RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **215980** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **389908**

(22) Data zgłoszenia: **14.12.2009**

(51) Int.Cl.
F16C 32/04 (2006.01)
H02N 15/00 (2006.01)

(54) **Aktywne łożysko magnetyczne i układ sterowania aktywnego łożyska magnetycznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
20.06.2011 BUP 13/11

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.02.2014 WUP 02/14

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

(72) Twórca(y) wynalazku:
ADAM PIŁAT, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Elżbieta Postołek

PL 215980 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest aktywne łożysko magnetyczne i układ sterowania aktywnego łożyska magnetycznego znajdujące zastosowanie do łożyskowania wałów wszelkiego rodzaju silników i maszyn.

Znane aktywne łożysko magnetyczne do łożyskowania wałów napędowych utworzone jest z czterech siłowników w postaci elektromagnesów rozmieszczonych symetrycznie na obwodzie wewnątrz cylindrycznej obudowy, z których każdy utworzony jest z rdzenia z nawiniętą cewką. Rdzenie elektromagnesów, tworzące stojan łożyska, wykonane z pakietu blach mają kształt pierścienia z wewnętrznymi zębami prostymi, albo podków scalonych albo podków odseparowanych o końcach w kształcie zębów prostych, stanowiących nabiegunniki elektromagnesu. Zwoje każdej cewki nawinięte są równomiernie odpowiednio na dwa sąsiednie nabiegunniki rdzenia w kształcie pierścienia albo oba nabiegunniki każdej podkowy w taki sposób, że nabiegunniki rdzenia są spolaryzowane magnetycznie przeciwnie względem siebie.

Znany układ sterowania aktywnego łożyska magnetycznego zawiera układy pomiaru prądu w postaci boczników pomiarowych, które są włączone szeregowo z cewkami elektromagnesów łożyska, podłączonymi do sterownika mocy. Wyjścia układów pomiarowych połączone są poprzez filtry z wejściami komparatora, którego wyjście połączone jest z wejściem sterownika mocy.

Łożysko, według wynalazku zawierające co najwyżej cztery elektromagnesy usytuowane symetrycznie wewnątrz cylindrycznej obudowy, a rdzeń elektromagnesów wykonany z pakietu blach ma kształt pierścienia z wewnętrznymi nabiegunnikami albo ma kształt podków scalonych lub odseparowanych, zaś zwoje cewki każdego elektromagnesu są równomiernie rozłożone na dwóch sąsiednich nabiegunnikach rdzenia w kształcie pierścienia albo na obu nabiegunnikach podkowy i są nawinięte tak, że nabiegunniki sąsiednich elektromagnesów mają przeciwną polaryzację charakteryzuje się tym, że zawiera trzy elektromagnesy symetrycznie usytuowane na obwodzie wewnątrz cylindrycznej obudowy, o rdzeniu w znanym kształcie pierścienia z nabiegunnikami albo podków scalonych lub odseparowanych oraz cewkach nawiniętych w znany sposób. Nabiegunniki rdzenia w kształcie pierścienia jak i podków od strony osi wzdłużnej aktywnego łożyska magnetycznego są zaopatrzone w zaokrąglone wypusty usytuowane symetrycznie względem osi nabiegunników, a w płaszczyźnie czołowej jednego z nabiegunników rdzenia każdego elektromagnesu usytuowane jest wybranie, zaś od przeciwnej strony wewnętrzne krawędzie nabiegunników rdzenia elektromagnesów są styczne do łuku o odpowiednio dobranym promieniu. Ponadto rdzeń każdego elektromagnesu zaopatrzony jest w otwory montażowe oraz wpust stabilizujący elektromagnesy w obudowie.

Układ, według wynalazku, zawierający co najwyżej cztery elektromagnesy oraz sterownik mocy charakteryzuje się tym, że cewki trzech elektromagnesów połączone są odpowiednio z pierwszymi wyjściami oddzielnych sterowników mocy, których wejścia połączone są odpowiednio z wyjściami regulatora. Do wejść regulatora podłączone są odpowiednio poprzez blok lokalizatora położenia wału dwa czujniki położenia wału, które są osadzone w otworach obudowy łożyska, zaś poprzez blok detektora indukcji pola magnetycznego trzy czujniki indukcji magnetycznej, które są umieszczone w wybraniach nabiegunników elektromagnesów oraz drugie wyjścia sterowników mocy.

