

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 241983 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434382**

(22) Data zgłoszenia: **2020.06.19**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.12.20 BUP 38/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.01.02 WUP 01/2023**

(51) MKP:

H02K 47/20 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**MST ENERGY SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Kętrzyn, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

DARIUSZ BRYLIŃSKI, Wołomin, PL

(74) Pełnomocnik:

Włodzimierz Januszkiewicz, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Zespolona maszyna elektryczna

PL 241983 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest zespolona maszyna elektryczna złożona z dwóch maszyn elektrycznych: prądnicy i silnika połączonych w jeden zespół elektromaszynowy do wykorzystania jako napęd, zwłaszcza w pojazdach, elektromaszynowych przetwornikach energii elektrycznej albo w urządzeniach, w których konieczne jest współdziałanie silnika i prądnicy.

Znane są zespoły elektromaszynowe złożone z prądnicy i silnika. Stosowane są do napędu jednostek pływających, gdzie zamiast sprzężenia mechanicznego stosuje się układ dwóch maszyn elektrycznych tworzących wał elektryczny. Prądnicę napędza silnik spalinowy a energię elektryczną z prądnicy kieruje się przez połączenie elektryczne na silnik elektryczny napędzający śrubę okrętową. Maszyny składowe wału elektrycznego połączone są tylko elektrycznie.

Inne znane zespoły elektromaszynowe mają zastosowanie w spawalnictwie i elektromaszynowych przetwornikach energii elektrycznej. Trzyfazowy silnik elektryczny napędza prądnicę, której charakterystyka dopasowana jest do zasilania łuku spawalniczego lub innego odbiornika energii elektrycznej. W tym wypadku wirniki prądnicy i silnika napędowego umieszczone są na wspólnym wale. Mają połączenie mechaniczne bez połączenia elektrycznego. Wał wprowadzany jest w ruch obrotowy przez silnik a sprzężona z nim (wspólny wał) prądnica zasilą odbiornik.

Sprawność tradycyjnych zespołów elektromaszynowych równa jest iloczynowi sprawności maszyn składowych prądnicy i silnika i jest mniejsza od sprawności elektrycznych maszyn składowych.

Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P.430710 znany jest silnik elektryczny charakteryzujący się tym, że nie wytwarza, w przeciwieństwie do tradycyjnych silników, indukowanej siły elektromotorycznej rotacji SEM. Jest on zasilany prądem przemiennym przez przetwornik DC/AC sterowany położeniem wirnika. Częstotliwość napięcia podanego na silnik jest ściśle zależna (wprost proporcjonalnie) od prędkości obrotowej wału. Prąd płynący przez uzwojenie twornika takiego silnika zależy od ilorazu napięcia zasilającego i impedancji uzwojenia. Silnik ten jest maszyną nieodwracalną. Napędzany zewnętrznym momentem mechanicznym nie wytwarza żadnego napięcia elektrycznego na zaciskach. Moc czynna, mechaniczna, oddawana przez ten silnik nie transformuje się na stronę zasilania. Maszyna ta zachowuje się jak dławik w obwodzie prądu zmiennego. Przy obciążeniu silnika momentem mechanicznym zmniejszają się obroty wału i rośnie prąd zasilający, gdyż impedancja twornika maleje. Silnik ten charakteryzuje się tym, że rozpiętość nabiegunków twornika wynosi w elektrycznej mierze kąta 2π .

Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P.431404 znana jest także elektryczna maszyna odwracalna o odwrotnym w stosunku do tradycyjnej maszyny kierunku indukowanej siły elektromotorycznej rotacji SEM. Maszyna ta w pracy prądnicowej, generatorowej, charakteryzuje się tym, że w stanie zwarcia przy największym prądzie twornika, potrzebny mechaniczny moment napędowy jest tylko trochę większy od momentu napędowego w stanie pracy jałowej, a każde obciążenie indukcyjne, podłączone do zacisków prądnicy powoduje zmniejszenie prądu i momentu napędowego. Można przyjąć, że jej praca na zwarcu jest pracą w stanie jałowym a każde dodatkowe obciążenie czynne zmniejsza prąd i zwiększa napięcie wyjściowe prądnicy. Jednocześnie zwiększa się moment mechaniczny konieczny do napędu prądnicy. Jej cechą charakterystyczną jest to, że rozpiętość nabiegunków, w elektrycznej mierze kąta twornika wynosi 3π .

