

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246546 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **440875**

(22) Data zgłoszenia: **2022.04.07**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.10.09 BUP 41/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.02.10 WUP 06/2025**

(51) MKP:

H02K 21/04 (2006.01)

- | |
|--|
| (73) Uprawniony z patentu:
ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE,
Szczecin, PL |
| (72) Twórca(-y) wynalazku:
PIOTR PAPLICKI, Szczecin, PL
PAWEŁ PRAJZENDANC, Przelewice, PL |
| (74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Justyna Zatorska, Szczecin, PL |

(54) Tytuł:

Układ regulacji wzbudzenia do maszyny elektrycznej prądu przemiennego z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi

PL 246546 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ regulacji wzbudzenia do maszyny elektrycznej prądu przemiennego z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi. Układ ma zastosowanie w elektrycznych maszynach tarczowych i cylindrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi pracujących w szerokim zakresie regulacji prędkości obrotowej.

Zastosowanie wysokoenergetycznych magnesów trwałych w trójfazowej maszynie elektrycznej prądu przemiennego pozwoliło na budowę silników synchronicznych z magnesami trwałymi o większej mocy, przy jednoczesnym wzroście współczynnika mocy oraz sprawności z zachowaniem tych samych wymiarów i podobnej masy maszyny. Daje to oczywiste korzyści użytkowe, ekonomiczne i ekologiczne, co sprawia, że maszyny tego typu są chętnie wykorzystywane m.in. w napędach pojazdów samochodowych, lub jako prądnice/generatory w elektrowniach wiatrowych i wodnych. Warunkiem upowszechnienia maszyny z magnesami trwałymi była jednak konieczność zastosowania skutecznego sposobu na jej sterowanie oraz przy wymaganiu szerokiego zakresu regulacji prędkości obrotowej – możliwość jej skutecznego odmagnesowania przy wysokich prędkościach obrotowych. Chociaż osłabienie pola magnetycznego w maszynie tego typu powoduje powiększenie możliwego do uzyskania zakresu regulacji prędkości obrotowej przy ograniczonym napięciu zasilania, wymaga jednak zastosowania odmagnesowującej składowej w wektorze prądu stojana, a to wpływa na obniżenie sprawności maszyny pracującej w zakresie wysokich prędkości obrotowych.

Problem braku bezpośredniej regulacji strumienia wzbudzenia maszyny występuje również w prądnicach/generatorach z magnesami trwałymi, i jest on szczególnie zauważalny podczas pracy prądnicy w zmiennych warunkach obciążenia i przy zmianie prędkości obrotowej wirnika, wymuszonej np. zmianą warunków wietrznych w otoczeniu turbiny elektrowni wiatrowej, wywołując tym zjawisko dużej zmienności napięcia wyjściowego. Często, bez dodatkowych kosztownych układów stabilizacji, nie da się zastosować takich prądnic/generatorów bezpośrednio w wielu aplikacjach, np. w agregatach prądotwórczych, czy w hydroelektrowniach. W literaturze znane są inne, alternatywne metody osłabiania strumienia maszyny z magnesami trwałymi, do których należą, m.in. metody wzbudzania maszyny w układach hybrydowych, które umożliwiają regulację strumienia maszyny poprzez sterowanie wektora prądu w dodatkowym uzwojeniu wzbudzenia. W publikacji M. Aydin i in. Design, Analysis and Control of a Hybrid Field-Controlled Axial-Flux Permanent Magnet Motor, IEEE Transactions on Industrial Electronics 2010 r. vol. 57, no. 1 (str. 78–87), zaproponowano elektryczną maszynę tarczową z magnesami trwałymi z magnetoelektrycznym hybrydowym wzbudzeniem. Według podanego rozwiązania uzwojenie wzbudzające dodatkowe umieszczone jest między dwoma rdzeniami stojana i odpowiednio zasilane umożliwia zmianę strumienia wzbudzenia maszyny. W artykule F. G. Capponi, i in., Axial-Flux Hybrid-Excitation Synchronous Machine: Analysis, Design, and Experimental Evaluation, IEEE Transactions On Industry Applications, vol. 50, no. 5, pp. 3173–3184, 2014 r., pokazano rozwiązanie z dodatkowym uzwojeniem wzbudzenia umieszczanym na jednym z wirników maszyny tarczowej. W publikacji E. Spooner, Khatab S.A.W., Nicolaou N.G., Hybrid excitation of AC and DC machines, 4th International Conference on Electrical Machines and Drives (EMD'89), pp. 48–52 1989 r., pokazano rozwiązania konstrukcyjne maszyny tarczowej z magnesami trwałymi, gdzie regulacja strumienia w maszynie odbywa w wyniku oddziaływania pola magnetycznego dodatkowej cewki umieszczonej w stojanie.