Ponadto każdy sterownik mocy zawiera tranzystorowy mostek typu H połączony odpowiednio z zaciskami pierwszego wyjścia danego sterownika mocy oraz poprzez układ pomiarowy prądu obciążenia z drugim wyjściem tego sterownika mocy. Jedno wejście mostka typu H połączone jest ze znanym źródłem napięcia stałego, zaś drugie jego wejście sterujące poprzez człon logiki i generator napięcia z podłączonym zewnętrznym układem jest połączone z wyjściem komparatora. Natomiast jedno wejście komparatora połączone jest z wyjściem regulatora, zaś drugie jego wejście połączone jest z wyjściem układu pomiarowego prądu obciążenia.

Aktywne łożysko magnetyczne, według wynalazku, dzięki zastosowaniu trzech elektromagnesów, a także usytuowaniu czujników indukcji pola magnetycznego w czołowych wybraniach nabiegunników jego elektromagnesów umożliwia zmniejszenie szczeliny obwodu magnetycznego, a tym samym umożliwia zwiększenie sztywności łożyska i wytwarzanych sił elektromagnetycznych, poprawę jakości sterowania jak również zmniejszenie gabarytów łożyska.

Przedmiot wynalazku uwidoczniony jest w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój poprzeczny konstrukcji aktywnego łożyska magnetycznego, fig. 2 - przekrój wzdłuż linii A-A, fig. 3 - przekrój poprzeczny innej wersji łożyska, fig. 4 - schemat blokowy układu sterowania łożyska, a fig. 5 - schemat blokowy sterownika mocy.

Łożysko, według wynalazku, przeznaczone do łożyskowania wału 1 zawiera trzy elektromagnesy 2, 3, 4 symetrycznie usytuowane na obwodzie wewnątrz cylindrycznej obudowy 5 o rdzeniu 6 wykonanym z pakietu blach elektrotechnicznych w kształcie pierścienia z wewnętrznymi nabiegunnikami albo podków scalonych lub odseparowanych oraz cewkach 7, 8, 9. Zwoje cewek 7, 8, 9 każdego elektromagnesu 2, 3, 4 są równomiernie rozłożone na dwóch sąsiednich nabiegunnikach rdzenia 6 w kształcie pierścienia albo na obu nabiegunnikach podkowy i są nawinięte tak, że nabiegunniki sąsiednich elektromagnesów 2, 3, 4 mają przeciwną polaryzację. Nabiegunniki rdzenia 6, niezależnie od jego kształtu, od strony osi Z aktywnego łożyska magnetycznego są zaopatrzone w zaokrąglone wypusty 10 usytuowane symetrycznie względem osi d nabiegunnika. Ponadto w płaszczyźnie czołowej jednego z nabiegunników każdego elektromagnesu 2, 3, 4 usytuowane jest wybranie 11, zaś od przeciwnej strony wewnętrzne krawędzie nabiegunników elektromagnesów 2, 3, 4 są styczne do łuku o odpowiednio dobranym promieniu. Rdzeń 6 każdego elektromagnesu 2, 3, 4 zaopatrzony jest w otwory montażowe 12 oraz wpust stabilizujący 13, umożliwiające montaż i stabilizację elektromagnesów 2, 3, 4 w obudowie 5.

