



(10) **DE 10 2009 017 355 B4** 2011.09.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 017 355.2**

(22) Anmeldetag: **14.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2011**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.09.2011**

(51) Int Cl.: **F16C 32/04 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Continental Automotive GmbH, 30165, Hannover, DE

(72) Erfinder:
Bachmaier, Georg, 80538, München, DE;
Bergmann, Dominik, 83679, Sachsenkam, DE;
Gerlich, Matthias, Dr., 80333, München, DE; Tump,
Christian, 80469, München, DE

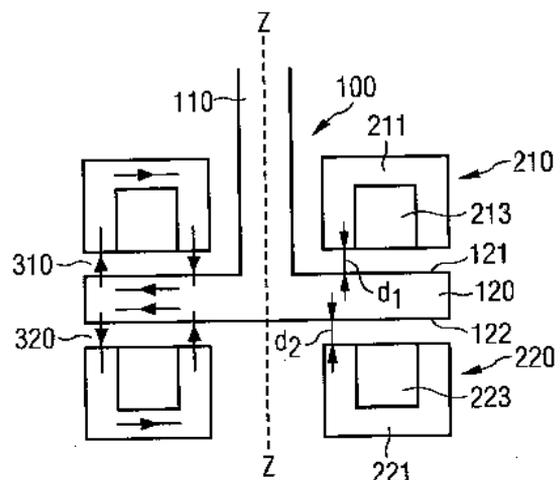
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	28 01 040	C2
DE	37 40 295	A1
GB	22 46 400	A
WO	98/31 946	A1
SU	11 33 636	A1

(54) Bezeichnung: **Aktiv geregeltes axiales Magnetlager**

(57) Hauptanspruch: **Aktiv geregeltes axiales Magnetlager, aufweisend:**

- einen Rotor (100), welcher eine Rotorwelle (110) sowie eine quer zur Längsachse der Rotorwelle (110) verlaufende Ankerscheibe (120) umfasst, wobei die Ankerscheibe (120) erste und zweite Oberflächen (121, 122) aufweist, welche einander entgegengesetzt sind,
- mindestens ein Spulen aufweisendes Elektromagnetenpaar mit einem ersten Elektromagneten (210) und einem zweiten Elektromagneten (220), welche einander über die Ankerscheibe (120) des Rotors (100) hinweg gegenüberliegen und mit der jeweiligen Oberfläche (121, 122) einen Luftspalt ausbilden, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten (210, 220) die Ankerscheibe (120) berührungslos gelagert ist,
- eine Regelungseinrichtung (400) die mit den Spulen der Elektromagnete verbunden ist und welche dafür ausgelegt ist und im Betrieb dafür eingesetzt wird, ausgehend von einem Sensorsignal die Lage der Ankerscheibe (120) so zu regeln, dass diese im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten stabilisiert ist, wobei mindestens eine der Oberflächen (121, 122) der Ankerscheibe...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein aktiv geregeltes Magnetlager. Derartige Magnetlager werden insbesondere im Bereich der Kraftfahrzeugindustrie eingesetzt.

[0002] Für die aktive Lageregelung eines Magnetlagers wird Information bezüglich der aktuellen Position eines Rotors des Magnetlagers benötigt. Hierfür werden gegenwärtig beispielsweise spezielle Wegsensoren (kapazitative Sensoren, optische Sensoren oder Wirbelstromsensoren) eingesetzt. Diese erfassen im Fall axialer Magnetlager die axiale Position eines Rotorankers zwischen zwei Magneten.

[0003] Ein solches aktives Magnetlager wird beispielsweise im Dokument DE 28 01 040 C2 dargestellt. Bei diesem elektromagnetischen Axiallager werden die Luftspalte zwischen den Induktionseinheiten und der Lager- oder Ankerscheibe mittels axialer Fühler (Sensoren) erfasst. Auf Grundlage der erfassten Werte wird die Erregung der Induktionseinheiten so geregelt, dass die Luftspalte konstant gehalten werden. Zur Vermeidung von störenden Wirbelströmen in der Ankerscheibe weist diese radiale Einkerbungen in regelmäßiger Verteilung in der Scheibenfläche auf.

[0004] Um den Einsatz eines speziellen Wegsensors zu vermeiden, ist es möglich, über die Induktivität der Spulen des Magnetlagers die Breite des Luftspalts zwischen Rotoranker und axialen Magneten im Lager zu ermitteln. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in dem Dokument WO 98/31946 offenbart. Dabei wird mindestens eine luftspaltabhängige Impedanz der Elektromagnete hochfrequent gemessen und zu einem Positionssignal umgewandelt. Aufgrund der zahlreichen parasitären Einflüsse in Bezug auf die Spuleninduktivität ist diese Art der Messung jedoch häufig ungenau.

[0005] Eine weitere Möglichkeit liegt in einer so genannten „virtuellen Positionsbestimmung“, gemäß der in einer Steuereinrichtung parallel zur physikalisch vorhandenen Regelstrecke des Magnetlagers ein virtuelles Modell derselben errechnet wird, mittels dessen beispielsweise die axiale Rotorposition ermittelt werden kann.

[0006] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager anzugeben, bei dem die Ermittlung der axialen Rotorposition für die Lageregelung auf einfache und zuverlässige Weise erfolgt. Darüber hinaus ist es Aufgabe der Erfindung, ein entsprechendes Verfahren zur aktiven Regelung eines derartigen Magnetlagers anzugeben.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager nach Anspruch

1 sowie ein Verfahren zur Regelung nach Anspruch 7 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager weist erfindungsgemäß Folgendes auf:

- einen Rotor, welcher eine Rotorwelle sowie eine quer zur Längsachse der Rotorwelle verlaufende Ankerscheibe umfasst, wobei die Ankerscheibe erste und zweite Oberflächen aufweist, welche einander entgegengesetzt sind;
- mindestens ein Elektromagnetenpaar mit einem ersten Elektromagneten und einen zweiten Elektromagneten, welche Spulen aufweisen und einander über die Ankerscheibe des Rotors hinweg gegenüberliegen, so dass sie mit der jeweiligen Oberfläche einen Luftspalt ausbilden und dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten die Ankerscheibe berührungslos gelagert ist; und
- eine Regelungseinrichtung, welche dafür ausgelegt ist, ausgehend von einem Sensorsignal die Lage der Ankerscheibe so zu regeln, dass diese im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten stabilisiert ist.