Z opisu patentowego US 5682073 znany jest hybrydowy układ wzbudzenia silnika synchronicznego z wirnikiem z magnesami trwałymi i wydatnymi biegunami żelaznymi, który, w postaci cewki umieszczonej w stojanie silnika, posiada dodatkowe źródło wzbudzenia pola magnetycznego. Magnesy trwałe wytwarzają stały, magnetyczny strumień wzbudzenia, który przenika szczelinę roboczą i jarzmo stojana maszyny. Bieguny żelazne stanowią integralną część jarzma wirnika, nie posiadają źródeł pola magnetycznego i są naprzemiennie ułożone z magnesami trwałymi. Bieguny żelazne ułożone są na powierzchni wirnika w ten sposób, że część strumienia magnetycznego, wytwarzanego przez magnes trwały, przechodząc do stojana przez szczelinę powietrzną, zawraca do bieguna żelaznego, a prądem dodatkowej cewki regulującej wzbudzenie można regulować strumień wzbudzenia maszyny. W ten sposób, zmieniając wartość prądu dodatkowej cewki regulującej wzbudzenie, możliwa jest zmiana wartości siły elektromotorycznej wytwarzanej w uzwojeniach twornika maszyny przy stałej prędkości obrotowej wirnika, a to w konsekwencji zmienia możliwy do uzyskania zakres regulacji prędkości obrotowej wirnika przy stałym napięciu zasilania maszyny.

Z opisu patentowego PL 226574 znane jest zastosowanie barier magnetycznych w wirniku maszyny cylindrycznej wzbudzonej hybrydowo z wirnikiem z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi,

w której dodatkowa cewka wzbudzająca umieszczona została w stojanie maszyny. Maszyna według wynalazku, zawierała obudowę zamkniętą piastami łożyskowymi, dwa rdzenie stojana pomiędzy którymi znajduje się cewka regulująca strumień wzbudzenia oraz wirnik składający się z wału, tulei i dwóch rdzeni wirnika z magnesami trwałymi, które na przemian z biegunami żelaznymi utworzyły bieguny maszyny. Bieguny z magnesami pierwszego rdzenia wirnika ułożono w jednej linii naprzeciwko biegunów z magnesami drugiego rdzenia wirnika. Analogicznie, bieguny żelazne pierwszego rdzenia wirnika położone zostały naprzeciwko biegunów żelaznych drugiego rdzenia wirnika.

Problem techniczny regulacji wzbudzenia maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi w wirniku polega na konieczności zastosowania dedykowanego układu energoelektronicznego do zasilania i stabilizacji prądu dodatkowej cewki regulującej strumień magnetyczny, która znajduje się w maszynie. Obciążanie prądowe dodatkowej cewki regulującej powoduje wydzielanie dodatkowej straty mocy w maszynie oraz dodatkowej straty mocy w układzie zasilania, a to wpływa na pogorszenie sprawności całego układu napędowego, oraz warunków chłodzenia samej maszyny.

Układ regulacji wzbudzenia do maszyny elektrycznej prądu przemiennego z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi według wynalazku, przy czym magnesy trwałe i bieguny żelazne umieszczone są w wirniku, charakteryzuje się tym, że ma wał i ferromagnetyczne główne jarzmo oraz ruchomy wkład hybrydowy, który ma co najmniej jeden rdzeń, na którym znajduje się co najmniej jedna cewka wzbudzająca i ma co najmniej jeden magnes trwały, co najmniej jedno jarzmo i cięgno. Wał ma osiowy otwór, w którym umieszczony jest ruchomy wkład hybrydowy, a ferromagnetyczne główne jarzmo umieszczone jest na wale. Ruchomy wkład hybrydowy może zmieniać położenie w otworze w wale, w obu kierunkach wzdłuż osi wału, pod wpływem siły osiowej lub/i momentu obrotowego, które wytwarza napęd pozycjonera wkładu. Wał może być wykonany z materiału niemagnetycznego lub magnetycznego. W przypadku wału wykonanego z materiału magnetycznego układ będzie działał mniej efektywnie niż w przypadku wykonania z materiału niemagnetycznego. Ferromagnetyczne główne jarzmo składa się z co najmniej dwóch ferromagnetycznych jarzm dzielnikowych z co najmniej jedną barierą magnetyczną międzyjarzmową lub ferromagnetycznego jarzma łącznego z co najmniej jedną barierą magnetyczną. Ferromagnetyczne główne jarzmo przyjmuje formę tulei, której elementy składowe mogą być wykonane z litej stali lub z pakietowanej, albo zwiniętej w toroid blachy elektrotechnicznej. Wał ma otwór nieprzelotowy lub przelotowy. Otwór nieprzelotowy wału zapewnia lepszą stabilność niż w przypadku otworu przelotowego. Bariere magnetyczną ferromagnetycznego jarzma łącznego stanowi promieniowy rowek znajdujący się na powierzchni ferromagnetycznego jarzma łącznego lub pierścień z materiału nieferromagnetycznego lub dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego w postaci magnesu trwałego lub cewki. Magnes trwały jest o kierunku magnesowania zgodnym z osią wału. Położenie i wymiary dodatkowego źródła wzbudzenia stałego pola magnetycznego na ferromagnetycznym jarzmie łącznym odpowiadają pozycji i wymiarom bariery magnetycznej. Bariera magnetyczna w postaci promieniowego rowku może być wykonana dowolną techniką/technologią, np. w wyniku mechanicznej obróbki toczenia, wybrań materiałowych powierzchniowych zewnętrznych lub/i wewnętrznych, otworów, przewężeń wykonanych wewnątrz lub/i na obu powierzchniach ferromagnetycznego jarzma łącznego. Bariere magnetyczną międzyjarzmową ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego stanowi szczelina powietrzna. Bariere magnetyczną międzyjarzmową ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego stanowi pierścień z materiału nieferromagnetycznego lub dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego w postaci magnesu trwałego lub cewki, przy czym magnes trwały jest o kierunku magnesowania zgodnym z osią wału. Położenie i wymiary dodatkowego źródła wzbudzenia stałego pola magnetycznego na ferromagnetycznym jarzmie dzielnikowym odpowiadają pozycji i wymiarom bariery magnetycznej międzyjarzmowej. Ruchomy wkład hybrydowy jest obrotowy i jego średnica zewnętrzna jest równa średnicy otworu w wale. Ruchomy wkład hybrydowy jest nieobrotowy i jego średnica zewnętrzna jest mniejsza od średnicy otworu w wale. Korzystnie układ regulujący wzbudzenie ma nieferromagnetyczny wzmacniający korpus osadzony na ferromagnetycznym jarzmie głównym. Nieferromagnetyczny wzmacniający korpus poprawia sztywność konstrukcji układu.

