

⑤

Int. Cl. 2:

H 02 K 5-16

⑩ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 24 06 790 A1

⑪

Offenlegungsschrift 24 06 790

⑫

Aktenzeichen: P 24 06 790.1-32

⑬

Anmeldetag: 9. 2. 75

⑭

Offenlegungstag: 14. 8. 75

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

㉓

Bezeichnung: Radiales aktives magnetisches Lager mit Drehantrieb

○

Zusatz in: P 24 57 084.1

㉔

Anmelder: Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt

㉕

Erfinder: Hermann, Peter Konrad, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

DT 24 06 790 A1

Licentia Patent-Verwaltungs GmbH
6 Frankfurt a.M., Theodor Stern Kai 1

Lehmann/li

B I 74/7

Radiales aktives magnetisches Lager mit Drehantrieb.

Die Erfindung bezieht sich auf ein radiales aktives magnetisches Lager mit Drehantrieb, bestehend aus der Kombination ein oder mehrerer Ständer und einem Rotor mit einem von Sensoren überwachten Luftspalt, wobei jeweils dem von der Ständerwicklung durch Speisung mit Drehstrom erzeugten Antriebsdrehfeld ein Steuerfeld überlagert ist.

Es ist bereits bekannt geworden, durch besondere Anordnungen Rotationskörper elektromagnetisch zu lagern (DAS 1 750 602) und elektromotorisch in Umdrehungen zu versetzen.

Es wurde ferner bereits vorgeschlagen (Patentanmeldung P 23 58 527.5), die Anordnungen für die Lagerung und den Antrieb eines Rotationskörpers zu kombinieren, um so zu wirtschaftlichen Ausführungsformen zu kommen.

So erläutert die vorgenannte Patentanmeldung ein magnetisches Lager in Kombination mit dem Drehfeld überlagerten, unipolaren Steuerfeldern, wie sie durch konzentrische Steuerspulen oder durch Steuerströme bewirkt werden, die zwischen dem Motorwicklungssternpunkt und dem des Speisernetzes eingespeist werden. Es werden Schaltungen beschrieben, die unipolare zwei- oder vierpolige Steuerwechselfelder erzeugen und dem Drehfeld der Antriebswicklungen überlagern.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, diese Ausführungsformen durch Verringerung des Aufwandes wirtschaftlicher zu gestalten.

Eine Erfindung wird demzufolge bei einer eingangs beschriebenen Anordnung darin gesehen, dass einem n-polpaarigen Antriebsdrehfeld ein $n \pm 1$ -polpaariges über die Sensoren modulierte Steuer^{dreh}feld überlagert ist.

Es werden also die Steuerspulen bzw. die Sternpunktbeschaltung mit Steuerstrom so ausgelegt, dass bei einem zweipoligen Antriebsdrehfeld ein gleichsinnig umlaufendes vierpoliges Steuerdrehfeld und bei einem vierpoligen Antriebsdrehfeld ein zweipoliges Steuerdrehfeld überlagert ist, das bei konstanten Messwerten der den Luftspalt überwachenden Sensoren mit gleicher Frequenz gespeist wird wie das Antriebsdrehfeld und daher mit halber Frequenz umläuft wie dieses, sofern es vierpolig ist, bzw. mit doppelter Frequenz wenn es zweipolig, das Antriebsdrehfeld dagegen vierpolig ist.

Die Phasenlage des Steuerdrehfeldes bezogen auf die des Antriebsdrehfeldes wird in Abhängigkeit von den den Luftspalt überwachenden Sensoren so gesteuert, dass in der Richtung, in der eine Lagerstellkraft erzeugt werden muss, um die von den Sensoren gemessene Exzentrizität zu reduzieren, Steuerfeld und Antriebsfeld gleichzeitig Scheitelwerte gleichen Vorzeichens der Luftspaltinduktion durchlaufen.

Der besondere Vorteil dieser speziellen Ausgestaltung des Steuerfeldes besteht darin, dass die Stellkraft auf den Läufer, die in Richtung auf diesen Umfangspunkt entsteht, konstant ist, so dass es keiner Tandemanordnung mit zwei Drehfeldsystemen mehr bedarf, um die erzeugte Stellkraft von evtl. unerwünschten Vibrationen dieser Modulationsfrequenz zu befreien. Auch quer zu der Richtung der erzeugten Stellkraft entstehen bei der neuen erfindungsgemässen Ausführung keine ungewollten Vibrations- oder sonstige Störkräfte.

Die Durchführung dieses Erfindungsgedankens ist sowohl mit getrennten Drehfeldwicklungen für Antriebs- und Steuerfeld möglich als auch unter Benutzung einer einzigen Drehfeldwicklung für Antriebs- und Steuerfeld. Es wird jedoch eine Ausführung mit getrennten Wicklungen vorzuziehen sein, da es für die Vibrationsfreiheit der erzeugten Stellkraft wichtig ist, dass Steuerfeld und Antriebsfeld räumlich und zeitlich sinusförmig verteilt sind, was bei gemeinsamer Wicklung stets nur für eines der beiden Drehfelder ausführbar ist. Beide Ausführungsformen werden im folgenden beschrieben.

Getrennte Wicklungen für Antriebs- und Steuerdrehfeld haben noch den weiteren Vorteil, dass einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend beide Wicklungen durch einen "Anlasschalter" miteinander vertauscht werden können. Aus dem Stillstand heraus wird dann das vierpolige Drehfeldsystem als Antriebs- und das zweipolige als Steuerdrehfeldsystem geschaltet.

