



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen:
22 Anmeldetag:
43 Offenlegungstag:

P 31 20 691.3
23. 5. 81
16. 12. 82

71 Anmelder:
TELDIX GmbH, 6900 Heidelberg, DE

72 Erfinder:
Knoll, Emil, Dipl.-Ing., 7143 Vaihingen, DE; Innerhofer,
Günther, Ing.(grad.), 6906 Leimen, DE

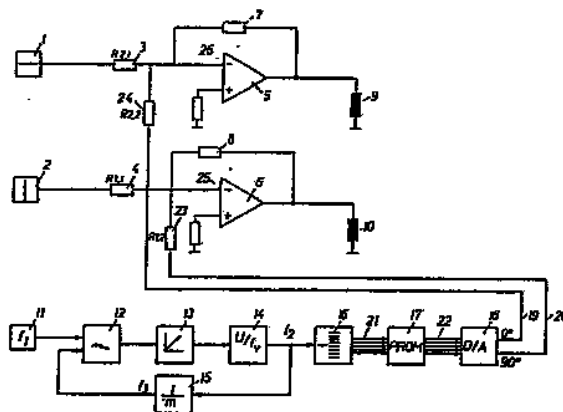
66 Recherchenergebnis gem. § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG:

DE-OS 26 58 668
DE-OS 30 02 835
DE-Z: Siemens-Zeitschrift 49, 1975, Heft 12, Seiten 791
bis 796;

Behördeneigenthum

64 Magnetlager

Die Erfindung betrifft ein Magnetlager für die Lagerung eines Rotors. Die radiale Lagerung des Rotors wird mittels elektromagnetischen Spulen (9, 10) bewirkt, wobei diese über eine Regelschaltung von Lagesensoren (1, 2) angesteuert werden. Die weitere Lagerung des Rotors kann sowohl passiv als auch aktiv erfolgen. Erfindungsgemäß weist die Regelschaltung einen Speicher (17) auf, in welchem drehzahlsynchrone Störeinflüsse über einen Winkelbereich von 360° abgespeichert sind (beispielsweise Geometriefehler, Unwucht oder Mittenversatz). Eine Abtastvorrichtung (16) tastet den der momentanen Rotorstellung entsprechenden Speicherplatz ab und führt die darin enthaltene Größe einer Kompensationsschaltung zu. Diese bildet ein Korrektursignal, welches dem Sensorsignal der Lagesensoren (1, 2) überlagert wird und somit die Störeinflüsse eliminiert. (31 20 691)



DE 31 20 691 A1

DE 31 20 691 A1

Patentansprüche

1. Magnetlager, enthaltend einen magnetisch gelagerten Rotor, wobei die Lagerung des Rotors wenigstens ein radiales aktiv geregeltes Magnetlager mit elektromagnetischen Spulen, ein weiteres Magnetlager, eine
5 Sensiereinrichtung zur Erfassung der radialen Stellung des Rotors und eine mit der Sensiereinrichtung und den Wicklungen verbundenen Regelschaltung aufweist, mit welcher der Rotor in einer vorbestimmten radialen Lage gehalten wird sowie eine Einrichtung zur Beseitigung drehzahlsynchroner Störeinflüsse, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung einen Speicher (17) mit m Speicherplätzen aufweist, die Winkelbereichen $360^\circ/m$ des Rotorumfanges zugeordnet sind und in denen Signale gespeichert sind, die den in diesen Bereichen vorhandenen Abweichungen von der Geometrie des Rotors bzw.
15 eines auf dem Rotor angeordneten Sensorrings entsprechen, daß eine Abtasteinrichtung (11-16) vorgesehen ist, die den der momentanen Rotorstellung entsprechenden Speicherplatz jeweils abtastet und daß eine Kompensationsschaltung (18) vorgesehen ist, die aus dem jeweiligen Signal der Abtasteinrichtung ein Korrektursignal erzeugt und dieses einem von der Sensiereinrichtung (1, 2) abgeleiteten Signal jeweils überlagert.
- 25 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Speicher (17) ein Digitalspeicher ist und ein Multiplexer (16) vorgesehen ist, mit welchem der Speicher so angesteuert wird, daß das der jeweiligen Rotorstellung entsprechende Signal der Kompensationsschaltung (18) zugeführt wird.
- 30 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Digitalspeicher (17) mittels eines PROM's gebildet ist und an dem Ausgang dieses Speichers ein

Digital-Analog-Wandler (10) angeschaltet ist, der die Signale in eine analoge Korrekturgröße umformt.

