

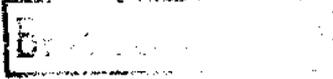
⑤

Int. Cl. 2:

F 16 C 32-04

⑩ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



DT 25 27 104 A1

⑪

Offenlegungsschrift 25 27 104

⑫

Aktenzeichen: P 25 27 104.9-51

⑬

Anmeldetag: 18. 6. 75

⑭

Offenlegungstag: 8. 1. 76

⑳

Unionspriorität:



19. 6. 74 Japan 69176-74

⑤④

Bezeichnung: Magnetlager

⑦①

Anmelder: Hitachi, Ltd., Tokio

⑦④

Vertreter: Schiff, K.L.; Fülner, A.v., Dr.; Strehl, P., Dipl.-Ing.; Schübel-Hopf, U., Dr.; Ebbinghaus, D., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦②

Erfinder: Okuda, Hironori, Hitachi (Japan)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DT 25 27 104 A1

PATENTANWÄLTE

DR. O. DITTMANN
K. L. SCHIFF
DR. A. v. FÜNER
DIPL. ING. P. STREHL
DR. U. SCHÜBEL-HOPF
DIPL. ING. D. EBBINGHAUS

HITACHI LIMITED

2527104

F-3 MÜNCHEN 90
MARSHALLPLATZ 2 & 3
POSTADRESSE
D-8 MÜNCHEN 95
POSTFACH 950100
TELEFON (089) 482054
TELEGR. AUROMARCPAT MÜNCHEN
TELEX 5-23505 AURO D

18. Juni 1975

DA - 11 755

Priorität: 19. Juni 1974, Japan, Nr. 69 176

Magnetlager

Die Erfindung betrifft ein Magnetlager mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor, einem ersten Ringmagneten, dessen Hauptebene senkrecht zur Rotationsachse liegt, und einem ortsfesten Element, das einen zweiten Ringmagneten trägt, der mit einem vorbestimmten Abstand dem ersten Ringmagneten axial gegenüber koaxial und planparallel zu diesem ausgerichtet ist, so dass der Rotor senkrecht zur Achse des ortsfesten Elementes durch die zwischen beiden Ringmagneten wirkenden Kräfte gelagert ist.

Die Erfindung betrifft also insbesondere ein berührungsfreies Magnetlager, das insbesondere als oberes Lager stehender Lager für Vorrichtungen mit hohen Drehzahlen geeignet ist.

Hochtourige rotierende Vorrichtungen werden üblicherweise so ausgebildet, dass sich der Rotor um eine senkrechte Rotationsachse dreht. Der Motor solcher hochtourig drehender Vorrichtungen ist in der Regel so ausgebildet, dass dessen Rotor mit dem Rotor der Vorrichtung fest verbunden ist, während der Stator des Motors mit dem ortsfesten Element der Vorrichtung verbunden ist. Der Fuss des Rotors der Vorrichtung ist in einem Drucklager in der Weise gelagert, dass am unteren Ende des Rotors ein Achszapfen in einem ortsfesten Gleitlager-

509882/0379

element gelagert ist. Dieses Axiallager nimmt sowohl den axialen Lagerdruck, der durch das Gewicht des Rotors entsteht, als auch die radial wirkenden Kräfte auf. Der Rotor wird von einem Gehäuse umgeben und wird auf dem axial dem Drucklager gegenüberliegenden oberen Ende durch das Magnetlager gelagert. Das Magnetlager ist bei den gebräuchlichen Vorrichtungen aus zwei einander gegenüberliegenden Dauermagneten aufgebaut. Am ortsfesten Gehäuse ist ein erster Ringmagnet befestigt. Ein zweiter Ringmagnet in Form eines Dauermagneten ist am Kopf des Rotors befestigt. Beide Ringmagnete sind in axialer Gegenüberstellung zueinander ausgerichtet und wirken radial als Feder. Der Nachteil der bekannten Magnetlager liegt für ultrahochtourige Vorrichtungen darin, dass sich unter Wärmeeinwirkung und durch die Zentrifugalkräfte der Rotor ausdehnt, so dass sich der Abstand zwischen den beiden Ringmagneten im Magnetlager verkleinert. Dadurch werden Anziehungskräfte erzeugt, die den Rotor anheben und seine Rotation unterbinden.

Wenn sich der Rotor andererseits zusammenzieht, wird durch die Abstandsveränderung zwischen den beiden Lagermagneten die Lagercharakteristik des Magnetlagers ebenfalls ungünstig beeinflusst, so dass eine saubere Rotation kaum erhältlich ist. Insbesondere bei einer Gewichtsverminderung des Rotors tritt dann das Problem des seitlichen Schlagens auf.

Zur Aufhebung insbesondere der unerwünscht auftretenden Anziehungskräfte zwischen beiden Lagermagneten ist für das zuvor beschriebene magnetische Kopflager eine Ausbildung vorgeschlagen worden, bei der einer der Lagermagneten in einem Joch angeordnet ist. Dieses magnetische Jochlager ist durch einen zylindrischen Abschnitt gekennzeichnet, der über den Kopf des Rotors hinausragt und einen radial vorspringenden Zahnkranz aus magnetischem Material trägt. Unter Ausbildung eines vorbestimmten Abstandes ist oberhalb und

unterhalb des horizontalen Zahnkranzes ein Doppeljoch ausgebildet. Zwischen diesem Joch ist ein Dauermagnet angeordnet. Der magnetische Fluss im Lager verläuft vom Joch über den Zahnkranz zum Gegenjoch, so dass dadurch ebenfalls die Wirkung einer radialen Feder für den Zahnkranz bzw. den Rotor erzielt wird. Durch die Ausbildung des oberhalb und unterhalb des Zahnkranzes liegenden Doppeljochs werden die axial wirkenden Anziehungskräfte kompensiert.

Dieses Jochlager erfordert jedoch eine grössere axiale Bauhöhe als das zuvor beschriebene einfache Magnetlager. Die aufwendigere Bauweise führt dazu, dass der erzielbare Grenzdrehzahlbereich dennoch deutlich niedriger als für die einfachen Magnetlager liegt. Je dünner man den Zahnkranz am Kopf des Rotors ausbildet, desto schwieriger werden die auftretenden Stabilisierungsprobleme. Ausserdem wird auch beim Jochlager das durch die mangelnde Masshaltigkeit des Rotors verursachte Problem auch nicht vollständig gelöst, da durch jede Abmessungsänderung des Rotors das Kompensationsgleichgewicht gestört wird.