Nach dem Hochlauf auf nahezu halbe Nenndrehzahl werden beide Drehfeldsysteme miteinander vertauscht, so dass der weitere Hochlauf auf Nenndrehzahl mit zweipoligem Antriebs- und vierpoligem Steuerdrehfeld erfolgt. Die Hochlauf-Verlustwärme ist dann nur 1/4 derjenigen, die im Läufer freigesetzt wird, wenn man aus dem Stillstand heraus mit dem zweipoligen Antriebsdrehfeld hochfährt.

Einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend wird die Hilfsspannung für das Steuerefeld nicht vom Speisenspannungsnetz sondern z.B. über Stromwandler vom Speisestrom des Antriebsdrehfeldes entnommen. Auf diese Weise wird die richtige Zuordnung der Drehfeldphasen von Steuer- und Antriebsfeld gewährleistet, die sonst lastabhängig wird, weil der Leistungsfaktor verschiedener Drehfeldmotortypen lastabhängig ist.

Weiterhin wird als Trägerfrequenz der Sensoren die Speisefrequenz des Antriebsdrehfeldes und insbesondere in der über die genannten Stromwandler gewonnenen Phasenlage verwendet.

Der besondere Vorteil, der durch diese Massnahme erreicht wird, besteht darin, dass die Sensoren selbst als Multiplikatoren von Hilfsfrequenz und Luftspaltmesswert dienen, so dass die sonst bei induktiven Wegmessern erforderlichen Trägerfrequenzgeneratoren, phasenabhängigen Demodulatoren (Lock-in Schaltung) und Glättungsglieder zum Wiederausscheiden der Trägerfrequenz sowie die Multiplikationsschaltung mit der Speisefrequenz entfallen. Ebenfalls entfällt dadurch die Notwendigkeit, dass die Trägerfrequenz soviel grösser als die maximale Messfrequenz sein muss, dass die Siebmittel für die Trägerfrequenz ausreichend und für die Messfrequenz phasenrein genug bleiben. Die erfindungsgemässe Schaltung ist für Messfrequenzen der Exzentrizität brauchbar, die von Null bis weit über die Trägerfrequenz (Speisefrequenz) reicht.

Einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend werden R-C-Phasenschieberschaltungen zwischen die Sekundärseiten der Sensoren

und die Eingänge der die Steuerströme liefernden Verstärker geschaltet, um die Winkellage zwischen der von den Sensoren gemessenen Richtung der Exzentrizität und der ausgelösten Krafrichtung zu justieren. Je nach zu berücksichtigenden Kreiselkräften und der von ihnen ausgelösten Präzession muss dieser Winkel gegebenenfalls von Null verschieden sein.

Zum Zwecke der Dämpfung von Regelkreisschwingungen der magnetischen Lagerung ist es bekannt, den Verstärkern nicht nur die Sensorenspannung sondern auch deren zeitliche Ableitung zuzuführen, die durch C - R Schaltungen oder durch R-L Schaltungen erzeugt werden kann. Das ist jedoch nur vor der Multiplikation der Sensorenspannung mit der Hilfsspannung von Speisefrequenz möglich, nicht jedoch, wenn erfindungsgemäss vom Sensor die bereits mit dieser Hilfsfrequenz (Speisefrequenz) multiplizierte Meßspannung geliefert wird.

Einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend wird die Dämpfung von Regelkreisschwingungen, also auch von Lager-schwingungen, dadurch bewirkt, dass zwischen Sensorenausgang und Verstärkereingang schwach gedämpfte Resonanzkreise geschaltet werden, deren Resonanzfrequenz auf die Speisefrequenz oder einen dicht daneben liegenden Wert abgestimmt wird. Hierfür kommen sowohl Reihen- wie Parallelresonanzkreise in Frage. Besonders vorteilhaft ist eine Schaltung, bei der an den Ausgang der Sensoren ein Reihenresonanzkreis geschaltet wird, bestehend aus einem ohmschen Widerstand R mit einem Abgriff als der einen Ausgangsklemme, einer Kapazität C und einer Induktivität L , die ebenfalls einen Abgriff an einer Teilwindungszahl aufweist. Dieser Abgriff wird mit dem Sensorausgang verbunden, während das Wicklungsende der Induktivität

als zweite Ausgangsklemme des Dämpfungsresonanzkreises dient. In dieser Anordnung wird mit dem Widerstandsabgriff das Verhältnis von Proportional- und Differentialanteil der Steuerspannung gestellt und mit dem Induktivitätsabgriff die im Schwingkreis mit wirksame Selbstinduktivität der Sensorenwicklungen kompensiert, so dass die Ausgangsspannung auch während der die Dämpfung bewirkenden Ausgleichvorgänge des Resonanzkreises phasengleich mit dem eingeschwungenen Zustand bleibt. Das kann wichtig werden um zu vermeiden, dass die Schwingungsdämpfung in einer Richtung nicht eine zusätzliche Entdämpfung in der dazu senkrechten Tastrichtung bewirkt. Auch die geringe Abweichung der Resonanzfrequenz $\omega = 1/\sqrt{L \cdot C}$ dieser Dämpfungsschaltung von der Speisefrequenz ω_0 dient dazu, einen "phasenreinen" Einschwingvorgang zu erzwingen, derart, dass wird:

$$\omega_0 = \sqrt{1/LC - (R/2L)^2}$$

Anhand einer Zeichnung sei ein schematisches Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Die Fig. 1 und 2 zeigen ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgedankens bei Verwendung getrennter Antriebs- und Steuerdrehfeldwicklungen.