Zespolona maszyna elektryczna według wynalazku zawiera korpus z nieprzewodzącego niemagnetycznego materiału, w którym jest osadzony na łożyskach wał wspólny dla części prądnicowej, zawierającej twornik, magnesy wzbudzające i wykonane z materiału ferromagnetycznego podłoże magnesów wzbudzających oraz części silnikowej, zawierającej twornik, magnesy wzbudzające i wykonane z materiału ferromagnetycznego podłoże magnesów wzbudzających, przy czym część prądnicowa i część silnikowa są jednocześnie połączone mechanicznie i elektrycznie, a magnetowód twornika części silnikowej jest bezjarzmowy.

Korzystnie, rozpiętość kątowa nabiegunków rdzeni twornika części prądnicowej wynosi 3π , natomiast rozpiętość kątowa nabiegunków rdzeni twornika w części silnikowej wynosi 2π .

Korzystnie, przy sprzężeniu mechanicznym tworniki części silnikowej i prądnicowej są połączone elektrycznie.

Korzystnie, kierunki nawinięcia uzwojeń sąsiednich biegunów twornika silnika i twornika prądnicy są przeciwne, ich uzwojenia połączone są szeregowo i wyprowadzone na zaciski elektryczne.

Korzystnie, między magnesami wzbudzającymi obu części maszyny jest przesunięcie kątowe wynoszące $\pi/2$.

Zespolona maszyna elektryczna może przenosić napęd (wał elektryczny) lub przetwarzać energię elektryczną o jednych parametrach w energię elektryczną o innych parametrach. Oba reżimy pracy charakteryzują się wysoką sprawnością energetyczną. Zaletą wynalazku jest więc to, że zastosowanie takich maszyn elektrycznych i takiej ich konfiguracji pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności zarówno przy przeniesieniu napędu jak i przy przetwarzaniu energii elektrycznej w energię elektryczną o innych parametrach.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania został przedstawiony na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia wynalazek w przekroju podłużnym przy połączeniu elektrycznym i mechanicznym

Fig. 2 przedstawia przekrój poprzeczny części prądnicowej w rozwinięciu

Fig. 3 przedstawia przekrój poprzeczny części silnikowej w rozwinięciu

Fig. 4 przedstawia połączenia elektryczne między poszczególnymi pasmami uzwojeń prądnicy i silnika

Oznaczenia na rysunkach:

1. Część prądnicowa
2. Część silnikowa
3. Wał
4. Łożyska wału
5. Korpus
6. Szczelina powietrzna prądnicy
7. Twornik prądnicy
8. Podłoże magnesów prądnicy
9. Magnesy wzbudzające prądnicy
10. Podłoże magnesów silnika
11. Magnesy wzbudzające silnika
12. Szczelina powietrzna silnika
13. Twornik silnika
14. Jarzmo twornika prądnicy
15. Rdzeń prądnicy
16. Uzwojenie twornika prądnicy
17. Linia rozcięcia rysunku
18. Rdzeń silnika
19. Element mocujący magnetowody
20. Uzwojenie twornika silnika
21. Rozpiętość kątowa nabiegunnika rdzenia silnika
22. Rozpiętość kątowa nabiegunnika rdzenia prądnicy
23. Połączenia między uzwojeniami silnika i prądnicy
24. Zaciski elektryczne zespołu elektromaszynowego

