

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Dezember 2009 (23.12.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/152803 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F16C 32/04 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000813
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juni 2009 (10.06.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 028 588.9 18. Juni 2008 (18.06.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SCHAEFFLER KG [DE/DE]; Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWARZ, Sergej [DE/DE]; Oedenbergerstrasse 150, 90491 Nürnberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: MAGNETIC BEARING WITH HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR ELEMENTS

(54) Bezeichnung: MAGNETLAGER MIT HOCHTEMPERATUR-SUPRALEITERELEMENTEN

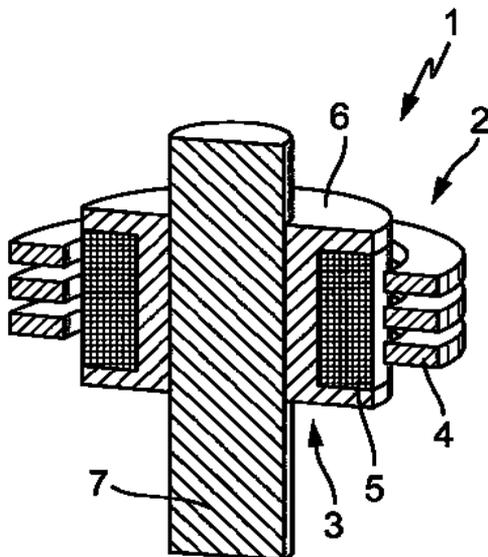


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a magnetic bearing with high-temperature superconductor elements, comprising a stator (2), and a rotor (3), which is held such that it can rotate with respect to the stator (2) and is borne in an axially and radially self-regulating manner in the stator (2), wherein a body (5) composed of a Type-2 superconductor, in particular composed of a high-temperature superconductor, is provided on the rotor (3), and wherein the stator (2) has a coil (4) composed of a superconducting material. According to the invention, said magnetic bearing solves the problem of having a high carrying capability and stiffness, while not necessitating any additional active regulation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Magnetlager mit Hochtemperatur-Supraleiterelementen, umfassend einen Stator (2), und einen bezüglich des Stators (2) drehbar aufgenommenen Rotor (3), der in dem Stator (2) axial und radial selbstregelnd gelagert ist, wobei an dem Rotor (3) ein Korpus (5) aus einem Typ-2-Supraleiter, insbesondere aus einem Hochtemperatur-Supraleiter, vorgesehen ist, und wobei der Stator (2) eine Spule (4) aus einem supraleitenden Material umfasst. Das genannte Magnetlager löst erfindungsgemäß die Aufgabe, eine hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit aufzuweisen und keine zusätz-

liche aktive Regelung erforderlich zu machen.

WO 2009/152803 A1

5

10

Bezeichnung der Erfindung**Magnetlager mit Hochtemperatur-Supraleiterelementen**

15

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Magnetlager nach Anspruch 1 mit Hochtemperatur-Supraleiterelementen.

20

Aus dem Stand der Technik sind Magnetlager bekannt, bei denen ein Rotor in einem Stator drehbar aufgenommen und in axialer sowie radialer Richtung gelagert ist. Da nach dem Earnshaw-Theorem eine dauerhafte Lagerung des Rotors durch den Stator nur mit Permanent-Magneten nicht möglich ist, sehen sogenannte aktive Magnetlager eine ständige Nachregelung des Stators vor. Damit ermöglichen aktive Magnetlager zwar eine weitgehend reibungsarme Lagerung des Rotors, können relativ hohe Lagerkräfte aufnehmen und weisen eine relativ hohe Steifigkeit auf, erfordern allerdings einen hohen Steuerungs- und Regelungsaufwand.

30

Aus dem Stand der Technik sind weiter Magnetlager bekannt, bei denen

entweder dem Rotor oder dem Stator ein supraleitendes Element zugeordnet ist.