Fig. 1 zeigt die Schaltung, Fig. 2 die räumliche Anordnung, und zwar Fig. 2a die der Antriebswicklung, Fig. 2b die der Sensoren und Fig. 2c die der Steuerwicklung.

Die in Stern geschaltete Antriebsdrehfeldwicklung 1 (Fig. 1 und 2a) wird vom Speisnetz R S T über Stromwandler St (Fig. 1)

- 4 -

8

gespeist. Als Bürde des Stromwandlers der R Phase sind die Erregerwicklungen 2 und 3 der Sensoren 14 und 15 (Fig. 2b), die an den einander gegenüberliegenden Stellen des Luftspaltes liegen, an denen die R Phase maximale Luftspaltinduktion erzeugt, in Reihe geschaltet. Entsprechend sind die Erregerwicklungen 6 und 7 der Sensoren 16 und 17 der Phase S und die Wicklungen 10 und 11 der Sensoren 18 und 19 der Phase T zugeordnet. Die Sekundärwicklungen 4 und 5 der Sensoren 14 und 15 für Phase R, 8 und 9 für S und 12 und 13 für T sind relativ zu den primärseitigen Strömen gegeneinander in Reihe geschaltet, ergeben daher bei Exzentrizität des Läufers eine dieser nahezu proportionale Differenzspannung, die gegen den entsprechenden Phasenstrom 90° phasenverschoben ist.

Des weiteren sind auf jedem Einzelsensor noch je eine weitere Sekundärwicklung von $1/3$ der Windungszahl der genannten Sekundärwicklungen 4, 5, 8, 9 usw. angebracht, die einheitlich mit k bezeichnet sind und von allen 6 Sensoren in Reihe geschaltet sind. Das eine Ende dieser Reihenschaltung ist der gemeinsame Ausgang a für alle drei Sensorenrichtungen, das andere Ende ist mit den zu einem Sternpunkt s verbundenen Reihenschaltungen der Sekundärwicklungen 4 und 5; 8 und 9; sowie 12 und 13 verbunden, deren freies Wicklungsende die drei Ausgänge $a_R; a_S$ und a_T für Steuerspannungen für das Steuerdrehfeld sind. Die einzelne Steuerspannung setzt sich demnach zusammen aus der Differenz der Sekundärspannung zweier einander gegenüberliegender Einzelsensoren abzüglich von einem

Drittel der Summe der Sensordifferenzspannungen in allen drei Tastrichtungen. Durch diese einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechende Schaltung ergänzen sich die drei Steuerspannungen in der nachgeschalteten Steuerdrehfeldwicklung zu einem vierpoligen reinen Steuerdrehfeld mit gleichem Drehsinn wie das Antriebsdrehfeld, dessen Amplitude dem Betrag der Exzentrizität proportional ist und dessen mit dem Antriebsdrehfeld vorzeichengleiche Luftspaltscheitelinduktion an der Umfangsstelle liegt, an der eine Zugstellkraft auf den Läufer ausgeübt werden muss, um diesen wieder zu zentrieren. Ohne den Abzug von einem Drittel der Summe der Differenzspannungen in den drei Tastrichtungen würde eine zusätzliche unipolare Steuerfeldkomponente entstehen, so dass die Stellkraft störmoduliert wäre, also mit Störvibrationen verbunden, die zu kritischen Läuferschwingungen führen können. Statt der Kompensation solcher Störkräfte mit der Reihenschaltung der Spulen k in Fig. 1 kann man sie auch unterdrücken durch offenen Sternpunkt O an der Steuerdrehfeldwicklung. ^{26(Fig.1u.2c} Das geht aber nur, wenn die Verstärker spannungssteuernd sind. Vorteilhafter sind jedoch stromsteuernde Verstärker, wenn die Sensoren vom Antriebsstrom erregt werden.

Die Steuerspannung z.B. der Phase R wird auf den Reihenresonanzkreis 30 (Fig. 1) geschaltet, wobei der Ausgang dieses der Dämpfung dienenden Vierpols am Abgriff von dem Widerstand r und am freien Ende der Induktivität L angeschlossen ist. An den Dämpfungsvierpol 30 ist der Phasenjustier-Vierpol 20 angeschlossen, der als Brückenschaltung aufgebaut ist und aus zwei kapazitiven und zwei vorzugsweise gemeinsam mit vier