Układ sterowania, według wynalazku, zawiera trzy sterowniki mocy 14, 15, 16 podłączone równolegle do źródła napięcia stałego nie uwidocznionego na rysunku. Pierwsze wyjścia $Wy1_1$, $Wy1_2$, $Wy1_3$ sterowników mocy 14, 15, 16 połączone są odpowiednio z cewkami 7, 8, 9 trzech elektromagnesów 2, 3, 4 aktywnego łożyska magnetycznego, według wynalazku, a wejścia tych sterowników mocy 14, 15, 16 połączone są z oddzielnymi wyjściami regulatora 17, Jedne wejścia regulatora 17 połączone są odpowiednio poprzez blok lokalizatora położenia 18 łożyskowanego wału 1 z dwoma bezkontaktowymi czujnikami położenia 19, 20 wału 1, które są osadzone w otworach obudowy 5 o prostopadłych względem siebie osiach X, Y leżących w płaszczyźnie równoległej do czołowej płaszczyzny rdzenia 6 elektromagnesów 2, 3, 4 łożyska. Do kolejnych wejść regulatora 17 podłączone są poprzez blok detektora 21 indukcji pola magnetycznego trzy czujniki indukcji 22, 24, które są umieszczone w wybraniach 11 nabiegunników elektromagnesów 2, 3, 4, a do następnych wejść tego regulatora 17 podłączone są drugie wyjścia $Wy1_1$, $Wy1_2$, $Wy1_3$ sterowników mocy 14, 15, 16. Każdy sterownik mocy 14, 15, 16 zawiera mostek typu H 25 z tranzystorami DMOS połączony odpowiednio z zaciskami pierwszego wyjścia $Wy1_1$, $Wy1_2$, $Wy1_3$ sterownika mocy 14, 15, 16 oraz poprzez układ pomiarowy prądu obciążenia 26 z drugim wyjściem $Wy2_1$, $Wy2_2$, $Wy2_3$ sterownika mocy 14, 15, 16, a jedno wejście mostka typu H 25 połączone jest z nie uwidocznionym na rysunku, znanym źródłem napięcia stałego, zaś drugie wejście sterujące mostka typu H 25 poprzez człon logiki 27 i generator napięcia 28 o regulowanej częstotliwości z podłączonym zewnętrznym pojemnościowo-rezystancyjnym układem 29 połączone jest z wyjściem komparatora 30, którego jedno wejście połączone jest z wyjściem regulatora 17, zaś drugie jego wejście połączone jest z wyjściem układu pomiarowego prądu obciążenia 26. Jako bezkontaktowe czujniki położenia 19, 20 łożyskowanego wału 1 stosowano czujniki wiro-prądowe albo laserowe.

Działanie układu, według wynalazku, jest następujące. Aktywne łożysko magnetyczne, według wynalazku, wykorzystując zjawisko lewitacji powoduje utrzymanie wału 1 w przestrzeni łożyskowej o promieniu ograniczonej przez nabiegunniki trzech niezależnych elektromagnesów 2, 3, 4, które rozmieszczone są względem siebie o kąt 120° i w takiej pozycji, że oś wału 1 leży w osi Z łożyska albo tworzy z nią kąt ostry w zależności od potrzeby. Sygnały pomiarowe z dwóch wiroprądowych czujników położenia 19, 20, służących do bezkontaktowego pomiaru odległości pomiędzy wałem 1 a nabiegunnikami poszczególnych elektromagnesów 2, 3, 4 oraz sygnały z trzech czujników indukcji pola magnetycznego 22, 23, 24 zlokalizowanych w wybraniach 11 nabiegunników tych elektromagnesów 2, 3, 4 poddawane są przetwarzaniu odpowiednio w bloku lokalizatora położenia 18 oraz w bloku detektora indukcji 21 na sygnały napięciowe proporcjonalne do mierzonych wielkości. Następnie, na podstawie sygnałów uzyskanych z wyjść bloku lokalizatora położenia 18 i bloku detektora indukcji 21 oraz sygnałów napięciowych proporcjonalnych do mierzonych prądów obciążenia poszczególnych elektromagnesów 2, 3, 4 uzyskanych z drugich wyjść $Wy2_1$, $Wy2_2$, $Wy2_3$ sterowników mocy 14, 15, 16 wypracowywane są za pomocą regulatora 17 sygnały zadanych prądów dla poszczególnych sterowników mocy 14, 15, 16. Sygnały zadanych prądów z regulatora 17 porównywane są następnie w odpowiednich sterownikach mocy 14, 15, 16 z odpowiadającymi im sygnałami prądu rzeczywistego płynącego przez cewki 7, 8, 9 elektromagnesów 2, 3, 4 za pomocą komparatorów 30, których sygnały wyjściowe powodują generowanie sygnałów o przebiegu piłokształtnym na wyjściach generatorów napięcia 28 o zmiennej częstotliwości. Uzyskane sygnały sterują poprzez człony logiki 27 pracą tranzystorów DMOS mostków typu H 25 sterowników mocy 14, 15, 16, które są zasilane z nie uwidocznionego

