

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 242553 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438153**

(22) Data zgłoszenia: **2021.06.14**

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

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.03.13 WUP 11/2023**

(51) MKP:

H02K 16/00 (2006.01)

H02K 7/18 (2006.01)

F03D 9/25 (2016.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA,
Częstochowa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MAREK LIS, Częstochowa, PL
ANDRZEJ POPENDA, Częstochowa, PL**

(54) Tytuł:

Generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości

PL 242553 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości.

Typowa maszyna elektryczna zawiera zespół stojana, który jest konstrukcją stacjonarną, oraz zespół wirnika wraz z wałem napędowym, który porusza się ruchem obrotowym względem zespołu stojana. Stojan konwencjonalnej maszyny prądu przemiennego, indukcyjnej lub synchronicznej, zawiera uzwojenia, podczas gdy wirnik, w zależności od typu maszyny, zawiera magnesy trwałe lub elektromagnesy albo uzwojenia w postaci cewek lub klatki. Znane są również maszyny elektryczne o odwróconych rolach stojana i wirnika, do których należy zaliczyć m.in. konwencjonalne maszyny prądu stałego. Stojan i wirnik maszyny synchronicznej lub indukcyjnej są skonfigurowane do współpracy ze sobą w celu wytwarzania wirującego pola magnetycznego, które indukuje napięcia w uzwojeniach maszyny.

Jedną z wad konwencjonalnych maszyn elektrycznych prądu przemiennego jest to, że napięcie indukowane w uzwojeniach oraz jego częstotliwość są bezpośrednio lub blisko skorelowane z prędkością obrotową wirnika, co oznacza, że w celu zwiększenia wartości napięć indukowanych oraz ich częstotliwości należy stosować maszyny o znacznej prędkości obrotowej, co pociąga za sobą wzrost energii mechanicznej dostarczanej do wału i może przyczynić się do spadku sprawności maszyny elektrycznej. Analogiczne problemy związane z korelacją prędkości obrotowej i napięcia indukowanego dotyczą maszyn prądu stałego. Inną wadą jest to, że sterowanie wysokoobrotowymi maszynami elektrycznymi jest skomplikowane, ponieważ im wyższa prędkość obrotowa, tym bardziej skomplikowana jest jej regulacja i/lub utrzymywanie na stałym poziomie.

Znane są również napędy generatorów elektrycznych, np. turbiny wiatrowe, które charakteryzują się niską prędkością obrotową i w celu jej podwyższenia trzeba stosować przekładnię mechaniczną. Istnieje zatem zapotrzebowanie na maszyny elektryczne, które umożliwiają generowanie napięć o odpowiedniej wartości i częstotliwości przy niskich prędkościach obrotowych.

Oprócz opisanych maszyn jednowirnikowych o zwiększonej prędkości obrotowej znane są również z opisów patentowych dwuwirnikowe maszyny elektryczne np. z DE10002092, w których występuje efekt zwiększenia napięcia indukowanego w uzwojeniach oraz jego częstotliwości. Są to maszyny napędzane przeciwbieżnie dwiema niezależnymi turbinami np. GB2447283, DE19543458 czy w lub przekazujące napęd z wału jednego wirnika na drugi za pośrednictwem przekładni mechanicznej np. w WO2019142221 i US2012068472. W drugim rozwiązaniu efekt zwiększenia napięcia indukowanego w uzwojeniach oraz jego częstotliwości osiągnięto poprzez zastosowanie rotacji przeciwnej między przewodem a polem magnetycznym, zwiększając w ten sposób prędkość względną, przy jednoczesnym utrzymaniu niskiej prędkości wału. W związku z tym, poprzez obrót w przeciwnych kierunkach, zwiększono wydajność maszyny ze względu na to, że to samo napięcie wyjściowe jest wytwarzane przy niższej prędkości wejściowej. Wprowadzenie opartego na przekładni mechanicznej zespołu napędowego do generatora dwuwirnikowego o jednym wale napędowym zapewniło uzyskanie większej prędkości względnej obu wirników w porównaniu do prędkości względnej między stojanem a wirnikiem w generatorze konwencjonalnego typu, przy zachowaniu tej samej prędkości obrotowej wału napędowego. Jednocześnie zwiększona prędkość względna wirników w generatorze dwuwirnikowym, przy zachowaniu równoważnego momentu obrotowego na wale generatorów obu typów, zwiększyła moc wyjściową generatora dwuwirnikowego w porównaniu z generatorem konwencjonalnym.