[0009] Dabei ist mindestens eine der Oberflächen der Ankerscheibe mit einer Vertiefung versehen, welche sich kreisförmig um den Mittelpunkt dieser Oberfläche über einen Winkel von weniger als 360° erstreckt. Weiterhin ist eine Fläche mindestens eines ferromagnetischen Kerns eines Elektromagneten, die der mit der genannten Vertiefung versehenen Oberfläche der Ankerscheibe zugewandt ist, ihrerseits mit einer Vertiefung versehen, welche sich kreisförmig um den Mittelpunkt der Fläche über einen Winkelbereich von weniger als 360° erstreckt, so dass im Bereich der Vertiefung ein vergrößerter Luftspalt gegeben ist, wodurch bei einer Rotation der Ankerscheibe um die Rotorachse ein zyklisches Signal in den Spulen der Elektromagnete erzeugt wird, das von der Regelungseinrichtung erfasst wird und als Sensorsignal zum Regeln der Lage der Ankerscheibe dient.

[0010] Aufgrund der Vertiefungen auf den Oberflächen der Ankerscheibe und des ferromagnetischen Kerns wird eine Asymmetrie in diesen Oberflächen erzeugt, und die Dicke eines Luftspalts, zwischen der Ankeroberfläche und dem dieser Fläche zugewandten ferromagnetischen Kern des Elektromagneten, ändert sich an der Stelle der Vertiefung. Da die jeweilige Vertiefung keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt dieser Oberfläche bildet, entsteht bei einer Drehung des Rotors (und mithin einer Drehung der Ankerscheibe) um die Rotorlängsachse ein zyklisches Signal in Abhängigkeit von der Drehposition der Ankerscheibe. Es hat sich herausgestellt, dass dieses zyklische Signal eine Komponente enthält, welche repräsentativ für die Dicke des Luftspalts und somit für den axialen Abstand zwischen dem Elektro-

magneten des Magnetlagers und der Ankeroberfläche ist.

[0011] Erfährt also die Ankerscheibe eine axiale Auslenkung aus ihrer Sollposition, so kann die Größe dieser Auslenkung aus dem zyklischen Sensorsignal ermittelt und von der Steuereinrichtung dazu verwendet werden, die Spulen der Elektromagneten so anzusteuern, dass die Ankerscheibe wieder in ihre Sollposition gelenkt wird. Die für den axialen Abstand repräsentative Komponente des zyklischen Signals kann beispielsweise im Rahmen der erwähnten virtuellen Positionsbestimmung eingesetzt werden. Auf die Natur der für den axialen Abstand repräsentativen Komponente des zyklischen Sensorsignals wird nachstehend noch detaillierter eingegangen werden.

[0012] Es kann somit vermieden werden, zur Bestimmung der axialen Position der Ankerscheibe des Rotors die fehlerbehaftete Induktanzmessung von Spulen der für das Magnetlager verwendeten Elektromagneten heranziehen zu müssen. Die Erfassung der axialen Position bzw. Lage der Ankerscheibe kann demzufolge einfach, aber mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden.

[0013] Bei dieser Ausgestaltung trägt somit nicht nur die Vertiefung auf der Oberfläche der Ankerscheibe, sondern auch eine auf dem Spulenkern eines der Elektromagneten befindliche Vertiefung zur Erzeugung des zyklischen Signals bei. Dies hat den Vorteil, dass eine Vergrößerung des Luftspalts und damit eine Verstärkung des zyklischen Sensorsignals verwirklicht werden kann, ohne dass die Vertiefung in der Oberfläche der Ankerscheibe vergrößert werden muss. Letzteres ist wünschenswert, da die Vertiefung auch eine mechanische Unwucht in der Ankerscheibe bedingt, welche möglichst klein gehalten werden soll.

[0014] Der vorstehend beschriebene Effekt kann verstärkt werden, wenn die Vertiefung der Oberfläche der Ankerscheibe und die zugehörige Vertiefung der Fläche des ferromagnetischen Kerns einander Größe und Form entsprechen.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die zusätzlich oder alternativ zu der vorgenannten eingesetzt werden kann, sind beide Oberflächen der Ankerscheibe mit einer Vertiefung ausgebildet. Auf diese Weise können die Dicken beider Luftspalte zwischen den Elektromagneten der Magnetlager und der jeweiligen gegenüberliegenden Oberfläche der Ankerscheibe ermittelt werden. In Bezug auf das Geringshalten der bereits erwähnten mechanischen Unwucht der Ankerscheibe kann es günstig sein, die beiden Vertiefungen in den Ankerscheiben an verschiedenen Winkelpositionen hinsichtlich der Längsachse des Rotors auszubilden.

[0016] Was die Tiefe bzw. die Ausprägung der Vertiefung in der Oberfläche bzw. den Oberflächen der Ankerscheibe betrifft, so sollte diese ausreichend groß sein, dass ein eindeutiges und ausreichend starkes zyklisches Signal erzeugt wird, und andererseits absolut und relativ zur Gesamtdicke des Ankers klein genug sein, so dass die entstehende Kraftunwucht das eigentliche Verhalten des Lagers, d. h. das Halten der Ankerscheibe in axialer Position, nicht wesentlich beeinflusst. Mit anderen Worten soll die Kraftunwucht so klein wie möglich gehalten werden. Es hat sich herausgestellt, dass beide Forderungen im Allgemeinen ausreichend erfüllt werden, wenn die Vertiefung der mindestens einen Oberfläche der Ankerscheibe eine Tiefe von etwa 10 µm bis etwa 100 µm aufweist. Insbesondere kann der Tiefenbereich zwischen etwa 40 µm und 60 µm liegen.