Zespolona maszyna elektryczna według korzystnego wariantu wykonania, pokazana na Fig. 1, składa się z części silnikowej 2 (zawierającej silnik) i części prądnicowej 1 (zawierającej prądnicę) – połączonych elektrycznie i mechanicznie. Maszyna umieszczona jest w korpusie 5 wykonanym z materiału nieprzewodzącego i niemagnetycznego. W korpusie 5 osadzone są łożyska 4 wału 3. Wał 3 jest wspólny dla wirnika prądnicy 1 i silnika 2. Część prądnicowa złożona jest z twornika 7, magnesów wzbudzających 9 oraz wykonanego z materiału ferromagnetycznego podłoża 8 magnesów wzbudzających 9. Między biegunami twornika 7 prądnicy 1 i powierzchnią biegunów magnetycznych magnesów wzbudzających 9 jest szczelina powietrzna 6. Część silnikowa 2 zespolonej maszyny elektrycznej składa się z twornika 13, magnesów wzbudzających 11 oraz wykonanego z materiału ferromagnetycznego podłoża 10 magnesów wzbudzających 11. Między powierzchnią wirnika i twornika 13 jest szczelina powietrzna 12.

Poszczególne pasma uzwojeń prądnicy 1 i silnika 2 są połączone elektrycznie, co zostało pokazane na Fig. 4.

Między poszczególnymi pasmami uzwojeń 16 twornika 7 prądnicy 1 i uzwojeń 20 twornika 13 silnika 2 umieszczone są zaciski 24 oraz połączenie uzwojeń 16 twornika 7 prądnicy 1 i uzwojeń 20 twornika 13 silnika 2. Kierunki nawinięcia uzwojeń sąsiednich biegunów twornika 7 i twornika 13 są

przeciwnie, a uzwojenia obu części – prądnicowej 1 i silnikowej 2 połączone są szeregowo i wyprowadzone na zaciski elektryczne 24.

Między magnesami wzbudzającymi 9 i magnesami wzbudzającymi 11 jest przesunięcie kątowe wynoszące $\pi/2$ widoczne na Fig. 4. Twornik 7 prądnicy 1 widoczny w przekroju na Fig. 2 złożony jest z rdzeni 15 i nawiniętych na nabiegunkach uzwojeń 16 połączonych z jarzmem 14, przy czym rozpiętość kątowa 22 nabiegownika prądnicy 1 wynosi 3π .

Twornik 13 silnika 2 pokazany w przekroju na Fig. 3 składa się z osobnych rdzeni 18 z nawiniętymi na nich uzwojeniami 20, przy czym rdzenie 18 nie są połączone jarzmem, a zamocowane za pomocą nieprzewodzącego i niemagnetycznego elementu 19, natomiast rozpiętość kątowa 21 nabiegunków twornika 13 silnika 2 wynosi 2π .

Nabiegunki twornika 13 oddziela od powierzchni biegunów magnesów wzbudzających 11 szczelina powietrzna 12. Wirnik silnika 2 z magnesami wzbudzającymi 11 ma identyczną budowę jak wirnik prądnicy 1. Na ferromagnetycznym podłożu 10, mocowane są magnesy wzbudzające 11 o przemiennym kierunku namagnesowania.

W zespolonej maszynie elektrycznej połączenie elektryczne prądnicy 1 i silnika 2 tworzy wał elektryczny do przenoszenia napędu. Prądnica 1 jest napędzana silnikiem spalinowym i wytwarza napięcie przemiennie, które zasila synchronicznie silnik 2, który z kolei napędza urządzenie odbiorcze.

Dobierając stosunek ilości par biegunów w prądnicę 1 i silniku 2 można, w pewnym zakresie, realizować przełożenie obrotów.

Ze względu na opisane własności maszyn składowych takiego zespołu, jego sprawność wypadkowa jest bardzo duża w porównaniu ze znanymi zespolonymi maszynami.