JP 01141222 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, bei dem ein supraleitendes Material an einem Schaftabschnitt der Welle eines Rotors befestigt ist, und wobei der Stator zwei ebenfalls supraleitende Spulen umfasst, die den Rotor radial lagern. Zur axialen Lagerung des Rotors sind zwei weitere Spulen aus einem supraleitenden Material sowie Sensoren vorgesehen, die die axiale und radiale Verlagerung des Rotors in dem Stator erfassen. Als Ergebnis der Messwerte der Sensoren werden die Spulen zur axialen sowie die Spulen zur radialen Lagerung des Rotors angesteuert und geregelt. Das Magnetlager umfasst damit für die radiale und die axiale Lagerung zwei voneinander unabhängige Spulensysteme, die eine zusätzliche Steuerung und Regelung zur Abstimmung erforderlich macht. Insgesamt erfordert das Magnetlager einen Mess- und einen Steuerkreis, so dass keine Selbstregelung vorliegt. Die Materialien für die Drähte der supraleitenden Spulen sind supraleitende Metalle oder deren Legierungen, die sehr niedrige Temperaturen (unter ca. 10 K) erfordern, so dass eine aufwendige Kühlung vorzusehen ist, um das Magnetlager betreiben zu können.

20

JP 01030920 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, bei dem an dem Rotor eine Anregungs-Spule und an dem Stator ein supraleitendes Material vorgesehen ist. Befindet sich das supraleitende Material im supraleitenden Zustand und stoppt der Rotor, wird in der Anregungs-Spule ein Gleichstrom erzeugt, der ein Magnetfeld bewirkt, das den Rotor von dem Stator beabstandet hält. Das Magnetlager wirkt dabei als sich selbst aktivierendes Fanglager.

JP 01026018 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, bei dem an der Mantelfläche des Rotors ein Magnet angeordnet ist und der Stator eine hochtemperatur-supraleitende Spule umfasst. Vibriert der Rotor oder verlagert sich der Rotor von seiner Soll-Drehachse, werden in der supraleitenden

Spule Wirbelströme induziert, deren Magnetfeld auf den Rotor eine rückstellende Kraft ausübt.

5 US 7,012,347 B2 beschreibt einen supraleitenden Rotor mit einer Kühlvorrichtung, wobei der supraleitende Rotor eine supraleitende Feld-Spule umfasst.

10 US 5,256,637 A beschreibt in einem ersten Ausführungsbeispiel ein supraleitendes Magnetlager, bei dem supraleitende Spulen aus einem hochtemperatur-supraleitenden Material sowohl an dem Rotor wie auch an dem Stator vorgesehen sind. Ein zweites Ausführungsbeispiel sieht sowohl supraleitende als auch normalleitende Spulen vor, wobei die supraleitenden Spulen im wesentlichen statische Kräfte und die normalleitenden Spulen dynamische Kräfte wie Vibrationen aufnehmen; hierzu sind die normalleitenden Spulen
15 wie bei einem aktiven Magnetlager angesteuert und geregelt.

EP 1 884 671 A1 beschreibt ein Magnetlager, bei dem der Rotor in axialer Richtung mittels einer supraleitenden Spule und in radialer Richtung mittels einer weiteren Spule gelagert ist. Die weitere Spule wirkt mit einem ferromagnetischen Abschnitt zusammen, der an dem Korpus des Rotors fest
20 angeordnet ist.

JP 57083141 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, bei dem eine supraleitende Spule an dem Stator und eine weitere supraleitende Spule an dem
25 Rotor angeordnet ist. Die supraleitende Spule an dem Rotor geht nur dann in den supraleitenden Zustand über, wenn der Rotor abgebremst wird, so dass in diesem Fall das Magnetlager als sich selbst aktivierendes Fanglager wirkt.

JP 07293564 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, das eine magnetische Drosseldüse umfasst, die den Fluss des Magnetfeldes zwischen dem
30 Rotor und dem Stator beeinflusst, um die Steifigkeit des Lagers einstellen und nachführen zu können.

DE 102 36 471 A1 beschreibt ein Magnetlager, bei dem an dem Rotor ein permanentmagnetisches Element mit Flussführungselementen und an dem Stator ein Hochtemperatur-supraleitendes Material angeordnet ist.

- 5 JP 01203715 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, bei dem ein Draht aus einem supraleitenden Material Teil eines Stators ist, der einen Rotor abstützt, der einen permanentmagnetischen Abschnitt aufweist.