na rysunku źródła napięcia stałego o określonej wydajności prądowej i napięciu stosownie dobranym do parametrów zasilanych uzwojeń cewek 7, 8, 9 elektromagnesów 2, 3, 4 oraz konstrukcji mechanicznej łożyska. Napięcie stałe źródła zasilania elektromagnesów 2, 3, 4 łożyska przerywane jest przez tranzystory mostków typu H 25 sterowników 14, 15, 16 ze zmienną częstotliwością a uzyskiwany na ich wyjściu prąd płynący w cewkach 7, 8, 9 elektromagnesów 2, 3, 4 ma przebieg piłokształtnych impulsów o żądanej amplitudzie i zmiennym wypełnieniu.

Wykaz oznaczeń na rysunku

1 - wał
2,3,4 - elektromagnesy
5 - obudowa łożyska
6 - rdzeń elektromagnesu
7,8,9 - cewki elektromagnesów
10 - wypusty
11 - wybranie
12 - otwory montażowe
13 - wpust stabilizujący
14,15,16 - sterowniki mocy
17 - regulator
18 - blok lokalizatora położenia wału
19, 20 - czujniki położenia wału
21 - blok detektora indukcji pola magnetycznego
22,23,24 - czujniki indukcji pola magnetycznego
25 - tranzystorowy mostek typu H
26 - układ pomiarowy prądu obciążenia
27 - człon logiki
28 - generator napięcia
29 - zewnętrzny układ generatora
30 - komparator
X. Y - osie otworów obudowy
Z - oś aktywnego łożyska magnetycznego
d - oś symetrii nabiegunnika
R_b - promień wewnętrzny łożyska

Zastrzeżenia patentowe

1. Aktywne łożysko magnetyczne zawierające co najwyżej cztery elektromagnesy usytuowane symetrycznie wewnątrz cylindrycznej obudowy, a rdzeń elektromagnesów wykonany z pakietu blach ma kształt pierścienia z wewnętrznymi nabiegunnikami albo ma kształt podków scalonych lub odseparowanych, zaś zwoje cewki każdego elektromagnesu są równomiernie rozłożone na dwóch sąsiednich nabiegunnikach rdzenia w kształcie pierścienia albo na obu nabiegunnikach podkowy i są nawinięte tak, że nabiegunniki sąsiednich elektromagnesów mają przeciwną polaryzację, **znamienne tym**, że zawiera trzy elektromagnesy (2, 3, 4) symetrycznie usytuowane na obwodzie wewnątrz cylindrycznej obudowy (5) o rdzeniu (6) w znanym kształcie pierścienia z nabiegunnikami albo podków scalonych lub odseparowanych oraz cewkach (7, 8, 9) nawiniętych w znany sposób, a nabiegunniki rdzenia (6) w kształcie pierścienia jak i podków od strony osi (Z) aktywnego łożyska magnetycznego są zaopatrzone w zaokrąglone wypusty (10) usytuowane symetrycznie względem osi (d) nabiegunników, ponadto w płaszczyźnie czołowej jednego z nabiegunników rdzenia (6) każdego elektromagnesu (2, 3, 4) usytuowane jest wybranie (11), zaś od przeciwnej strony wewnętrzne krawędzie nabiegunników rdzenia (6) elektromagnesów (2, 3, 4) są styczne do łuku o odpowiednio dobranym promieniu, ponadto rdzeń (6) każdego elektromagnesu (2, 3, 4) zaopatrzony jest w otwory montażowe (12) oraz wpust stabilizujący (13) elektromagnesy (2, 3, 4) w obudowie (5).

