(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 42 27 015 A1**

(51) Int. Cl.[5]:
F 16 C 32/04
H 02 K 7/09
G 05 D 3/20
G 01 M 1/08
G 01 R 17/00

(21) Aktenzeichen: P 42 27 015.4
(22) Anmeldetag: 14. 8. 92
(43) Offenlegungstag: 17. 2. 94

DE 42 27 015 A1

(71) Anmelder:
Budig, Peter-Klaus, Prof. Dr.sc.techn., O-9043 Chemnitz, DE; Werner, Ralf, Dr.-Ing., 09117 Chemnitz, DE

(74) Vertreter:
Schneider, M., Pat.-Anw., 09111 Chemnitz

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

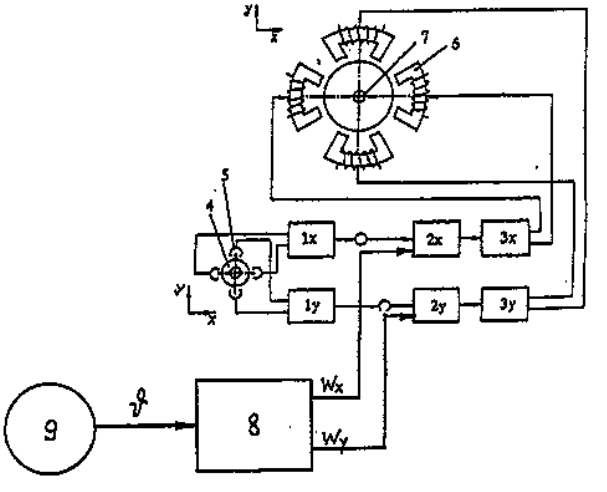
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	35 27 758 A1
DE	33 40 909 A1
DE	31 20 691 A1
FR	25 61 730
US	50 84 643
US	45 54 496
US	38 45 997
WO	91 17 368
SU	16 73 766
SU	16 56 213

JP Patents Abstracts of Japan: 59-200812 A, M- 366, March 27,1985, Vol. 9,No. 67;
4- 19422 A, M-1242, April 30,1992, Vol.16,No.181;
2- 97714 A, M- 991, June 28,1990, Vol.14,No.300;
62-184223 A, M- 663, Jan. 29,1988, Vol.12,No. 31;
3-139141 A, E-1109, Sept. 9,1991, Vol.15,No.355;

(54) Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager für Rotoren

(57) Die Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager für Rotoren mit quer versetzbar gesteuerter geometrischer Achse, mit Sensoren zum Erfassen der tatsächlichen Position der geometrischen Rotorachse, mit mindestens einem Geber für den Sollwert der Lage der geometrischen Rotorachse, mit mindestens einer Verarbeitungseinheit für die Ermittlung von Stellwerten für den Strom der Magnetlager und mit einem Verstärker für die Stellwerte soll zum Zwecke der Verringerung der Schwingungen und zum Zweck der Einsparung quer zur Achse wirksamer Zusatzantriebe für kleine Hübe umgestaltet werden.
Erfindungsgemäß wird das Ziel dadurch erreicht, daß der Speicher für den Sollwert ein Programmspeicher mit einer Folge von drehwinkelbezogenen Einzelsollwerten (Sollwertprogramm) ist, daß das Sollwertprogramm die Parameter der Bahnkurve der geometrischen Rotorachse um die Bahn der tatsächlichen Schwerachse des Rotors enthält, daß dem Sollwertspeicher ein Sollwertgenerator zugeordnet ist, der mit einem Drehwinkelsensor an der Rotorwelle gekoppelt ist.



DE 42 27 015 A1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager für Rotoren mit quer versetzbar gesteuerter, geometrischer Achse, wobei Magnetsysteme paarweise, diametral gegenüber der Wellenachse, auf mindestens zwei sich kreuzenden, radialen Achsen angeordnet sind, und die Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager

— Sensoren zum Erfassen der tatsächlichen Position der geometrischen Rotorachse,
— mindestens einen Geber für den Sollwert der Lage der geometrischen Rotorachse,
— mindestens eine Verarbeitungseinheit für die Ermittlung von Stellwerten für den Strom der Magnetlager und
— Verstärker für die Stellwerte besitzt.

Anordnungen der genannten Art sind u. a. durch die DE 31 20 691 A1 bekannt geworden.