Zaletą rozwiązania jest modułowość układu regulacji wzbudzenia do maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi w wirniku, która umożliwia łatwą integrację układu z maszyną, i której wzbudzenie może być regulowane mechanicznie i elektrycznie. Dzięki rozwiązaniu nie jest konieczne użycie dodatkowych uzwojeń wzbudzenia w maszynie, a to upraszcza budowę samej maszyny. Mechanicznie kontrolowane położenie ruchomego wkładu magnetycznego, w sposób bezpośredni wpływa na stan magnetyczny maszyny, zatem zmiana położenia wkładu w układzie regulacji wzbudzenia oraz zmiana obciążenia cewki wzbudzającej powoduje zmianę strumienia wzbudzenia maszyny.

Rozwiązanie może poprawić wydajność, efektywność, stabilność oraz zakres pracy maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi w wirniku np. prądnicy pracującej w warunkach zmiennego obciążeniu, i/lub przy zmiennej prędkości obrotowej wirnika, czyli w warunkach powstałych np. w wyniku zmian warunków wietrznych w otoczeniu turbiny elektrowni wiatrowej, ograniczając tym np. zjawisko zmienności napięcia wyjściowego prądnicy.

Rozwiązanie według wynalazku przedstawione jest w przykładach wykonania i na rysunku, gdzie Fig. 1 przedstawia układ regulacji wzbudzenia z wkładem hybrydowym i dwoma ferromagnetycznymi jarzmami dzielnikowymi z jedną barierą magnetyczną międzyjarmową w przekroju wzdłużnym, gdzie bariera magnetyczna międzyjarmowa jest w postaci pierścienia z materiału niemagnetycznego, Fig. 2 przedstawia układ regulacji wzbudzenia z wkładem hybrydowym i jednym ferromagnetycznym jarzmem łącznym z jedną barierą magnetyczną w przekroju wzdłużnym, gdzie bariera magnetyczna jest w postaci pierścienia z materiału niemagnetycznego, Fig. 3 przedstawia wkład hybrydowy z jednym rdzeniem wkładu, jedną cewką wzbudzającą, jednym magnesem trwałym i jednym jarzmem w przekroju, Fig. 4 przedstawia maszynę cylindryczną z wirnikiem dwurdzeniowym z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi w przekroju wzdłużnym z układem regulacji wzbudzenia, z ruchomym wkładem hybrydowym, gdzie wkład hybrydowy zawiera jeden rdzeń, jedną cewkę wzbudzającą, jeden magnes trwały jedno jarzmo i cięgno, z dwoma ferromagnetycznymi jarzmami dzielnikowymi z jedną barierą magnetyczną postaci pierścienia z materiału niemagnetycznego oraz z korpusem wzmacniającym. Fig. 5 przedstawia maszynę tarczową z dwoma tarczami wirnika z magnesami trwałymi tworzącymi bieguny z magnesami i z biegunami żelaznymi w przekroju wzdłużnym z układem regulacji wzbudzenia z ruchomym wkładem hybrydowym i korpusem wzmacniającym, z jednym ferromagnetycznym jarzmem łącznym z jedną barierą magnetyczną, gdzie bariera magnetyczna jest w postaci pierścienia z materiału niemagnetycznego z korpusem wzmacniającym, i gdzie wkład hybrydowy zawiera jeden rdzeń, jedną cewkę wzbudzającą, jeden magnes trwały jedno jarzmo i cięgno.

