisie wzoru użytkowego do rosyjskiego prawa ochronnego numer RU 166023 U1, data publikacji 10 listopada 2016 r. ujawniono konwerter składający się ze stojana z obwodem magnetycznym, który ma wielofazowe uzwojenie pierścieniowe oraz dwa wirniki indukcyjne zawierające magnesy trwałe. Wirniki są rozmieszczone osobno, z możliwością niezależnego obrotu, to znaczy obrotu z różnymi prędkościami, w przeciwieństwie do proponowanego konwertera, który jest maszyną synchroniczną.

W opisie wynalazku do patentu USA numer US 6,455,969 B1, data publikacji 24 września 2002 r., ujawniono silnik zbudowany jest ze stojana, środkowej warstwy dociskowej, wirnika zewnętrznego i wirnika wewnętrznego. Wirniki te zawierają tę samą liczbę magnesów trwałych, tworzących pole magnetyczne i są przemieszczane względem siebie. Stojan zawiera wiele cewek wzbudzających, których liczba jest równa liczbie magnesów wirnika. Wirniki obracane są w przeciwnych kierunkach, poprzez podanie wielofazowego prądu przemiennego do cewek wzbudzających stojana. Wadą opisanego konwertera jest stosunkowo długa ścieżka strumienia magnetycznego (Rys. 3 i 4), a także duże pola dyspersji i rezystancja magnetyczna konwertera.

Jako prototyp dla niniejszego wynalazku wybrano konwerter elektromechaniczny, hybrydowy wirnik z magnesem trwałym, opisany w opisie zgłoszeniowym wynalazku do patentu USA numer US 20090160391 A1, data publikacji 25 czerwca 2009 r. Konwerter zgodnie z prototypem może działać jako generator i zbudowany jest z wirnika mającego wiele biegunów magnetycznych rozmieszczonych wokół centralnej osi obrotu, stojana zawierającego wiele segmentów stojana oddzielonych szczeliną powietrzną, z których każdy ma co najmniej dwa przeciwnie naładowane bieguny, przy czym wspomniany stojan zawiera również wiele magnesów trwałych, z których każdy ma co najmniej dwa przeciwnie naładowane bieguny i jest umieszczony między inną parą sąsiednich segmentów stojana w polu magnetycznym między cewkami sterującymi. Cewki sterujące są utrzymane pod napięciem w celu wytworzenia strumienia magnetycznego przeciwnego do strumienia magnesów trwałych i wytworzenia momentu obrotowego na biegunach wirnika, zanim te bieguny zrównają się z segmentem stojana cewki sterującej pod napięciem. Magnesy trwałe na segmentach stojana są rozmieszczone szeregowo wzdłuż ścieżki strumienia magnetycznego. Gdy prąd nie płynie w fazie maszyny wielofazowej, umożliwia to sterowanie konwerterem za pomocą uzwojeń fazy. Podczas działania opisanego konwertera rozproszona jest niewielka ilość strumienia magnetycznego. Taki układ strumieni magnetycznych w bezpośrednim sąsiedztwie rozproszonych strumieni magnetycznych, charakterystyczny dla kompaktowych maszyn wielobiegunowych, zmniejsza wydajność konwertera.

Istota konstrukcji przeciwbieżnego synchronicznego konwertera elektromechanicznego, który zgodnie z wynalazkiem zawiera wirnik z wieloma przełącznikami indukcji magnetycznej rozmieszczonymi wokół centralnej osi obrotu oraz stojan zawierający magnesy trwałe i czujniki położenia wirnika, a także segmenty, z których każdy ma cewki indukcyjne oraz cewkę sterującą, **charakteryzuje się tym, że** obudowa stojana zawiera wewnętrzny dysk diamagnetyczny i zewnętrzny dysk diamagnetyczny, natomiast wirnik zawiera co najmniej pierwszy wirnik i drugi wirnik umieszczone po obu stronach stojana, przy czym pierwszy wirnik i drugi wirnik mają możliwość synchronicznego obrotu wokół centralnej osi w przeciwnych kierunkach za pomocą środka przeciwbieżnego, a przełączniki indukcji magnetycznej są rozmieszczone na pierwszym wirniku i drugim wirniku na obwodzie i składają się, co najmniej częściowo, z materiału magnetycznie miękkiego, przy czym magnesy trwałe są umieszczone na obudowie stojana w okręgu, między segmentami stojana i namagnesowane w sposób N-S-N-S lub N-S-S-N, przy czym segmenty stojana są oddzielone od siebie nawzajem szczeliną powietrzną i są utrzymywane przez wewnętrzny dysk diamagnetyczny i zewnętrzny dysk diamagnetyczny. Według innej, korzystnej cechy wynalazku czujnikiem położenia wirnika jest czujnik optyczny lub czujnik efektu Halla. Według kolejnej, korzystnej cechy wynalazku przełączniki indukcji magnetycznej pierwszego wirnika są przesunięte względem przełączników indukcji magnetycznej drugiego wirnika o połowę podziałki biegunowej. Według następnej, korzystnej cechy wynalazku pierwszy wirnik według innej, korzystnej cechy wynalazku i drugi wirnik są wykonane z materiału niemagnetycznego. Według kolejnej, korzystnej cechy wynalazku pierwszy wirnik i drugi wirnik mają wielorowkową powierzchnię wykonaną z materiału magnetycznie miękkiego. Według następnej, korzystnej cechy wynalazku cewki sterujące są połączone szeregowo, a cewki indukcyjne są połączone równoległe i szeregowo poprzez utworzenie co najmniej dwóch równoległych odgałęzień, gdzie jedno odgałęzienie zawiera co najmniej dwie cewki połączone szeregowo.

Według innej, korzystnej cechy wynalazku każdy segment stojana ma kształt litery H, który tworzą zęby na górnym boku stojana i na dolnym boku stojana. Według kolejnej, korzystnej cechy wynalazku środek przeciwbieżny jest skonfigurowany jako mechaniczne urządzenie przeciwbieżne lub jako elektryczne urządzenie przeciwbieżne. Według następnej, korzystnej cechy wynalazku mechaniczne urządzenie przeciwbieżne jest skonfigurowane jako planetarny lub magnetyczny reduktor biegów o przełożeniu przekładni zębatej $i = -1$ połączonym z pierwszym wirnikiem i drugim wirnikiem. Według innej, korzystnej cechy wynalazku sterownik podłączony do czujników położenia pierwszego wirnika i drugiego wirnika służy do sterowania elektrycznym urządzeniem przeciwbieżnym. Według kolejnej, korzystnej cechy wynalazku pierwszy wirnik i drugi wirnik są wyposażone w taką samą liczbę przełączników indukcji magnetycznej. Według następnej, korzystnej cechy wynalazku zawierający dwa lub więcej stojanów, z których każdy jest podłączony do pierwszego wirnika i do drugiego wirnika, które są ustawione nad jedną centralną osią i skonfigurowane do synchronicznego obracania się w przeciwnych kierunkach.