- 10 JP 01055038 AA (Abstract) beschreibt ein axiales Magnetlager, bei dem der Rotor eine Spule aufweist, und wobei der Stator einen Supraleiter aus einer metallischen Legierung umfasst. Der Meißner-Ochsenfeld-Effekt bewirkt dabei eine abstoßende Kraft zwischen dem Magnetfeld der Spule des Rotors und dem supraleitenden Stator.

- 15 EP 1 835 188 A1 beschreibt ein Magnetlager, bei dem an dem Rotor radial verschiebliche permanentmagnetische Segmente angeordnet sind und bei dem der Stator aus einem Hochtemperatur-supraleitendem, insbesondere keramischen Material, das insgesamt eine zylindrische Form aufweist.

- 20 JP 07091447 AA (Abstract) beschreibt ein Magnetlager, das mittels radial einer Wechselwirkung zwischen Permanentmagneten und axial mittels einer Wechselwirkung zwischen Permanentmagneten und Supraleitern abstützt. Dabei sind die Permanentmagnete an dem Rotor angeordnet, und die Supraleiter an dem Stator.

25

- JP 10306824 AA (Abstract) beschreibt ein axial wirkendes Magnetlager, bei dem ein Supraleiter an dem Stator angeordnet ist und der Rotor in einem Gasdrucklager radial abgestützt ist. Mit dem Supraleiter wirkt ein permanentmagnetisches Element an dem Rotor bei der axialen Abstützung zusammen.
- 30

DE 692 27 161 T2 beschreibt ein Magnetlager, bei dem an dem Rotor Per-

manentmagnete befestigt sind, die mit supraleitenden Abschnitten an dem Stator zusammenwirken, so dass eine radiale und axiale Lagerung entsteht.

Aus der WO 2008/036073 A2 sind allgemein supraleitende Spulen bzw. Drähte bekannt, insbesondere ist das Kernmaterial der Spulen bzw. Drähte ein Hochtemperatur-Supraleiter auf keramischer Basis.

Aufgabe der Erfindung

10 Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Magnetlager mit Hochtemperatur-Supraleiter-Elementen anzugeben, das eine hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit aufweist und keine zusätzliche aktive Regelung erforderlich macht.

Zusammenfassung der Erfindung

15

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Magnetlager nach Anspruch 1, insbesondere durch Verwendung nach Anspruch 8 einer Spule mit einem Kern aus einem hochtemperatur-supraleitenden keramischen Material als Stator in einem Magnetlager, gelöst.

20

Die Spule aus dem hochtemperatur-supraleitenden Material als Stator des Magnetlagers ermöglicht eine hohe Stromdichte, so dass ein starkes Magnetfeld zwischen dem Stator und dem Rotor gebildet wird.

25 In diesem Magnetfeld zeigt der Typ-2-Supraleiter, insbesondere das Korpus des Hochtemperatur-Supraleiters an dem Rotor, den Meißner-Ochsenfeld-Effekt nur unvollständig; speziell dringt das Magnetfeld in das Korpus des Typ-2-Supraleiters abschnittsweise in Form von normalleitenden Fluss-schläuchen (Vortizes) ein, die von supraleitenden Bereichen umgeben sind.

30 Bei der Bewegung des Rotors relativ zu dem Magnetfeld bewegen sich die Vortizes, bis diese an Defekten in dem Korpus festgehalten werden (sog. Pinning). Die festgehaltenen Vortizes hindern dann eine weitere radiale oder

axiale Bewegung des Rotors in dem Stator, so dass eine stabile, sich selbst ausrichtende Lagerung entsteht, denn die Haltekräfte der festgehaltenen Vortizes sind umso stärker, je stärker der Rotor bewegt wird bzw. je mehr Vortizes vorhanden sind. Die Anzahl der Vortizes nimmt zu, wenn das an der

5 Stelle des Korpus des Typ-2-Supraleiters wirkende Magnetfeld aufgrund der supraleitenden Spulen stärker wird, also insbesondere dann, wenn der Rotor sich auf den Stator hin bewegt, speziell also wenn zusätzliche Kräfte den Rotor aus dessen Soll-Stellung relativ zu dem Stator auslenken.