Przykład 1

Układ regulujący wzbudzenie do maszyny elektrycznej wzbudzanej magnesami trwałymi z biegunami żelaznymi ma wał 1, ruchomy wkład hybrydowy oraz ferromagnetyczne główne jarzmo (Fig. 1). Ruchomy wkład hybrydowy składa się z jednego rdzenia 2, cewki wzbudzającej 3, magnesu trwałego 4, jarzma 5 i cięgna 6. Ruchomy wkład hybrydowy umieszczony jest w nieprzelotowym osiowym otworze wału 1. Ferromagnetyczne główne jarzmo stanowią dwa ferromagnetyczne jarzma dzielnikowe 7 z jedną barierą magnetyczną międzyjarmową 8, które umieszczone są na wale 1. Wał 1 wykonany jest z materiału niemagnetycznego. Ruchomy wkład elektromagnetyczny jest obrotowy i jego średnica zewnętrzna jest równa średnicy otworu w wale 1. Dwa ferromagnetyczne jarzma dzielnikowe 7 wykonane są w formie dwóch tulei z litej stali. Barierę magnetyczną międzyjarmową 8 stanowi pierścień z materiału nieferromagnetycznego. Układ regulujący wzbudzenie do maszyn elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi z biegunami żelaznymi w wirniku został zastosowany w elektrycznej maszynie cylindrycznej. Elektryczna maszyna cylindryczna wzbudzana magnesami z ruchomym wkładem hybrydowym (Fig. 4) zawiera wirnik składający się z dwóch konstrukcyjnych nieferromagnetycznych tarcz wirnika 12 i pierwszego rdzenia 21 wirnika i drugiego rdzenia 22 wirnika oraz stojan składający się z rdzenia stojana 15 oraz uzwojenia 17 stojana. W osiowym otworze wału 1 umieszczony jest ruchomy wkład hybrydowy. Wał 1 jest łożyskowany i osadzony na pierwszej tarczy łożyskowej strony napędowej 19 oraz na drugiej tarczy łożyskowej strony cięgna 20. Pierwsza tarcza łożyskowa 19 i druga tarcza łożyskowa 20 połączone są z korpusem maszyny 16. Bariera magnetyczna międzyjarmowa 8 umieszczona jest pomiędzy dwiema konstrukcyjnymi nieferromagnetycznymi tarczami wirnika 12. Bieguny wirnika w postaci magnesów trwałych 11 i biegunów żelaznych 12 rozmieszczone są naprzemiennie na obwodzie pierwszego rdzenia wirnika 21, które nie są w przesunięciu kątowym względem tych samych biegunów drugiego rdzenia wirnika 22. Na zewnątrz pierwszego rdzenia wirnika 21 i drugiego rdzenia wirnika 22 znajduje się rdzeń stojana 15 z uzwojeniami 17 stojana maszyny cylindrycznej. Uzwojenia 17 stojana rozmieszczone są w żłobkach rdzenia stojana 15. Ruchomy wkład hybrydowy może zmieniać położenie wzdłuż osi wału maszyny, w obu kierunkach, w wyniku działania na cięgno 6 sił osiowych lub/i momentów obrotowych, które wytwarza zewnętrzny napęd pozycjonera wkładu. Pozycjoner wkładu może być urządzeniem niezależnym, które może być mocowane do maszyny elektrycznej, może stanowić integralną część maszyny, lub może być umieszczony w jej pobliżu. Napęd pozycjonera ruchomego wkładu magnetycznego może być dowolnego rodzaju (ręczny, mechaniczny, elektromagnetyczny, pneumatyczny, hydrauliczny lub/i inny). Właściwości magnetyczne układu regulacji wzbudzenia oraz położenie ruchomego wkładu magnetycznego w wale maszyny cylindrycznej oraz obciążenie

cewki wzbudzającej, wpływają na wartość strumienia magnetycznego w szczelinie maszyny. W zależności od rodzaju, budowy, użytych materiałów magnetycznych i niemagnetycznych oraz kierunku namagnesowania magnesów umieszczonych w układzie, nasycenia i rozkładu pola magnetycznego maszyny, pozycji, i kierunku przemieszczenia wkładu magnetycznego oraz wartości i kierunku przepływu prądu w cewce umieszczonej w układzie, strumień magnetyczny maszyny może być regulowany (zwiększany lub zmniejszany) w określonym zakresie.

Przykład 2

Analogicznie jak w przykładzie 1, przy czym ferromagnetyczne główne jarzmo składa się z trzech części ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego 7 i dwóch barier magnetycznych międzyjarzmowych 8 w postaci szczelin powietrznych. Układ ma nieferromagnetyczny wzmacniający korpus 11.