Elektromechaniczny synchroniczny konwerter przeciwbieżny (zwany dalej „konwerterem”) zgodnie z wynalazkiem, stosowany jest w przeciwbieżnych układach turbin wiatrowych, systemach magazynowania energii kinetycznej koła zamachowego i tym podobnych. W korzystnych przykładach wykonania niniejszego wynalazku, konwerter może mieć topologię maszyny do przełączania strumienia magnetycznego, która może być maszyną z magnesem trwałym do przełączania strumienia magnetycznego (FSPM). Takie maszyny mogą działać jako silniki i/lub generatory i temu podobne urządzenia. Konwerter zgodnie ze wspomnianym wynalazkiem może być również zaprojektowany jako silnik synchroniczny lub generator lub silnik i generator połączone szeregowo. W takim przypadku konwerter może być wykorzystywany na przykład jako napęd kołowy w pojeździe elektrycznym i/lub do regeneracji energii podczas hamowania.

Dla rozwiązania problemu zgodnie z przedmiotowym wynalazkiem, zapewniono urządzenie elektromechaniczne z magnesami trwałymi, a mianowicie przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny, działający jako silnik i generator.

Konwerter ma wiele cewek sterujących i cewek indukcyjnych prądu przemiennego (cewek fazowych) niezbędnych do gromadzenia energii w trybie generatora. Konwerter posiada wiele magnesów trwałych (co najmniej dwa) umieszczonych na stojanie, łożyskach i elementach konstrukcyjnych oraz nowatorskie środki przeciwbieżne, które mogą być wykonane jako mechaniczne urządzenie przeciwbieżne lub elektroniczne środki przeciwbieżne. Metoda przepływu współprądowego zastosowana w konstrukcji obwodów magnetycznych (ścieżek strumienia magnetycznego) zgodnie z wynalazkiem zwiększa prawie dwukrotnie gęstość mocy konwertera w porównaniu z konwencjonalnymi konwerterami.

Korzystnie, zastosowanie oddzielnych cewek (cewki sterującej i cewki indukcyjnej prądu przemiennego) nawiniętych na każdym segmencie stojana, upraszcza konstrukcję konwertera i zwiększa niezawodność jego działania w porównaniu do uzwojeń dystrybucyjnych, jak w podobnych konstrukcjach znanych w stanie techniki.

Ponadto stojan nie ma trwale zamocowanych cewek odchylających (jarzma), które służą jedynie jako szkielet do montażu nabiegunków i stanowią przeszkodę na ścieżce strumienia magnetycznego i są źródłem znacznych strat żelaza. Brak cewek odchylających korzystnie eliminuje te straty i znacznie poprawia wydajność konwertera, szczególnie przy dużych prędkościach obrotowych wirników.

Konstrukcja wirnika zawierającego co najmniej pierwszy wirnik i drugi wirnik, które są umieszczone po obu stronach stojana i są obracane synchronicznie wokół osi środkowej w przeciwnych kierunkach (schemat przeciwbieżny), umożliwia prawie dwukrotne zwiększenie momentu obrotowego na jednostkę objętości w porównaniu z konwerterem posiadającym jeden wirnik.

Dwa wirniki, które w procesie pracy konwertera zmieniają położenie swoich przełączników względem biegunów magnetycznych stojana i są przesunięte względem siebie z uwagi na segmenty stojana w kształcie litery H, zmniejszają podziałkę biegunową i ostatecznie zwiększają wydajność konwertera.

W korzystnych przykładach wykonania niniejszego wynalazku, konwerter może mieć topologię maszyny do przełączania strumienia magnetycznego, która może być maszyną z magnesem trwałym do przełączania strumienia magnetycznego (FSPM). Umożliwia to innym osobom biegłym w tej dziedzinie wykorzystanie takich maszyn, jak silniki i/lub generatory.

Umieszczenie każdego magnesu trwałego wykonanego z materiału magnetycznie twardego sąsiadującego z i pomiędzy każdym segmentem stojana wykonanego z materiału magnetycznie miękkiego w celu utworzenia ciągłego pierścienia w taki sposób, że ich bieguny magnetyczne są przeciwne, oraz ich położenie między segmentami stojana w kształcie litery H wokół centralnej osi obrotu na okręgu,

który opisuje strumień magnetyczny stojana, umożliwia zwiększenie momentu obrotowego przemiennika, a ostatecznie jego gęstości mocy. Testowanie konwertera zgodnie z niniejszym wynalazkiem jako silnika potwierdziło wzrost momentu obrotowego o ponad 40% w porównaniu z konwencjonalnymi urządzeniami do przełączania strumienia magnetycznego.

Wykorzystanie dwóch wirników (pierwszego wirnika i drugiego wirnika) obracających się w przeciwnych kierunkach i wyposażonych w wiele przełączników wykonanych z materiału magnetycznie miękkiego umożliwia dostarczenie modulatorów strumienia magnetycznego umieszczonych na tarczy wykonanej z materiału niemagnetycznego i obracających się wokół centralnej osi obrotu, co umożliwia pobór mocy wyjściowej oddzielnie z pierwszego wirnika i z drugiego wirnika oraz cewek indukcyjnych prądu przemiennego.

Konwerter zgodnie z niniejszym wynalazkiem zapewnia niewielkie siły zaczepowe, wysoką skuteczność działania i wysoką gęstość strumienia magnetycznego (strumień magnetyczny w obszarze szczelin magnetycznych). Ze względu na opisaną powyżej geometrię biegunów wirnika i stojana oraz zależności od rozmieszczenia, konwerter może być przystosowany do działania jako generator jednofazowy i wielofazowy i/lub jako silnik.

Każdy segment stojana ma segmentowe promieniowe nabiegunniki w kształcie litery H, z umieszczonymi na nich cewkami sterującymi i cewkami indukcyjnymi prądu przemiennego, co umożliwia zapewnienie magnesów pierwszego wirnika i drugiego wirnika w kształcie klina, względem środkowej osi obrotu, o szerokości w kształcie klina, która zwiększa się wraz ze wzrostem odległości od stojana. Taki kształt magnesów umożliwia obrót nabiegunników stojana przy dużej prędkości obrotowej części wirnika bez potrzeby dodatkowego mocowania magnesów, co upraszcza konstrukcję konwertera i zwiększa niezawodność jego działania.

W jednym z korzystnych przykładów wykonania niniejszego wynalazku, konwerter posiada środki przeciwbieżne niezbędne do zapewnienia synchronicznego obrotu pierwszego wirnika i drugiego wirnika. Takie środki mogą być przystosowane jako przekładnia mechaniczna z przełożeniem przekładni $i = -1$ lub jako dyferencjał z trwale zamocowanym kołem centralnym lub jako przekładnia obiegowa lub przekładnia epitochoidalna z korpusami pośrednimi lub przekładnia przeciwdziałająca rotacji pokazana na RYS. 2. Jako alternatywa, synchronizacja pierwszego wirnika i drugiego wirnika możliwa jest dzięki sterownikowi wyposażonemu w czujniki położenia wirnika do przełączania cewek sterujących w konwerterze, na przykład czujniki efektu Halla do wykrywania kąta obrotu każdego wirnika.