Zur Erhöhung des kritischen Drehzahlbereiches wäre folgende Ausbildung des Lagers denkbar: Am Kopf des Rotors sind axial voneinander getrennt konzentrisch und planparallel zueinander zwei Zahnkränze aus magnetischem Material befestigt. Ein entsprechendes Innenzahnkranzpaar ist in Gegenüberstellung zum Stirnzahnkranzpaar des Rotors ortsfest am Gehäuse befestigt. Das ortsfeste Zahnkranzpaar ist durch einen Dauermagneten miteinander verbunden. Bei dieser Ausbildung wirken die Zähne selbst als radiale Federn und üben eine Anziehungskraft auf. Der Nachteil eines solchen prinzipiell denkbaren System liegt jedoch darin, dass im Vergleich zum einfachen Magnetlager unter Zugrundelegung gleicher radialer Federkonstanten wesentlich höhere Schubkräfte zum Antrieb erforderlich sind. Im Grenzfall wird eine Rotation durch die

2527104

zwischen den ortsfesten und den am Rotor befestigten Zähnen wirkenden Anziehungskräfte sogar vollständig unterdrückt.

Schliesslich ist ein Magnetlager bekannt, bei dem ein ringförmiger Dauermagnet auf einem zylindrischen Abschnitt auf dem Rotorkopf befestigt ist. Durch einen äusseren Schutzring wird der Ringmagnet mechanisch und geometrisch so stabilisiert, dass er auch bei relativ hohen Drehzahlen eingesetzt werden kann. Ortsfest am Gehäuse der Vorrichtung ist ein zweiter ringförmiger Dauermagnet in radialer Gegenüberstellung zum Rotormagnetring angeordnet. Die zwischen den Stirnseiten beider Ringmagnete wirkenden Abstossungskräfte wirken als radiale Lagerfeder. Zur Erzielung optimaler Kenndaten für ein Magnetlager ist jedoch erforderlich, dass der Abstand zwischen beiden Lagermagneten möglichst klein gehalten wird. Dem steht bei der zuvor beschriebenen Ausbildung eines Magnetlagers jedoch der Schutzring entgegen. Ausserdem wird für den Aussenmagneten ein relativ grosser Magnet benötigt, so dass die Kosten für ein solches Lager recht hoch sind.

Angesichts dieses Standes der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Magnetlager für ultrahohe Drehzahlen zu schaffen, das bei Einstellung einer ausreichend hohen radialen Federkonstanten nur geringste Widerlager-Schubkräfte hervorruft, dessen Bremswirkung möglichst unabhängig von einer Abstandsänderung zwischen den Lagermagneten ist und das trotz dieser verbesserten Kenndaten einfach aufgebaut und billig herstellbar ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Magnetlager der eingangs beschriebenen Art vorgeschlagen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Durchmesser des ortsfest gehaltenen Ringmagneten deutlich verschieden vom Durchmesser des am Rotor gehaltenen Ringmagneten ist und dass beide Ringmagneten einander entgegengesetzte Polaritäten aufweisen.

509882/0379

Zusammengefasst schafft die Erfindung also ein Magnetlager mit zwei axial einander gegenüberstehenden kreisringförmigen Dauermagneten, wobei das Lager einen Rotor in einem ortsfesten Element senkrecht zur Rotationsachse durch die zwischen den beiden Ringmagneten wirkenden magnetischen Kräfte stabilisiert. Die beiden Ringmagnete sind planparallel zueinander in axialem Abstand voneinander senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet. Einer der beiden Ringmagneten ist am Kopf des Rotors, der andere ortsfest am ortsfesten Gehäuse befestigt. Die Ringmagnete besitzen einen deutlich voneinander verschiedenen Durchmesser und weisen einander entgegengesetzte Polaritäten auf. Gegenüber bekannten Magnetlagern weist dieses Magnetlager relativ zur radialen Federkonstanten eine wesentlich verminderte Schubkraft am Widerlager auf.

Die Erfindung ist im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine hochoberflächig drehende Vorrichtung mit einem Lager nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 2 eine vergrößerte Teildarstellung eines Ausschnitts aus Fig. 1;
- Fig. 3 im Querschnitt ein Lager der Erfindung;
- Fig. 4 im Querschnitt ein Lager nach dem Stand der Technik;
- Fig. 5 Kernlinien für die in den Figuren 3 und 4 gezeigten Lager;

- Fig. 6 im Querschnitt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Lagers der Erfindung;
- Fig. 7 eine Darstellung zur Erläuterung der Wirkungsweise der Erfindung;
- Fig. 8 ein Diagramm zur Erläuterung der Wirkungsweise der Erfindung;
- Fig. 9 Kennlinien für verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung und
- Fig. 10 weitere Kennlinien für Ausführungsbeispiele der Erfindung.

In der Fig. 1 ist eine Vorrichtung gezeigt, deren Rotor 1 horizontale Stirnplatten 2 aufweist und der fest mit einem Rotor 3 eines Antriebsmotors am Boden der unteren Stirnplatte 3 angeordnet ist. Die Bodenplatte 2 des Rotors 1 trägt weiterhin zentral einen Achszapfen 5. Der Rotor 1 ist von einem ortsfesten Gehäuse 9 umgeben. Fest am Fuss des Gehäuses 9 ist ein Stator 4 des Antriebsmotors und ein Gleitlager 6 befestigt, das den Achszapfen 5 axial und radial lagert. Der Stator 4 wirkt mit dem Motorrotor 3 zusammen. Ein Deckel 10 schliesst das Gehäuse 9 oben ab. Am Kopf des Rotors 1 und im oberen Bereich des Gehäuses 9 ist das Magnetlager ausgebildet. In der aus Fig. 2 ersichtlichen Weise ist das Magnetlager aus einem ringförmigen Dauermagneten 7 auf dem Rotor 1 und einem am Gehäuse 9 befestigten ringförmigen Dauermagneten 8 aufgebaut. Der Ringmagnet 7 liegt auf der oberen Stirnplatte 2 des Rotors 1 fest aussen um einen aufwärts ragenden zylindrischen Teil 26 herum und wird seinerseits fest von einem Schutzring 20 eingeschlossen. Der zylindrische Teil 26 ist als Zarge fest an der Stirnplatte 2 des Rotors 1 angeformt. Der ortsfeste Ringmagnet 8