weiteren Widerständen der entsprechenden Vierpole 21 und 22 der Phasen S und T verstellbaren Widerständen^{R₂} besteht. Die Ausgänge der Phasenjustier Vierpole sind mit den drei Verstärkern 23, 24 und 25 verbunden, die als eingangsseitig potentialfreie Differenzverstärker ausgeführt sind und ausgangsseitig die Steuerdrehfeldwicklung 26 speisen, deren räumliche Wicklungsanordnung in Fig. 2c dargestellt ist. Jede der drei Phasen R_S, S_S und T_S enthält vier in Reihe geschaltete um je 90° gegeneinander versetzte Wicklungen. Der gemeinsame Sternpunkt O_S ist mit dem gemeinsamen Nullausgang der drei Verstärker verbunden. Die 90° Phasenreihung der Sensoren wird durch die der Phasenjustiervierpole bei Mittelstellung kompensiert, so dass in dieser Mittelstellung der Steuerstrom z.B. in Phase R_S phasengleich mit dem Antriebsstrom in Phase R der Drehstromwicklung 1 fließt und daher in dem Zeitpunkt, in dem beide ihren Scheitelwert durchlaufen, gleiches Vorzeichen der Luftspaltinduktion vor dem Sensor 14 (Fig. 2b) erzeugen, ungleiches dagegen vor dem Sensor 15, wobei die Sensorspannung dieser R Phase dadurch bedingt ist, dass der Luftspalt vor der Sensorspule 14 grösser als der vor der Spule 15 ist. Das Summenfeld von Antriebs- und Steuerfeld ist somit auf der Seite des grösseren Luftspaltes grösser als auf der Seite des kleineren. Somit kommt eine Stellkraft zustande, die den Läufer in die zum Ständer konzentrische Lage zurückzieht.

Nicht alle zu diesem Beispiel beschriebenen Bauelemente sind immer erforderlich. Bei Motoren geringer Leistung können die Wandler St (Fig. 1) entfallen, wenn die Primärwicklungen

M

der Sensorspulen für den Motorstrom selbst ausgelegt werden können. Die Dämpfungsvierpole 30, 31 und 32 können oft entfallen, wenn Luft- oder sonstige Dämpfung ausreichend vorhanden ist. Auch die Phasenjustiervierpole 20, 21 und 22 können in bestimmten Fällen entfallen, insbesondere wenn bei Serienfertigung die gewünschte Phasenbeziehung festliegt und bekannt ist, In diesem Falle entfällt zwar die oben beschriebene Kompensation der 90° Phasendrehung von Sensor und Phasenjustiervierpol, diese kann aber dadurch ersetzt werden, dass die Sensoren nicht mehr mit dem Strom derjenigen Phase erregt werden, die am Ort der Sensorspule den Polmittelpunkt hat, sondern von einer anderen. Kleinere Phasendrehungen können auch durch einfache R-C Schaltungen bewirkt werden.

Die Einzelwicklungen für Antriebs- und Steuerfeld sind in Fig. 2a und 2b nur der Übersichtlichkeit wegen nebeneinander dargestellt, in der Praxis sind sie wie üblich als "gesehnte" Wicklungen mit teilweiser Überdeckung ausgeführt, mit der eine noch bessere räumlich sinusförmige Verteilung der Luftspaltinduktion erreicht wird als bei sonst üblichen Wicklungsarten. Eine derartige spezielle, gestufte Wicklung hat nicht nur für Hysterese Motore wie beschrieben (P 19 66 707) ihre besonderen Vorteile, sondern auch bei der vorliegenden Erfindung, weil nur bei Sinusverteilung des Strombelages von Antriebs- und Steuerdrehfeld eine Störvibration der erzeugten Stellkraft vollständig vermieden wird. Im übrigen bezieht sich

auch der Erfindungsgegenstand bezüglich der Sensorerregung über Stromwandler vorzugsweise auf Hysterese Motore, weil bei diesen die Stromaufnahme ihrem Betrage nach nahezu lastunabhängig ist. Im Leerlauf nehmen diese Motore nahezu den gleichen Strom auf wie bei Vollast und beim asynchronen Lauf; es ändert sich lediglich der Leistungsfaktor. Die Sensorerregung über Stromwandler oder mit dem Motorstrom selbst ist daher bei Hysterese Motoren von Vorteil, bei Induktionsmotoren sowie bei Reluktanz- oder sonstigen Synchronmotoren kommt dagegen vorzugsweise die von der Speisespannung abgeleitete Sensorerregung in Betracht. Die Erregung der Sensoren durch den Motorstrom ist auch bei kleineren Motorleistungen vorteilhafter als bei grösseren, weil die Luftspaltinduktion bei kleineren Motoren mit relativ grossem Luftspalt und relativ kleiner Läuferückwirkung im wesentlichen dem Primärstrom nach Betrag und Phase entspricht, bei grösseren dagegen der Primärspannung.

Die Wicklungen sind in Fig. 2a und 2c des weiteren als Jochwicklungen und als unmittelbar im Luftspalt liegend dargestellt. Die Ausführung kann aber in gleicher Weise für in Nuten verlegte Wicklungen sowohl in Form von Jochwicklungen als auch in der sonst üblichen Form als Trommelwicklung mit Wickelköpfen ausgeführt sein.

Der Erfindungsgedanke kann auch mit Sensoren realisiert werden, die, wie sonst üblich, eine weit über der maximalen Messfrequenz liegende Trägerfrequenz verwenden, die nach der Demodulation wieder ausgesiebt wird. In diesem Fall werden

besondere Multiplikationsschaltungen benötigt (um erfindungsgemäss mit der Speisefrequenz zu modulieren), die im Eingangs- oder Ausgangskreis der Verstärker angeordnet werden können.