Umieszczenie zębów w ilości $6n$ na górnym boku stojana i dolnym boku stojana oraz wyposażenie każdego wirnika w bieguny w ilości $6n \pm 2$, gdzie n wynosi < 2 , umożliwia zwiększenie współczynnika uzwojenia, który pokazuje poziom wydajności wykorzystania uzwojenia i dowodzi większej wydajności działania i kompaktowości konwertera. Opisana konfiguracja jest najbardziej odpowiednia, gdy każdy ząb stojana jest rdzeniem uzwojenia, utrzymującym jedną oddzielną cewkę sterującą lub cewkę indukcyjną prądu przemiennego („uzwojenie skoncentrowane”).

Wynalazek zgodny z zastrzeżeniem jest zilustrowany następującym przykładem wykonania konwertera, jego działaniem i osiągnięciem celu technicznego oraz poniższymi rysunkami:

- Rys. 1 jest widokiem ogólnym konwertera z częściowym widokiem przekroju zgodnie z przykładem wykonania niniejszego wynalazku;
- Rys. 2 jest schematem przedstawiającym przekrój podłużny konwertera zgodnie z przykładem wykonania niniejszego wynalazku;
- Rys. 3 jest schematem przedstawiającym przekrój poprzeczny konwertera z promieniowym strumieniem magnetycznym zgodnie z drugim przykładem wykonania niniejszego wynalazku;
- Rys. 4 jest schematem linii strumieni magnetycznych obwodu otwartego konwertera w jego przekroju poprzecznym zgodnie z przykładem wykonania niniejszego wynalazku;
- Rys. 5 jest fragmentem obliczeń linii strumieni magnetycznych w dwubiegunowym stojanie 3D w kształcie litery H z górnymi i dolnymi przełącznikami w momencie maksymalnej indukcji magnetycznej, widok z zewnątrz stojana;
- Rys. 6 jest fragmentem obliczeń linii strumieni magnetycznych w dwubiegunowym stojanie 3D w kształcie litery H z górnymi i dolnymi przełącznikami w momencie maksymalnej indukcji magnetycznej, widok od strony dolnego przełącznika.
- Rys. 7 jest widokiem ogólnym osiowego (połączonego krawędzią) konwertera zbudowanego ze stojana i dwóch wirników zgodnie z przykładem wykonania niniejszego wynalazku.

Powyższe przykłady realizacji wynalazku i rysunki zostały przedstawione w celu zilustrowania i opisu i nie wyczerpują ani ograniczają liczbę możliwych przykładów wykonania wynalazku zgodnie z wyżej wymienionymi cechami.

Zgodnie z przykładem realizacji niniejszego wynalazku przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny jest zaprojektowany jako synchroniczny generator z magnesem trwałym do przełączania strumieni magnetycznych (FSPM) (Rys. 1).

Dla celów ilustracyjnych wspomniany generator pokazano w postaci generatora jednofazowego i 48-biegunowego, ale należy rozumieć, że nie ma ograniczenia liczby magnesów i liczby biegunów.

Generator zawiera stacjonarny stojan **1** i wirnik składający się z pierwszego wirnika **2** i drugiego wirnika **3** umieszczonych po obu stronach stojana **1**. Pierwszy wirnik **2** i drugi wirnik **3** są wykonane z materiału niemagnetycznego i obracają się synchronicznie wokół osi centralnej O-O w przeciwnych kierunkach.

Pierwszy wirnik **2** i drugi wirnik **3** mają bieguny indukcyjne wykonane jako przełączniki **4** i **5** i są rozmieszczone wokół środkowej osi obrotu O-O. Bieguny indukcyjne **4** i **5** wykonane są z materiału magnetycznie miękkiego i w określonych odstępach są rozmieszczone obwodowo na pierwszym wirniku **2** i na drugim wirniku **3**.

Stojan **1** ma ferromagnetyczne segmenty **6** w kształcie litery H oraz magnesy trwałe **7** o biegunach N i magnesy trwałe **8** o biegunach NS, zaprojektowane do wytworzenia głównego pola magnetycznego konwertera. W jednym aspekcie, stojan **1** może zawierać **24** segmenty w kształcie litery H, które tworzą zęby na górnym boku stojana **1** i na dolnym boku stojana **1**. W tym przypadku łączna liczba zębów segmentów **6** w kształcie litery H wynosi **96**, z **48** zębami na górnym boku i na dolnym boku stojana **1**. Każdy segment **6** stojana **1** jest oddzielony szczeliną powietrzną i ma dwa przeciwieście nalożone bieguny **9** i **10**. Każdy z magnesów trwałych **7** i **8** jest umieszczony między inną parą sąsiednich segmentów **6** stojana **1**.

Każdy z magnesów trwałych **7** i **8** wykonany z materiału magnetycznie twardego jest umieszczony w sąsiedztwie i pomiędzy każdym z segmentów **6** stojana **1** wykonanych z materiału magnetycznie miękkiego, a bieguny magnesów trwałych **7** i **8** są rozmieszczone w sposób N-S-N-S.

Miedziane cewki sterujące **11** są zaprojektowane do przełączania strumienia magnetycznego, a cewki indukcyjne prądu przemiennego **12** i **13**, w których indukowane jest pole elektromagnetyczne, są nawinięte na zębach każdego segmentu **6** stojana **1**. Zęby mają segmentowaną postać w kształcie pierścienia utworzonego przez segmenty **6** w kształcie litery H.

Jako alternatywa, zęby mogą mieć dwie przeciwległe części stojana **1** skierowane odpowiednio w stronę pierwszego wirnika i drugiego wirnika. W tym przypadku zęby stojana **1** są wykonane bez nabiegunków, umożliwiając w ten sposób mocowanie indywidualnych cewek poprzez ich zazębienie z zębami stojana **1** w kształcie litery H. W tym przypadku cewki są wykonane osobno.

Cewki sterujące **11** wszystkich segmentów **6** stojana **1** są połączone szeregowo w ilości 96 cewek, zgodnie z przykładem wykonania niniejszego wynalazku. Cewki indukcyjne prądu przemiennego **12** i **13** są połączone szeregowo w taki sposób, że tworzą co najmniej dwa równoległe odgałęzienia, po 48 cewek w każdym odgałęzieniu, zgodnie z przykładem wykonania wynalazku.

Wszystkie wyżej wymienione cewki mogą być wykonane z dowolnego odpowiedniego materiału znanego ze stanu techniki. Na przykład cewki mogą być wykonane z miedzi, chociaż przykłady wykonania wynalazku nie są ograniczone do tego materiału.

Segmenty **6** są oddzielone od siebie szczeliną powietrzną i są utrzymywane przez wewnętrzny dysk diamagnetyczny **14** i zewnętrzny dysk diamagnetyczny **15**.

Stojan **1** może mieć budowę modułową, która upraszcza jego produkcję. Każdy taki moduł może zawierać kilka segmentów **6** i może być wykonany z materiału magnetycznie miękkiego (na przykład tłoczywo w postaci arkuszy (SMC)) lub stal krzemowa z wbudowanym magnesem (na przykład PM), a cewki **11**, **12** i **13** można owinąć wokół materiału z wbudowanym magnesem.