Większa sprawność w stosunku do tradycyjnych maszyn zespolonych, jest skutkiem braku indukowanej siły elektromotorycznej rotacji SEM w silniku a to powoduje, że zachowuje się on jak dławik i nie transformuje, na stronę zasilania (prądnicy), obciążenia o charakterze czynnym. Cecha ta spowodowana jest tym, że szerokość kątowa nabiegownika twornika 13 silnika wynosi 2π . Nabiegownik, przy każdym położeniu wirnika pokrywa dwa różnoimienne bieguny magnesów wzbudzających 11 i wypadkowy strumień wzbudzenia w magnetowodzie twornika 13 wynosi zero (Fig. 3). Prądnica 1 o odwrotnym kierunku indukowanej SEM nie „widzi” silnika 1 jako obciążenia czynnego i prąd w obwodzie prądnica – silnik zależy tylko od stosunku napięcia prądnicy przy rozwartych zaciskach elektrycznych i zsumowanych impedancji uzwojeń twornika 13 silnika 2 i twornika 7 prądnicy 1. Nabiegownik twornika prądnicy 1, przy każdym położeniu wirnika prądnicy pokrywa trzy bieguny układu wzbudzającego (na Fig. 1 są to magnesy 9). Przy naprzemiennym kierunku namagnesowania magnesów 9 strumień wypadkowy powodują magnesy zewnętrzne (pokazuje to Fig. 2). Prąd generowany w pracy prądnicowej działa jednocześnie na magnes środkowy i dodaje pracę silnikową do prądnicowej i przy zwarcu prądnicy napęd silnikowy i hamowanie prądnicowe równoważą się. Prąd jest wtedy maksymalny, niezależnie od obrotów, $\cos\varphi$ równy zero a moment napędowy jest minimalny. Obciążenie prądnicy odbiornikiem o charakterze czynnym zmniejsza prąd twornika i zwiększa współczynnik mocy $\cos\varphi$ i moment napędowy prądnicy.

Przy braku obciążenia mechanicznego na wale silnika (w układzie wału elektrycznego prądnica i silnik mają rozdzielne wały) kąt mocy silnika zbliżony jest do zera. Obciążenie wału silnika powoduje wzrost kąta mocy stopniowo do wielkości $\pi/2$. Dalszy wzrost obciążenia jest przyczyną zerwania synchronizacji. Żeby do tego nie dopuścić trzeba zwiększyć prąd w twornikach prądnicy 1 i silnika 2, zwiększając napięcie prądnicy przy niezmiennych obrotach. W układzie wału elektrycznego, przy elektrycznym połączeniu maszyn składowych jest to możliwe przez zwiększenie strumienia magnetycznego wzbudzającego prądnice 1. Odbywa się to małym nakładem mocy. Na rysunkach nie jest uwzględniona regulacja wzbudzenia prądnicy. Polega ona na zastąpieniu magnesów 9 wzbudzających na wirniku prądnicy 1 wzbudzeniem elektromagnetycznym z doprowadzonym prądem stałym wzbudzenia przez szczotki ślizgowe i pierścienie na wale 3 maszyny.

Przy jednoczesnym połączeniu elektrycznym i mechanicznym jak na Fig. 1 uzyskuje się możliwość zastosowania zespołu elektromaszynowego jako elektrycznej maszyny odwracalnej o podwyższonej sprawności. Przy połączeniu mechanicznym i elektrycznym jednocześnie, jak na Fig. 1, można potraktować zespół elektromaszynowy jak silnik i podać na zaciski 24 dwóch, połączonych szeregowo maszyn, napięcie przemiennie synchronizowane z obrotami wału lub napędzać wał maszyny mechanicznym momentem zewnętrznym (silnikiem spalinowym) i odbierać wytworzoną energię elektryczną jak z prądnicy. Przy zasilaniu elektrycznym zespołu, napięcie zasilające jest zgodne z fazą i kierunkiem indukowanej SEM rotacji w części prądnicowej – wówczas napięcia te dodają się.

Przy połączeniu mechanicznym prądnicy i silnika stosuje się stały, maksymalny kąt mocy wynoszący $\pi/2$ (przesunięcie magnesów wzbudzących 9 i magnesów wzbudzących 11 na wirnikach prądnicy 1 i silnika 2). Napięcie przemienne, zasilające, sumuje się z napięciem przemiennym, generowanym przez prądnicę 1 i oba zasilają silnik 2. Jest to możliwe dzięki właściwościom prądnicy o odwróconej indukowanej sile elektromotorycznej rotacji $\cos\varphi$. Przeciwny kierunek SEM powoduje nakładanie się pracy prądnicowej i silnikowej. Oba reżimy pracy odbywają się przy tym samym kierunku i fazie prądu twornika 7 prądnicy 1. Efektem jest wartość $\cos\varphi$ równa zero przy zwarcu prądnicy (rezystancja uzwojenia jest przyczyną niewielkich strat mocy). Obciążenie prądnicy odbiornikiem indukcyjnym, jakim jest silnik nie wytwarzający SEM powoduje zmniejszenie prądu przy niezmięnionej wartości $\cos\varphi$ a moc mechaniczna silnika 2, dzięki przesunięciu biegunów układu wzbudzenia prądnicy 1 i silnika 2 jest maksymalna. Cały układ zasilany jest z dwóch źródeł: zasilacza i prądnicy 1 przy czym prądnicą obciąża silnik tylko w niewielkim stopniu ($\cos\varphi$ równy zero).