ist an einem Halterungsring 27 befestigt. Der Ringmagnet 7 und der Ringmagnet 8 sind mit einem axialen Abstand g voneinander angeordnet. Der Aussendurchmesser des Ringmagneten 7 ist vorzugsweise gleich oder praktisch gleich dem Innendurchmesser des Ringmagneten 8. Die Magneten 7 und 8 weisen einander entgegengesetzte Polaritäten auf. Sie sind also so ausgebildet, dass die gleichnamigen Magnetpole beider Ringmagneten einander direkt gegenüberliegen. Der Rotor 1 kann durch den Motor 3,4 ultrahochtourig angetrieben werden. Dabei wird er radial durch die Dauermagneten 7 und 8 gelagert.

Die wesentlichen Elemente des Magnetlagers der Erfindung sind in der Fig. 3 noch einmal schematisch dargestellt und einem bekannten Magnetlager in der Fig. 4 gegenübergestellt. Es sei angenommen, dass der kleinere der beiden Ringmagneten der Fig. 3, also der Ringmagnet 7, den gleichen Durchmesser wie die beiden Ringmagneten des in Fig. 4 gezeigten Lagers haben. In der Fig. 5 sind die Kennlinien beider Lager dargestellt. Dabei bedeutet k_r die radiale Federkonstante in N/mm. Die Grösse k_r ist also jene Kraft, die entweder den unteren oder den oberen Ringmagneten bei einer radialen Auslenkung um 1 mm in seine ursprüngliche Lage rückt. Je grösser der Wert für k_r ist, um so besser ist das Ergebnis. Mit dem Symbol F_t ist die in N ausgedrückte Schubkraft, die zwischen beiden Magneten wirkt, bezeichnet. Diese Kraft ist in beiden in den Figuren 3 und 4 gezeigten Magnetlagern eine Anziehungskraft. Das Symbol β ist durch die Gleichung $\beta = F_t/k_r$ definiert. F_t und entsprechend das Verhältnis β sollen für ein Magnetlager möglichst klein sein. In der Fig. 5 ist für die beiden Magnetlager der Figuren 3 und 4 der Verlauf der Kennlinien für k_r , F_t und β als Funktion des Abstandes g zwischen den beiden Magneten dargestellt. Die ausgezogen dargestellten Kurven sind die Kennlinien für das Magnetlager nach dem Stand der Technik, während die unterbrochen darge-

stellten Kurven die Kennlinien für das Magnetlager der Erfindung sind. Gegenüber dem bekannten Lager sind beim Lager der Erfindung also die Werte sowohl für k_r als auch für F_t gegenüber dem Lager nach dem Stand der Technik etwas niedriger, jedoch liegt der Leistungskoeffizient B wesentlich günstiger für das Lager der Erfindung. Die Absolutwerte für k_r und F_t können durch eine Erhöhung der Koerzitivkraft der Magnete erhöht werden. Beide Grössen sind dem Quadrat der Koerzitivkraft proportional.

Vorstehend ist der Fall beschrieben, dass die Ringmagnete in axialer Richtung magnetisiert sind. Das gleiche Ergebnis wird jedoch auch für radiale Magnetisierung der Ringmagneten (Fig. 6) erhalten.

Die verschiedenen Faktoren für ein Magnetlager mit den in Fig. 7 gezeigten Abmessungen sind unter Zugrundelegung eines Abstandes g von 4 mm berechnet und in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

äquivalente Spulenkombi- nationen (6000 Aw/cm)	k_r (N/mm)	F_t (N)	$B = F_t/K_r$ (mm)
(2)-(3)	6	113	19
(2)-(4)	0,12	-50	-44,0
(1)-(3)	-0,26	-36	14,0
(1)-(4)	-0,23	13	-57
Gesamt	5,63	40	7,1
(1')-(3)	-0,26	-36	14,0
(1')-(4)	-0,23	13	- 5,7
Gesamt incl.21	5,14	17	3,3

In Fig. 7 kann der axial magnetisierte Magnet durch einen äquivalenten Strom (1)-(4) ersetzt werden. Nach der Formel von Biot-Savart kann die radial wirkende Kraft und die Schubkraft des Magnetlagers als die zwischen den Kreisströmen (1)-(2) und (3)-(4) wirkende elektromagnetische Kraft berechnet werden. Die radiale Kraftkomponente, die bei einer seitlichen Verschiebung der beiden Spulen um 1 mm auftritt, ist der radialen Federkonstante k_r äquivalent. Die aufwärts und abwärts wirkende Schubkraft ist F_t . Die Tabelle 1 zeigt, dass der Wert für k_r im wesentlichen durch (2)-(3) bestimmt ist und der Wert für F_t in diesem Fall ausgesprochen gross ist. Andererseits beeinflusst die Kombination (2)-(4) oder (1)-(3) den Wert von k_r nicht wesentlich, verschiebt jedoch F_t spürbar in Richtung einer Abstossung. Die wirkenden Schubkräfte werden dadurch verringert. Bei einer Kombination (1)-(4) wird kein signifikanter Wert von F_t erhalten. Die im Lager der Erfindung wirkende Schubkraft wird also durch (2)-(3) bestimmt, so dass der Wert von k_r dann ein Maximum annimmt, wenn die Durchmesser von (2) und (3) einander gleich sind. Wenn die Durchmesser von (2) und (3) dagegen verschieden voneinander sind, wird der Wert für F_t zwischen (2) und (3) nicht wie der Wert k_r verkleinert, so dass insgesamt schlechtere Kenndaten erhalten werden.

Es sei weiter angenommen, dass in der in Fig. 7 gezeigten Weise ein magnetischer Zylinder 21, der dem in den Figuren 1 und 2 gezeigten Zylinder 26 entspricht, eingefügt ist. Das Einfügen eines solchen magnetischen Zylinders 21 entspricht im wesentlichen dem Fliessen eines Spiegelstromes (1') gegenüber dem Strom (1). Gleicherweise können zu den Strömen (2), (3) und (4) Spiegelströme berücksichtigt werden, wenn man davon ausgeht, dass diese so weit entfernt liegen, dass sie vernachlässigt werden können. In diesem Fall treten zusätzliche Kräfte zwischen (1')-(3) und (1')-(4) auf, die dazu führen, dass die Schubkraft F_t insgesamt verringert wird.