Każda faza konwertera może mieć jedną lub więcej cewek sterujących **11** i cewek indukcyjnych prądu przemiennego **12** i **13**. Tam gdzie stojan **1** ma strukturę modułową, liczbę modułów określa liczba zwojów cewek pomnożona przez liczbę faz w konwerterze. W tym przypadku odwrotne pole elektromagnetyczne jest sinusoidalne, nawet jeśli uzwojenia powyższych cewek są skoncentrowane, a ich obwód połączeniowy jest otwarty, jeśli konwerter ma postać trójfazowej maszyny elektrycznej.

Zasadniczo stojan **1** może być umieszczony wewnątrz niemagnetycznego materiału, takiego jak na przykład żywica epoksydowa lub aluminium.

Magnesy trwałe **7** i **8** są umieszczone między segmentami stojana **6** na okręgu, który opisuje strumień magnetyczny stojana **1**. Magnesy stałe **7** i **8** mogą być wykonane z dowolnego odpowiedniego materiału znanego ze stanu techniki, na przykład neodymowy-żelazo-bor (NdFeB) lub stop aluminium, nikiel i kobalt (Alnico), chociaż przykłady wykonania wynalazku nie są ograniczone do tych materiałów. W opisanym przykładzie wykonania wynalazku, magnesy trwałe **7** i **8** są wykonane z NdFeB-30 (neodymowy-żelazo-bor). Zgodnie z wyżej wspomnianym przykładem wykonania niniejszego wynalazku liczba magnesów w górnym i dolnym boku stojana **1** wynosi 24.

Bieguny indukcyjne **4** pierwszego wirnika **2** są przesunięte od biegunów indukcyjnych **5** drugiego wirnika **3** o pół podziałki biegunowej. Pierwszy wirnik **2** i drugi wirnik **3** mają wielorowkową powierzchnię, tj. pierwszy wirnik **2** ma zęby **16** i drugi wirnik **3** ma zęby **17**. Zęby **16** są połączone z zębami **17** na odwrót w obrębie jednego segmentu **6** w kształcie litery H wokół okręgu.

Każdy pierwszy wirnik **2** i drugi wirnik **3** posiada taką samą liczbę przełączników **4** i **5** wykonanych z materiału magnetycznie miękkiego, które są przesunięte kątowno w stosunku do cewek sterujących i cewek indukcyjnych prądu przemiennego w taki sposób, że są w stanie obracać się wokół środkowej osi obrotu O-O na tarczy wykonanej z niemagnetycznego materiału wirnika **2** i wirnika **3**. W korzystnym przykładzie wykonania niniejszego wynalazku każdy z wirników **2** i **3** ma **12** przełączników ferromagnetycznych **4** i **5**.

Wirniki **2** i **3** obracają się w przeciwnych kierunkach w celu zwiększenia prędkości obrotowej i wyeliminowania efektu momentu obrotowego. Synchroniczny obrót pierwszego wirnika **2** i drugiego wirnika **3** wokół centralnej osi O-O w przeciwnych kierunkach może być uaktywniony przez środki przeciwbieżne w postaci na przykład mechanicznego urządzenia przeciwbieżnego **18**. W tym przypadku reduktor przekładni obiegowej mający przełożenie przekładni $i = -1$ podłączony do pierwszego wirnika **2** i drugiego wirnika **3** jest stosowany jako mechaniczne urządzenie przeciwbieżne.

Środki przeciwbieżne występują również w postaci elektronicznych środków przeciwbieżnych, na przykład jako sterownik wyposażony w czujniki do śledzenia położenia wirników **2** i **3** do przełączania cewek sterujących **11**.

Zasada działania opisanego powyżej konwertera zgodnie z przedmiotowym wynalazkiem opiera się na impulsowym przełączaniu kierunku pola magnetycznego w zależności od położenia przełączników **4** pierwszego wirnika **2** (linie magnetyczne **19** na Rys. 4) oraz przełączników **5** drugiego wirnika **3** (linie magnetyczne **20** na Rys. 4) w stosunku do biegunów magnetycznych stojana **1**. Magnesy trwałe **7** i **8** wytwarzają główne pole magnetyczne stojana **1**. Przełączniki **4** i **5** pierwszego wirnika **2** i drugiego wirnika **3** poruszają się w przeciwnych kierunkach i oddziałują na główne pole magnetyczne stojana **1**. Gdy oś **21** bieguna stojana **1** wykona obrót, aby zrównać się z przełącznikami **4** i **5**, impuls prądowy zostanie przyłożony do cewek sterujących **11** (jak pokazano w dolnej części Rys. 4). Kiedy to się zdarzy, pole magnetyczne jest przesunięte do przełącznika **5**. W ten sposób powstają obwody magnetyczne **22**, które przechodzą przez przełączniki **4** i **5**.

Po dalszym ruchu przełączników **4** i **5** obwód magnetyczny pęka, powodując indukcję siły przeciwelektromotorycznej w cewkach indukcyjnych prądu przemiennego pierwszego odgałęzienia **12**. Jednocześnie pole elektromagnetyczne wynosi zero w cewkach indukcyjnych prądu przemiennego drugiego odgałęzienia **13**. Gdy oś magnetyczna **21** przełącznika **5** zrównuje się z następnym biegunem magnetycznym stojana **1**, impuls jest przykładany do cewek sterujących **11** o przeciwnej biegunowości. Kierunek linii strumieni magnetycznych jest odwrócony. Ruch przełączników **4** i **5** przerywa obwód magnetyczny **22** stojana **1** i siła przeciwelektromotoryczna jest indukowana w cewkach indukcyjnych prądu zmiennego drugiego odgałęzienia **13**, pole elektromagnetyczne wynosi zero w cewkach indukcyjnych prądu zmiennego pierwszego odgałęzienia **12**. W cewkach **12** i **13** pierwszego i drugiego odgałęzienia, pole elektromagnetyczne jest naprzemiennie indukowane od 0 do wartości maksymalnej.

Ponieważ ruch przełączników powoduje sinusoidalną zależność przesunięcia pola magnetycznego, indukcja siły przeciwelektromotorycznej w cewkach **12** i **13** jest sinusoidalnym napięciem prądowym. Pole magnetyczne w cewkach **12** i **13** pierwszego i drugiego odgałęzienia jest przesunięte o 90 stopni elektrycznych.

Używając konwertera jako generatora, każdy z wirników można zamontować na wale **23** turbiny wiatrowej.