Niniejszy wynalazek pozwala zwiększyć wydajność maszyny w sposób wyłącznie elektryczny, tj. bez potrzeby stosowania podwójnego napędu zewnętrznego lub przekładni mechanicznej. Zastąpienie przekładni mechanicznej napędem elektrycznym skutkuje redukcją niekorzystnych zjawisk związanych z zastosowaniem przekładni mechanicznej, np. luzów czy strat energii w przekładni, szczególnie przy podwyższaniu prędkości.

Ogólnie wiadomo, że zwiększenie napięcia maszyn elektrycznych prądu przemiennego, powiązane z jednoczesnym zwiększeniem częstotliwości, pozwala na uzyskanie większej mocy wyjściowej przy zachowaniu tych samych parametrów konstrukcyjnych obwodu magnetycznego oraz uzwojenia twornika, tj. liczby zwojów i przekroju przewodów, a w rezultacie nie ulegają zmianie wymiary geometryczne maszyny.

Celem wynalazku jest opracowanie takiej konstrukcji generatora elektrycznego z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości, który będzie miał wyższą wydajność w porównaniu z konwencjonalnymi generatorami prądu przemiennego, polegającej na uzyskaniu wyższych wartości generowanego napięcia i częstotliwości bez konieczności podwyższania prędkości obrotowej wału lub na uzyskaniu tego

samego napięcia i częstotliwości przy niższej prędkości wejściowej, oraz o odmiennym sposobie uzyskania wyższej wydajności niż w generatorach dwuwirnikowych znanych z opisów patentowych.

Generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości, będący przedmiotem wynalazku, jest maszyną elektryczną wielostrukturową o jednym wale, z jedną strukturą prądnicową i jedną strukturą przetwarzającą częstotliwość. Struktura prądnicowa jest prądnicą elektryczną prądu przemiennego, na przykład prądnicą synchroniczną, prądnicą asynchroniczną lub prądnicą indukcyjną.

Istotą opracowania rozwiązania jest uzyskanie wyższych wartości generowanego napięcia i częstotliwości w stosunku do napięcia i częstotliwości konwencjonalnych generatorów elektrycznych prądu przemiennego bez konieczności podwyższania prędkości obrotowej wału.

Istotą wynalazku jest generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości charakteryzujący się tym, że na wale generatora z jedną końcówką napędową jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika prądnicy elektrycznej prądu przemiennego z trójfazowym uzwojeniem osadzonym w żłobkach, a wokół wirnika prądnicy osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora lity rdzeń stojana prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi (fig. 1) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy asynchronicznej z uzwojeniem trójfazowym (fig. 2) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem klatkowym (fig. 3), zaś obok wirnika prądnicy na wale jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika przetwornicy częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem umieszczonym w żłobkach, natomiast wokół wirnika przetwornicy częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora pakietowany rdzeń stojana przetwornicy z trójfazowym uzwojeniem, którego przewody zasilające są wyprowadzone na zewnątrz korpusu. Korzystnie trójfazowe uzwojenie osadzone w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika prądnicy prądu przemiennego połączone jest elektrycznie trzema przewodami z trójfazowym uzwojeniem ułożonym w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika przetwornicy częstotliwości, co skutkuje: częstotliwością napięcia indukowanego w uzwojeniu przetwornicy będącą sumą częstotliwości napięcia indukowanego w uzwojeniu prądnicy prądu przemiennego i własnej częstotliwości przetwornicy, zależnej od prędkości obrotowej wału i parametrów konstrukcyjnych przetwornicy, oraz napięciem indukowanym w uzwojeniu przetwornicy proporcjonalnym do sumy obu częstotliwości. Wyższe wartości generowanego napięcia i częstotliwości w porównaniu z konwencjonalnymi generatorami prądu przemiennego uzyskuje się wskutek zwiększenia prędkości wirowania pola magnetycznego, które to zwiększenie nie jest wynikiem podwyższenia prędkości obrotowej wału. Korzystnie generator posiada jeden wał napędowy oraz dwa wirniki osadzone na tym wale, należące odpowiednio do prądnicy prądu przemiennego i przetwornicy częstotliwości, które wirują współbieżnie z jednakową prędkością obrotową. Generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości może być wykonany jako trójfazowy lub o innej liczbie faz. Ponadto może działać jako generator lub silnik.

Wynalazek został uwidoczniiony na rysunku na którym fig. 1 przedstawia generator elektryczny – wariant z prądnicą synchroniczną, fig. 2 generator elektryczny – wariant z prądnicą asynchroniczną, a fig. 3 generator elektryczny – wariant z prądnicą indukcyjną klatkową.