Ein Vergleich der in Tabelle 1 dargestellten Gesamtergebnisse einmal mit und einmal ohne den Zylinder 21 zeigt, dass der Wert für k_r um nur etwa 10 % verringert wird, während die Kraft F_t auf einen Wert von mehr als die Hälfte verringert wird. Die in der Tabelle 1 für einen Wert von $g = 4$ mm gezeigten Daten sind in der Tabelle 8 als Funktion von g dargestellt. Der Figur kann die spürbare Verringerung des Faktors β in Gegenwart des Zylinders 21 entnommen werden.

Schliesslich sei der Fall betrachtet, dass ein magnetischer Zylinder aussen um den Ringmagneten herum liegt. Der Zylinder liege also mit einem grösseren Durchmesser ausserhalb der Spule (4). Dieser magnetische Zylinder sei statt des Zylinders 21 (Fig. 7) vorgesehen. Der um die Spule (4) herum angeordnete magnetische Zylinder entspricht also dem Ring 27 bzw. der Innenfläche dieses Ringes (Figuren 1 und 2). Dabei werden die in der Tabelle 2 dargestellten Ergebnisse erhalten.

Tabelle 2

äquivalente Spulenkombi- nationen (6000 Aw/cm)	k_r (N/mm)	F_t (N)	$\beta = F_t/K_r$ (mm)
Gesamt	5,63	40	7,1
(1')-(2)	0,12	-50	-440
(4')-(1)	0,23	13	-57
Gesamt incl. Zylinder	5,52	3	0,55

Die Daten der Tabelle 2 zeigen, dass die Schubkraft F_t weiter vermindert wird.

Wenn weiterhin magnetische Zylinder sowohl mit einem kleineren

Durchmesser auf der Innenseite des Ringmagneten als auch mit einem grösseren Durchmesser auf der Aussenseite des Ringmagneten vorgesehen sind, wenn also bei der in den Figuren 1. und 2. gezeigten Ausbildung der Erfindung magnetische Zylinder sowohl an der der Ringhalterung 27 als auch an der dem Innenzylinder 26 entsprechenden Stelle vorgesehen sind, werden die in der Tabelle 3 gezeigten Daten erhalten. Die Schubkraft F_t ist negativ und abstossend, wobei gleichzeitig eine positive radiale Federkonstante erhalten wird.

Tabelle 3

äquivalente Spulenkombi- nationen (6000 Av/cm)	k_r (N/mm)	F_t (N)	$\beta = F_t/K_r$ (mm)
Gesamt	5,63	40	7,1
(1')-(3)	-0,26	-36	140
(1')-(4)	-0,23	13	-57
(4')-(2)	0,12	-50	-440
(4')-(1)	-0,23	13	-57
Gesamt mit beiden Zy- lindern	5,03	-20	4,0

Das zuvor beschriebene Magnetlager, das in Druckrichtung abstossend ist und in radialer Richtung eine positive Kraftkomponente aufweist, ist seiner Art nach vollkommen neu und eröffnet dem Gebiet der Magnetlager neue Anwendungen.

In der vorstehenden Beschreibung ist der Hauptwert auf eine Verkleinerung des Koeffizienten β gelegt. Im folgenden sei die Verringerung der Veränderung der Schubkraft F_t durch Dehnung oder Kontraktion des Rotors betrachtet. Wenn der Koeffizient $\alpha = dF_t/dg$ oder das entsprechende differentiale

Verhältnis gross ist, führt eine Ausdehnung oder ein Zusammenziehen des Rotors zu einer Änderung der Schubkraft, so dass das Fusslager 5,6 des Rotors einer zusätzlichen, auf solche Änderungen zurückzuführenden Belastung ausgesetzt ist. Wenn diese Veränderung klein ist, werden das Gewicht des Rotors und die magnetische Anziehungskraft des Motors als Last vom Gleitlager aufgenommen. Wenn die Last dieser Veränderung nicht unterworfen ist, wird der Rotor um so viel durch die Anziehung des Gleitlagers oder durch andere Mittel aufwärts gezogen. Dadurch wird die Belastung des Druckgleitlagers vermindert und braucht demzufolge dieses nur einfacher und leichter ausgelegt zu werden. Durch die Veränderung in der Schubkraft neigt aber auch der Rotor aufgrund seiner geometrischen Ausdehnung zum Springen. Um dies zu vermeiden, muss auch der Wert des Faktors α verkleinert werden.

Im Diagramm der Fig. 9 sind die Kennlinien für die radiale Federkonstante k_r und die Schubkraft F_t für die verschiedenen Ausbildungen der einander gegenüberliegenden Magnete des Magnetlagers mit gleichen Abmessungen dargestellt. In der Fig. 10 sind die verschiedenen Werte für α und β dargestellt, die aus dem Diagramm der Fig. 9 entsprechend den Kennlinien (a) bis (e) erhalten werden. Dabei haben die einzelnen Kennlinien die folgende Bedeutung:

- (a) die Ausbildung nach dem Stand der Technik gemäss Fig. 4;
- (b) die Ausbildung gemäss der Erfindung in dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel;
- (c) die Ausbildung eines Magnetlagers mit einem Zylinder 21 nach Fig. 7 an der inneren Peripherie;
- (d) die Ausbildung des Magnetlagers gemäss der Erfindung mit einem magnetischen Zylinder 21 nach Fig. 7 aussen um den Dauermagneten 8 herum, also aussen um die Spule 4 herum;

2527104

(e) die Ausbildung des Magnetlagers in der in Fig. 7 gezeigten Form mit einem magnetischen Zylinder 21 sowohl aussen um den Dauermagneten 8 herum als auch innerhalb des Dauermagneten 7.

Aus der Fig. 9 ist ersichtlich, dass bei der Ausbildung des Magnetlagers gemäss der Erfindung der Wert F_t in der Reihenfolge der Ausbildungen (b), (c), (d) und (e) vermindert werden kann, ohne dabei den Wert für k_r wesentlich zu vermindern. Insbesondere für die Ausbildungen entsprechend (c), (d) oder (e) ist die Abstossungskraft in Richtung der axialen Schubkraft bei gleichzeitiger positiver Federkonstante in radialer Richtung ausgebildet.