10 Insgesamt ergibt sich eine selbst-steuernde und selbst-regelnde Lagerung des Rotors in Bezug auf den Stator, wobei die supraleitenden Spulen des Stators, insbesondere bei der Verwendung einer Spule mit einem Kern aus einem hochtemperatur-supraleitenden keramischen Material für den Stator in dem Magnetlager, die besonders hohe kritische Stromdichte der hochtempe-

15 ratur-supraleitenden Keramiken wirksam wird, aufgrund derer ein besonders hohes Magnetfeld zwischen dem Stator und dem Rotor entsteht, das wiederum auch im statischen Fall eine hohe Anzahl von Vortizes in dem supraleitenden Korpus an dem Rotor erzeugt. Insbesondere lassen sich durch die Spulen aus der hochtemperatur-supraleitenden Keramik Magnetfelder er-

20 zeugen, die durch normalleitende Spulen bzw. mittels Permanentmagneten alleine nicht erreichen lassen.

Vorzugsweise ist das Material des Korpus des Typ-2-Supraleiters an dem Rotor, besonders bevorzugt auch das Material des Kern der supraleitenden

25 Spule des Stators ein Hochtemperatursupraleiter, wie sie derzeit für Hochtemperatursupraleiter auf keramischer Basis bekannt sind. Die hohen Sprungtemperaturen der Hochtemperatursupraleiter oberhalb des Siedepunktes von flüssigem Stickstoff ermöglichen eine effektive, energiesparende Kühlung des Magnetlagers.

30

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Sprungtemperatur des Materials des Korpus des Typ-2-Supraleiters an dem Rotors und des Materials der Spule

vergleichbar ist, so dass für den Rotor und den Stator ein gemeinsamer Kühlkreislauf vorgesehen sein kann.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Stator einen Ferromagneten umfasst. Dabei überlagert sich das magnetische Feld des Ferromagneten mit dem Feld der Spule, so dass beispielsweise an den Endabschnitten des Rotors, an denen verstärkt Auslenkungen aus der Ruhestellung auftreten, das Magnetfeld der Spule durch das Magnetfeld des Ferromagneten verstärkt wird und zusätzliche Vortizes in dem Korpus an dem Rotor eine besonders hohe Haltekraft an den Endabschnitten ermöglichen.

Es versteht sich, dass anstelle oder ergänzend zu dem Ferromagneten auch eine zusätzliche Spule vorgesehen sein kann, die normalleitend oder ebenfalls supraleitend ausgebildet ist, und deren Magnetfeld an der Stelle des Korpus des Typ-2-Supraleiters das Magnetfeld der Spule des Stators überlagert und moduliert.

Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Stator mehrere Spulenwindungen umfasst, und wobei jeweils ein ferromagnetischer Werkstoff zwischen zwei benachbarten Spulenwindungen angeordnet ist. Der mindestens eine Ferromagnet zwischen den mindestens zwei Spulenwindungen moduliert dabei der im wesentlichen radial homogene Magnetfeld der mindestens zwei Spulenwindungen derart, dass das resultierende Magnetfeld in radialer Richtung inhomogen wird. Die Inhomogenität speziell in radialer Richtung ermöglicht dann, auf Änderungen der radialen Stellung des Rotors relativ zu dem Stator mit einer verstärkten Rückstellkraft zu reagieren, so dass das Magnetlager insgesamt eine verbesserte Steifigkeit erhält.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von zwei Ausführungsbeispielen sowie aus den abhängigen Ansprüchen.

Die Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

5

Fig. 1 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Magnetlagers, und

10

Fig. 2 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Magnetlagers.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

15 Fig. 1 zeigt ein Magnetlager 1 mit einem Stator 2 und einem Rotor 3, wobei der Rotor 3 bezüglich des Stators 2 drehbar und in dem Stator 2 axial und radial gelagert ist. Der Stator 2 umfasst eine Spule 4 mit einem stromtragenden Bereich, dem Kern, aus einem supraleitenden Material, wobei von der Spule 4 nur drei Spulenwindungen schematisch dargestellt
20 sind.