Przykład 3

Analogicznie jak w przykładzie 1, przy czym ferromagnetyczne główne jarzmo stanowi ferromagnetyczne jarzmo łączne 9 z jedną barierą magnetyczną 10 w postaci magnesu trwałego o kierunku magnesowania S-N, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 4

Analogicznie jak w przykładzie 3, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi magnes trwały o kierunku magnesowania N-S, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 5

Analogicznie jak w przykładzie 3, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi cewka, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 6

Analogicznie jak w przykładzie 1, przy czym barierę magnetyczną międzyjarzmową 8 stanowi pierścień wykonany z materiału nieferromagnetycznego (Fig. 1).

Przykład 7

Analogicznie jak w przykładzie 3, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi pierścień wykonany z materiału nieferromagnetycznego.

Przykład 8

Analogicznie jak w przykładzie 1, przy czym układ regulujący wzbudzenie został zastosowany w elektrycznej maszynie tarczowej wzbudzanej magnesami trwałymi z biegunami żelaznymi w wirniku (Fig. 5). Elektryczna maszyna tarczowa wzbudzana magnesami 13 z biegunami żelaznymi 14 z układem regulującym wzbudzenie zawiera wirnik składający się z dwóch ferromagnetycznych tarcz 12 wirnika z magnesami trwałymi 13 oraz biegunami żelaznymi 14 oraz stojan składający się z pojedynczego rdzenia 15 stojana połączonego z korpusem maszyny 16 oraz uzwojeń 17 stojana. Uzwojenia 17 stojana rozmieszczone są w żłobkach rdzenia 15 stojana. W osiowym otworze wału 1, który osadzony jest na dwóch łożyskach 18, umieszczony jest ruchomy wkład hybrydowy. Wał 1 jest łożyskowany i osadzony na pierwszej tarczy łożyskowej 19 strony napędowej oraz na drugiej tarczy łożyskowej 20 strony cięgna 6. Pierwsza 19 i druga 20 tarcza łożyskowa połączone są z korpusem 16 maszyny. Strumień wzbudzenia maszyny wytwarzany jest od magnesów trwałych 13, które naprzemiennie z biegunami żelaznymi 14 rozmieszczone są na obwodzie dwóch ferromagnetycznych tarcz 12 wirnika. Ruchomy wkład hybrydowy może zmieniać położenie wzdłuż osi wału maszyny, w obu kierunkach, w wyniku działania na cięgno 6 sił osiowych lub/i momentów obrotowych, które wytwarza zewnętrzny napęd pozycjonera wkładu. Pozycjoner ruchomego wkładu magnetycznego może być urządzeniem niezależnym, które może być mocowane do maszyny elektrycznej, może stanowić integralną część maszyny, lub może być umieszczony w jej pobliżu. Napęd pozycjonera ruchomego wkładu magnetycznego może być dowolnego rodzaju (ręczny, mechaniczny, elektromagnetyczny, pneumatyczny, hydrauliczny lub/i inny). Właściwości magnetyczne układu regulacji wzbudzenia oraz położenie ruchomego wkładu magnetycznego w wale maszyny tarczowej oraz obciążenie cewki wzbudzającej, wpływają na wartość strumienia magnetycznego w szczelinie maszyny. W zależności od rodzaju, budowy, użytych materiałów magnetycznych i niemagnetycznych oraz kierunku namagnesowania magnesów umieszczonych w układzie, nasycenia i rozkładu pola magnetycznego maszyny, pozycji, i kierunku przemieszczenia wkładu magnetycznego oraz wartości i kierunku przepływu prądu w cewce umieszczonej w układzie, strumień magnetyczny maszyny może być regulowany (zwiększany lub zmniejszany) w określonym zakresie.

Przykład 9

Analogicznie jak w przykładzie 8, przy czym ferromagnetyczne główne jarzmo składa się z trzech części ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego 7 i dwóch barier magnetycznych międzyjarzmowych 8 w postaci szczelin powietrznych. Układ ma nieferromagnetyczny wzmacniający korpus 11.

Przykład 10

Analogicznie jak w przykładzie 8, przy czym ferromagnetyczne główne jarzmo stanowi ferromagnetyczne jarzmo łączne 9 z jedną barierą magnetyczną 10 w postaci magnesu trwałego o kierunku magnesowania S-N, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 11

Analogicznie jak w przykładzie 10, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi magnes trwały o kierunku magnesowania N-S, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 12

Analogicznie jak w przykładzie 10, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi cewka, jako dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego.

Przykład 13

Analogicznie jak w przykładzie 8, przy czym barierę magnetyczną międzyjarzmową 8 stanowi pierścień wykonany z materiału nieferromagnetycznego.

Przykład 14

Analogicznie jak w przykładzie 10, przy czym barierę magnetyczną 10 stanowi pierścień wykonany z materiału nieferromagnetycznego.