W rozwiązaniu alternatywnym, zęby na górnym boku stojana **1** i na dolnym boku stojana **1** mogą tworzyć segmentowe nabiegunki w kształcie pierścienia z owiniętymi na nich cewkami sterującymi **11** i cewkami indukcyjnymi prądu przemiennego **12** i **13**.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny zawierający wirnik z wieloma przełącznikami indukcji magnetycznej rozmieszczonymi wokół centralnej osi obrotu oraz stojan zawierający magnesy trwałe i czujniki położenia wirnika, a także segmenty, z których każdy ma cewki indukcyjne oraz cewkę sterującą, **znamienny tym**, że obudowa stojana (1) zawiera wewnętrzny dysk diamagnetyczny (14) i zewnętrzny dysk diamagnetyczny (15), natomiast wirnik zawiera co najmniej pierwszy wirnik (2) i drugi wirnik (3) umieszczone po obu stronach stojana (1), przy czym pierwszy wirnik (2) i drugi wirnik (3) mają możliwość synchronicznego obrotu wokół centralnej osi w przeciwnych kierunkach za pomocą środka przeciwbieżnego, a przełączniki indukcji magnetycznej (4) i (5) są rozmieszczone na pierwszym wirniku (2) i drugim wirniku (3) na obwodzie i składają się, co najmniej częściowo, z materiału magnetycznie miękkiego, przy czym magnesy trwałe (7) i (8) są umieszczone na obudowie stojana (1) w okręgu, między segmentami (6) stojana (1) i namagnesowane w sposób (N-S-N-S) lub (N-S-S-N), przy czym segmenty (6) stojana (1) są oddzielone od siebie nawzajem szczeliną powietrzną i są utrzymywane przez wewnętrzny dysk diamagnetyczny (14) i zewnętrzny dysk diamagnetyczny (15).
2. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że czujnikiem położenia wirnika jest czujnik optyczny lub czujnik efektu Halla.
3. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przełączniki indukcji magnetycznej (4) pierwszego wirnika (2) są przesunięte względem przełączników indukcji magnetycznej (5) drugiego wirnika (3) o połowę podziałki biegunowej.
4. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwszy wirnik (2) i drugi wirnik (3) są wykonane z materiału niemagnetycznego.
5. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwszy wirnik (2) i drugi wirnik (3) mają wielorowkową powierzchnię wykonaną z materiału magnetycznie miękkiego.
6. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 4, **znamienny tym**, że cewki sterujące (11) są połączone szeregowo, a cewki indukcyjne (12) i (13) są połączone równolegle i szeregowo poprzez utworzenie co najmniej dwóch równoległych odgałęzień, gdzie jedno odgałęzienie zawiera co najmniej dwie cewki połączone szeregowo.
7. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że każdy segment (6) stojana (1) ma kształt litery H, który tworzą zęby na górnym boku stojana (1) i na dolnym boku stojana (1).
8. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że środek przeciwbieżny jest skonfigurowany jako mechaniczne urządzenie przeciwbieżne lub jako elektryczne urządzenie przeciwbieżne.
9. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 8, **znamienny tym**, że mechaniczne urządzenie przeciwbieżne jest skonfigurowane jako planetarny lub magnetyczny reduktor biegów o przełożeniu przekładni zębatej $i = -1$ połączonym z pierwszym wirnikiem i drugim wirnikiem.
10. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 8, **znamienny tym**, że sterownik podłączony do czujników położenia pierwszego wirnika (2) i drugiego wirnika (3) służy do sterowania elektrycznym urządzeniem przeciwbieżnym.
11. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 3, **znamienny tym**, że pierwszy wirnik (2) i drugi wirnik (3) są wyposażone w taką samą liczbę przełączników indukcji magnetycznej.
12. Przeciwbieżny synchroniczny konwerter elektromechaniczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawierający dwa lub więcej stojanów (1), z których każdy jest podłączony do pierwszego wirnika (2) i do drugiego wirnika (3), które są ustawione nad jedną centralną osią i skonfigurowane do synchronicznego obracania się w przeciwnych kierunkach.