Die aktiven Magnetlager sind zur Achse des Rotors paarweise diametral gegenüber auf zwei sich kreuzenden Achsen angeordnet. Am Umfang des Rotors befinden sich im Bereich dieser beiden radialen Achsen Sensoren von Wegmeßsystemen zum Erfassen der tatsächlichen Lage oder der Bahn der geometrischen Rotorachse gegenüber dem Gestell.

Das Signal dieser Wegmeßsysteme wird Regelverstärkern zugeführt, die diesen Meßwert mit vorgegebenen Sollwerten vergleichen und ein Korrekturprogramm als Stellsignal abgeben. Das Korrekturprogramm enthält die neuen Werte für die Spannung bzw. den Strom für die Spulen der zugeordneten aktiven Magnetlager.

Die durch die aktiven Magnetlager erzeugten, resultierenden Kräfte positionieren auf diese Weise die Lage der geometrischen Rotorachse.

Dieser Regelvorgang wiederholt sich innerhalb einer Rotorumdrehung in Abhängigkeit von dessen Masse, dessen Drehzahl und der Größe des ermittelten Fehlers mehrmals. Im Allgemeinen bewegt sich die geometrische Rotorachse auf einer Bahn, die im Wesentlichen eine Kreisbahn ist. Deren Mittelpunkt entspricht etwa der Schwerachse des Rotors.

Bei Rotoren, die mit relativ niedrigen Drehzahlen bewegt werden, ist diese Anordnung durchaus ausreichend. Bei Rotoren, die, auf den Umfang bezogen, unterschiedliche Profile aufweisen und dazu mit sehr hoher Drehzahl angetrieben werden, treten, bedingt durch die Wirkung der Regelzeitkonstante der Regler und bedingt durch die relativ große Masse des Rotors, im Verhältnis zu den aktiven Magnetkräften bei der Drehbewegung des Rotors Schwingungen am Lager auf.

Diese Schwingungen, können einerseits die Funktionsfähigkeit des Rotors als Werkstück, Werkzeug oder Antriebselement und dgl. negativ beeinflussen. Andererseits erhöhen diese Schwingungen den Lärmpegel und die Belastung des Gestells. Große Lager und Gestellabmessungen mit hohen Massen und Kosten sind die zwingende Folge.

An Werkzeugmaschinen ist es üblich, für die Herstellung von Werkstücken — z. B. Motorenkolben —, die nur im geringen Maße von der kreisrunden Form abweichen, als Rotoren rotierende Werkzeuge oder Werkstücke vorzusehen, die quer zu ihrer Längsachse eine kleine Versatzbewegung ausführen.

Diese Versatzbewegung, quer zur Rotorachse, wird in der Regel durch einen Linearantrieb mit kleinem Hub gesteuert. Das ist hinsichtlich der Anordnung zusätzlicher Antriebe und hinsichtlich ihrer Steuerung und Synchronisation sehr aufwendig.

Ziel der Erfindung ist die Reduzierung der Kosten für derartige Antriebssysteme bei Sicherung einer hohen Laufruhe auch bei hohen Drehzahlen.

Die Aufgabe besteht darin, eine Anordnung zu schaffen, die es erlaubt, die geometrische Achse des Rotors bei der Drehbewegung auf einer unrunden Bahn zu bewegen und diese dabei entweder dem unregelmäßigen Abstand von der jeweiligen Schwerachse und/oder dem Programm für die gesteuerte Versatzbewegung des Rotors entsprechend seiner Arbeitsfunktion folgen zu lassen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im Anspruch 1 definierten Elemente gelöst. Die Verwendung von Sollwertprogrammen für mindestens eine Umdrehung und deren Eingabe über einen Sollwertgenerator, deren Abhängigkeit von Signalen eines Drehwinkelsensors gesteuert wird, gibt dem Regler Sollwerte vor, die nahezu ohne Zeitverzug in Stellsignale umgewandelt, verstärkt werden und auf diese Weise die Lage der geometrischen Achse des Rotors der Position anpaßt, die diese Achse einnehmen würde, wenn der Rotor frei um seine augenblickliche Schwerachse rotiert.

Das bedeutet, daß nicht der Regler mit seinen Stellkräften die Lage des Rotors verändern muß, sondern der Regler lediglich die Lagerkräfte der geometrischen Rotorachse der Lage anpaßt, die der Rotor bei freier Rotation um seine augenblickliche Schwerachse einnehmen würde. Das Magnetlager verhindert damit lediglich, daß sich die Lage des Rotors beim Auftreten anderer äußerer Kräfte oder Schwingungen aus seiner Position entfernt.