[0017] Neben der Tiefe der Asymmetrie bzw. der Vertiefung in der Oberfläche oder den Oberflächen der Ankerscheibe, welche für die Signalintensität eine Rolle spielt, ist auch die Form der Vertiefung im Hinblick auf das gewünschte Signal zu berücksichtigen. Allgemein ist anzumerken, dass das Signal umso regelmäßiger ist, je symmetrischer die Form der Vertiefung in Rotationsrichtung ist. So kann beispielsweise die Form eines Kreissektors, der einen definierten Winkelbereich in Bezug auf die Längsachse der Rotorwelle überstreicht, für die Vertiefung gewählt werden.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform erstreckt sich die Vertiefung der mindestens einen Oberfläche der Ankerscheibe über einen Winkelbereich zwischen etwa 45° und 180° um den Mittelpunkt dieser Oberfläche.

[0019] Die Steuereinrichtung, welcher das zyklische Sensorsignal zur Verarbeitung zugeführt wird, kann beispielsweise zur Erfassung des zyklischen Sensorsignals mit Spulen der Elektromagneten verbunden sein. Mit anderen Worten fungieren in dieser Ausführungsform die für die Magnetfelderzeugung des Magnetlagers verwendeten Spulen selbst als Sensoren. Aus diesem Grund kann auf zusätzliche separate Sensoren verzichtet werden, was das aktiv geregelte axiale Magnetlager weiter vereinfacht.

[0020] Wie bereits erwähnt, wird gemäß der Erfindung eine für die axiale Dicke eines Luftspalts oder beider Luftspalte zwischen den Elektromagneten und der Ankerscheibe eines Magnetlagers repräsentative Komponente des zyklischen Sensorsignals als Basis für die aktive, d. h. mittels einer Regelungseinrichtung verwirklichte, Lageregelung des Ankers des Rotors eingesetzt. Ein zusätzlicher Nutzen aus der Auswertung des zyklischen Sensorsignals kann gezogen werden, wenn eine weitere Signalkomponente, nämlich eine für die Winkelposition der Ankerscheibe repräsentative Komponente verwendet wird.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform ist deshalb die Regelungseinrichtung dafür ausgelegt, aus dem zyklischen Sensorsignal eine Drehzahl des Rotors zu ermitteln und an einem Ausgang auszugeben. Dieses Sensorsignal kann für weitere Anwendungen, bei denen die Drehzahl oder Winkelgeschwindigkeit des Rotors von Interesse ist, zur Verfügung gestellt werden. Somit ist es gegebenenfalls möglich, durch die doppelte Nutzung des zyklischen Sensorsignals einen Geschwindigkeitssensor in einem Gesamtsystem, in dem das aktiv geregelte axiale Magnetlager gemäß Ausführungsformen der Erfindung eingesetzt ist, einzusparen.

[0022] Wenn die Ankerscheibe eine Vertiefung bzw. Asymmetrie in einer ihrer Oberflächen oder in beiden Oberflächen aufweist, so ergibt sich dadurch nicht nur ein durch axiale Sensoren erfassbares zyklisches Signal sondern auch eine kleine, sich zyklisch ändernde radiale Kraft. Diese ist dadurch bedingt, dass bei der beschriebenen Ausgestaltung der Ankerscheibe die Magnetkraft in Radialrichtung nicht mehr homogen ist. Dieses radiale Signal kann zusätzlich ermittelt und gegebenenfalls für weitere Anwendungen bereitgestellt werden.

[0023] Wie bereits erwähnt, betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur aktiven Regelung eines axialen Magnetlagers, das zumindest die grundlegenden Merkmale des vorne offenbarten erfindungsgemäßen Magnetlagers aufweist.

[0024] Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- Erzeugen eines zyklischen Signals durch Drehen der Ankerscheibe im Magnetlager,
- Erfassen des zyklischen Signals mittels der Spulen der Elektromagnete durch die Regelungseinrichtung,
- Ermitteln eines Minimumwertes des zyklischen Signals, der für die axiale Position der Ankerscheibe zwischen den Elektromagneten repräsentativ ist; und
- Regeln der Position der Ankerscheibe auf der Basis des ermittelten Minimumwertes des zyklischen Signals, so dass die Ankerscheibe im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten stabilisiert wird.

[0025] Mit diesem Verfahren wird eine Regelung der axialen Position des Ankers eines Rotors und somit der axialen Position des Rotors selbst ermöglicht, welche von der Tatsache, dass ein durch die Vertiefungen in der Ankerscheibe und dem ferromagnetischen Kern erzeugtes zyklisches Signal eine für die axiale Lage der Ankerscheibe repräsentative Komponente aufweist, Gebrauch macht. Die Ermittlung kann rechnergestützt mittels eines Mikroprozessors auf schnelle und zuverlässige Weise erfolgen, so dass die aktive Lageregelung rasch auf axiale Abwei-

chungen der Ankerscheibe von der Sollposition reagieren kann.

[0026] Dabei erfolgt der Schritt des Erfassens des zyklischen Signals mittels der Spulen der Elektromagnete. In diesem Fall kann auf separate Sensoren, die ausschließlich der Erfassung dieses Signals dienen, verzichtet werden, wodurch sich die Gesamtkosten des Lagers verringern lassen.

[0027] Aus dem erfassten zyklischen Signal kann in einem weiteren Verfahrensschritt eine Winkelgeschwindigkeit einer Rotation der Ankerscheibe um die Längsachse der Rotorwelle ermittelt werden. Dies erweitert die Anwendungsmöglichkeiten des geschilderten Verfahrens zusätzlich, da die so ermittelte Winkelgeschwindigkeit des Rotors beispielsweise für weitere Regelungen eingesetzt werden kann. Auch kann die Winkelgeschwindigkeit im Rahmen einer Anzeige über einen Bildschirm oder dergleichen für den Benutzer zu dessen Information über den Betriebszustand des Rotors sichtbar gemacht werden.