Rysunki

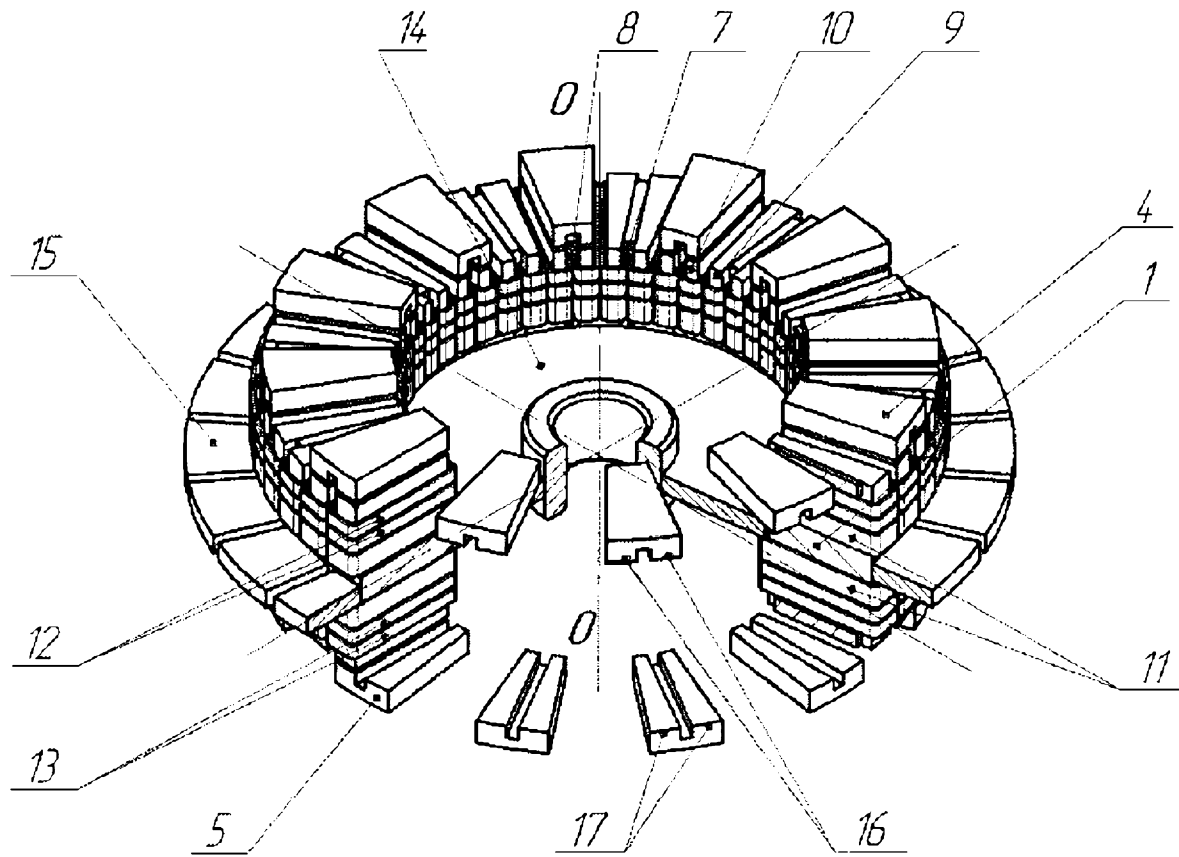


Fig.1

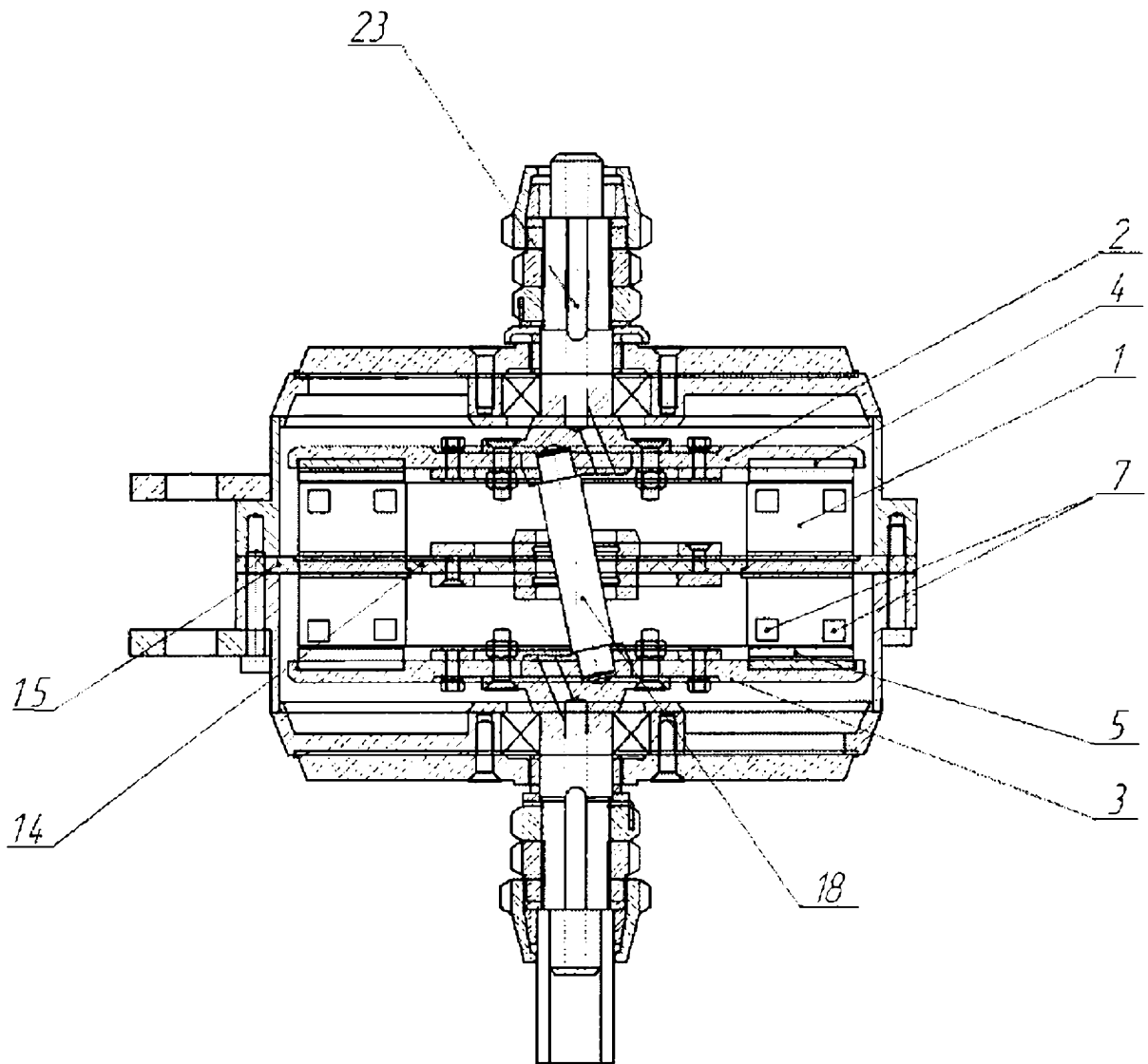


Fig.2