2. Układ sterowania aktywnego łożyska magnetycznego zawierającego co najwyżej cztery elektromagnesy oraz sterownik mocy, **znamienny tym**, że cewki (7, 8, 9) trzech elektromagnesów (2, 3, 4) połączone są odpowiednio z pierwszymi wyjściami ($Wy1_1$, $Wy1_2$, $Wy1_3$) oddzielnych sterowników mo-

cy (14, 15, 16), których wejścia połączone są odpowiednio z wyjściami regulatora (17), a do wejść regulatora (17) podłączone są odpowiednio poprzez blok lokalizatora położenia (18) wału (1) dwa czujniki położenia (19, 20) wału (1) osadzone w otworach obudowy (5) łożyska, a poprzez blok detektora (21) indukcji pola magnetycznego trzy czujniki indukcji (22, 23, 24) umieszczone w wybraniach (11) nabiegunników elektromagnesów (2, 3, 4) oraz drugie wyjścia ($Wy2_1$, $Wy2_2$, $Wy2_3$) sterowników mocy (14, 15, 16).

3. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że każdy sterownik mocy (14, 15, 16) zawiera tranzystorowy mostek typu H (25) połączony odpowiednio z zaciskami pierwszego wyjścia (Wy1) sterownika mocy (14, 15, 16) oraz poprzez układ pomiarowy prądu obciążenia (26) z drugim wyjściem (Wy2) sterownika mocy (14, 15, 16), a jedno wejście mostka typu H (25) połączone jest ze znanym źródłem napięcia stałego, zaś drugie jego wejście sterujące poprzez człon logiki (27) i generator napięcia (28) z podłączonym zewnętrznym układem (29) jest połączone z wyjściem komparatora (30), którego jedno wejście połączone jest z wyjściem regulatora (17), zaś drugie wejście komparatora (30) połączone jest z wyjściem układu pomiarowego prądu obciążenia (26).