- 5 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung einen Frequenzvervielfacher aufweist, welcher mittels der von einem Sensor (11) gebildeten Rotorfrequenz die Ansteuerung des Multiplexers (16) bewirkt.
- 10 5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung eine Einrichtung aufweist, die einen von der Rotorfrequenz abgeleiteten Impuls erzeugt, welcher nach jeder Umdrehung des Rotors den Multiplexer zurücksetzt.
- 15 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung einen phasenempfindlichen Gleichrichter (12) aufweist, an dessen erstem Eingang die Rotorfrequenz (f_1) zugeführt wird und dessen zweiter Eingang mit dem Eingang des Multiplexers (16) verbunden ist und ein Integrator (13) mit einem nachfolgenden Spannungs-Frequenz-Umsetzer (14) vorgesehen ist, mit welchem das Ausgangssignal des phasenempfindlichen Gleichrichters (12) in eine der m -fachen Rotorfrequenz (f_1) entsprechende Ansteuerfrequenz (f_2) für den Multiplexer (16) umgeformt wird.
- 20 7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung eine Summierschaltung (5, 6) aufweist, welcher das Signal der Sensiereinrichtung (1, 2) und das von dem Speicher (17) abgefragte Korrektursignal vorzeichenrichtig und mit einer voreingestellten Gewichtung versehen zugeführt wird.
- 30 3. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das abgespeicherte Signal einen Mitten-
- 35

23.05.81

- 11 - 3

3120691

E-489

versatz und/oder eine Unwucht des Rotors beinhaltet.

TELDIX
HEIDELBERG

23.05.81
4

3120691

T E L D I X G m b H

Postfach 10 56 08

Grenzhöfer Weg 36

6900 Heidelberg 1

Heidelberg, 25. Mai 1981
PT-Vo/Ba E-489

Magnetlager

Die Erfindung betrifft ein Magnetlager, enthaltend einen magnetisch gelagerten Rotor, wobei die Lagerung des Rotors wenigstens ein radiales, aktiv geregeltes Magnetlager mit Spulen, ein weiteres Magnetlager, eine Sensiereinrichtung
5 zur Erfassung der radialen Stellung des Rotors und eine mit der Sensiereinrichtung und den elektromagnetischen Spulen verbundene Regelschaltung aufweist, mit welcher der Rotor in einer vorbestimmten radialen Lage gehalten wird, sowie eine Einrichtung zur Beseitigung drehzahlsynchroner Stör-
10 einflüsse.

Ein Magnetlager dieser Art ist aus der DE-OS 26 58 668 bekannt. Dieses Magnetlager weist ein Sperrfilter auf, welches Störungen der Rotorbewegung, die ein ständiges Nachregeln
15 des Rotors in die Mittellage mittels der Regelschaltung nötig machen würde, ausfiltert. Diese Störungen sind insbesondere Unwucht des Rotors, und Symmetriefehler von Läufer- oder Statorelementen. Das Sperrfilter beinhaltet zwei Addierschaltungen, welche an ersten Eingängen mit Signalen von
20 zwei Radialsensoren versorgt werden und deren Ausgänge an einen Steuerkreis zur Ansteuerung der elektromagnetischen Spulen geschaltet sind. Die zweiten Eingänge der Addierschaltungen werden mit Signalen einer Gegenkopplungsschaltung ver-

TELDIX
HEIDELBERG

23.05.81
- 75

3120691

E-489

sorgt. Die Gegenkopplungsschaltung besteht aus einem ersten Koordinatenwandler, welcher eine Umformung eines durch feste Achsen gebildeten Bezugssystems in ein bewegliches Bezugssystem bewirkt. Ferner weist die Gegenkopplungsschaltung
5 zwei Integrationsschaltungen auf, die mit einem zweiten Koordinatenwandler, welcher das bewegliche Bezugssystem in das feste Bezugssystem wieder zurückführt, verbunden sind. Zweck dieser Schaltung ist die Erfassung von Störsignalen, die periodisch mit der Drehfrequenz des Rotors auftreten, und
10 gleichzeitig eine Ausfilterung dieser Signale aus den Ansteuerungssignalen der elektromagnetischen Spulen.