Fig. 3 zeigt das Beispiel einer Motordrehfeldwicklung, die sowohl der Erzeugung des Antriebsdrehfeldes als auch des Steuerdrehfeldes dient. Auch diese Wicklung ist als Jochwicklung dargestellt, ohne aber auf eine solche beschränkt zu sein. Die Wicklung ist als gestufte Wicklung in einem Ständer mit 24 Nuten ausgeführt. Die Windungen der einzelnen Nuten sind gemäss der Winkellage der Nut als Wicklungssymbol dargestellt und von Nut zu Nut in Reihe geschaltet. Die den Speisephasen R, S und T zugeordneten Wicklungen sind je auf konzentrischen Kreisen dargestellt. Zur Phase R gehören z.B. die rechts und links auf dem äusseren Kreis dargestellten Nutwicklungen mit von Nut zu Nut unterschiedlicher Windungszahl. Die Einspeisungspunkte sind mit R 1, R 2, R 3 und R 4 bezeichnet und werden von einem unsymmetrischen 12 Phasen-Speisenetz gespeist, das transformatorisch aus dem Drehstromnetz R, S, T erzeugt wird.

Das Potentialdiagramm dieses Transformators zeigt Fig. 4. Die Wicklungen der mittleren Nut R_m jeder der beiden Spulenseiten der zur Phase R gehörenden Nutwicklungen (Fig. 3) ist hälftig unterteilt und überkreuzt mit der anderen gegenüberliegenden Nutteilwicklung der gleichen Phase verbunden. Entsprechendes gilt für die Phasen S und T. Es entsteht so ein

- 17 -

B I 74/7

14

Wicklungszug von R1 und R2 und ein zweiter von R3 nach R4, die an den mit gleicher Anschlussbezeichnung in Fig. 4 bezeichneten Potentialpunkten des 12-Phasensystems angeschlossen sind. Wie man leicht einsieht, haben die Überkreuzverbindungen der Mitten der Mittelnuten dann das Sternpunktpotential 0 des 12-Phasensystems, und die Summenspannung aller Nutwindungen der linken und der rechten Spulenseite der Phase R sind trotzdem nach Amplitude und Phase einander gleich. Für das Antriebsdrehfeld ist daher die Schaltung gleichwertig mit einer solchen, bei der die beiden Spulenseiten jeder Phase parallel geschaltet sind an einer Speisespannung von einem Betrage wie zwischen R1 und R 4 bzw. zwischen R2 und R 3 nach Fig. 4. Die eingeprägte Potentialdifferenz zwischen R1 und R3 bzw. zwischen R2 und R4 ist mit Rücksicht auf die von den beiden anderen Phasen S und T in den Teilwicklungen von Phase R induzierten Spannungen so zu wählen, dass die Überkreuzverbindungen diese induzierten Spannungen nicht kurzschliessen. Entsprechendes gilt für die beiden anderen Phasenwicklungen.

Von den 6 Überkreuzverbindungen werden die drei mit R_s , S_s und T_s bezeichneten mit den Steuerspannungsanschlüssen der drei Verstärker 23, 24 und 25 nach Fig. 1 verbunden. Der gemeinsame Nulleiter O_s der Verstärkerausgänge wird mit dem Sternpunkt 0 des 12-Phasensystems (Fig. 4) verbunden. Steuerungseits sind dann die Windungen einander gegenüberliegender Nuten parallel geschaltet, während sie antriebsseitig in Reihe liegen. Daher ergibt sich bei zweipoligem

Antriebsdrehfeld ein vierpoliges Steuerdrehfeld und bei vierpoligem Antriebsdrehfeld ein zweipoliges Steuerdrehfeld, wie es dem Erfindungsgedanken entspricht. Die zur Auslegung des unsymmetrischen 12-Phasensystems erforderliche Kenntnis der zur Kompensation dienenden Spannungskomponente zwischen R1 und R3 bzw. R2 und R4 usw. kann rechnerisch ermittelt werden oder experimentell dadurch, dass zunächst die normale Schaltung mit Parallelschaltung beider Spulenseiten jeder Einzelphase hergestellt wird und die Spannung zwischen den Mittelpunkten R_m der Wicklungen beider Seiten einer Phase gemessen wird. Das ist dann auch die Teilspannung, die im Potentialfeld des 12-Phasensystems zwischen R1 und R3 bzw. R2 und R4 usw. hergestellt werden muss.

Der Erfindungsgedanke ist nicht auch auf zweiphasige Drehfeldsysteme ohne weiteres übertragbar. Ein Steuerdrehfeld kann in der beschriebenen Schaltung nur durch drei Sensorrichtungen mit drei unterschiedlichen Erregerphasen erzeugt werden. Bei nur zwei Tastrichtungen muss jede für sich bereits ein Steuerdrehfeld bewirken. Es müsste also jede Tastrichtung mit zwei Sensorenpaaren unterschiedlicher Erregerphase ausgerüstet werden, so dass der Gesamtaufwand an Sensoren bzw. Multiplikatoren nicht kleiner sondern grösser wird als bei dem beschriebenen Dreiphasensystem.