Fig. 1 przedstawia generator, gdzie: 1 – trójfazowe uzwojenie stojana przetwornicy częstotliwości umieszczone w żłobkach, 2 – pakietowany rdzeń stojana przetwornicy częstotliwości, 3 – przewody zasilające, 4 – przewody łączące, 5 – lity rdzeń stojana prądnicy synchronicznej, 6 – magnes trwały przymocowany do wirnika prądnicy synchronicznej, 7 – łożyska wału generatora, 8 – wał generatora, 9 – pakietowany rdzeń wirnika prądnicy, 10 – trójfazowe uzwojenie twornika prądnicy osadzone w żłobkach, 11 – korpus generatora, 12 – pakietowany rdzeń wirnika przetwornicy częstotliwości, 13 – trójfazowe uzwojenie wirnika przetwornicy częstotliwości umieszczone w żłobkach.

Fig. 2 przedstawia generator, gdzie: 14 – przemiennik częstotliwości, 15 – pakietowany rdzeń stojana prądnicy asynchronicznej, 16 – trójfazowe uzwojenie stojana prądnicy asynchronicznej, 2 – magnes trwały silnika wewnętrznego, 14 – lity rdzeń silnika wewnętrznego z magnesami trwałymi, a pozostałe oznaczenia jak na fig. 1.

Fig. 3 – przedstawia generator, gdzie: 17 – pakietowany rdzeń stojana prądnicy indukcyjnej, 18 – uzwojenie klatkowe prądnicy indukcyjnej, a pozostałe oznaczenia jak na fig. 1.

Przykład I

Prądnicę synchroniczną (fig. 1) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 9 z uzwojeniem trójfazowym 10 osadzony na wale 8 oraz lity rdzeń stojana 5 z magnesami trwałymi 6 osadzony w korpusie 11 generatora. Wewnętrzną przetwornicę częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 2 z uzwojeniem trójfazowym 1 osadzony w korpusie 11 oraz pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 osadzony na wale 8.

Pakietowany rdzeń wirnika 9 jest oddzielony szczeliną powietrzną od litego rdzenia stojana 5 z magnesami trwałymi 6. W trójfazowym uzwojeniu 10, poruszającym się ruchem obrotowym w stałym polu magnetycznym wzbudzonym magnesami trwałymi 6, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 8 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy synchronicznej. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 10 jest proporcjonalna do prędkości n_1 . Uzwojenie trójfazowe 10 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 4 z uzwojeniem trójfazowym 13. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 10 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 13, które wytwarza pole magnetyczne wirujące względem stojana z prędkością $n_1 + n_2$, gdzie n_2 – prędkość wirowania pola względem wału, $n_2 = 60f_1/p_2$, p_2 – liczba par biegunów przetwornicy częstotliwości. Pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 2 z uzwojeniem 1. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 1 napięcia o częstotliwości $f_2 = p_2(n_1 + n_2)/60 = (p_1 + p_2)n_1/60$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 jest proporcjonalna do sumy prędkości $n_1 + n_2$. W przypadku $p_1 = p_2$ częstotliwość f_2 napięcia na wyjściu przetwornicy częstotliwości ulega podwojeniu w stosunku do częstotliwości f_1 prądnicy synchronicznej. Jest to przypadek podwajacza częstotliwości, natomiast napięcie na wyjściu przetwornicy częstotliwości zależy zarówno od sumy prędkości $n_1 + n_2$ jak i jego przekładni. W przypadku przekładni jednostkowej, napięcie także ulega podwojeniu w stosunku do napięcia prądnicy synchronicznej.

W przypadku 4-biegunowej prądnicy synchronicznej oraz 4-biegunowego podwajacza częstotliwości dla uzyskania częstotliwości wyjściowej generatora równej 50 Hz należy napędzać jego wirnik z prędkością 750 obr/min. To połowa prędkości z jaką należy napędzać wirnik prądnicy synchronicznej w celu uzyskania napięcia o takiej samej częstotliwości. W zależności od wymaganej prędkości można zaoszczędzić na przekładni mechanicznej lub zainstalować przekładnię o niższym przełożeniu, a tym samym o wyższej wydajności. Ma to znaczenie w przypadku napędów o niskiej prędkości, np. turbin siłowni wiatrowych.