Es ist ersichtlich, daß hierzu ein großer Aufwand nötig ist und dadurch die Störanfälligkeit der gesamten Schaltung relativ groß wird. Da die auszufilternden Störungen periodisch
15 auftreten und relativ konstante vorbekannte Größen sind, ist eine ständige Abfrage dieser Größen überflüssig. Außerdem verursachen Filterschaltungen bekanntlich Phasendrehungen im Regelkreis, welche wiederum kompensiert werden müssen.

20 Aufgabe der Erfindung ist es, eine magnetische Lagerung für einen Rotor zu schaffen, bei der eine einfache und zuverlässige Kompensation von Sensorsignalen, die auf über die Sensoren aufgenommene Geometriefehler zurückzuführen sind, vorgenommen
25 wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Regelschaltung einen Speicher mit n Speicherplätzen aufweist, die Winkelbereichen $360^\circ/n$ des Rotorumfangs zugeordnet sind
30 und in denen Signale gespeichert sind, die den in diesen Bereichen vorhandenen Abweichungen von der Geometrie des Rotors bzw. eines auf dem Rotor angeordneten Sensorrings entsprechen, daß eine Abtasteinrichtung vorgesehen ist, die den der momentanen Rotorstellung entsprechenden Speicherplatz jeweils ab-
35 tastet und daß eine Kompensationsschaltung vorgesehen ist, die aus dem jeweiligen Signal der Abtasteinrichtung ein Korrek-

TELDIX
HEIDELBERG

23.05.81
-8-6

3120691

E-489

tursignal erzeugt und dieses einem von der Sensiereinrichtung abgeleiteten Signal jeweils überlagert.

5 Die durch die Herstellung bedingten Abweichungen der Kreis-
geometrie des Rotors oder eines auf dem Rotor angeordneten
Sensorrings werden mittels der Sensiereinrichtung erfaßt
und in einem Speicher unter Zuordnung zu dem Stellungswin-
kel des Rotors abgespeichert. Dies geschieht rotorspezifisch
und wird vor Inbetriebnahme der Magnetlagerung vorgenommen,
10 die abgespeicherten Werte bleiben über die gesamte Betriebs-
dauer erhalten.

Der Speicher ist in vorteilhafter Weise ein Digitalspeicher,
insbesondere ein PROM (Programmierbarer Festwertspeicher),
15 dessen Speicherplätze mittels eines Multiplexers zyklisch
abgefragt werden. Am Ausgang des Speichers ist ein Digital-
Analog-Wandler vorgesehen, welcher die abgespeicherten Sig-
nale in einen den Störungen entsprechenden Signalverlauf um-
formt.

20 Um den Multiplexer mit der gewünschten Frequenz anzusteuern
und um eine Synchronisation zwischen der Ansteuerfrequenz
des Multiplexers und der Drehfrequenz des Rotors herzustellen,
wird die Ansteuerfrequenz vorteilhafterweise mittels
25 eines Frequenzvervielfachers aus der Drehfrequenz gebildet.
Selbstverständlich kann die Ansteuerfrequenz auch mittels
eines Frequenzgenerators, welcher z.B. über einen drehzahl-
abhängigen Impuls des Rotors getriggert wird, gebildet wer-
den.

30 Eine andere vorteilhafte Weiterbildung besteht darin, die
Synchronisation zwischen Drehfrequenz und Ansteuerfrequenz
des Multiplexers mittels eines phasenempfindlichen Gleich-
richters herzustellen. Hierzu bildet der phasenempfindliche
35 Gleichrichter eine der Phasenverschiebung zwischen Dreh- und
Ansteuerfrequenz proportionale Spannung, die in einem nach-

TELDIX
HEIDELBERG

- folgenden Integrationsglied aufintegriert und anschließend in eine der integrierten Spannung proportionale Frequenz umgesetzt wird, welche die Ansteuerfrequenz des Multiplexers darstellt. Hierdurch wird in einfacher Weise eine präzise
- 5 Kopplung von Ansteuer- und Drehfrequenz und somit eine genaue Zuordnung der gespeicherten Signale zu der momentanen Rotorstellung erreicht.

- In einer weiteren günstigen Ausbildung der Erfindung wird
- 10 mittels einer Summierschaltung das Korrektursignal zu dem Signal der Sensiereinrichtung, also dem Signal, welches sowohl die von den Störungen erzeugten Störsignale infolge Unrundheit u.ä., als auch die Regelabweichungen des Rotors beinhaltet, so addiert, daß das Ausgangssignal der Summier-
- 15 schaltung lediglich ein Korrektursignal für die Regelabweichungen darstellt. Wird das abgespeicherte Signal drehzahlabhängig erfaßt, z.B. bei der Nenndrehzahl des Rotors, dann kann in vorteilhafter Weise auch eine eventuell auftretende Unwucht oder ein Mittenversatz des Rotors unter
- 20 Berücksichtigung des Magnetlager-Frequenzgangs kompensiert werden, d.h., auch diese Störungen beeinflussen somit nicht die Regelung, sondern werden ausgefiltert.