Przykład 15

Analogicznie jak w przykładzie 8, przy czym barierę magnetyczną międzyjarzmową 8 stanowi pierścieniowy magnes trwały o kierunku magnesowania N-S, i gdzie biegun S zwrócony jest w stronę ciągłą.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ regulacji wzbudzenia do maszyny elektrycznej prądu przemiennego z magnesami trwałymi i biegunami żelaznymi w wirniku, **znamienny tym**, że ma wał (1) i ferromagnetyczne główne jarzmo oraz ruchomy wkład hybrydowy, który ma co najmniej jeden rdzeń (2), na którym znajduje się co najmniej jedna cewka wzbudzająca (3) i ma co najmniej jeden magnes trwały (4), co najmniej jedno jarzmo (5) i cięgno (6), przy czym wał (1) ma osiowy otwór, w którym umieszczony jest ruchomy wkład hybrydowy, a ferromagnetyczne główne jarzmo umieszczone jest na wale (1) i składa się z co najmniej dwóch ferromagnetycznych jarzm dzielnikowych (7) z co najmniej jedną barierą magnetyczną międzyjarzmową (8) lub ferromagnetycznego jarzma łącznego (9) z co najmniej jedną barierą magnetyczną (10).
2. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wał (1) ma otwór nieprzelotowy.
3. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że barierę magnetyczną (10) ferromagnetycznego jarzma łącznego (9) stanowi promieniowy rowek lub pierścień z materiału nieferromagnetycznego lub dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego w postaci magnesu trwałego lub cewki, przy czym magnes trwały jest o kierunku magnesowania zgodnym z osią wału (1).
4. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że barierę magnetyczną międzyjarzmową (8) ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego (7) stanowi szczelina powietrzna.
5. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że barierę magnetyczną międzyjarzmową (8) ferromagnetycznego jarzma dzielnikowego (7) stanowi pierścień z materiału nieferromagnetycznego lub dodatkowe źródło wzbudzenia stałego pola magnetycznego w postaci magnesu trwałego lub cewki, przy czym magnes trwały jest o kierunku magnesowania zgodnym z osią wału (1).
6. Układ regulujący wzbudzenie według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ruchomy wkład hybrydowy jest obrotowy i jego średnica zewnętrzna jest równa średnicy otworu w wale (1).
7. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ruchomy wkład hybrydowy jest nieobrotowy i jego średnica zewnętrzna jest mniejsza od średnicy otworu w wale (1).
8. Układ regulacji wzbudzenia według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ma nieferromagnetyczny wzmacniający korpus (11).