Ausserdem geht aus der Fig. 10 hervor, dass durch die Ausbildung des Magnetlagers der Erfindung eine deutliche Verringerung sowohl des Wertes für α als auch des Wertes für β gegenüber dem Magnetlager nach dem Stand der Technik möglich ist.

Bei Verwendung des Magnetlagers der Erfindung in hochtourigen Vorrichtungen mit sich drehenden Teilen sind folgende Vorteile zu erzielen:

- (1) Selbst bei Verminderung des Gewichts des Rotors wird beim Magnetlager der Erfindung, das durch einander gegenüberliegende Magnete gekennzeichnet ist, ein Springen des Rotors trotz grosser radialer Federkonstante verhindert.
- (2) Da die Bauhöhe l des Magnetlagers zwischen der oberen Oberfläche des Stirnbleches des Rotors und der oberen Oberfläche des Magnetes verkürzt wird, kann die kritische Tourenzahl des Rotors weiter erhöht werden.
- (3) Selbst bei Überschreitung des tolerierbaren Fehlers durch Ausdehnung und Zusammenziehen des Rotors wird der

509882/0379

Widerlagerdruck des Lagers nur geringfügig verändert.
Bei der Auslegung des Rotors brauchen daher keine
ergänzenden Bedingungen beachtet zu werden. Die Belastung
des Gleitlagers am Fuss des Rotors kann geringer gehalten
werden, wodurch auch die Abmessungen und das Gewicht
der Vorrichtung vermindert werden können.

- (4) Die Erfindung schafft ein Magnetlager mit positiver
radialer Federkonstante und einer abstossend wirkenden
Schubkraft.
- (5) Durch die vorgenannten Vorteile können die Rotoren für
hochtourig drehende Vorrichtungen einfach ausgelegt werden.
Insbesondere können die Vorrichtungen klein und leicht
gebaut werden.

Bei dem in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungsbeispiel
der Erfindung ist der Durchmesser des Statormagnets grösser
als der Durchmesser des Rotormagnets. Die Vorteile der Erfindung
werden jedoch in gleicher Weise erhalten, wenn umgekehrt
der Statormagnet einen kleineren Durchmesser als der Rotormagnet
hat. Gleicherweise kann der Statormagnet unter dem Rotormag-
neten angeordnet sein. Auch kann der Statormagnet paarig
ausgebildet sein, so dass einer der Statormagneten unter,
der andere über dem Rotormagnet angeordnet ist. Die Stator-
magneten können also den Rotormagneten auch sandwichartig
einschliessen.

509882/0379

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Magnetlager mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor, einem ersten Ringmagneten, dessen Hauptebene senkrecht zur Rotationsachse liegt, und einem ortsfesten Element, das einen zweiten Ringmagneten trägt, der mit einem vorbestimmten Abstand dem ersten Ringmagneten axial gegenüber koaxial und planparallel zu diesem ausgerichtet ist, so dass der Rotor senkrecht zur Achse des ortsfesten Elementes durch die zwischen beiden Ringmagneten wirkenden Kräfte gelagert ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser des ortsfest gehaltenen Ringmagneten deutlich verschieden vom Durchmesser des am Rotor gehaltenen Ringmagneten ist und dass beide Ringmagneten einander entgegengesetzte Polaritäten aufweisen.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ringmagneten Dauermagnete sind oder diese enthalten.

3. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Innendurchmesser eines der am ortsfesten Element oder am Rotor befestigten Ringmagneten praktisch gleich dem Aussendurchmesser des jeweils anderen Ringmagneten ist.

4. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein magnetischer Zylinder zumindest auf einem ausgewählten Innenflächenbereich oder auf der gesamten Innenfläche des Ringmagneten mit dem kleineren Durchmesser und ein magnetischer Zylinder auf der Aussenseite des Ringmagneten mit dem grösseren Durchmesser angeordnet ist.

5. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Innendurchmesser des am ortsfesten Element befestigten Ringmagneten genau oder zumindest im wesentlichen gleich dem Aussendurchmesser des auf dem Rotor befestigten Ringmagneten ist.


Leerseite

FIG. 1

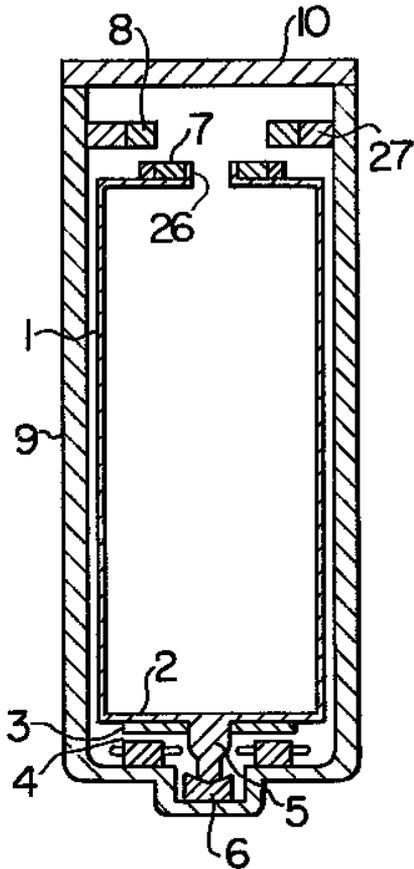


FIG. 2

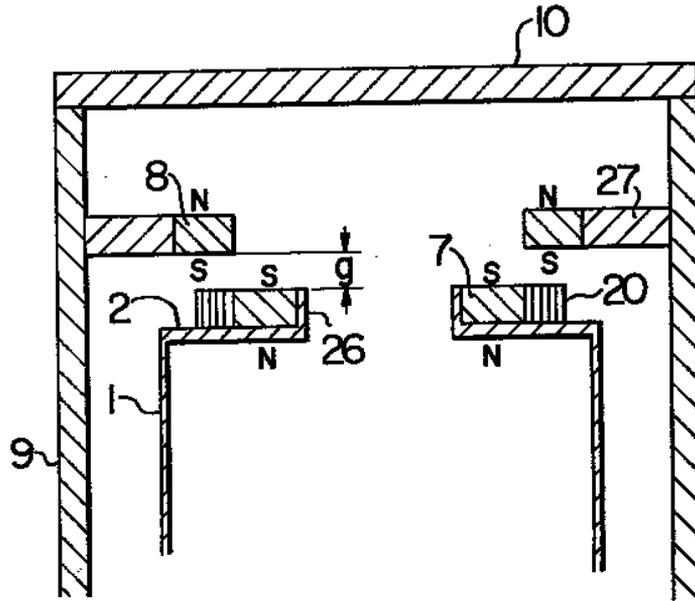
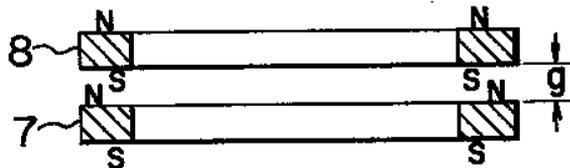