- Es ist auch denkbar, für verschiedene Drehzahlen, wie auch
- 25 z.B. die der Resonanzfrequenz des Rotors entsprechende Drehzahl oder mehreren Nenndrehzahlen mehrere Speicher vorzusehen, wobei je nach der augenblicklichen Drehzahl der entsprechende Speicher über eine Auswahl-schaltung abgefragt wird und damit eine drehzahlunabhängige Kompensation aller
- 30 den Rotor betreffenden Störsignalen gebildet wird.

Ein Ausführungsbeispiel ist in der Zeichnung dargestellt.

- Ein Magnetlager, welches mit der nachfolgend beschriebenen
- 35 Regelschaltung betrieben werden kann, ist z.B. in der DE-OS 28 47 930 beschrieben. Dieses Magnetlager besitzt für

- die radiale Sensierung der Rotorstellung vier um jeweils 90° versetzt angeordnete Lagesensoren, wobei für den Betrieb mit der erfindungsgemäßen Regelschaltung je ein Sensor pro radialer Achse ausreicht. Es ist weiterhin auch
- 5 möglich, die axiale Lageregelung eines Magnetlagers mit dieser Regelschaltung zu versehen, dieses wäre analog zu der radialen Regelung auszuführen, es erübrigen sich daher nähere Erläuterungen.
- 10 Im folgenden wird der Aufbau der Regelschaltung beschrieben.
- Zwei radiale, um 90° versetzt angeordnete Lagesensoren 1, 2 sind über Widerstände 3, 4 jeweils mit den Eingängen 25, 26
- 15 der Summierglieder 5, 6 verbunden. Diese Summierglieder 5, 6 weisen je eine Rückkopplung mit je einem Widerstand 7, 8 auf. Die Ausgänge der Summierglieder sind mit elektromagnetischen Spulen 9, 10, die Korrekturkräfte auf den Rotor ausüben, verbunden. Weiterhin ist ein Drehzahlsensor 11 vorgesehen, welcher eine der Drehzahl des Rotors entsprechende
- 20 Frequenz liefert. Diese wird an den ersten Eingang eines phasenempfindlichen Gleichrichters 12 geschaltet. Der Ausgang des phasenempfindlichen Gleichrichters ist mit einem Integrierglied 13 verbunden, das Ausgangssignal dieses Integriergliedes wird einem Spannungs-Frequenzumformer 14 zugeführt, wobei dessen Ausgangssignal einem Multiplexer 16 und
- 25 einem Frequenzteiler 15 zugeführt wird. Der Ausgang des Frequenzteilers 15 ist an den zweiten Eingang des phasenempfindlichen Gleichrichters 12 geschaltet. Der Ausgang des
- 30 Multiplexers 16 ist mittels Leitungen 21 an einen Speicher 17 angeschaltet, wobei die Anzahl der Leitungen 21 der Anzahl der Speicherplätze entspricht. Die Speichersignale werden über Leitungen 22 einem Digital-Analog-Wandler 18 zugeführt und dessen Ausgangssignal über Verbindung 19 und Wider-
- 35 stand 23 an den Eingang 25 der Summierschaltung 6 geführt. Ein weiteres Ausgangssignal des Digital-Analog-Wandlers 18

23.05.61

-89

3120691

E-489

wird über Leitung 20 und Widerstand 24 dem Eingang 26 der Summierschaltung 5 zugeführt.