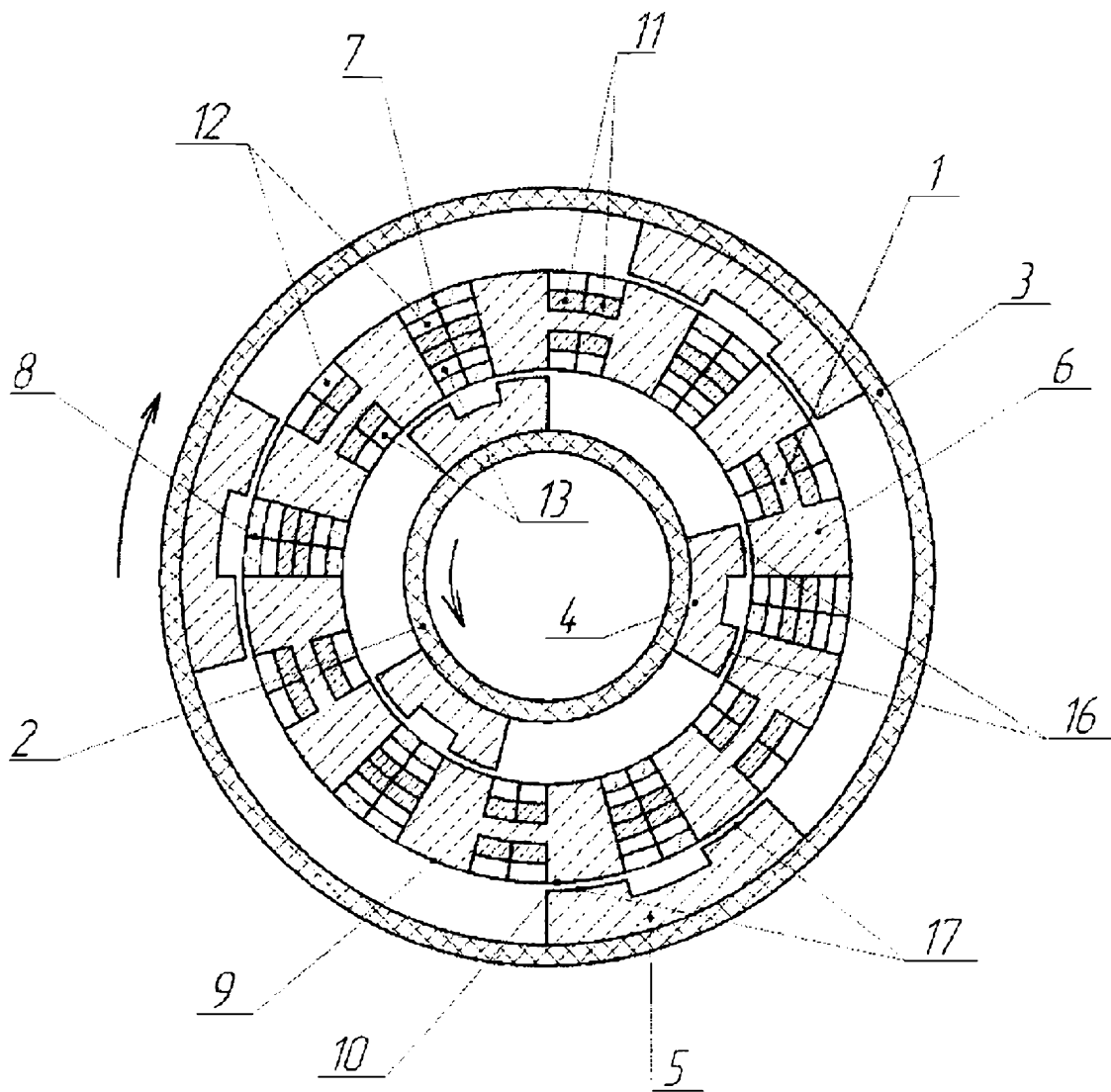


Fig. 3

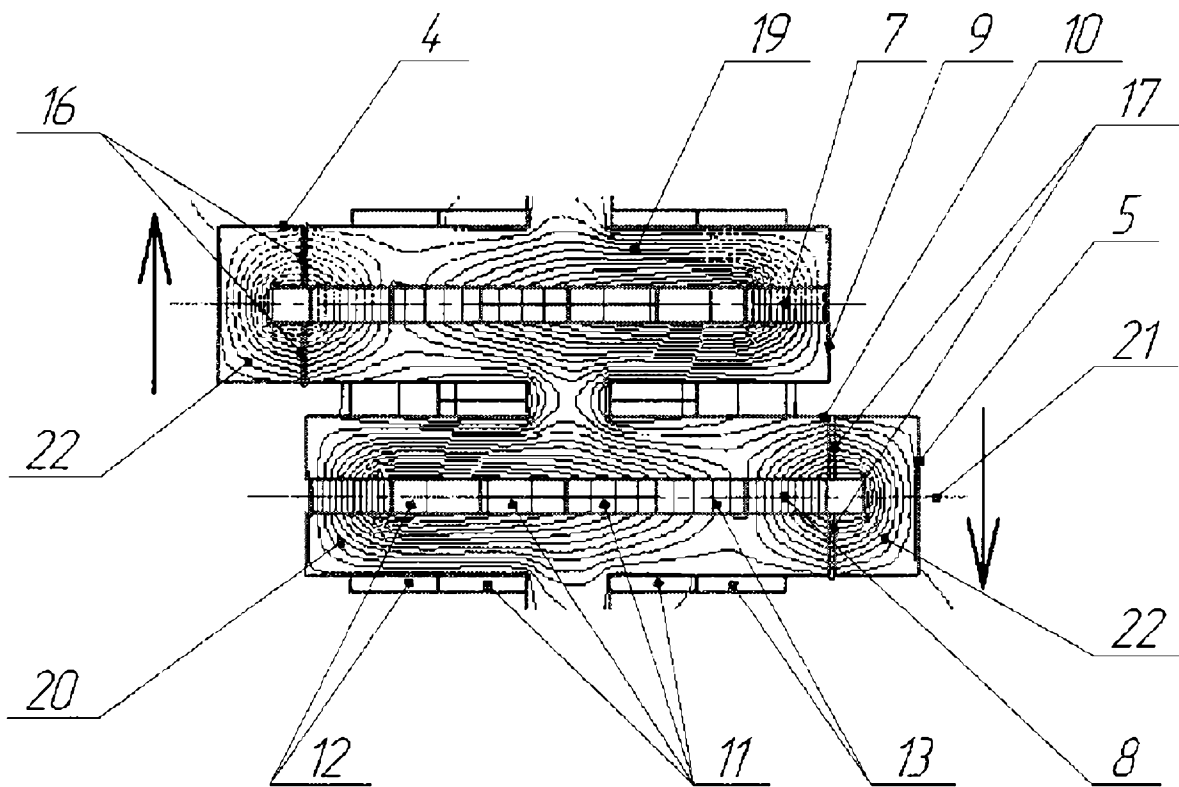


Fig. 4

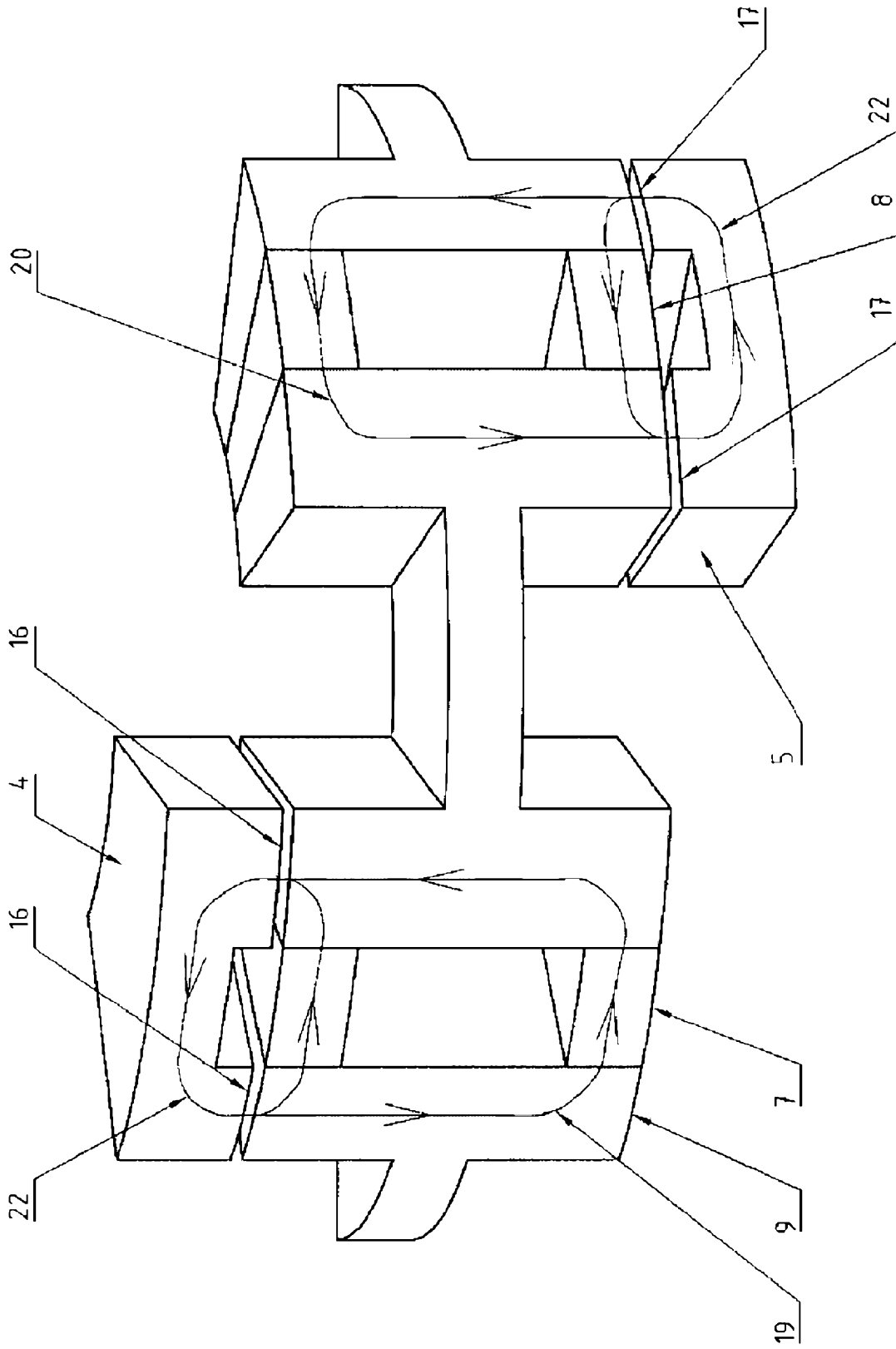