Auch bei sehr hohen Drehzahlen folgt die geometrische Achse des Rotors praktisch trägheitslos dem einmal ermittelten, vorgegebenen Programm.

Das vorgegebene Programm kann — wie bereits festgestellt — sowohl die unterschiedlichen Abstände der geometrischen Achse von der veränderlichen, tatsächlichen Schwerachse bei einem Umlauf des Rotors berücksichtigen.

Sie kann aber auch berücksichtigen, welche Lage der Rotor bspw. ausgebildet als Werkzeug — im Verhältnis zu einem ortsfesten oder langsam rotierenden Werkstück innerhalb einer oder mehrerer Umdrehungen ausführen muß. Falls das Werkzeug bei diesem Arbeitsvorgang erfaßbare, vorzugsweise kontinuierliche Schnittkräfte aufbringen muß, die eine definierte Richtung und Größe haben, kann man auch diese Kräfte in dem Programm berücksichtigen.

Auf Grund dessen, daß die geforderten Lagekorrekturen der geometrischen Rotorachse nur im Bereich von wenigen Millimetern oder Bruchteilen von Millimetern erforderlich sind, reicht die Toleranz zwischen minimalem und maximalem Luftspalt in den aktiven Magnetlagern aus, diese Korrekturen ohne zusätzliche Antriebe auszuführen.

Die Vorteile, die durch die Eingabe von Sollwertprogrammen für eine oder mehrere Umdrehungen entstehen, bestenen in einer sehr hohen Laufruhe bei Rotoren mit unterschiedlichem Profil längs ihres Umfanges.

Bei Rotoren, die eine Versatzbewegung für die Ausführung einer bestimmten Funktion vorgesehen sind, kann ein zusätzlicher Versatzantrieb eingespart werden.

Werden die Arbeitsprogramme bezüglich des Versat-

zes der Rotorachse in Intervallen durchgeführt, die deutlich größer sind als eine Rotorumdrehung, dann ist es zweckmäßig, entweder getrennte Steuerungen mit unterschiedlichen Programmen oder kombinierte Programme für eine einheitliche Steuerung einzusetzen.

Unter kombinierten Programmen werden solche Programme verstanden, die ein erstes Programm haben, das einmal die Lagerkräfte auf die Position der geometrischen Achse orientieren, die sie bei freier Rotation um die Schwerachse einnehmen würde, steuert und andererseits ein zweites Programm besitzt, das aktive Versatzbewegungen des Rotors zum Zwecke der Ausführung von Arbeitsfunktionen auslöst. Beide Programme sind dabei einander überlagert.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

In der einzigen Figur ist als Rotor 4 eine Werkzeugspindel vorgesehen. Dieser Rotor 4 wird mittels aktiv steuerbarer, gestellfest angeordneter Magnete 6 gelagert. Die Lage des Rotors 4 wird durch die resultierenden Magnetkräfte der Magnete 6 bestimmt. Die geometrische Achse des Rotors 4 befindet sich stets dort, wo die Summe aller auf den Rotor 4 wirkenden Kräfte gleich Null ist.

Unter geometrischer Achse des Rotors 4 verstehen wir die geometrische Achse des Lagerzapfens des Rotors 4.

Als Schwerachse wollen wir hier die Achse bezeichnen, auf der, horizontal gelagert, der Rotor 4 in der jeweiligen Winkellage im Gleichgewicht ist.

Bei einem in Umfangsrichtung des Rotors 4 unterschiedlichen Profil kann diese Schwerachse im Laufe einer Umdrehung unterschiedlich weit von der geometrischen Achse entfernt sein.

Die aktiven Magnete 6 befinden sich, paarweise gegeneinander gerichtet, einmal auf der X-Achse und zum anderen auf der Y-Achse.

Parallel dazu sind, vorteilhaft nahe an diesen Magneten 6 Sensoren 5 am Umfang des Rotors 4 im Bereich 41 angeordnet, die die tatsächliche Lage oder Bahn der geometrischen Achse des Rotors 4 erfassen und über die Wegmeßsysteme 1x, 1y den Reglern 2x, 2y in Form proportionaler elektrischer Signale als IST-Wert zuführen.