Der Rotor 3 umfasst ein ringförmiges, den Rotor 3 umgebendes Korpus 5 aus einem Typ-2-Supraleiter, insbesondere aus einem Hochtemperatur-Supraleiter, speziell aus einem keramischen Material wie YBCO. Das
25 Material des Korpus 5 entspricht beispielsweise dem Material des Kerns der Spule 4, so dass die Spule 4 und das Korpus 5 im wesentlichen die gleiche Sprungtemperatur aufweisen. Das Korpus 5 ist in einer Aufnahme 6 aus einem nicht-magnetischen Material angeordnet, wobei die Aufnahme 6 an einer in dem Stator 2 gelagerten Welle 7 befestigt ist. Die radiale
30 Erstreckung des Korpus 5 ist so gewählt, dass das Magnetfeld der Spule 4 in dem Korpus 5 so weit eindringen kann, dass sich ein selbststabilisierender Effekt ausbilden kann, insbesondere also so, dass Flussschläuche (Vortizes)

des Magnetfeldes der Spule 4 in dem Korpus 5 ausgebildet werden. Weiter weist das Korpus 5 kristalline Defekte auf, an denen die Vortizes festgehalten werden, so dass sich die Vortizes in dem Korpus 5 nicht ohne Widerstand bewegen.

5

Die Spule 4 befindet sich in einem supraleitenden Zustand und trägt einen vergleichsweise hohen Strom, der in der Spule 4 im wesentlichen verlustfrei geführt wird und an der Stelle des Korpus 5 an dem Rotor 3 ein hohes Magnetfeld erzeugt. Durch eine nicht dargestellte Kühlvorrichtung wird das
10 Korpus 5 unter die Sprungtemperatur des YBCO abgekühlt, so dass das Korpus 5 supraleitend wird. Die zuvor abgekühlte und supraleitende Spule 4 bildet ein Magnetfeld im Bereich des Korpus 5 aus, das insoweit inhomogen ist und eine Komponente senkrecht zu der Oberfläche des Korpus 5 aufweist, dass sich Vortizes in dem Korpus 5 ausbilden, die bei der weiteren
15 Bewegung des Rotors 3 relativ zu dem Stator 2 räumlich fixiert werden und der Bewegung ein Hindernis entgegensetzen.

Die Spule 4 an dem Stator 2 des Magnetlagers hat dabei die Wirkung, nicht nur eine radiale Lagerung, sondern über das Pinning der Vortizes in dem
20 Korpus 5 des Typ-2-Supraleiters an dem Rotor 3 auch eine axiale Lagerung des Rotors 3 zu ermöglichen. Eine weitere Vorrichtung speziell zur axialen Lagerung des Rotors 3 in dem Stator 2, insbesondere eine oder mehrere normal- oder supraleitende Spulen zur ausschließlich axialen Lagerung des Rotors 3, sind damit überflüssig.

25

Bei dem in Fig. 2 dargestellten zweiten Ausführungsbeispiel bezeichnen gleiche Bezugsziffern gleiche oder in der technischen Wirkung vergleichbare Teile. Es sollen im folgenden insbesondere die Unterschiede zu dem ersten Ausführungsbeispiel herausgestellt werden.

30

Der Rotor 3 in Fig. 2 entspricht dem oben, zu Fig. 1 diskutierten Rotor. Die Spule 4 des Stators 2 in Fig. 2 weist zusätzlich zwischen zwei benachbarten

Spulenwindungen 8, 9 einen Ferromagneten 10 auf, z. B. aus Eisen, dessen Magnetfeld sich mit dem Magnetfeld der Spule 4 überlagert, so dass ein radialer Gradient des Magnetfeldes verstärkt wird. Dieser verstärkte radiale Gradient des Magnetfeldes der Spule 4 bewirkt eine stärkere Rückstellkraft, sofern der Rotor 3 aus der dargestellten Soll-Stellung relativ zu dem Stator 2 ausgelenkt wird.

Das in Fig. 2 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel weist damit im Vergleich zu dem in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel eine höhere Steifigkeit auf.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel ist zwischen je zwei benachbarten Spulenwindungen je ein Ferromagnet angeordnet. Es versteht sich, dass nicht unbedingt vorgesehen sein muss, dass zwischen der nächsten Spulenwindung der Ferromagnet angeordnet zu sein braucht; es kann auch vorgesehen sein, dass der Ferromagnet jeweils erst bei der übernächsten, dritten, vierten usw. Spulenwindung angeordnet ist, um den radialen Gradienten zu verstärken. Es versteht sich weiter, dass ein Ferromagnet auch nur an bestimmten Spulenwindungen, speziell an den Endabschnitten der Spule, vorgesehen ist. Sind zwei oder mehr Ferromagnete vorgesehen, versteht es sich weiter, dass die Dimensionierung der Ferromagnete nicht gleich zu sein brauchen, insbesondere können an den Enden der Spule 4 stärkere Ferromagnete vorgesehen sein.

