

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2009 017 355 A1** 2011.03.03

(12)

Offenlegungsschrift 8-Monats-Akten

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

(22) Anmeldetag: **14.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2011**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:

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:

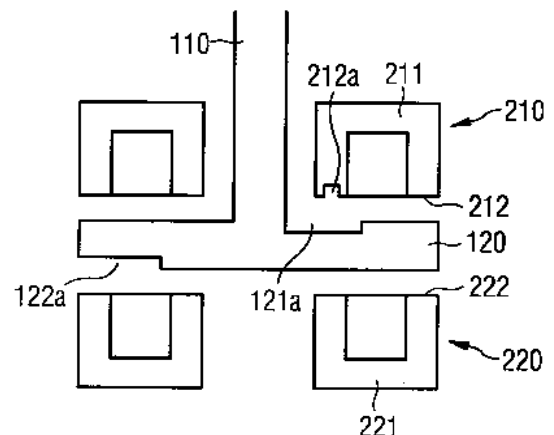
DE	28 01 040	C2
DE	37 40 295	A1
GB	22 46 400	A
WO	98/31 946	A1
SU	11 33 636	A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(57) Zusammenfassung: Es wird ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager mit einem Rotor (100), der eine Rotorwelle (110) sowie eine quer zur Längsachse der Rotorwelle (110) verlaufenden Ankerscheibe (120) aufweist, angegeben. Ein erster Elektromagnet (210) und ein zweiter Elektromagnet (220) liegen einander über die Ankerscheibe (120) des Rotors (100) hinweg gegenüber, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten (210, 220) die Ankerscheibe (120) berührungslos gelagert ist. Eine Steuereinrichtung (400) ist dafür ausgelegt, 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) mit einer Vertiefung (121a, 122a) versehen ist, so dass bei einer Rotation der Ankerscheibe (120) um die Rotorachse ein zyklisches Signal erzeugt wird, wobei das zyklische Signal das Sensorsignal für die Steuereinrichtung (400) bildet. Das zyklische Signal ermöglicht eine einfache Feststellung der axialen Position der Ankerscheibe für die aktive Lageregelung innerhalb eines Magnetlagers.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein aktivgeregeltes 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] 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. Aufgrund der zahlreichen parasitären Einflüsse in Bezug auf die Spuleninduktivität ist diese Art der Messung jedoch häufig ungenau.

[0004] 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.

[0005] 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.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager nach Anspruch 1 sowie ein Verfahren zur Regelung nach Anspruch 10 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0007] Ein aktiv geregeltes axiales Magnetlager weist gemäß einer Ausführungsform 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 einen ersten Elektromagneten und einen zweiten Elektromagneten, welche einander über die Ankerscheibe des Rotors hinweg gegenüberliegen, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten die Ankerscheibe berührungslos gelagert ist; und eine Steuereinrichtung, 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. Mindestens eine der Oberflächen ist mit einer Vertiefung versehen, welche keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt dieser Oberfläche bildet, so dass bei einer Rotation der Ankerscheibe um die Rotorachse ein zyklisches Signal erzeugt wird, wobei das zyklische Signal das Sensorsignal für die Steuereinrichtung bildet.

[0008] Aufgrund der Vertiefung auf mindestens einer der Oberflächen wird eine Asymmetrie in diese Oberfläche der Ankerscheibe eingebracht, und die Dicke eines Luftspalts zwischen der Ankeroberfläche und dem dieser Fläche zugewandten Elektromagneten ändert sich an der Stelle der Vertiefung. Da die 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 Elektromagneten des Magnetlagers und der Ankeroberfläche ist.

[0009] 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.

[0010] 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.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform weisen die Elektromagneten ferromagnetische Kerne auf, wobei eine Fläche mindestens eines der ferromagnetischen Kerne der Elektromagneten, die der mit einer Vertiefung versehenen Oberfläche der Ankerscheibe zugewandt ist, ihrerseits mit einer Vertiefung versehen ist, welche keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt der Fläche bildet.