Zastępując generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości, będący przedmiotem wynalazku, dwiema maszynami elektrycznymi nie można osiągnąć optymalnej pracy tak utworzonego generatora elektrycznego z powodu istotnych wad jego konstrukcji, w szczególności: większej objętości i ciężaru, wyższych kosztów oraz większej złożoności konstrukcji i częstszej konserwacji. W niniejszym wynalazku nie występują na przykład pierścienie ślizgowe i szczotki, które komplikują konstrukcję, ulegają stosunkowo szybkiemu zużyciu oraz wymagają częstej konserwacji.

Przykład II

Prądnicę asynchroniczną (fig. 2) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 9 z uzwojeniem trójfazowym 10 osadzony na wale 8 oraz pakietowany rdzeń stojana 15 z uzwojeniem trójfazowym 16 zasilany z przemiennika częstotliwości 14 osadzony w korpusie 11 generatora. Wewnętrzną przetwornicę częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 2 z uzwojeniem trójfazowym 1 osadzony w stojanie oraz pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 osadzony na wale wirnika 8.

Pakietowany rdzeń wirnika 9 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia stojana 15. W trójfazowym uzwojeniu 10, poruszającym się ruchem obrotowym w wirującym polu magnetycznym wzbudzonym przez uzwojenie 16 zasilane z przemiennika częstotliwości 14, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60 \pm f_{inv}$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 8 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy asynchronicznej, f_{inv} – częstotliwość zasilania prądnicy z przemiennika częstotliwości. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 10 jest proporcjonalna do częstotliwości f_1 . Uzwojenie trójfazowe 10 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 4 z uzwojeniem trójfazowym 13. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 10 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 13, które wytwarza pole magnetyczne wirujące względem stojana z prędkością $n_1 \pm 60f_{inv}/p_1 + n_2$, gdzie n_2 – prędkość wirowania pola względem wału, $n_2 = 60f_1/p_2$, p_2 – liczba par biegunów przetwornicy częstotliwości. Pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 2 z uzwojeniem 1. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 1 napięcia o częstotliwości $f_2 = f_1(1 + p_2/p_1)$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 jest proporcjonalna do częstotliwości f_2 . W przypadku $p_1 = p_2$ częstotliwość f_2 wyjściowego napięcia przetwornicy częstotliwości ulega podwojeniu w stosunku do częstotliwości f_1 prądnicy asynchronicznej. Jest to przypadek podwajacza częstotliwości, natomiast napięcie na wyjściu podwajacza częstotliwości zależy zarówno od częstotliwości f_2 jak i jego przekładni. W przypadku przekładni jednostkowej, napięcie także ulega podwojeniu w stosunku do napięcia prądnicy asynchronicznej.

Przykład III

Prądnicę indukcyjną (fig. 3) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 9 z uzwojeniem trójfazowym 10 osadzony na wale 8 oraz pakietowany rdzeń stojana 17 z uzwojeniem klatkowym 18 osadzony w korpusie 11 generatora. Wewnętrzną przetwornicę częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 2 z uzwojeniem trójfazowym 1 osadzony w stojanie oraz pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 osadzony na wale wirnika 8.