[0028] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

[0029] **Fig. 1a** eine schematische Darstellung eines herkömmlichen axialen Magnetlagers;

[0030] **Fig. 1b** eine schematische Darstellung eines axialen Magnetlagers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0031] **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** eine vereinfachte Darstellung eines Rotorankers sowie eines Kerns eines Elektromagneten gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0032] **Fig. 3** einen Graphen zur Verdeutlichung eines zyklischen Sensorsignals, das von der Ausführungsform der **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** erzeugt wird; und

[0033] **Fig. 4** ein Blockschaltbild eines aktiv geregelten axialen Magnetlagers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0034] In den verschiedenen Figuren sind einander entsprechende Elemente durchgängig mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0035] **Fig. 1a** zeigt schematisch einen Querschnitt durch ein axiales Magnetlager. Das Magnetlager umfasst allgemein einen Rotor **100** mit einer Rotorwelle **110** sowie einer sich quer zu der Rotorwelle **110** erstreckenden Ankerscheibe **120**, welche der axialen Lagerung des Rotors **100** dient. Wie dies aus der Figur ersichtlich ist, sind eine erste Oberfläche **121** und eine zweite Oberfläche **122** der Ankerscheibe **120**,

die sich beide senkrecht zur Längsachse Z-Z der Rotorwelle **110** erstrecken, hier im Wesentlichen einheitlich plan ausgebildet und weisen somit keine Asymmetrien auf.

[0036] Die Ankerscheibe **120** wird durch die Magnetkraft, welche zwischen einem ersten Elektromagneten **210** und der Ankerscheibe **120** einerseits und zwischen einem zweiten Elektromagneten **220** und der Ankerscheibe **120** andererseits erzeugt wird, in einem berührungslosen bzw. schwebenden Zustand axial zwischen den Elektromagneten **210**, **220** gehalten. Die Elektromagneten **210**, **220** umfassen auf an sich bekannte Weise je mindestens einen aus ferromagnetischem Material gefertigten oder mit ferromagnetischem Material beschichteten Kern **211** bzw. **221** mit einer der Ankerscheibe **120** des Rotors **100** zugewandten Fläche **212** bzw. **222** sowie je mindestens eine Spule **213** bzw. **223**, welche in den jeweiligen Kern **211** bzw. **221** einen Magnetfluss induziert. Der Verlauf des Magnetflusses ist für die in der Figur dargestellte Ausführungsform durch Pfeillinien beispielhaft angedeutet.

[0037] Zwischen dem ersten Elektromagneten **210** und der ersten Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** erstreckt sich ein erster Luftspalt **310**, durch den, wie gezeigt, der Magnetfluss vom Anker **211** des ersten Elektromagneten **210** zur Ankerscheibe **120** und zurück verläuft. Dementsprechend erstreckt sich ein zweiter Luftspalt **320** zwischen dem zweiten Elektromagneten **220** und der zweiten Oberfläche **122** der Ankerscheibe **120**. Der vom zweiten Elektromagneten **220** erzeugte Magnetfluss tritt durch diesen zweiten Luftspalt **320**, wie durch die Pfeillinien der Fig. 1a gezeigt.

[0038] Eine Sollposition für die Lage der Ankerscheibe **120** ist im Allgemeinen dadurch gegeben, dass ein erster Abstand d_1 zwischen der ersten Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** und dem ersten Elektromagneten **210** und ein zweiter Abstand d_2 zwischen der zweiten Oberfläche **122** der Ankerscheibe **120** und dem zweiten Elektromagneten **220** gleich sind, dass also gilt: $d_1 = d_2$. Die Abstände d_1 , d_2 sind somit gleichbedeutend mit der Dicke des Luftspalts **310** bzw. **320** zwischen der Ankerscheibe **120** und jeweiligem Elektromagneten **210**, **220** des Magnetlagers.

[0039] Um diese Sollposition aufrecht zu erhalten bzw. sie im Fall einer axialen Auslenkung der Ankerscheibe **120** wiederherzustellen, kann eine aktive Regelung eingesetzt werden. In Fig. 1b ist ein Prinzip dargestellt, auf dessen Basis gemäß Ausführungsformen der Erfindung eine solche Regelung verwirklicht werden kann.

[0040] Das in Fig. 1b dargestellte Magnetlager unterscheidet sich von demjenigen der Fig. 1a dadurch, dass sowohl auf der ersten Oberfläche **121** als auch

auf der zweiten Oberfläche **122** der Ankerscheibe **120** jeweils eine Vertiefung **121a** bzw. **122a** ausgebildet ist. Es ist unmittelbar ersichtlich, dass sich durch die Vertiefungen **121a** bzw. **122a** der jeweilige Luftspalt **310** bzw. **320** verbreitert, was bedeutet, dass sich an dieser Stelle der magnetische Widerstand ändert.

[0041] Um die Verbreiterung des Luftspalts **310** noch zu verstärken, ist auch in der der ersten Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** zugewandten Fläche **212** des ersten ferromagnetischen Kerns **211** eine Vertiefung **212a** ausgeführt. Auf diese Weise wird die Dicke des Luftspalts **310** gegenüber dem in Fig. 1a gezeigten Beispiel des Standes der Technik die jeweiligen Tiefen der Vertiefung **121a** in der Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** und der Vertiefung **212a** des Kerns **211** verbreitert.

[0042] Es ist anzumerken, dass die in den Figuren dargestellten Abmessungen und ihre Verhältnisse zueinander nicht maßstabsgetreu sind. So sind beispielsweise die Vertiefungen in Bezug auf die Größe der Ankerscheibe übertrieben dargestellt, was der Verdeutlichung des der Erfindung zugrunde liegenden Prinzips dient. Auch was die Form der Vertiefungen sowie ihre Lageverhältnisse zueinander betrifft, ist die dargestellte Ausführungsform lediglich als beispielhaft anzusehen.

[0043] Anders als in Fig. 1b gezeigt, kann natürlich auch die Fläche **222** des Kerns **221** mit einer Vertiefung versehen sein, um die Dicke des Luftspalts **320** weiter zu vergrößern.