[0012] 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 die eine Erhöhung der Dicke des Luftspalts und damit eine Verstärkung des zyklischen Sensorsignals verwirklicht werden kann, ohne dass die Tiefe der Vertiefung erhöht werden muss. Letzteres ist wünschenswert, da die Vertiefung auch eine mechanische Unwucht in der Ankerscheibe bedingt, welche möglichst klein gehalten werden soll.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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 Ro-

torwelle überstreicht, für die Vertiefung gewählt werden.

[0017] 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.

[0018] 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. Gemäß einer Alternative können jedoch selbstverständlich auch getrennte Sensoren eingesetzt werden, um das durch die Vertiefung(en) in der Ankerscheibe bei der Rotation dieser Ankerscheibe erzeugte zyklische Signal zu erfassen. Dabei kann es sich um im Stand der Technik bekannte geeignete Sensoren wie z. B. Wirbelstromsensoren handeln.

[0019] 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 Steuereinrichtung verwirklichte, Lageregelung des Ankers des Rotors eingesetzt. Ein zusätzlicher Nutzen aus bei der Auswertung des zyklischen Sensorsignals kann gezogen werden, wenn eine weitere Signalkomponente, nämlich eine für die Winkelposition der Ankerscheibe repräsentative Komponente verwendet wird.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform ist deshalb die Steuereinrichtung 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.

[0021] 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.

[0022] Zu diesem Zweck können bei einer Ausführungsform radial um den Rotor positionierte Elektromagnete vorhanden sein, welche dafür ausgelegt sind, ein durch die Vertiefung erzeugtes radiales zyklisches Signal zu erfassen und für die Ermittlung einer Drehzahl des Rotors auszugeben. Bei diesen radial positionierten Elektromagneten kann es sich beispielsweise um Magneten für die radiale Lagerung des Rotors handeln.

[0023] Wie bereits erwähnt, betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur aktiven Regelung eines axialen Magnetlagers, wobei das Magnetlager einen Rotor mit einer Welle und einer quer zur Längsachse der Rotorwelle verlaufenden Ankerscheibe umfasst, die erste und zweite einander entgegengesetzte Oberflächen aufweist, sowie mindestens einen ersten Elektromagneten und einen zweiten Elektromagneten, welche einander über die Ankerscheibe des Rotors hinweg gegenüberliegen, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten die Ankerscheibe berührungslos gelagert ist; wobei mindestens eine der Oberflächen mit einer Vertiefung versehen ist, welche keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt dieser Oberfläche bildet, so dass bei einer Rotation der Ankerscheibe um die Rotorachse ein zyklisches Signal erzeugt wird, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Erfassen des zyklischen Signals; Ermitteln eines Teils 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 Teils des zyklischen Signals, so dass die Ankerscheibe im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten stabilisiert wird.

[0024] 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 Vertiefung in der Ankerscheibe 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 Abweichungen der Ankerscheibe von der Sollposition reagieren kann.

[0025] Dabei kann gemäß einer Ausführungsform der Schritt des Erfassens des zyklischen Signals mittels Spulen der Elektromagneten erfolgen. In diesem Fall kann auf separate Sensoren, die ausschließlich der Erfassung dieses Signals dienen, verzichtet wer-

den, wodurch sich die Gesamtkosten des Lagers verringern lassen.

[0026] 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.

[0027] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

[0028] **Fig. 1a** eine schematische Darstellung eines herkömmlichen axialen Magnetlagers;

[0029] **Fig. 1b** eine schematische Darstellung eines axialen Magnetlagers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0030] **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** eine vereinfachte Darstellung eines Rotorankers sowie eines Kerns eines Elektromagneten gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0031] **Fig. 3** einen Graphen zur Verdeutlichung eines zyklischen Sensorsignals, das von der Ausführungsform der **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** erzeugt wird; und

[0032] **Fig. 4** ein Blockschaltbild eines aktiv geregelten axialen Magnetlagers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0033] In den verschiedenen Figuren sind einander entsprechende Elemente durchgängig mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0034] **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.

[0035] Die Ankerscheibe **120** wird durch die Magnetkraft, welche zwischen einem ersten Elektromagne-

ten **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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040] Um die Verbreiterung des Luftspalts **310** noch zu verstärken, ist auch in 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 um die jeweiligen Tiefen der Vertiefung **121a** in der Oberfläche **121** der Ankerscheibe **120** und der Vertiefung **212a** des Kerns **211** verbreitert.