Bei dem vorstehend beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel war der Ferromagnet 10 durch einen ferromagnetischen Körper mit einer permanenten Magnetisierung ausgebildet. Es versteht sich, dass der Ferromagnet 10 ebenfalls durch eine weitere Spule, beispielsweise aus einem normalleitenden Material, ausgebildet sein kann, die zusätzlich zu der supraleitenden Spule 4 vorgesehen ist. Der Abstand der Windungen dieser zusätzlichen Spule untereinander bzw. zu dem Rotor 3 kann entlang der Erstreckung der zusätzlichen Spule variieren, so dass die zusätzliche Spule

ein inhomogenes Magnetfeld zusätzlich zu der supraleitenden Spule 4 liefert. Es versteht sich, dass die zusätzliche Spule ebenfalls supraleitend ausgebildet sein kann.

- 5 Bei den vorstehend beschriebenen beiden Ausführungsbeispielen war die supraleitende Spule 4 durch eine einzelne Spule gebildet. Es versteht sich, dass zwei oder mehr supraleitende Spulen vorgesehen sein können, die entlang der Erstreckung des Rotors 3 benachbart sind oder zumindest abschnittsweise ineinander angeordnet sind, ohne sich zu berühren. In dem
- 10 Bereich, in dem die beiden supraleitenden Spulen ineinander angeordnet sind, verstärkt sich das in dem Korpus 5 des Typ-2-Supraleiters an dem Rotor 3 wirkende Magnetfeld; speziell kann das resultierende Magnetfeld der zwei oder mehr supraleitenden Spulen eine radiale Inhomogenität des resultierenden Magnetfeldes erzeugen, die die Steifigkeit sowie die
- 15 Tragfähigkeit des Magnetlagers verbessert.

- Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen war die Aufnahme 6 aus einem nicht-magnetischen Material ausgebildet. Es versteht sich, dass die Aufnahme 6 aus einem magnetischen oder magnetisierbaren
- 20 Material ausgebildet sein kann, um das Magnetfeld der supraleitenden Spule 4 derart zu modulieren, dass das Magnetfeld eine Komponente erhält, die möglichst senkrecht zu der Oberfläche des Korpus 5 steht, so dass die Bildung von Vortizes in dem Korpus 5 erleichtert wird.

Bezugszeichenliste

	1	Magnetlager
5	2	Stator
	3	Rotor
	4	Spule
	5	Korpus
	6	Aufnahme
10	7	Welle
	8	erste Spulenwindung
	9	zweite Spulenwindung
	10	Ferromagnet

5

10

Patentansprüche

1. **Magnetlager mit Hochtemperatur-Supraleiterelementen, umfassend einen Stator (2), und einen bezüglich des Stators (2) drehbar aufgenommenen Rotor (3), der in dem Stator (2) axial und radial selbstregelnd gelagert ist, wobei an dem Rotor (3) ein Korpus (5) aus einem Typ-2-Supraleiter, insbesondere aus einem Hochtemperatur-Supraleiter, vorgesehen ist, und wobei der Stator (2) eine Spule (4) aus einem supraleitenden Material umfasst.**
2. **Magnetlager nach Anspruch 1, wobei das supraleitende Material der Spule (4) ein Hochtemperatur-Supraleiter ist.**
- 25 3. **Magnetlager nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Material des Korpus (5) des Typ-2-Supraleiters an dem Rotor (3) und das Material der Spule (4) jeweils eine hochtemperatur-supraleitende Keramik ist.**
- 30 4. **Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Sprungtemperatur des Materials des Korpus (5) des Rotors (3) und des Materials der Spule (4) im wesentlichen gleich ist.**

5. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Stator (2) einen Ferromagneten (10) umfasst.
6. Magnetlager nach Anspruch 5, wobei der Stator (2) mehrere Spulenwindungen (8, 9) umfasst, und wobei ein Ferromagnet (10) zwischen zwei Spulenwindungen (8, 9) angeordnet ist.
7. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (2) eine zusätzliche Spule umfasst.
8. Verwendung einer Spule (4) mit einem Kern aus einem hochtemperatur-supraleitenden keramischen Material als Stator (2) in einem Magnetlager (1).