Rysunki

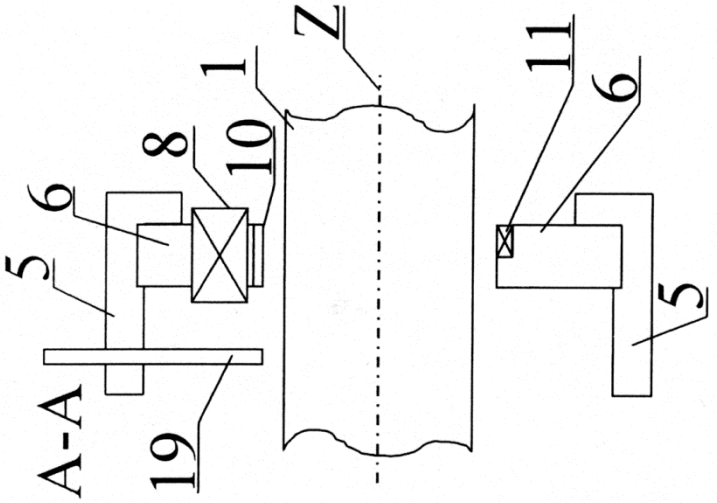

fig. 2

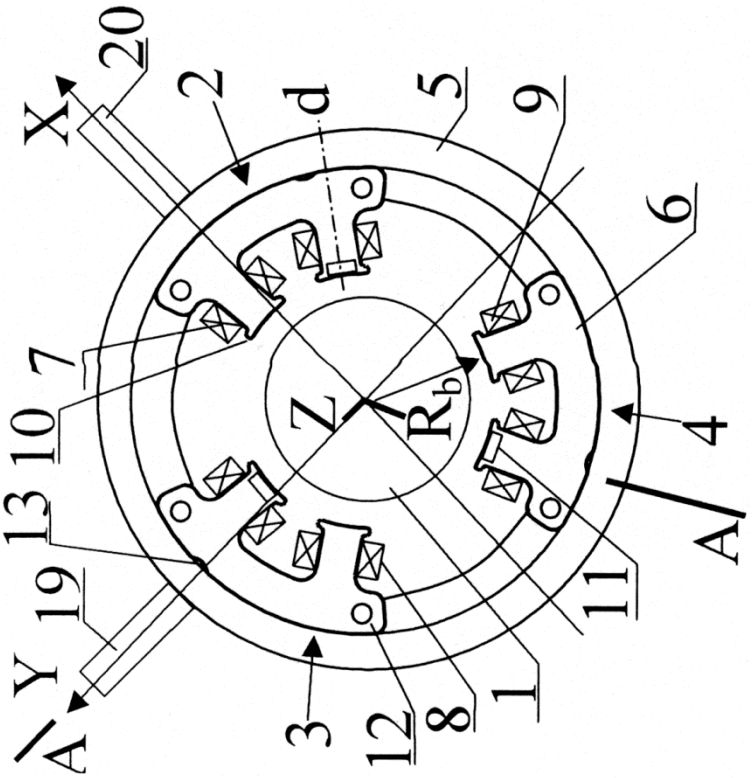

fig. 1

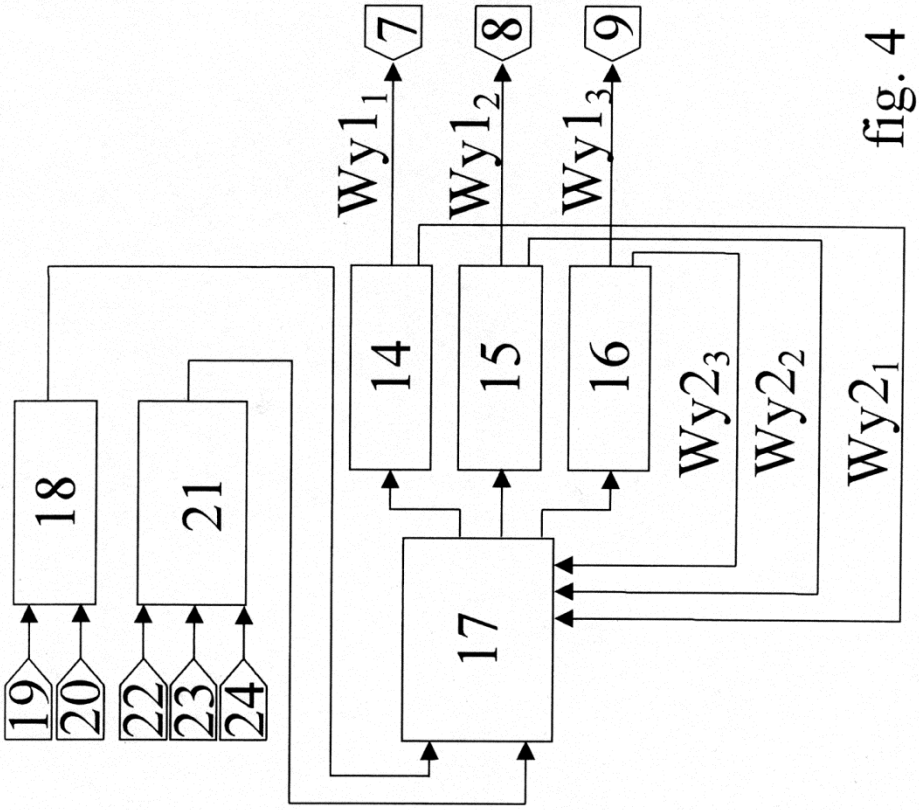
19
20
22
23
24
18
21
17
14
15
16
Wy2$_3$
Wy2$_2$
Wy2$_1$
Wy1$_1$
Wy1$_2$
Wy1$_3$
7
8
9