Die Erfindung beinhaltet insoweit die magnetische Querlagerung und den Antrieb in nur einer Lagerebene. Für die achsiale passive magnetische Lagerung kann das Luftspaltfeld, wie auch sonst im Maschinenbau üblich, herangezogen werden, indem die achsialen Längen von Läufer und Ständereisen nahezu

übereinstimmen und sich symmetrisch zueinander auszurichten suchen. Ein länglicher Läufer kann auf diese Weise magnetisch freischwebend nur durch zwei solche erfindungsgemässe Motorlager gehalten werden, weil er sonst durch Kippung der Drehachse zur Ständer-Symmetrieachse ausser Kontrolle kommt. Einem weiteren Erfindungsgedanken entsprechend wird ein magnetisch freischwebend mit nur einem Motorlager versehener Läufer dadurch ermöglicht, dass das Verhältnis von Läuferdurchmesser D zu Läuferlänge l so gross gemacht wird, dass die passive magnetische Achsiallagerung bzw. die durch Achsialstellkräfte am Umfang, die durch seitliche Versetzung von Ständer und Läufer entstehen, den Läufer auch gegen Kippung passiv lagern. Das erforderliche D/l -Verhältnis ist noch stark von der Luftspaltweite d abhängig. Erfindungsgemäss soll $(1/2)^2 \sqrt{d(d+D)}$ gemacht werden, oder aber die halbe Läuferlänge kleiner als das geometrische Mittel von mittlerem Luftspaltzylinder-Durchmesser $d + D$ und Luftspaltweite d , wodurch sicher gestellt wird, dass der Läufer im Ständer in jeder Richtung frei drehbar ist. Einem weiteren Erfindungsgedankend entsprechend kann die Läuferpolfläche ballig und evtl. die Ständer-Polfläche ballig^{oder} sattelförmig gestaltet werden, so dass dann auch bei kleinerem D/l -Verhältnis, als durch vorstehende Formel bedingt, der Läufer im Ständer frei schwenkbar gemacht wird.

Diese Angabe bezieht sich auf Innenläufer und Aussenständer. Im Falle von Aussenläufer und Innenständer wird der Ständer mit balligen Polflächen und der Läufer mit sattelförmiger

17

Polflächenkrümmung vorzugsweise ausgeführt, um eine gute passive magnetische Lagerung in achsialer Richtung und gegen Kippung zu erreichen.

Die Erfindung wird vorzugsweise in Fällen angewendet, in denen die mechanische Lagerung - sei es wegen Lauf im Vakuum oder in korrosionsbedingender Atmosphäre - nicht gut durchführbar ist, beispielsweise für Kreiselkompassse oder Kreiselstabilisatoren, für Satelliten-Lageregelung und für im Vakuum laufende Ultrazentrifugen, ferner für Kompressoren, Pumpen und Exhaustoren für aggressive Medien.

16 S. Beschreibung

14 Patentansprüche

3 Bl. Zeichnungen m. 6 Figuren

18

Licentia Patent-Verwaltungs GmbH.
6 Frankfurt a.M., Theodor Stern Kai 1

Lehmann/li

B I 74/7

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 1.) Radiales aktives magnetisches Lager mit Drehantrieb, bestehend aus der Kombination ein oder mehrerer Ständer und einem Rotor mit einem von Sensoren überwachten Luftspalt, wobei jeweils dem von der Ständerwicklung durch Speisung mit Drehstrom erzeugten Antriebsdrehfeld ein Steuerdrehfeld überlagert ist, dadurch gekennzeichnet, dass einem n -polpaarigen Antriebsdrehfeld ein $(n\pm 1)$ -polpaariges über die Sensoren moduliertes Steuerdrehfeld überlagert ist.
- 2.) Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärwicklung von induktiven Sensoren vom Speisestrom des Antriebsdrehfeldes erregt ist.
- 3.) Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoren über Stromwandler vom Speisestrom des Antriebsdrehfeldes gespeist werden.