Pakietowany rdzeń wirnika 9 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia stojana 17. W trójfazowym uzwojeniu 10, poruszającym się ruchem obrotowym w wirującym polu magnetycznym wzbudzonym przez to uzwojenie zasilane z uzwojenia 13, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60(1 + s)$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 8 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy indukcyjnej, s – poślizg. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 10 jest proporcjonalna do częstotliwości f_1 . Jednocześnie, wskutek oddziaływania tego samego pola wirującego, indukują się napięcia i płyną prądy w zamkniętych obwodach uzwojenia klatkowego 18, które wytwarza własne pole wirujące. W wyniku oddziaływania pól magnetycznych powstaje moment elektromagnetyczny, który przeciwdziała momentowi napędowemu, przyłożonemu do wału 8 generatora. Uzwojenie trójfazowe 10 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 4 z uzwojeniem trójfazowym 13. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 10 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 13, które wytwarza pole magnetyczne wirujące względem stojana z prędkością $n_1/(1 + s) + n_2$, gdzie n_2 – prędkość wirowania pola względem wału, $n_2 = 60f_1/p_2$, p_2 – liczba par biegunów przetwornicy częstotliwości, s – poślizg. Pakietowany rdzeń 12 z uzwojeniem trójfazowym 13 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 2 z uzwojeniem 1. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 1 napięcia o częstotliwości $f_2 = f_1(1 + p_2/p_1)$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 jest proporcjonalna do częstotliwości f_2 . W przypadku $p_1 = p_2$ częstotliwość f_2 napięcia na wyjściu przetwornicy częstotliwości ulega podwojeniu w stosunku do częstotliwości f_1 prądnicy indukcyjnej. Jest to przypadek podwajacza częstotliwości, natomiast napięcie na wyjściu podwajacza częstotliwości zależy zarówno od częstotliwości f_2 jak i jego przekładni. W przypadku przekładni jednostkowej, napięcie także ulega podwojeniu w stosunku do napięcia prądnicy indukcyjnej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Generator elektryczny z wewnętrzną przetwornicą częstotliwości, **znamienny tym**, że na wale 8 generatora z jedną końcówką napędową jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 9 prądnicy elektrycznej prądu przemiennego z trójfazowym uzwojeniem 10 osadzonym w żłóbkach, a wokół wirnika prądnicy osadzony jest nieruchomo w korpusie 11 generatora lity rdzeń 5 stojana prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi 6 lub pakietowany rdzeń 15 stojana prądnicy asynchronicznej z uzwojeniem trójfazowym 16 lub pakietowany rdzeń 17 stojana prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem klatkowym 18, zaś obok wirnika prądnicy na wale 8 jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 12 przetwornicy częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem 13 umieszczonym w żłóbkach, natomiast wokół wirnika przetwornicy częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora 11 pakietowany rdzeń stojana 2 przetwornicy z trójfazowym uzwojeniem 1, którego przewody zasilające 3 są wyprowadzone na zewnątrz korpusu 11.
2. Generator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że trójfazowe uzwojenie 10 osadzone w żłóbkach pakietowanego rdzenia wirnika 9 prądnicy prądu przemiennego połączone jest elektrycznie trzema przewodami 4 z trójfazowym uzwojeniem 13 ułożonym w żłóbkach pakietowanego rdzenia wirnika 12 przetwornicy częstotliwości.
3. Generator według zastrz. 1 lub 2, **znamienny tym**, że posiada jeden wał napędowy oraz dwa wirniki osadzone na tym wale, należące odpowiednio do prądnicy prądu przemiennego i przetwornicy częstotliwości, które wirują współbieżnie z jednakową prędkością obrotową.

Rysunki

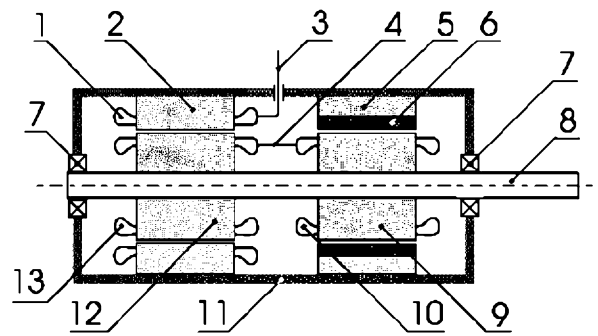


Fig. 1

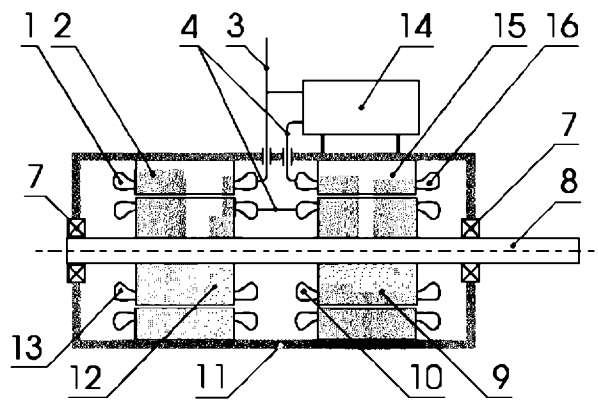


Fig. 2

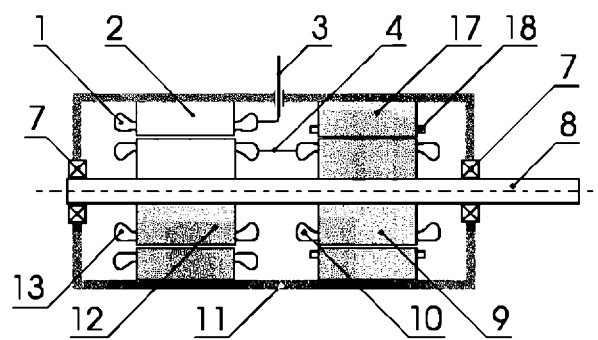


Fig. 3