fig. 4

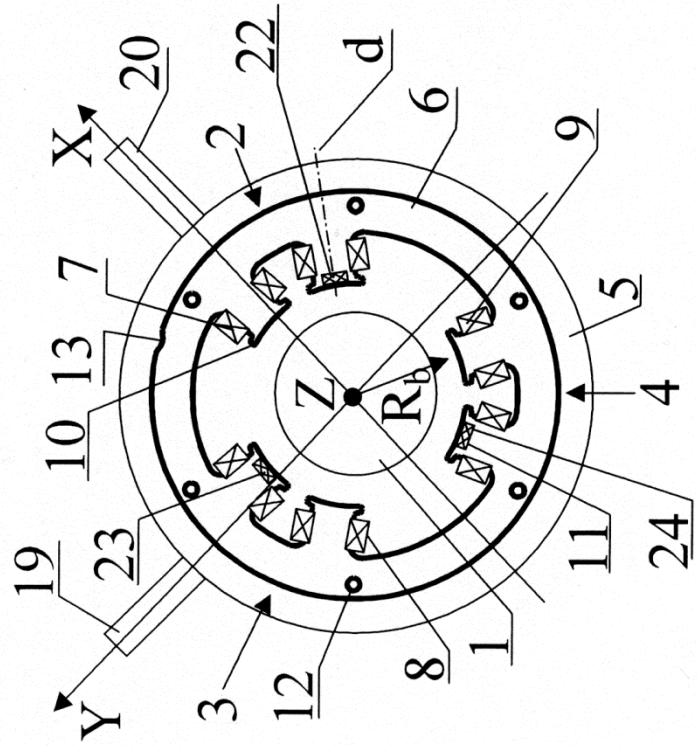
X
Y
Z
R$_b$
d
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
19
20
22
23
24

fig. 3

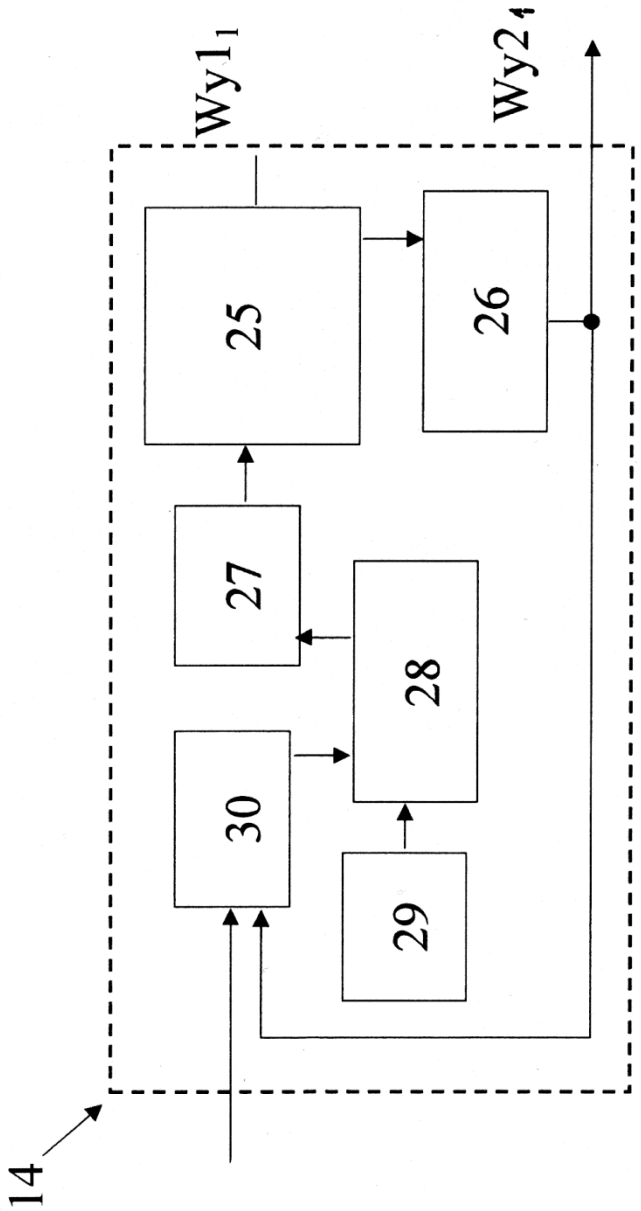

fig. 5

Departament Wydawnictw UP RP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)