[0044] Wie aus Figur Fig. 1b ersichtlich ist, erstrecken sich die Vertiefungen **121a** und **122a** jeweils nicht vollständig über 360° um die Rotorwelle **110** herum. Mit anderen Worten bilden diese Vertiefungen **121a** und **122a** keinen geschlossenen, gleichmäßigen Kreis um den Mittelpunkt der jeweiligen Oberflächen **121** bzw. **122**. Dies ist wesentlich, da ansonsten keine Asymmetrie in Rotationsrichtung und somit kein zyklisches Sensorsignal ausgebildet würde.

[0045] In den Fig. 2a bis Fig. 2c ist in perspektivischer Ansicht eine Ausführungsform des Rotors **100** mit Rotorwelle **110** und Anker **120** sowie des Kerns **211** des ersten Elektromagneten **210**. (Die in diesem Abschnitt angeführten Erläuterungen gelten jedoch ohne Einschränkung auch für den zweiten Elektromagneten **220**.) Aus Gründen der Einfachheit der Darstellung sind in diesen Figuren nicht unmittelbar der Erläuterung dienende Elemente wie Spulen und dergleichen weggelassen. Zudem ist die Form des Kerns **211** verschieden von der Form des Kerns **211** der Figuren Fig. 1a und Fig. 1b. Die nachstehend gemachten Angaben sind dabei selbstverständlich nicht auf eine spezielle Form des Kerns **211** oder der Ankerscheibe **120** beschränkt.

[0046] Wie dies in den **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** zu erkennen ist, weisen hier sowohl die erste Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** als auch die Fläche **212** des Kerns **211** des ersten Elektromagneten **210** eine Vertiefung **121a** bzw. **212a** auf, die sich beide jeweils über einen Winkelbereich von 180° um die Mittelpunkte der jeweiligen Flächen herum erstrecken. Mit anderen Worten nimmt die Vertiefung je die Hälfte Oberfläche **121** bzw. der Fläche **212** des Kerns **211** des Elektromagneten **210** ein.

[0047] In dieser Ausführungsform entsprechen Form und Ausdehnung der Vertiefung **121a** und der Vertiefung **212a** einander. Wie in der Darstellung des bei dieser Ausführungsform erzeugten Signals in **Fig. 3** gezeigt werden wird, ist der Verlauf dieses Signals glatt und gut auszuwerten.

[0048] In der Darstellung von **Fig. 2a** ist der Verlauf der Flusslinien des Magnetfeldes **B** durch Pfeile angedeutet. In dieser Figur befinden sich der Kern **211** sowie die Ankerscheibe **120** in einer Stellung von 0° zueinander. In dieser Stellung sind die beiden Vertiefungen **121a** und **212a** exakt übereinander angeordnet. Dreht sich nun der Rotor **100** um die Längsachse seiner Welle **110**, so ändern sich die Lageverhältnisse der beiden Vertiefungen **121a** und **212a** zueinander, da die Position des Kerns **211** des Elektromagneten **210** konstant bleibt.

[0049] In **Fig. 2b** ist eine Stellung gezeigt, in der der Rotor **100** und damit auch die Ankerscheibe **120** eine Drehung um 90° gegenüber der in **Fig. 2a** dargestellten Position vollzogen haben. Die Lage der Vertiefungen **121a** und **212a** zueinander ist dementsprechend um 90° verdreht. Der Verlauf des Magnetflusses über den daraus resultierenden Luftspalt hinweg ändert sich folglich.

[0050] Schließlich ist in **Fig. 2c** eine Stellung gezeigt, gemäß der der Rotor **100** eine weitere Drehung um 90° vollzogen hat. Gegenüber der Position von **Fig. 2a** hat sich nun eine Lageänderung von 180° eingestellt. Nun liegen die Vertiefungen **121a** und **212a** so, dass sie nicht zueinander gerichtet sind. Mit anderen Worten ist die Vertiefung **121a** nunmehr gegen den Teil der Fläche **212** ohne Vertiefung gerichtet, und die Vertiefung **212a** ist gegen den Teil der Oberfläche **121** ohne Vertiefung gerichtet.

[0051] In der Darstellung von **Fig. 3** ist der aus der Ausführungsform der **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** resultierende Verlauf des zyklischen Sensorsignals gezeigt. Dabei ist die Magnetkraft über dem Verdrehwinkel für folgende Verhältnisse dargestellt: die Dicke des Luftspalts **310** zwischen der Oberfläche **121** ohne Vertiefung und der Fläche **212** des Kerns **211** ohne Vertiefung betrug im Fall der ersten Linie $200\ \mu\text{m}$ und im Fall der zweiten Linie $100\ \mu\text{m}$. Die Tiefe der Vertiefungen **121a** und **212a** betragen jeweils $50\ \mu\text{m}$. Der

Strom in den Spulen des Elektromagneten **210** wurde für diese Ausführungsform jeweils so gewählt, dass näherungsweise für beide Fälle (Luftspalt von $200\ \mu\text{m}$ und Luftspalt von $100\ \mu\text{m}$) die gleiche mittlere Kraft wirkte. Im ersten Fall betrug die Stromstärke $2\ \text{A}$, im zweiten Fall $1,1\ \text{A}$.

[0052] Wie aus den Graphen ersichtlich ist, nimmt die erzeugte Magnetkraft zwischen einem Drehwinkel von 0° und 180° linear ab, erreicht bei 180° ein Minimum und nimmt dann wieder linear zu. Die Größe des Minimums ist dabei abhängig von der Dicke des Luftspalts. Mit anderen Worten ist die Größe des Minimums abhängig vom Abstand d_1 zwischen der Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** und dem Elektromagneten **210**. Das entstehende Signal weist somit eine Komponente auf, welche für die axiale Position der Ankerscheibe repräsentativ ist.