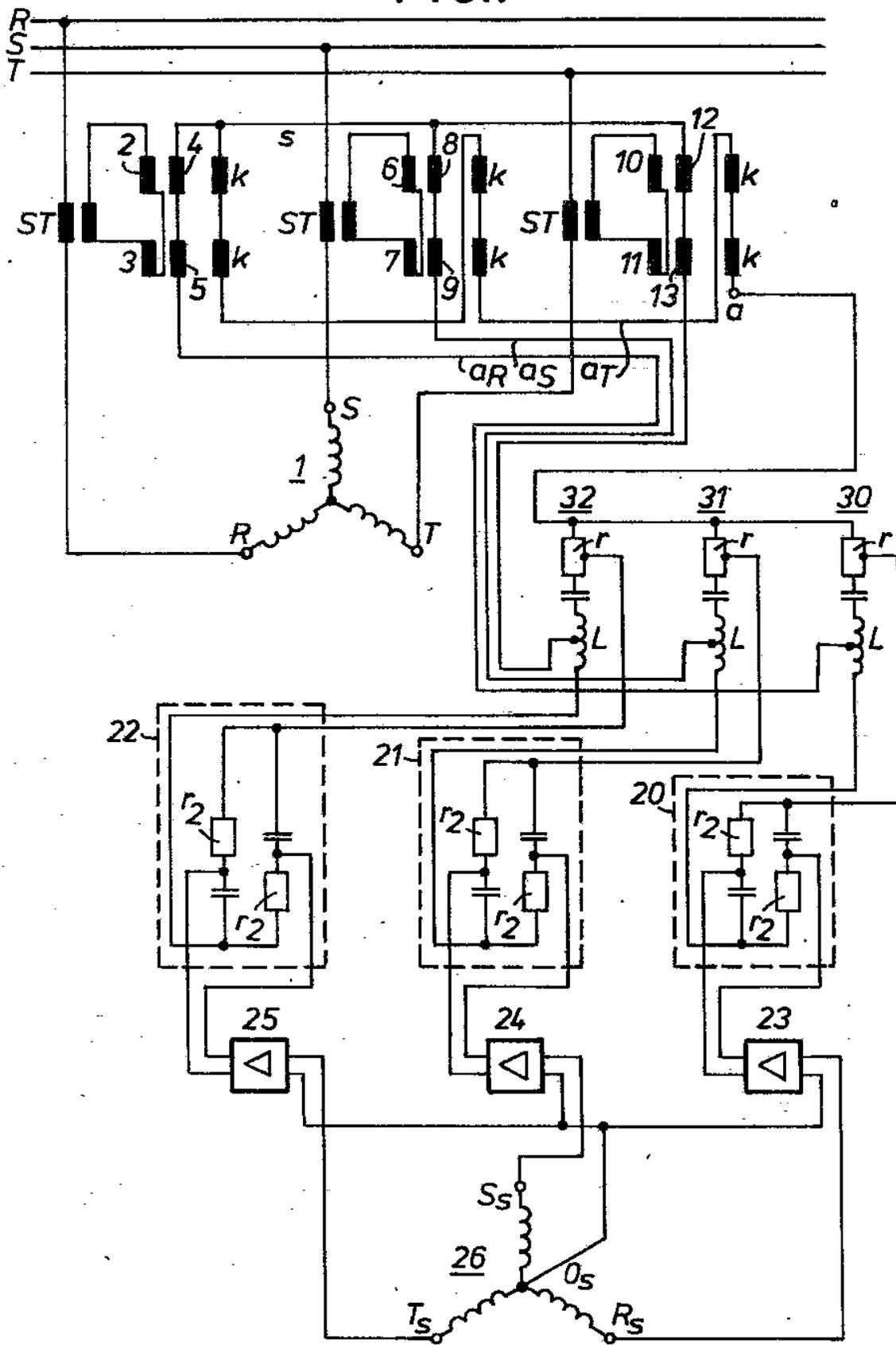
- 4.) Anordnung nach Anspruch 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoren zwei Sekundärwicklungen aufweisen, von denen die zweite (k) mit einem Drittel der Windungszahl der ersten Sekundärwicklung ausgelegt ist.
- 5.) Anordnung nach Anspruch 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sekundärwicklungen der Sensoren die Steuerwindungen des Steuerfeldes speisen.
- 6.) Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Wicklungen von zwei räumlich gegenüber liegenden, elektrisch zu einer Phase gehörenden Sensoren gegeneinander geschaltet sind, so dass ihre Ausgangsspannung der Luftspaltdifferenz der beiden überwachten Spalte proportional ist.
- 7.) Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Anschluss aller ersten Sekundärwicklungen der Sensoren jeder Phase zu einem Sternpunkt geführt ist und dass elektrisch in Reihe dazu die zweiten Sensorwicklungen aller Phasen als Reihenschaltung liegen, wobei die ersten und zweiten Sekundärwicklungen jeder Phase elektrisch gegeneinander geschaltet sind.
- 8.) Anordnung nach Anspruch 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass die anderen Anschlüsse aller ersten Sekundärwicklungen der Sensoren jeder Phase und das freie Ende der Reihenschaltung der zweiten Sensorwicklungen die Anschlüsse für die Sensorausgangsspannung darstellen.

- 9.) Anordnung nach Anspruch 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorausgangsspannungen die Steuerspulen des Steuerdrehfeldes über Verstärker speisen.
- 10.) Anordnung nach Anspruch 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorausgangsspannung über einen Resonanzkreis die Steuerspulen des Steuerfeldes speist.
- 11.) Anordnung nach Anspruch 9 oder 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorausgangsspannung über eine PhasendrehSchaltung die Steuerspulen des Steuerfeldes speist.
- 12.) Anordnung nach Anspruch 1 - 11, dadurch gekennzeichnet, dass Antriebs- und Steuerdrehfeldwicklungen elektrisch vertauschbar angeschlossen sind.
- 13.) Anordnung nach Anspruch 1 - 4 und 6 - 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulen des Antriebsdrehfeldes Anzapfungen aufweisen, die mit den Steuerdrehfeldspannungen gespeist werden.
- 14.) Anordnung nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche nach 2,- 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Rohrlänge l , Rotordurchmesser D und Luftspaltweite d durch folgende Gleichung bestimmt ist