Wiederum parallel zu diesen Sensoren 5 ist auf der Achse des Rotors 4 ein Drehwinkelgeber 42 vorgesehen, der über einen Sollwertgenerator 8 winkelbezogen gespeicherte Sollwertprogramme Wx, Wy aus einem Sollwertprogrammspeicher abruft.

Diese programmartig wechselnden Sollwerte Wx, Wy werden dem Sollwerteingang des Reglers 2x, 2y zugeführt.

Das von den Reglern 2x, 2y bereitgestellte Stellsignal wird über einen Verstärker 3x, 3y verstärkt und in differenzierter Form den beiden Spulen der Magnete 6 einer Achse, einem sogenannten Magnetsystem zugeführt.

Die aus diesem Stellsignal in der Summe entstehenden resultierenden Stellkräfte passen sich somit der Lageveränderung der geometrischen Achse des Rotors 4 an, so, daß der Rotor 4 sicher bei seiner Rotation um die augenblickliche Schwerachse in dieser Lage gehalten ist. Das bedeutet, daß die geometrische Summe der Stellkräfte aller aktiven Magnete 6 in der augenblicklichen Lage der geometrischen Achse des Rotors 4 gleich Null ist.

Unabhängig von der Masse des Rotors 4, der Kräfte der aktiven Magnete 6 und der Größe des Korrekturhubes, arbeitet diese Regelvorrichtung praktisch trägheitslos. Der Rotor 4 rotiert dadurch um seine tatsächliche Schwerachse.

Muß der Rotor 4 zur Ausführung einer Arbeitsfunktion eine zusätzliche, kleine Versatzbewegungen quer zu seiner Achse ausführen, wird das Programm dieses Versatzes dem Programm für die Rotation um die tatsächliche Schwerachse überlagert.

Auf diese Weise kann die Werkzeugspindel einerseits sehr hochtourig — ohne Übertragung von Schwingungen auf das Gestell — angetrieben werden und kann zusätzlich, entsprechend einem Arbeitsprogramm quer zu ihrer Längsachse innerhalb der Luftspalttoleranzen bewegt werden.

Das dafür eingegebene Programm kann dabei, soweit definiert erfaßbar, auch die gegebenenfalls auftretenden Schnittkräfte mit berücksichtigen.

Der Ort und die Art und Weise der Überlagerung der Programme für den Korrekturhub und den Arbeitshub ist praktisch nicht von Bedeutung.

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand der Rechentechnik und der vorhandenen Software ist es sinnvoll, einem Regler ein kombiniertes Programm vorzugeben.

Daneben ist es aber auch möglich, einen ersten Regler mit einem festen Regelprogramm für den Korrekturhub zu versehen und über einen zweiten Regler das Sollwertprogramm für die Arbeitshübe dem Magnetlager zuzuleiten.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

1x, 1y Wegmeßsystem
2x, 2y Regler
3x, 3y Verstärker
4 Rotor
41 — Bereich für Sensoren
42 — Drehwinkelgeber
5 Sensoren
6 Magnete
8 Sollwertgenerator
x Achse, horizontal
y Achse, vertikal
Wx, Wy Sollwertprogramm