[0053] Dieses Minimum bzw. die Amplitude der Kraftänderung führt zu einer axialen Schwingung mit der Drehfrequenz des Rotors **100**, welche wiederum über Induktivitätsänderungen einer Spule auf die Klemmengrößen **I** (Spulenstrom) und **U** (Spulenspannung) dieser Spule zurückwirkt. Diese Klemmengrößen können dann auf an sich bekannte Weise ausgewertet werden. Bei der Spule handelt es sich um die Spule **213** des Elektromagneten **210** selbst.

[0054] Wie bereits erwähnt, kann auch diejenige Komponente des Signals, welche für die Rotorstellung repräsentativ ist (Änderung der erzeugten Magnetkraft mit dem Verdrehwinkel) beispielsweise dazu verwendet werden, eine Angabe über die Winkelgeschwindigkeit des Rotors zu ermitteln.

[0055] In **Fig. 4** ist ein Blockschaltbild für die Regelung des axialen Magnetlagers gezeigt. Eine Steuereinrichtung **400** empfängt als Eingang das zyklische Sensorsignal, das an den Klemmen der Spule **213** des Elektromagneten **210** abgegriffen wird. In der Steuereinrichtung **400**, bei der es sich beispielsweise um einen Mikroprozessor handeln kann, wird die für die axiale Position des Ankers **120** repräsentative Komponente extrahiert und daraus der axiale Abstand d_1 ermittelt. In Abhängigkeit vom ermittelten Abstand werden dann die Spulen so angesteuert, dass die erzeugte Kraft geeignet ist, den Anker in seine Sollposition zurückzubringen bzw. in seiner Sollposition zu halten.

Patentansprüche

1. Aktiv geregeltes axiales Magnetlager, aufweisend:
 - einen Rotor (**100**), welcher eine Rotorwelle (**110**) sowie eine quer zur Längsachse der Rotorwelle (**110**) verlaufende Ankerscheibe (**120**) umfasst, wobei die Ankerscheibe (**120**) erste und zweite Oberflächen

(121, 122) aufweist, welche einander entgegengesetzt sind,

– mindestens ein Spulen aufweisendes Elektromagnetenpaar mit einem ersten Elektromagneten (210) und einem zweiten Elektromagneten (220), welche einander über die Ankerscheibe (120) des Rotors (100) hinweg gegenüberliegen und mit der jeweiligen Oberfläche (121, 122) einen Luftspalt ausbilden, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten (210, 220) die Ankerscheibe (120) berührungslos gelagert ist,

– eine Regelungseinrichtung (400) die mit den Spulen der Elektromagnete verbunden ist und welche dafür ausgelegt ist und im Betrieb dafür eingesetzt wird, ausgehend von einem Sensorsignal die Lage der Ankerscheibe (120) so zu regeln, dass diese im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten stabilisiert ist,

wobei mindestens eine der Oberflächen (121, 122) der Ankerscheibe mit einer Vertiefung (121a, 122a) versehen ist, welche sich kreisförmig um den Mittelpunkt dieser Oberfläche (121, 122) über einen Winkelbereich von weniger als 360° erstreckt,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Fläche (212, 221) mindestens eines ferromagnetischen Kernes (211) eines Elektromagneten (210, 220), die der mit einer Vertiefung versehenen Oberfläche (121a, 122a) der Ankerscheibe (120) zugewandt ist, ihrerseits mit einer Vertiefung (212a) versehen ist, welche sich kreisförmig um den Mittelpunkt der Fläche (212, 222) über einen Winkelbereich von weniger als 360° erstreckt, so dass im Bereich der Vertiefungen ein vergrößerter Luftspalt gegeben ist,

wodurch bei einer Rotation der Ankerscheibe (120) um die Rotorachse ein zyklisches Signal in den Spulen der Elektromagnete erzeugt wird, das von der Regelungseinrichtung (400) erfasst wird und als Sensorsignal zum Regeln der Lage der Ankerscheibe dient.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefung (121a, 122a) der Oberfläche (121, 122) der Ankerscheibe (120) und die zugehörige Vertiefung (212a) der Fläche (212, 222) des ferromagnetischen Kernes (211, 221) einander in Größe und Form entsprechen.

3. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beide Oberflächen (121, 122) der Ankerscheibe (120) mit einer Vertiefung (121a, 122a) ausgebildet sind.

4. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefung (121a, 122a) der mindestens einen Oberfläche (121, 122) der Ankerscheibe (120) eine Tiefe von 10 µm bis 100 µm aufweist.

5. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Vertiefung (121a, 122a) der mindestens ei-

nen Oberfläche (121, 122) der Ankerscheibe (120) über einen Winkelbereich zwischen 45° und 180° um den Mittelpunkt dieser Oberfläche (121, 122) erstreckt.

6. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinrichtung (400) dafür ausgelegt ist und im Betrieb dafür eingesetzt wird, aus dem zyklischen Sensorsignal zusätzlich eine Drehzahl des Rotors (100) zu ermitteln und an einem Ausgang (301) auszugeben.

7. Verfahren zur aktiven Regelung eines axialen Magnetlagers, gekennzeichnet durch ein Magnetlager mit den Merkmalen gemäß zumindest eines der Ansprüche 1 bis 6, und durch die folgenden Verfahrensschritte:

– Erzeugen eines zyklischen Signals durch Drehen der Ankerscheibe im Magnetlager;

– Erfassen des zyklischen Signals mittels der Spulen (213, 223) der Elektromagnete (210, 220) durch die Regelungseinrichtung (400);

– Auswerten des zyklischen Signals und ermitteln eines Minimumwertes, der für die axiale Position der Ankerscheibe (120) zwischen den Elektromagneten (210, 220) repräsentativ ist; und

– Regeln der Position der Ankerscheibe (120) auf der Basis des ermittelten Minimumwertes des zyklischen Signals, so dass die Ankerscheibe (120) im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten (210, 220) stabilisiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass es den Schritt des Ermitteln einer Winkelgeschwindigkeit einer Rotation der Ankerscheibe (120) um die Längsachse der Rotorwelle (110) umfasst.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1a