Praca prądnicowa zespołu polega na wprowadzeniu w go w ruch silnikiem zewnętrznym np. spaliny. Przy rozwartych zaciskach 24 zespołu elektromaszynowego pojawi się na nich napięcie SEM prądnicy 1. Przy zwarcu prąd będzie równy iloczynowi SEM i sumy impedancji prądnicy 1 i silnika 2 a $\cos\varphi$ będzie bliski zero niezależnie od obrotów. Po obciążeniu zespołu rezystancją prąd zmaleje a $\cos\varphi$ wzrośnie. Prąd obciążenia płynący w uzwojeniach 20 twornika 13 silnika 2 wytworzy dodatkowy moment napędowy na wspólnym wale 3. Poprawia to sprawność przetwarzania energii w zespole elektromaszynowym.

Elektryczna maszyna zespolona, według wynalazku, ma mniejszy stosunek mocy do masy niż tradycyjne maszyny zespolone ale jej sprawność w wielu zastosowaniach rekompensuje tę niedogodność.

Opisany zespół elektromaszynowy należy do maszyn jednofazowych, ale możliwa jest też budowa takiego zespołu wielofazowego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Zespolona maszyna elektryczna zawierająca korpus (5) z nieprzewodzącego niemagnetycznego materiału, w którym jest osadzony na łożyskach (4) wał (3) wspólny dla części prądnicowej (1) zawierającej twornik (7), magnesy wzbudzące (9) i wykonane z materiału ferromagnetycznego podłoże (8) magnesów wzbudzących (9) oraz dla części silnikowej (2) zawierającej twornik (13), magnesy wzbudzące (11) i wykonane z materiału ferromagnetycznego podłoże (10) magnesów wzbudzących (11), **znamienna tym**, że część prądnicowa (1) i część silnikowa (2) są jednocześnie połączone mechanicznie i elektrycznie, a magnes twornika (13) części silnikowej (2) jest bezjarzmowy.
2. Zespolona maszyna elektryczna według zastrz. 1, **znamienna tym**, że rozpiętość kątowa (22) nabiegunników rdzeni (15) twornika (7) części prądnicowej (1) wynosi 3π a rozpiętość kątowa (21) nabiegunników rdzeni (18) twornika (13) w części silnikowej (2) wynosi 2π .
3. Zespolona maszyna elektryczna, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że część silnikowa (2) i prądnicowa (1) przy sprzężeniu mechanicznym mają wspólny twornik.
4. Zespolona maszyna elektryczna, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że przy sprzężeniu mechanicznym części silnikowej (2) i części prądnicowej (1) twornik (7) części prądnicowej (1) i twornik (13) części silnikowej (2) są połączone elektrycznie.
5. Zespolona maszyna elektryczna, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że kierunki nawinięcia uzwojeń sąsiednich biegunów twornika (7) części prądnicowej (1) i twornika (13) części silnikowej (2) są przeciwne, a uzwojenie (16) twornika (7) części prądnicowej (1) i uzwojenie (20) twornika (13) części silnikowej (2) są połączone szeregowo i wyprowadzone na zaciski elektryczne (24).
6. Zespolona maszyna elektryczna, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że między magnesami wzbudzącymi (9) i (11) jest przesunięcie kątowe wynoszące $\pi/2$.