Fig. 5

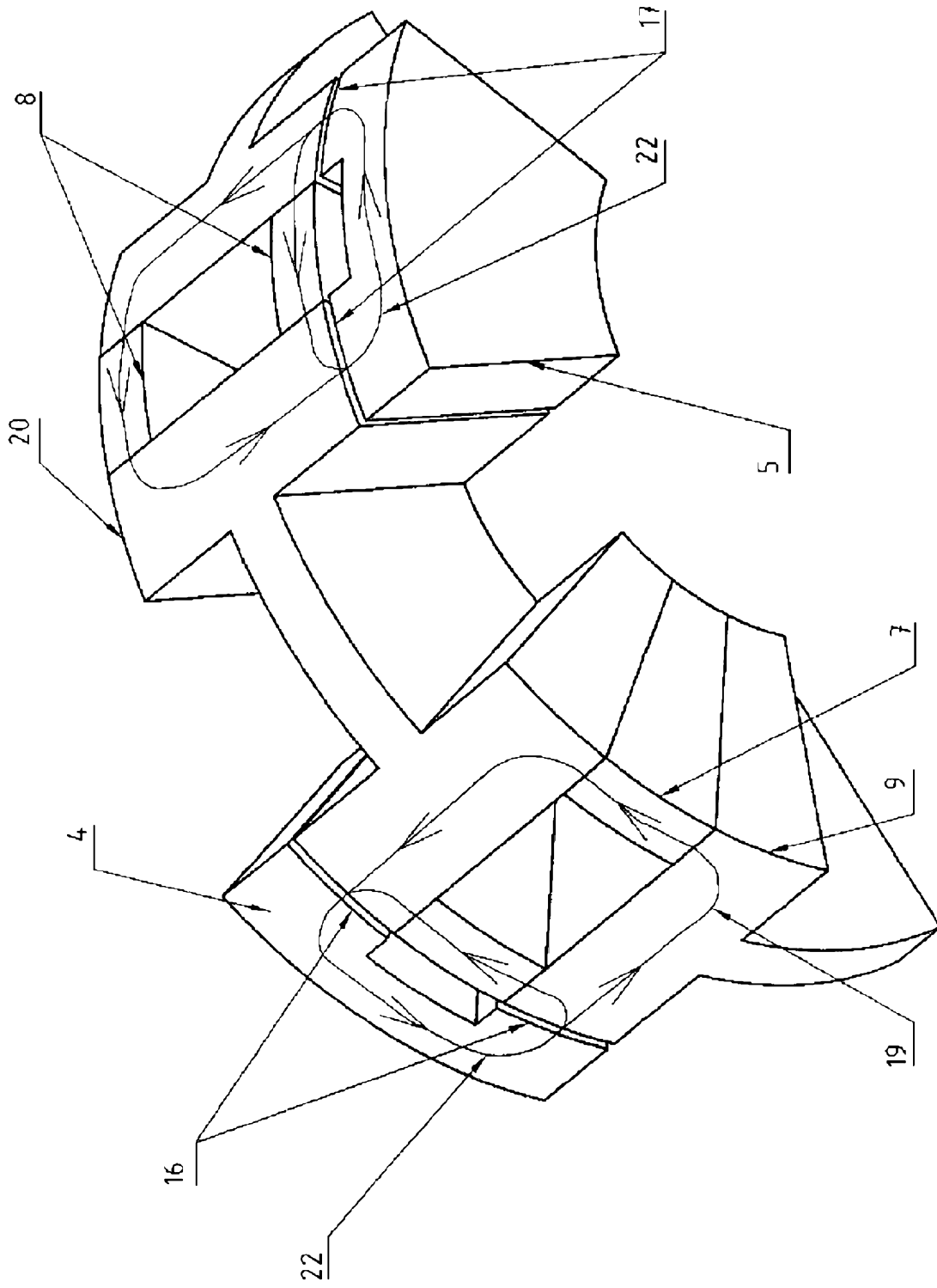


Fig. 6

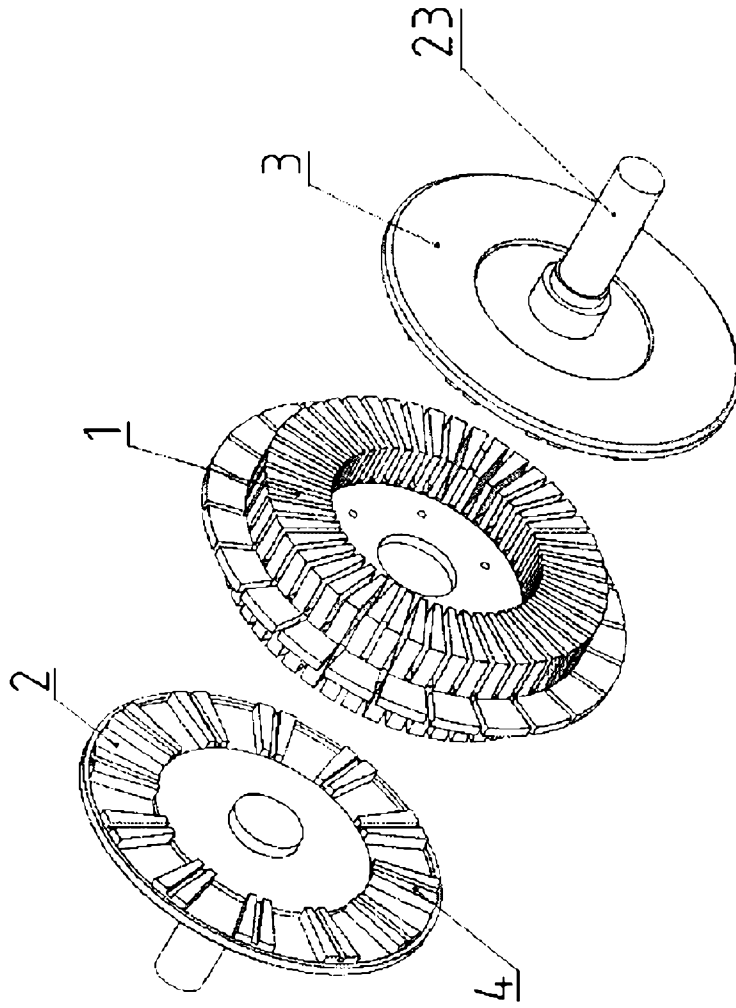


Fig. 7