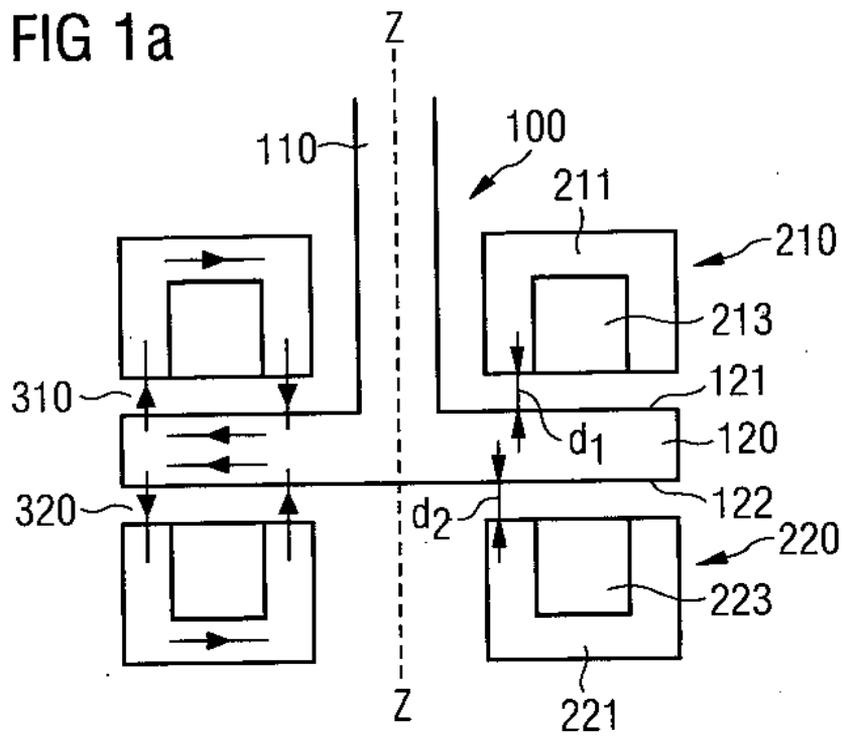
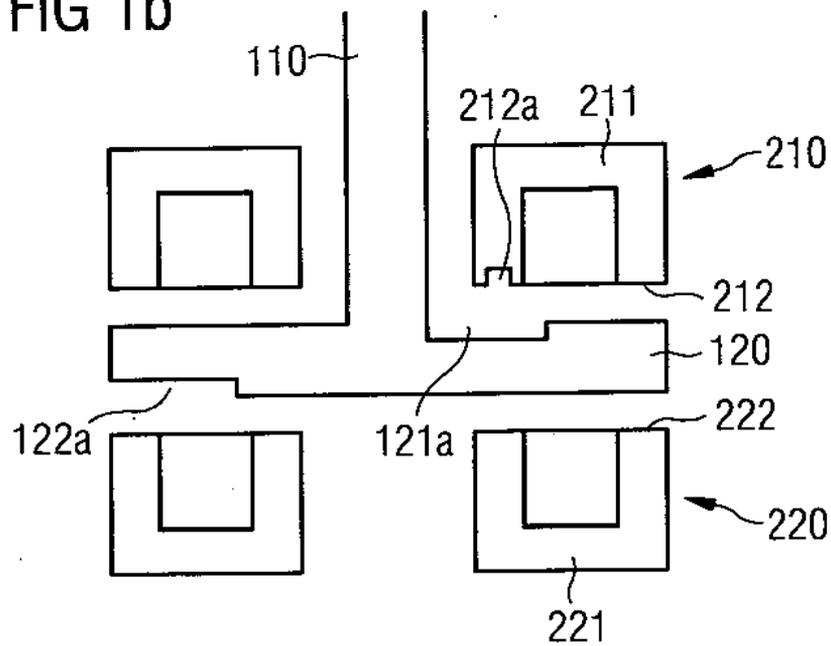