Rysunki

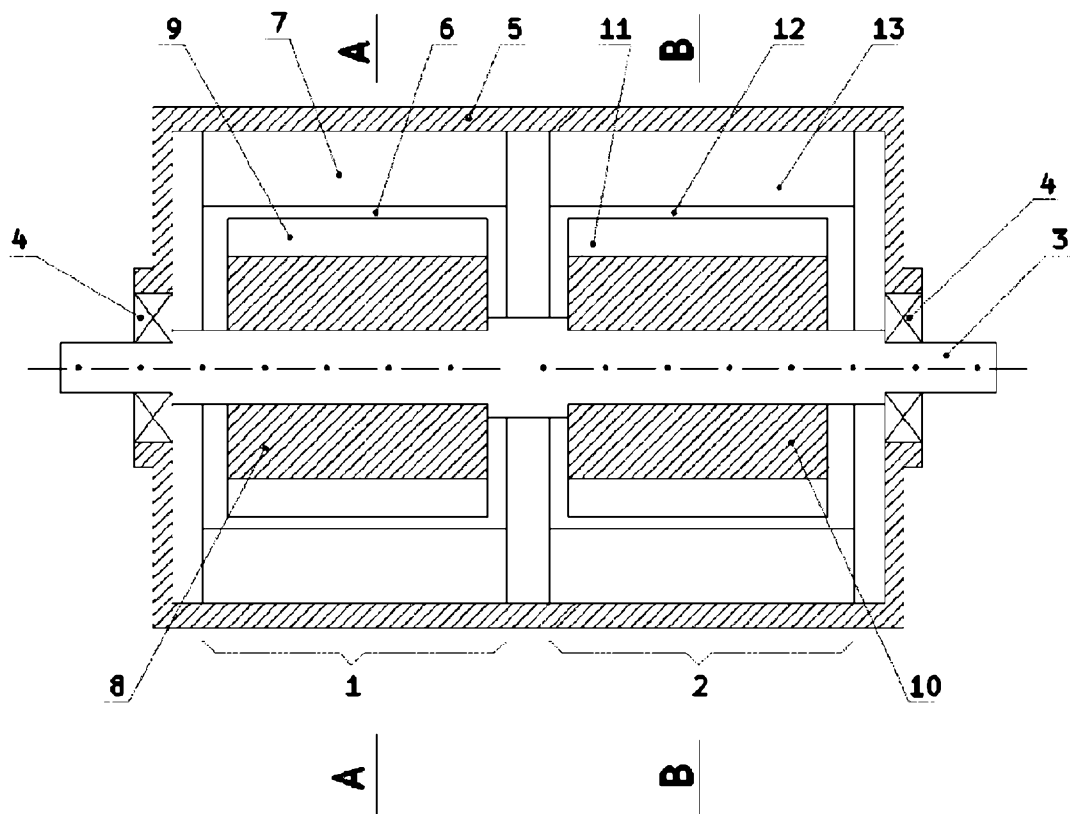


Fig. 1

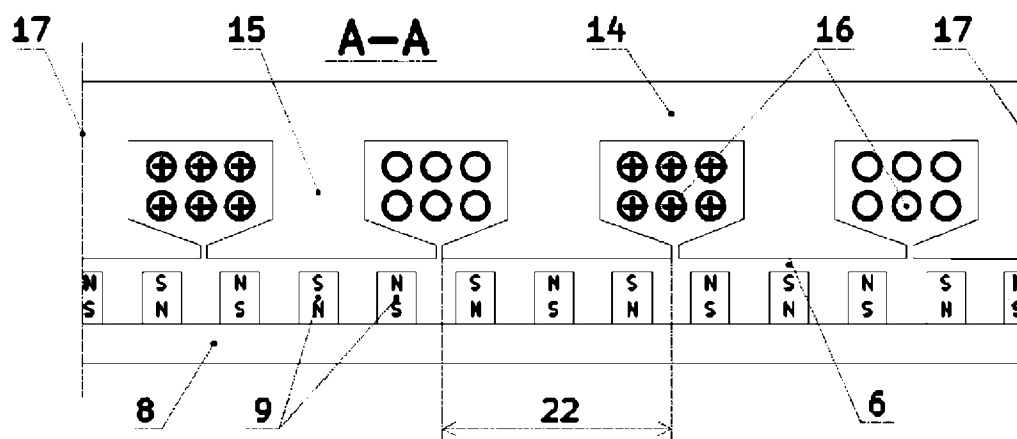