Patentansprüche

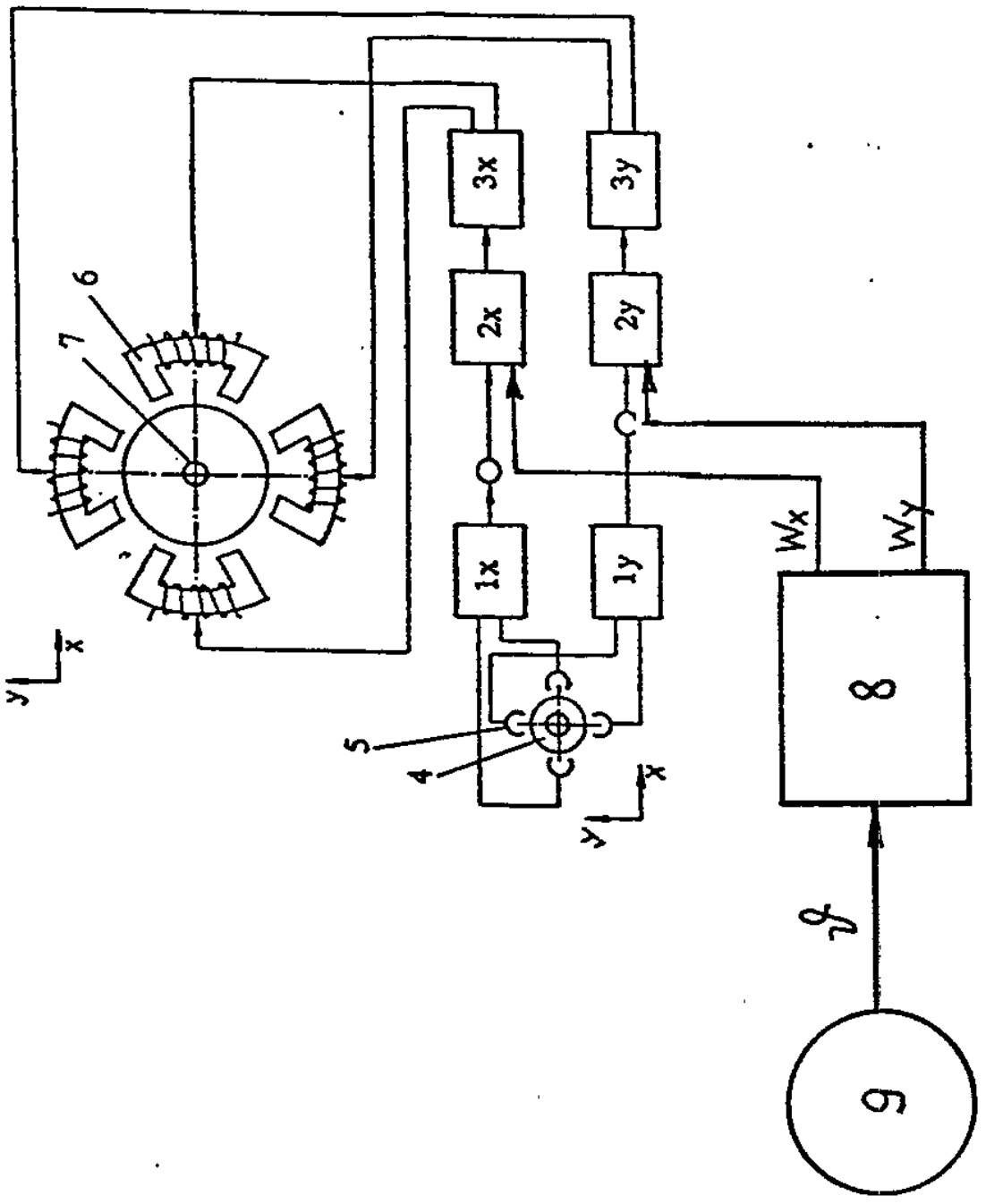
1. Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager für Rotoren mit quer versetzbar gesteuerter geometrischer Achse,
wobei Magnetsysteme paarweise, diametral gegenüber der Wellenachse, auf mindestens zwei sich kreuzenden, radialen Achsen angeordnet sind, und die Anordnung zum Stellen des Stromes der Magnetlager
— Sensoren zum Erfassen der tatsächlichen Position der geometrischen Rotorachse,
— mindestens einen Geber für den Sollwert der Lage der geometrischen Rotorachse,
— mindestens eine Verarbeitungseinheit für die Ermittlung von Stellwerten für den Strom der Magnetlager und
— Verstärker für die Stellwerte besitzt,
dadurch gekennzeichnet,
— daß der Geber für den Sollwert ein Programmspeicher mit einer Folge von drehwinkelbezogenen Einzelsollwerten (Sollwertprogramm Wx, Wy) ist,
— daß das Sollwertprogramm (Wx, Wy) die Parameter der Bahnkurve der geometrischen

Rotorachse um die Bahn der tatsächlichen Schwerachse des Rotors enthält,
— daß dem Sollwertspeicher ein Sollwertgenerator (8) zugeordnet ist, der mit einem Drehwinkelsensor (42) an der Rotorwelle (4) gekoppelt ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bahn der tatsächlichen Schwerachse des Rotors (4) nahezu punktförmig ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bahn der tatsächlichen Schwerachse einem funktionsbedingten Versatzprogramm des Rotors (4) entspricht.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Nummer: DE 42 27 015 A1
Int. Cl.[5]: F 16 C 32/04
Offenlegungstag: 17. Februar 1994