Rysunki

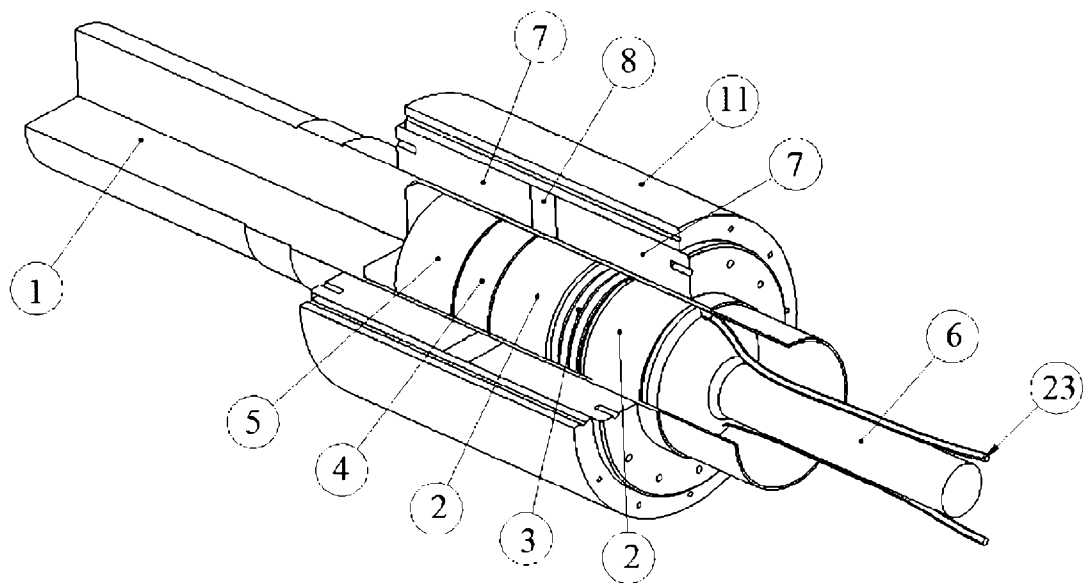


Fig.1

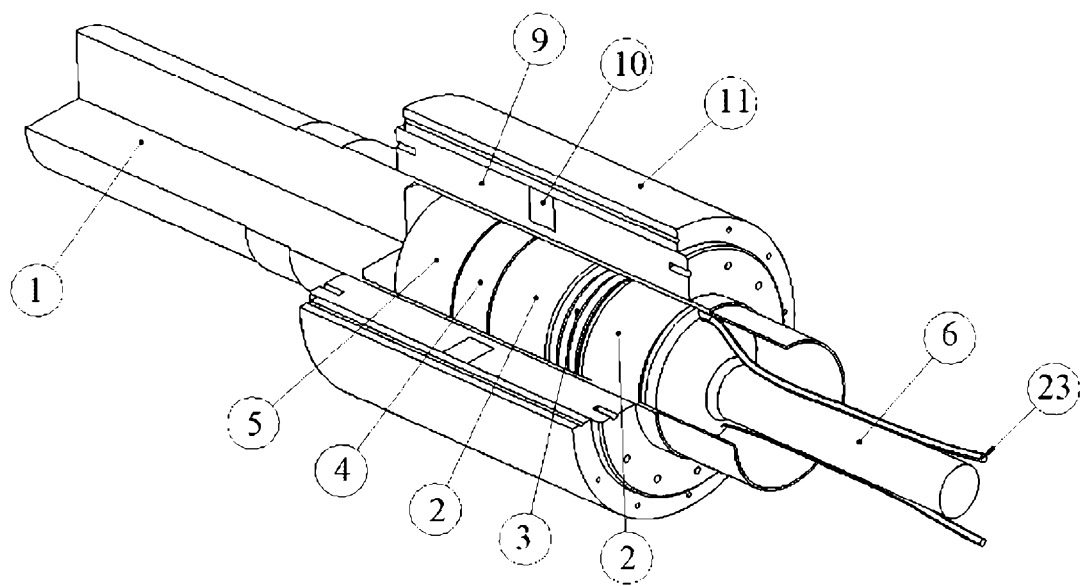


Fig.2

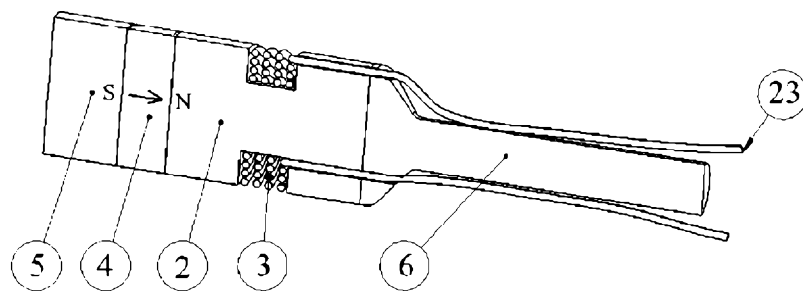