Fig. 2

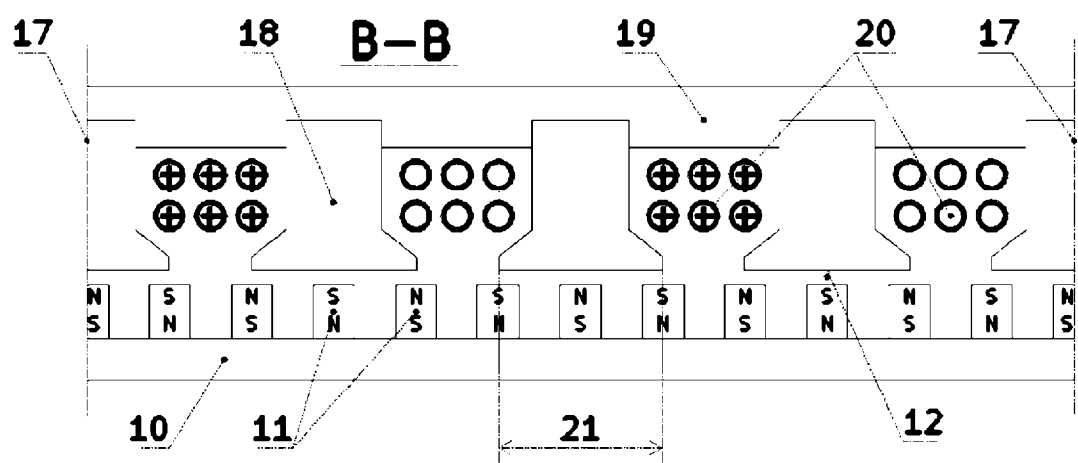


Fig. 3

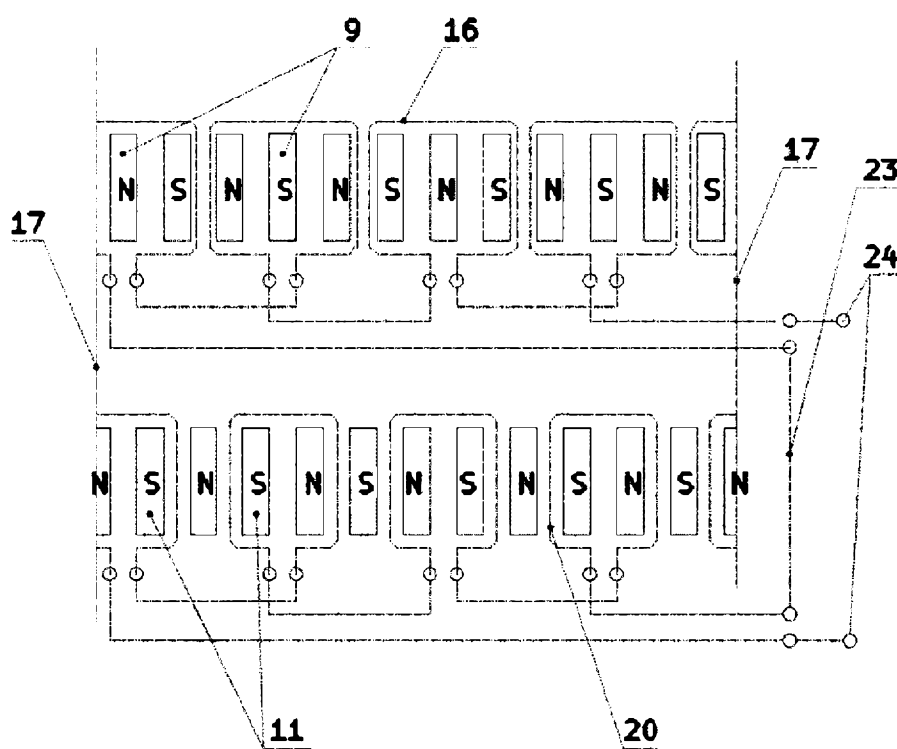


Fig. 4