FIG 1b



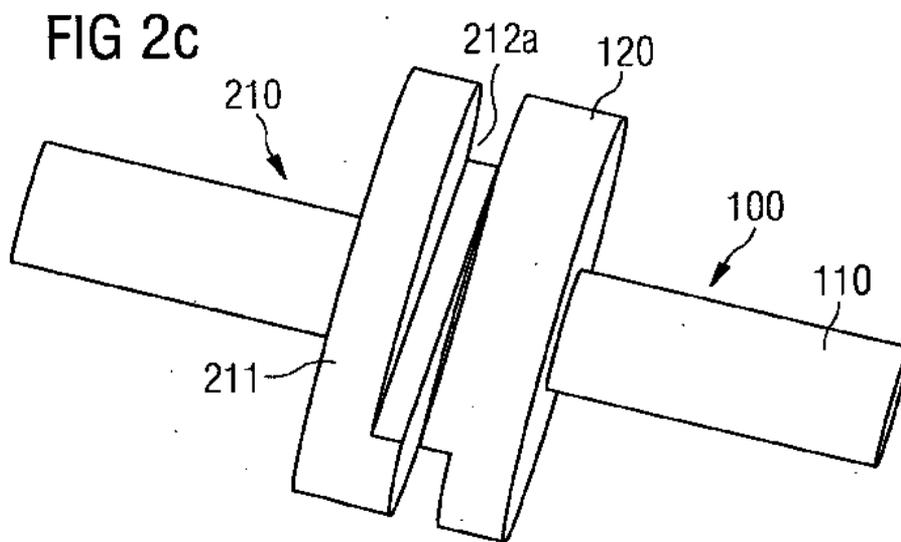
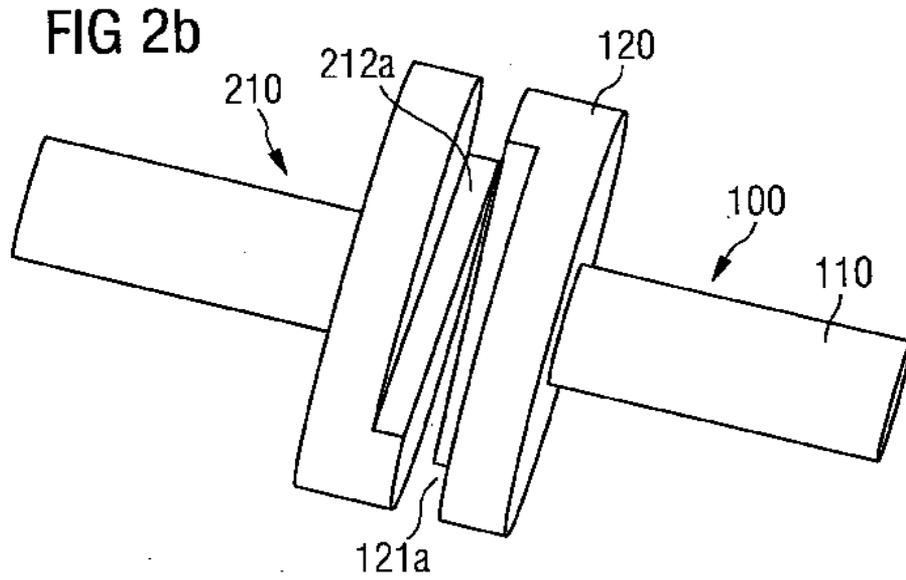
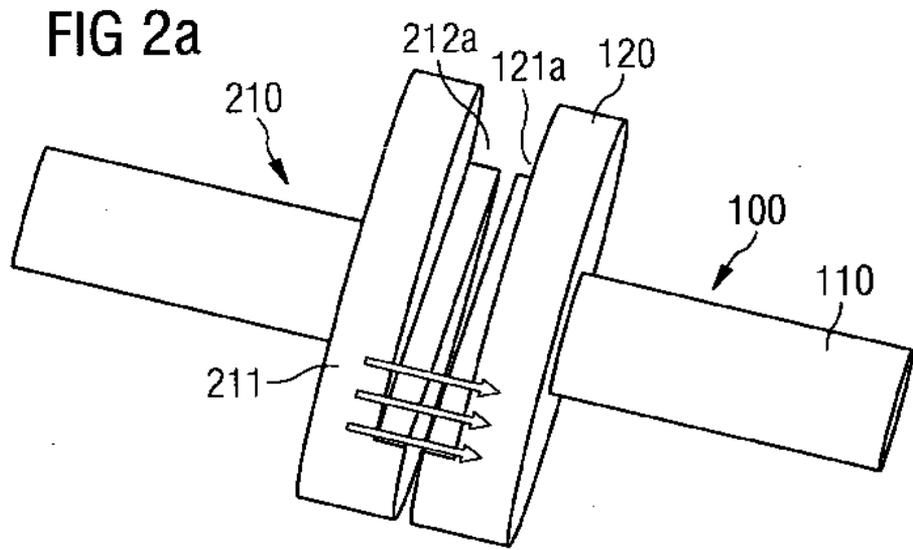


FIG 3

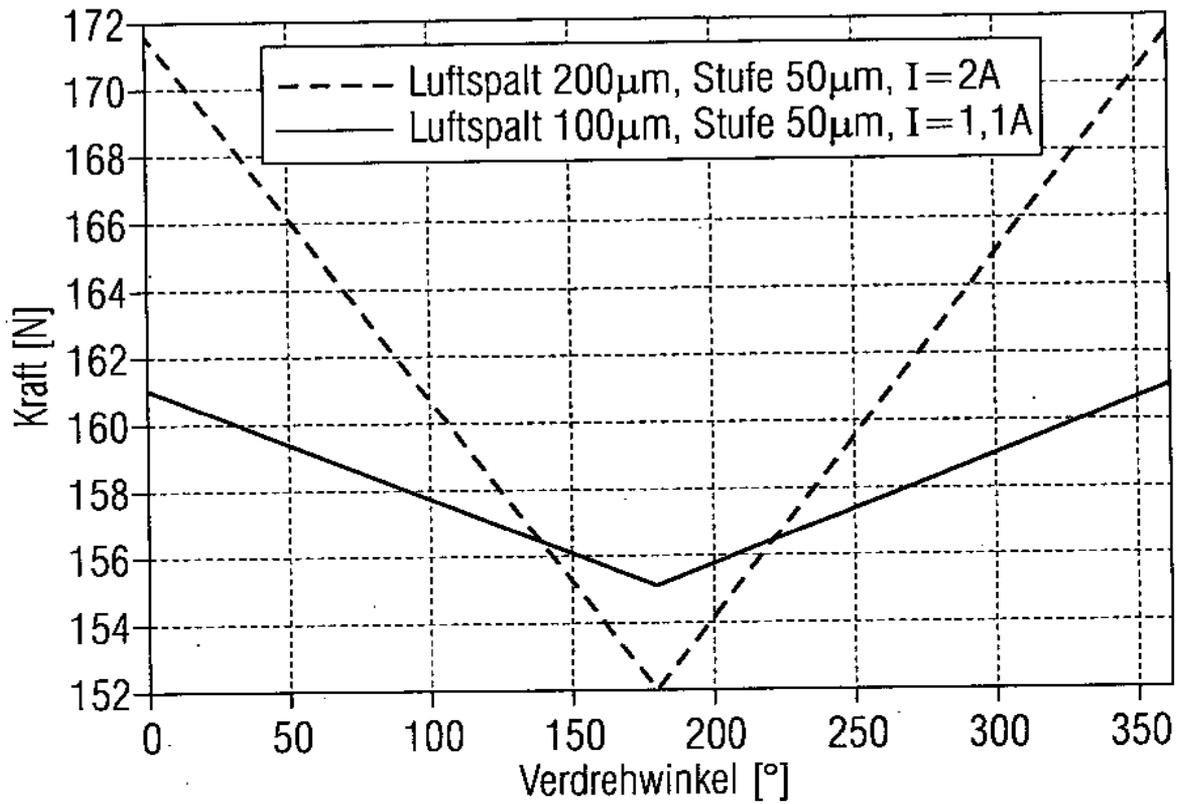


FIG 4