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 \leq d (d+D)$$

- 93 -

FIG. 1



H02K 5-16 AT:09.02.1974 OT:14.08.1975

509833/0509

B 74/7 Lm 3Bl

-91-

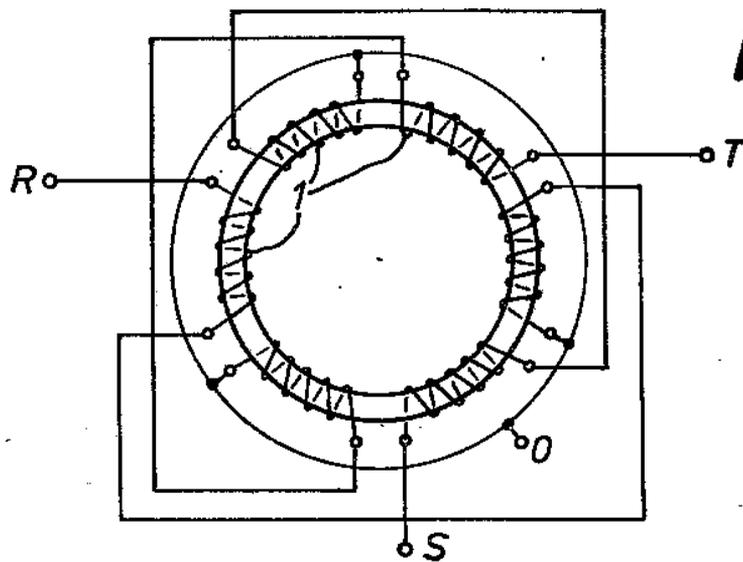


FIG. 2a

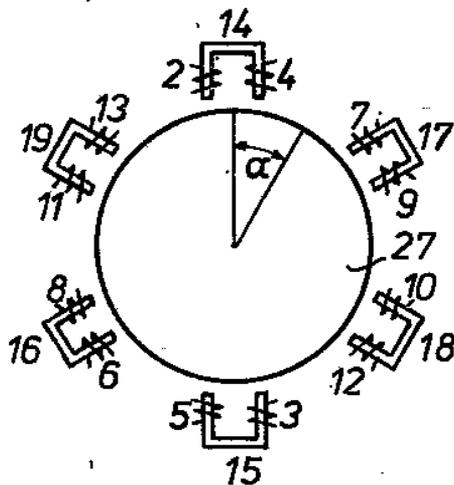


FIG. 2b

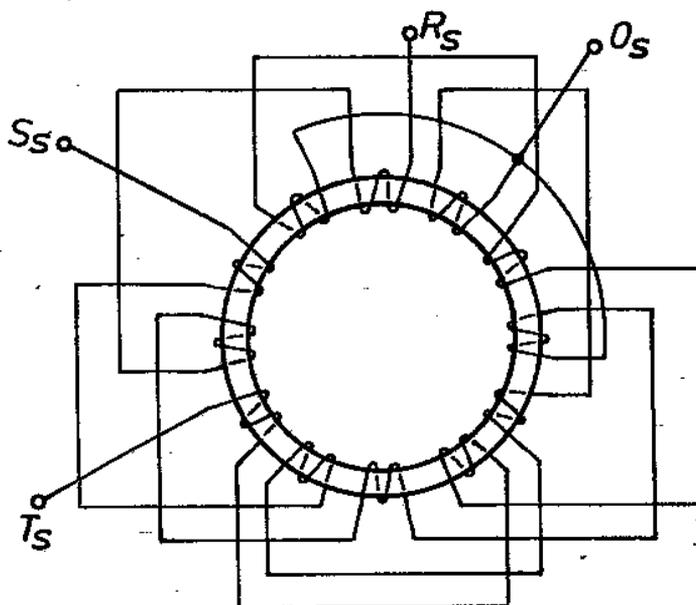


FIG. 2c

29

FIG.3

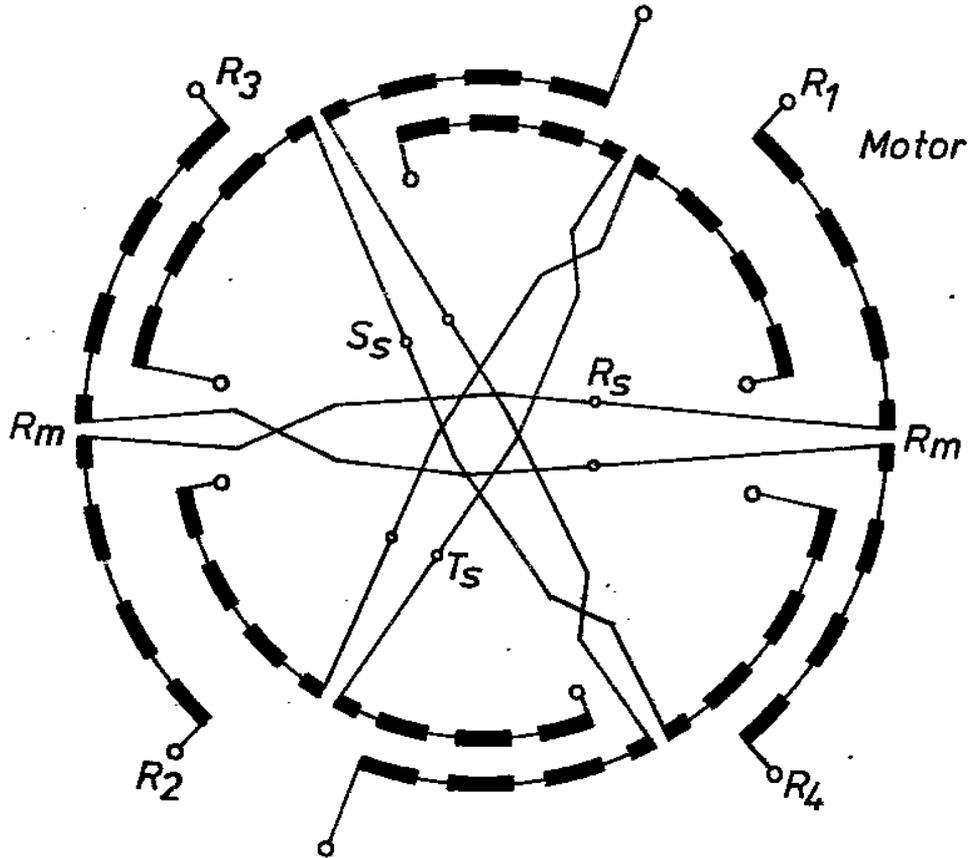


FIG.4