[0041] 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.

[0042] 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.

[0043] Wie aus **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.

[0044] 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 **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.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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** betrugen 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 $1,1\ \text{A}$.

[0051] 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.

[0052] Dieses Minimum bzw. die Amplitude der Kraftänderung führt zu einer axialen Schwingung mit der Drehfrequenz des Rotors **100**, welche wiederum über Induktivitätsänderungen einer Sensorspule auf die Klemmengrößen I (Spulenstrom) und U (Spulenspannung) dieser Spule zurückwirkt. Diese Klemmengrößen können dann auf an sich bekannte Weise ausgewertet werden. Bei der Sensorspule kann es sich entweder um die Spule **213** des Elektromagneten **210** selbst handeln, oder aber um eine separate Sensorspule (in den Figuren nicht gezeigt). Insbesondere kann das entstehende Signal im Rahmen einer virtuellen Positionsbestimmung eingesetzt werden.

[0053] 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.

[0054] In **Fig. 4** ist ein Blockschaltbild für die Regelung des axialen Magnetlagers gezeigt. Eine Steuereinrichtung **400** empfängt als Eingang das zyklische Sensorsignal, das beispielsweise 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 Elektromagnetenpaar mit einem ersten Elektromagneten (**210**) und einem zweiten

Elektromagneten (220), welche einander über die Ankerscheibe (120) des Rotors (100) hinweg gegenüberliegen, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten (210, 220) die Ankerscheibe (120) berührungslos gelagert ist,

– eine Steuereinrichtung (400), welche dafür ausgelegt ist, 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) mit einer Vertiefung (121a, 122a) versehen ist, welche keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt dieser Oberfläche (121, 122) bildet, so dass bei einer Rotation der Ankerscheibe (120) um die Rotorachse ein zyklisches Signal erzeugt wird, wobei das zyklische Signal das Sensorsignal für die Steuereinrichtung (400) bildet.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektromagneten (210, 220) ferromagnetische Kerne (211, 221) aufweisen, wobei eine Fläche (212, 221) mindestens eines der ferromagnetischen Kerne (211) der 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 keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt der Fläche (212, 222) bildet.

3. Magnetlager nach Anspruch 2, 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 Kerns (211, 221) einander GröÙe und Form entsprechen.

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

5. 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 etwa 10 µm bis etwa 100 µm aufweist.

6. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Vertiefung (121a, 122a) der mindestens einen Oberfläche (121, 122) der Ankerscheibe (120) über einen Winkelbereich zwischen etwa 45° und 180° um den Mittelpunkt dieser Oberfläche (121, 122) erstreckt.

7. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (400) zur Erfassung des zyklischen

Sensorsignals mit Spulen (213, 223) der Elektromagneten (210, 220) verbunden ist.

8. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (400) dafür ausgelegt ist, aus dem zyklischen Sensorsignal eine Drehzahl des Rotors (100) zu ermitteln und an einem Ausgang (301) auszugeben.

9. Magnetlager nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es radial um den Rotor (100) positionierte Elektromagnete (500) aufweist, welche dafür ausgelegt sind, ein durch die Vertiefung (121a, 122a) erzeugtes radiales zyklisches Signal zu erfassen und für die Ermittlung einer Drehzahl des Rotors (100) auszugeben.

10. Verfahren zur aktiven Regelung eines axialen Magnetlagers, wobei das Magnetlager einen Rotor (100) mit einer Welle (110) und einer quer zur Längsachse der Rotorwelle (110) verlaufenden Ankerscheibe (120), die erste und zweite einander entgegengesetzte Oberflächen (121, 122) aufweist; und mindestens einen ersten Elektromagneten (210) und einen zweiten Elektromagneten (220) aufweist, welche einander über die Ankerscheibe (120) des Rotors (100) hinweg gegenüberliegen, so dass durch die Magnetkraft der Elektromagneten (210, 220) die Ankerscheibe (120) berührungslos gelagert ist; wobei mindestens eine der Oberflächen (121, 122) mit einer Vertiefung (121a, 122a) versehen ist, welche keinen geschlossenen Kreis um den Mittelpunkt dieser Oberfläche (121, 122) bildet, so dass bei einer Rotation der Ankerscheibe (120) um die Rotorachse ein zyklisches Signal erzeugt wird, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Erfassen des zyklischen Signals;
- Ermitteln eines Teils des zyklischen Signals, 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 Teils des zyklischen Signals, so dass die Ankerscheibe (120) im berührungslosen Zustand zwischen den Elektromagneten (210, 220) stabilisiert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Erfassens des zyklischen Signals mittels Spulen (213, 223) der Elektromagneten (210, 220) erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass es den Schritt des Ermittlens einer Winkelgeschwindigkeit einer Rotation der An-