Fig. 3

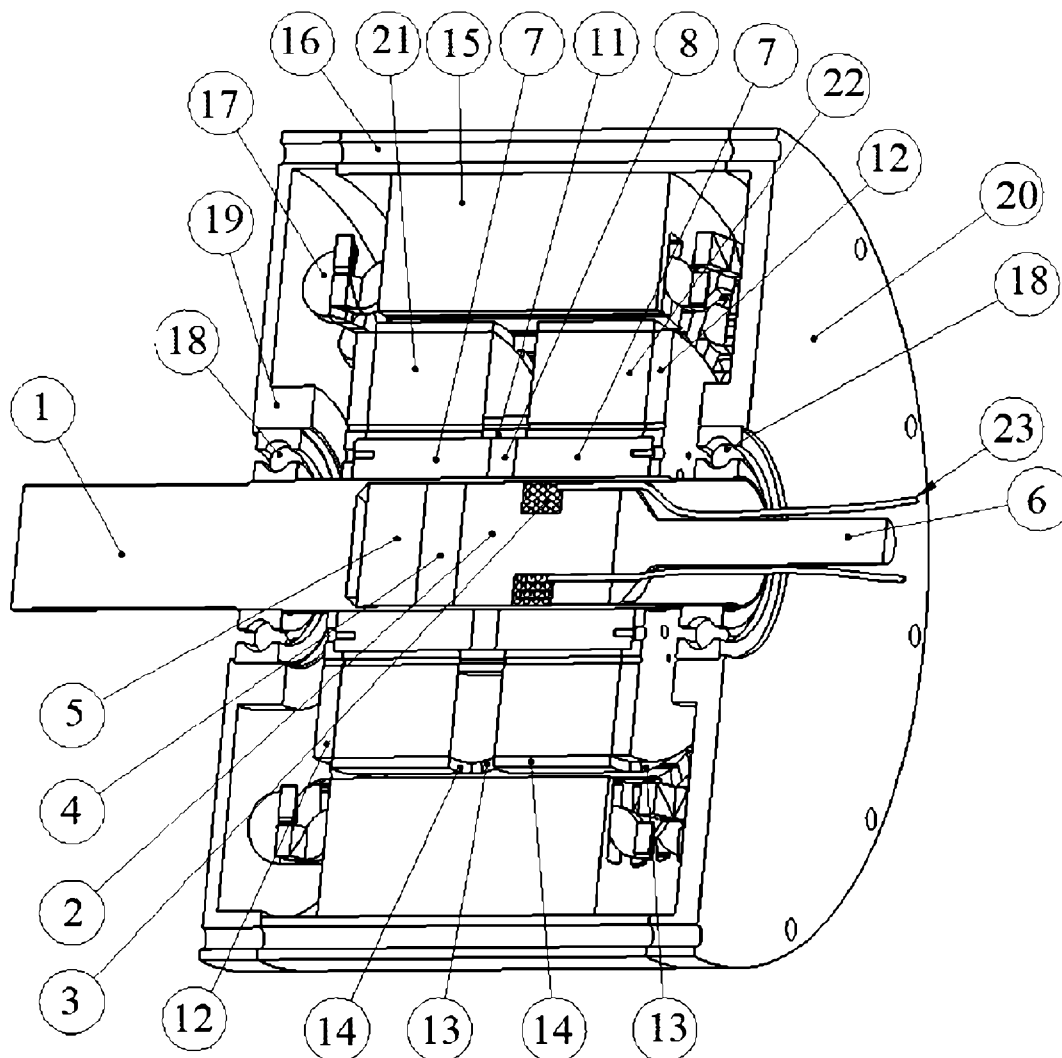


Fig. 4

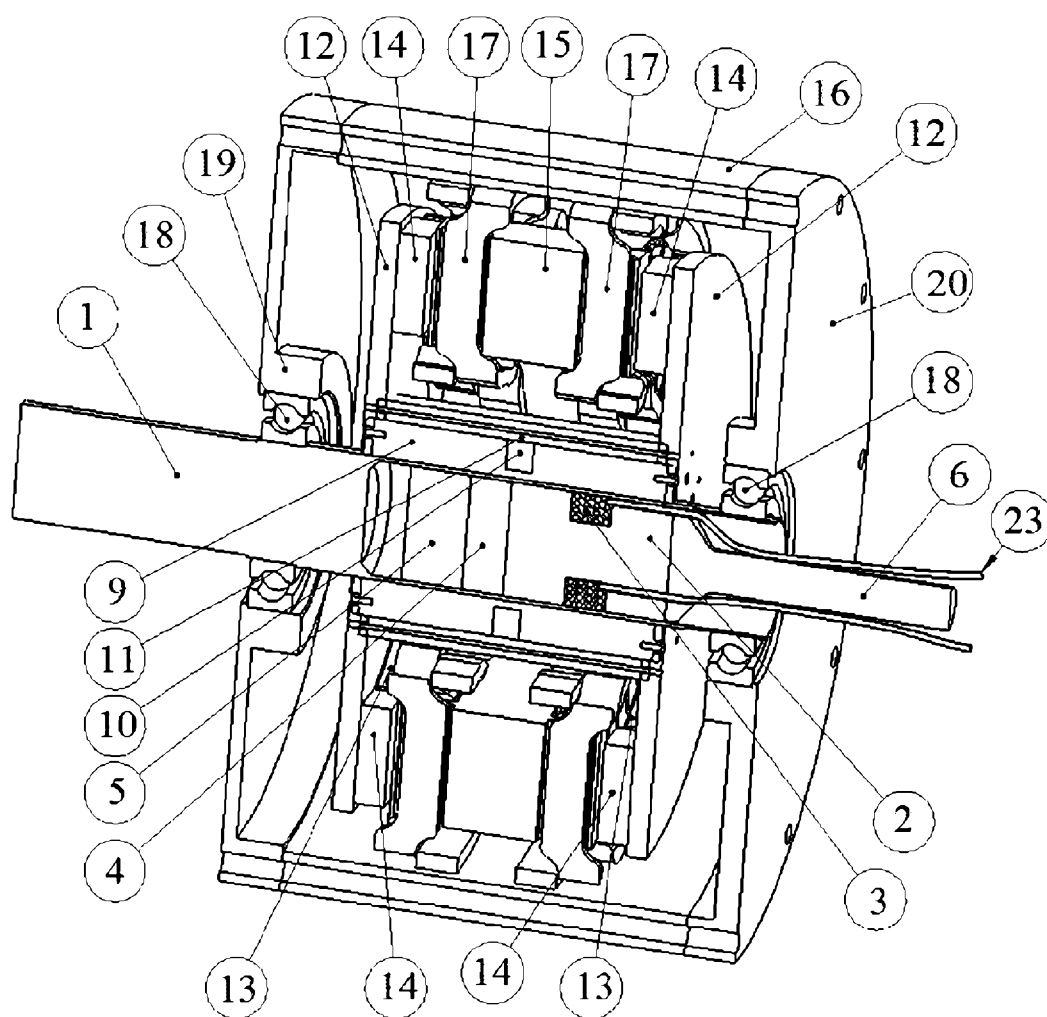


Fig. 5