Vor Inbetriebnahme eines mit dieser Regelschaltung aufgebauten Magnetlagers ist es erforderlich, in dem Speicher 17 alle Störsignale, die von den Sensoren 1, 2 während des Betriebs erfaßt werden können und deren Folgefrequenz der Umlauffrequenz des Rotors entspricht, abzuspeichern. Dies geschieht dadurch, daß der Speicher 17 m Speicherplätze aufweist, wobei z.B. die Abweichungen von der Rundheit des Rotors so erfaßt werden, daß die Abweichung innerhalb eines Abschnittes des Rotorumfanges mit der Größe $360^\circ/m$ in Form eines Spannungssignals mit einer der Abweichung entsprechenden Spannungsgröße abgespeichert wird. Bei entsprechender Anzahl von Speicherplätzen m kann somit eine beliebig genaue Auflösung der Störsignale erreicht werden. Es können jedoch nicht nur Abweichungen von der Rundheit des Rotors, sondern auch Unwucht, Mittenversatz, Geometriefehler und ähnliche Fehler erfaßt und abgespeichert werden. Nachfolgend wird die Verarbeitung der abgespeicherten Werte während des Betriebs des Lagers beschrieben. Die von dem Sensor 11 gelieferte, der Rotordrehzahl entsprechende Frequenz f_1 , weist eine bestimmte Phasenlage auf, die im Normalfall der Phasenlage einer von dem Frequenzteiler 15 gebildeten Frequenz f_3 entspricht. In diesem Fall behält der Integrator 13 eine bestimmte Ausgangsspannung, wobei dieser so eingestellt ist, daß die mit der Ausgangsspannung gebildete Frequenz f_2 der mit dem Faktor m multiplizierten Frequenz f_1 des Sensors 11 entspricht. Der Faktor m entspricht hierbei der Anzahl der Speicherplätze des Speichers 17. Die Frequenz f_2 wird dem Multiplexer 16 und dem Teiler 15 zugeführt, welcher eine Division mit dem Faktor m durchführt und somit im Normalfall eine in der Phasenlage der Frequenz f_1 gleiche Frequenz f_3 bildet. Durch eine Beschleunigung oder Verzögerung des Rotors ändert sich jedoch die aus der Rotordrehzahl gebildete Frequenz f_1 . Dadurch entsteht eine Phasenverschiebung zwi-

TELDIX
REPRODUCING

- schen f_1 und f_3 , die am Ausgang des phasenempfindlichen Gleichrichters 12 eine Spannung zur Folge hat, wobei diese wiederum über das Integrationsglied 13 eine Änderung der dem Spannungs-Frequenz-Umformer 14 zugeführten Spannung
- 5 bewirkt. Damit erreicht man eine Anpassung der Frequenz f_2 an die Rotordrehzahl und gleichzeitig über den Frequenz-teiler 15 eine Korrektur der Phasenlage der Frequenz f_3 , so daß die Phasenverschiebung zwischen f_1 und f_3 wieder zu Null wird.
- 10 Mittels dem bisher beschriebenen Aufbau wird eine kontinuierliche Anpassung der Ansteuerfrequenz des Multiplexers 16 an die Rotordrehzahl und damit eine exakte Zuordnung der Speicherplätze bzw. der abgespeicherten Werte an die momentane
- 15 Rotorstellung möglich.
- Der Multiplexer steuert nun mit der Frequenz f_2 die einzelnen Speicherplätze des Speichers 17 an und bewirkt dadurch die serielle Auslesung und Übertragung der Speicherdaten bzw.
- 20 -inhalte an den Digital-Analog-Wandler, welcher zwei Ausgangssignale bildet, die dem reziproken Wert der von den Lagensensoren 1 und 2 erfaßten Störsignalen entspricht. Das erste Ausgangssignal wird über die Leitung 19 auf das von dem Sensor 1 gelieferte Sensorsignal geschaltet, dadurch werden
- 25 die vom Sensor 1 erfaßten Störsignale kompensiert und die elektromagnetischen Spulen nur vom Korrektursignal der Regelabweichung angesteuert. Das zweite Ausgangssignal ist lediglich zu dem ersten um 90° phasenverschoben und wird über Leitung 20 dem Sensorsignal des zu dem Sensor 1 um 90° radial
- 30 versetzt angeordneten Sensor 2 zugeschaltet, so daß auch hier eine Kompensation der Störsignale bewirkt wird. Über die Widerstände 3 und 24 bzw. 4 und 23 wird eine Gewichtung der auf die Summierglieder 5, 6 einwirkenden Signale vorgenommen, um
- 35 unrichtiger Frequenzumsetzung einen Magnetlagerausfall zu vermeiden. Die Widerstände 24 und 23 sind z.B. um den Faktor 10

23.05.81

- 8/71

3120691

E-459

größer gewählt als die Widerstände 3 und 4, womit die Kompensationssignale gegenüber den Sensorsignalen um diesen Faktor abgeschwächt sind. Damit entsteht auch bei Störungen der Regeleinrichtung kein Ausfall des Gesamtsystems.

-12-
Leerseite

[illegible]

- 13 -