kerscheibe (120) um die Längsachse der Rotorwelle
(110) umfasst.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1a

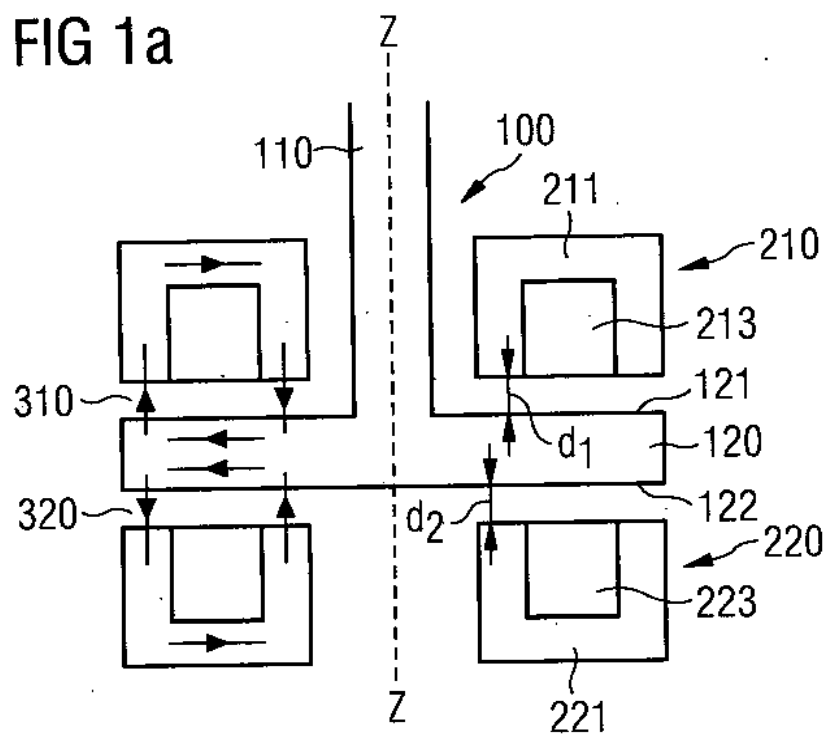
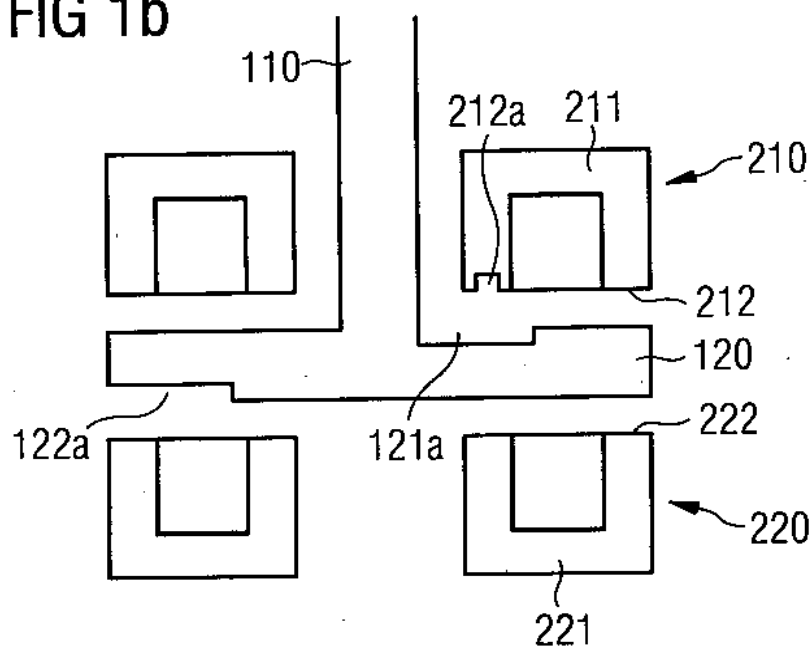