FIG. 3



FIG. 4

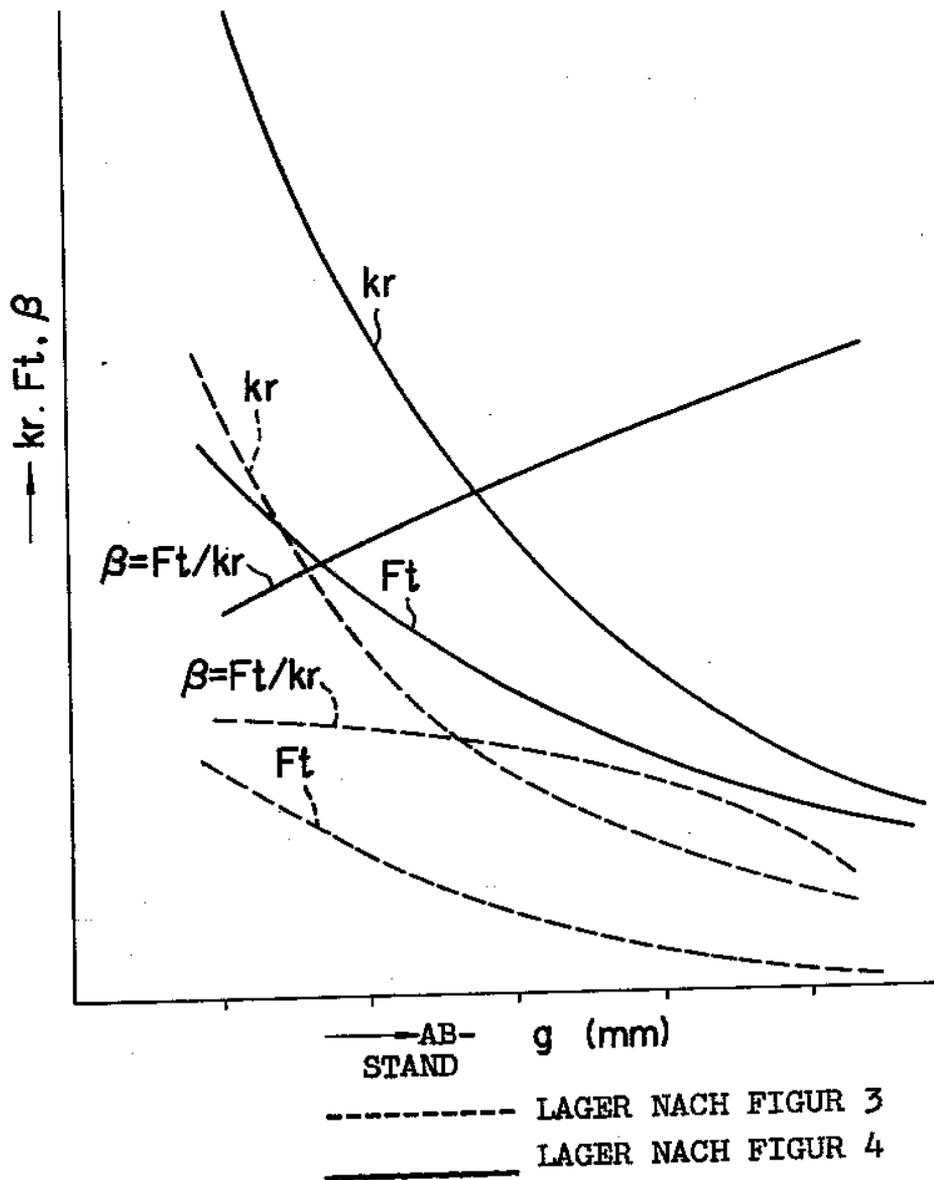


509882/0379

2527104

12.

FIG. 5



509882/0379

2527104

19.

FIG. 6

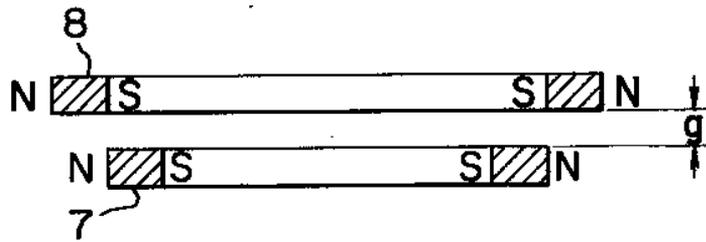
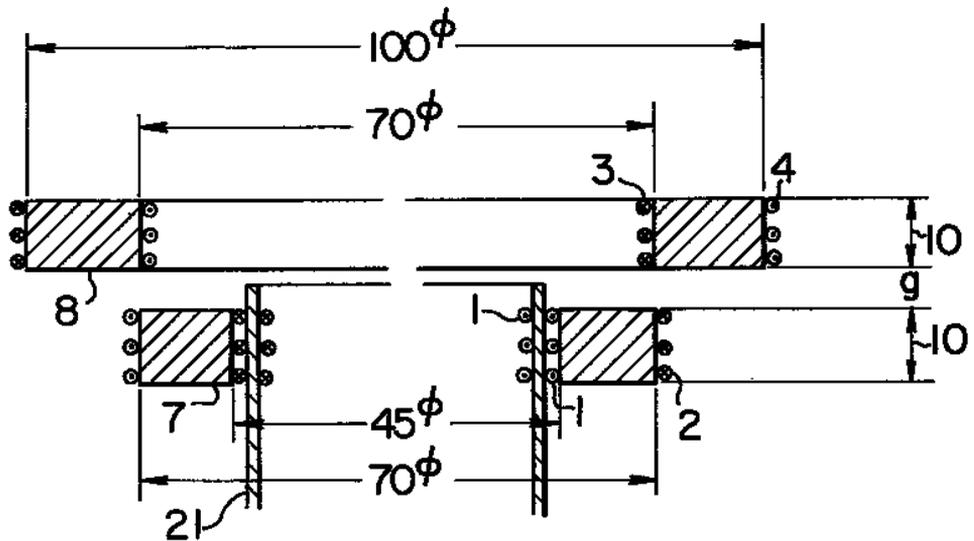