FIG 1b



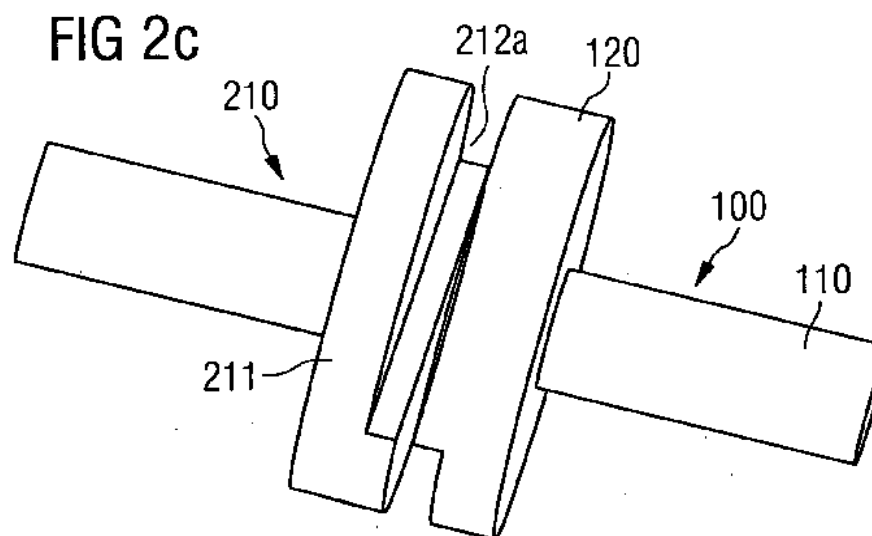
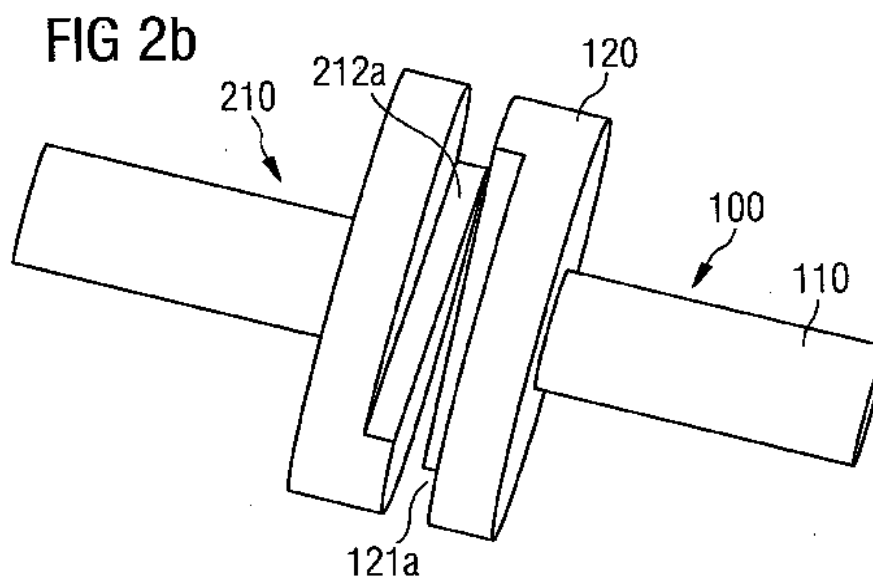
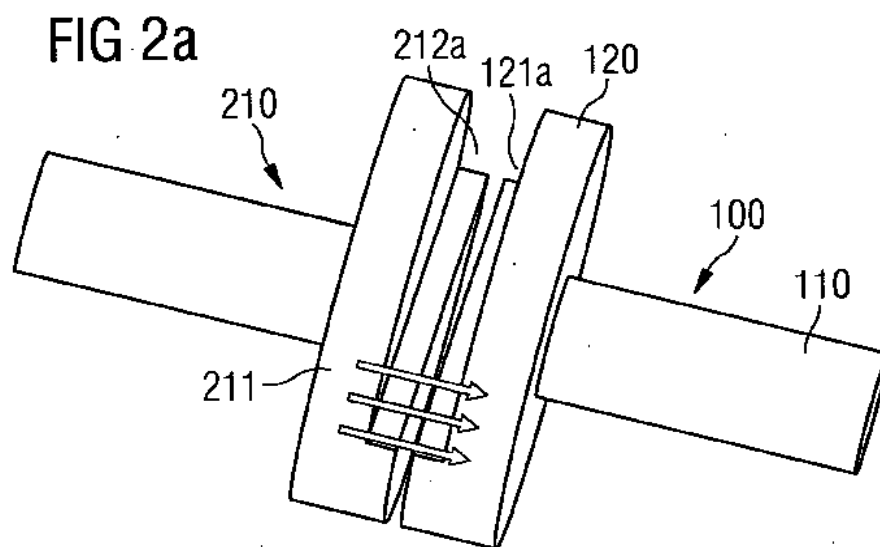