FIG. 7

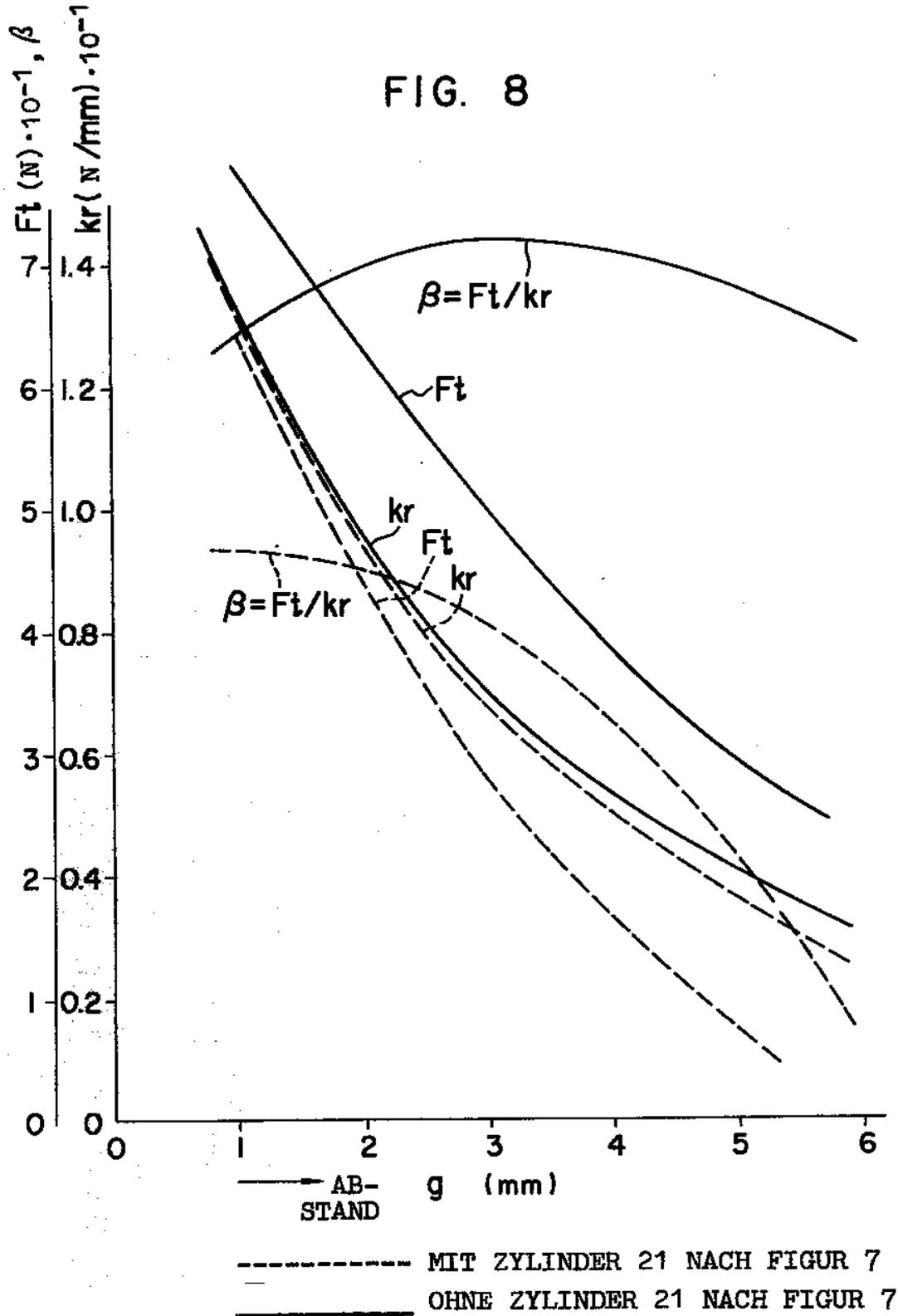


509882/0379

2527104

• 20 •

FIG. 8

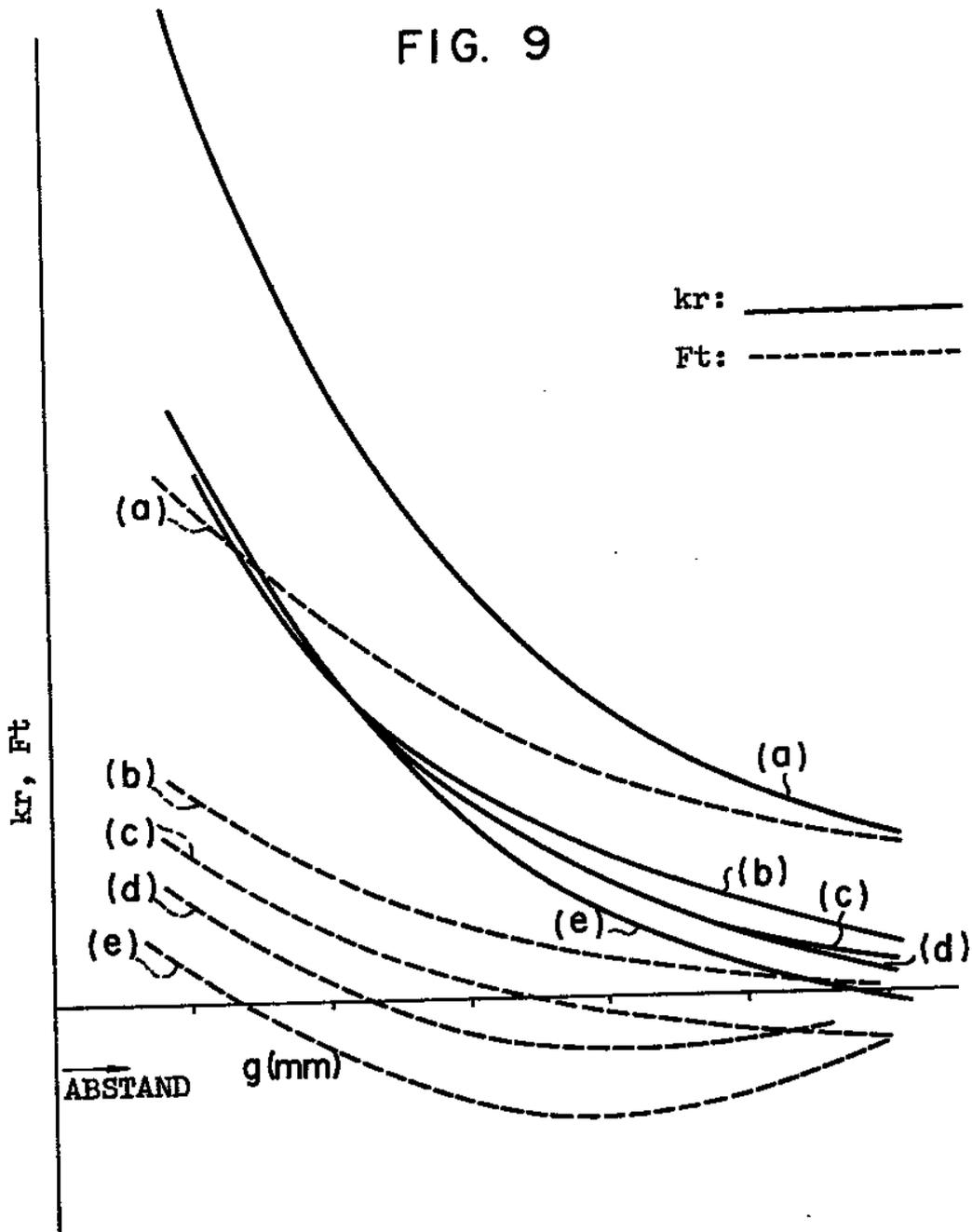