FIG 3

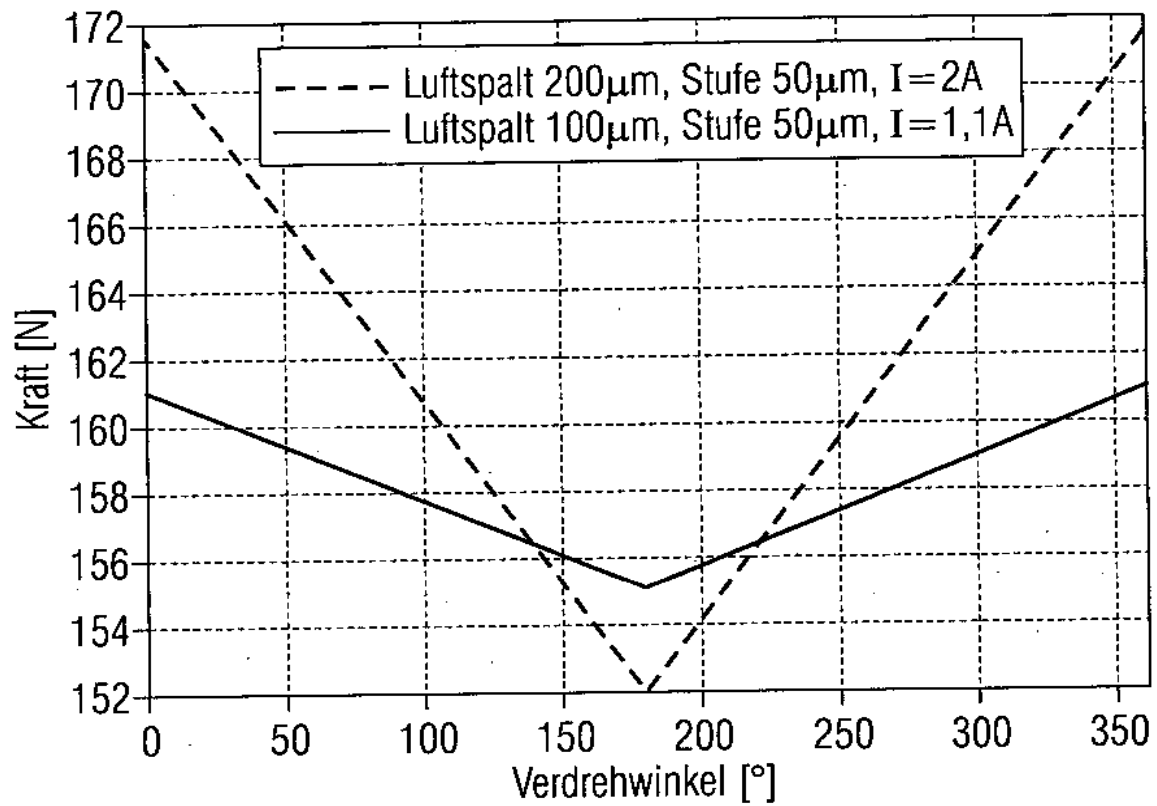


FIG 4