509882/0379

2527104

2A.

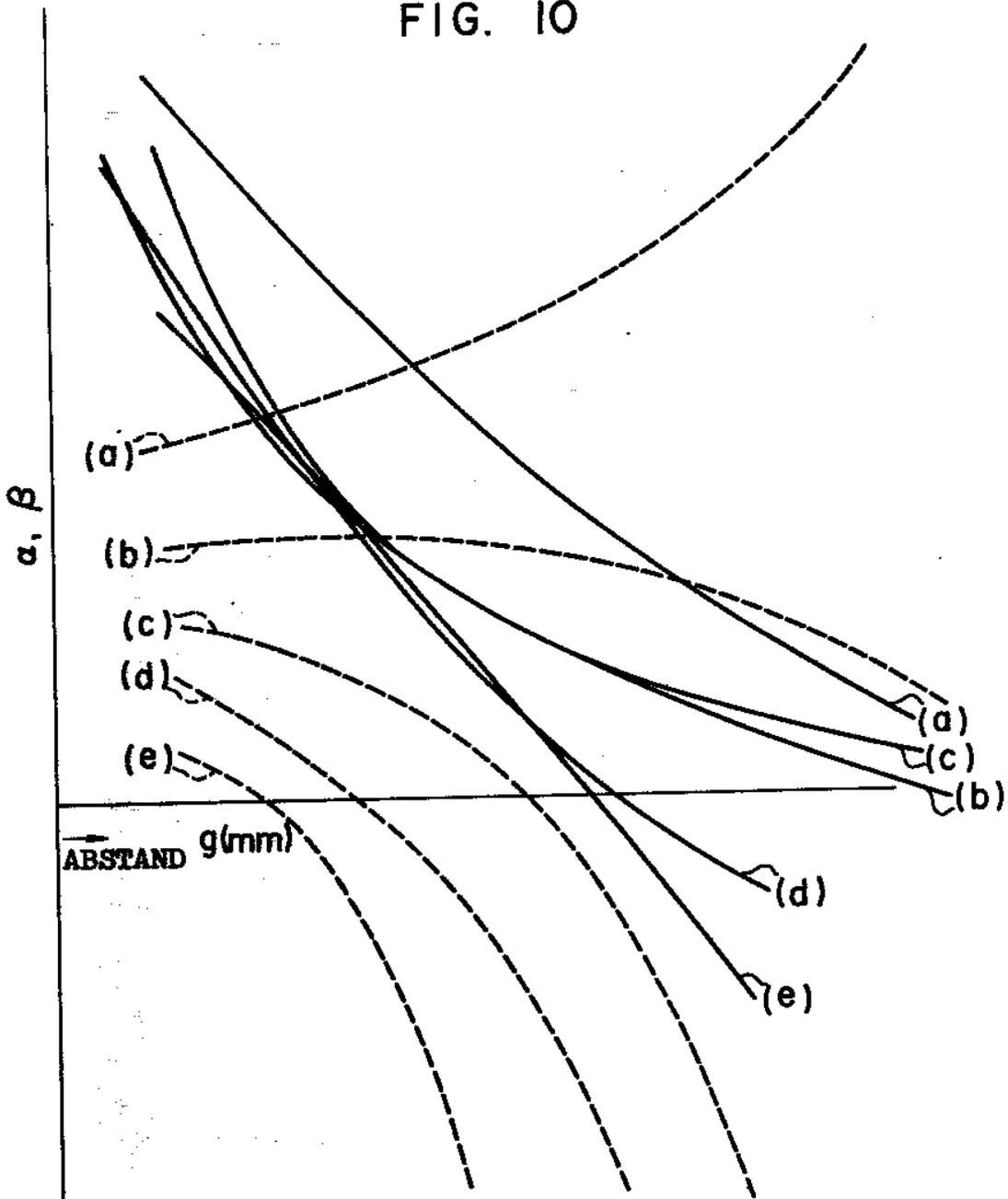
FIG. 9



509882/0379

22.

FIG. 10



α : _____

β : - - - - -

509882/0379