1/1

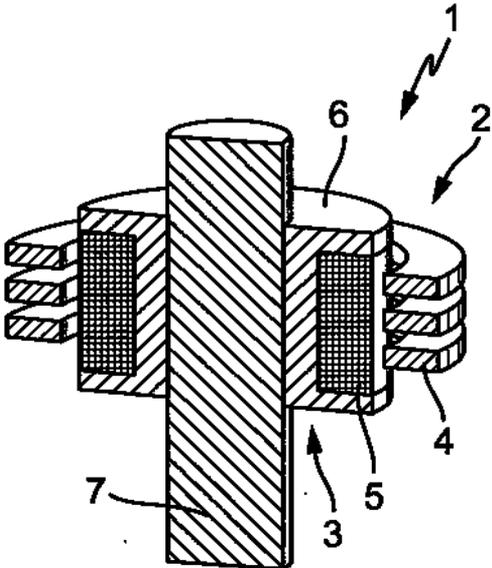


Fig. 1

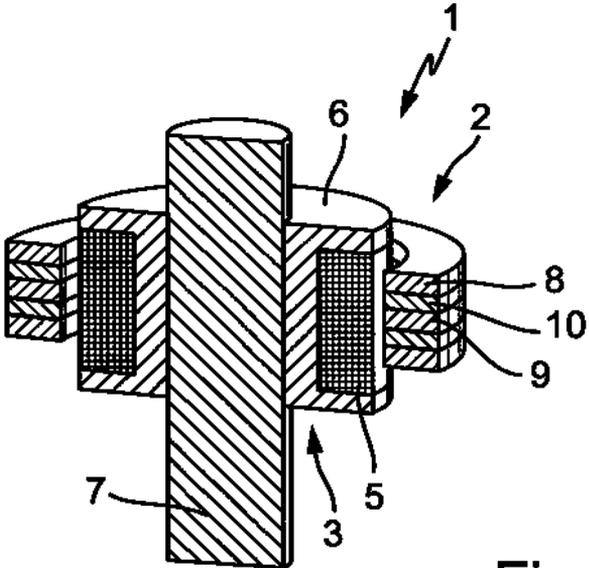


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/000813

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F16C32/04				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F16C				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X A A A A	US 5 517 071 A (MOON FRANCIS C [US]) 14 May 1996 (1996-05-14) column 1, line 13 - column 4, line 41; figure 6 ----- JP 01 141224 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 2 June 1989 (1989-06-02) abstract; figure 1 ----- JP 01 003320 A (HITACHI LTD) 9 January 1989 (1989-01-09) abstract; figure 1 ----- DE 44 36 831 A1 (SIEMENS AG [DE]) 14 June 1995 (1995-06-14) column 3, line 49 - column 8, line 13; figures 1-5 -----	1-4,7-8 5-6 1-8 1-8 5-6		
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.				
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.				
* Special categories of cited documents :				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search <p style="text-align: center; font-weight: bold;">23 November 2009</p>	Date of mailing of the international search report <p style="text-align: center; font-weight: bold;">04/12/2009</p>			
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Möbius, Henning</p>			

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2009/000813

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5517071	A	14-05-1996 JP 6200942 A	19-07-1994
JP 1141224	A	02-06-1989	NONE
JP 1003320	A	09-01-1989	NONE
DE 4436831	A1	14-06-1995	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/000813

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16C32/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 5 517 071 A (MOON FRANCIS C [US]) 14. Mai 1996 (1996-05-14) Spalte 1, Zeile 13 - Spalte 4, Zeile 41; Abbildung 6	1-4,7-8 5-6
A	JP 01 141224 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 2. Juni 1989 (1989-06-02) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-8
A	JP 01 003320 A (HITACHI LTD) 9. Januar 1989 (1989-01-09) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-8
A	DE 44 36 831 A1 (SIEMENS AG [DE]) 14. Juni 1995 (1995-06-14) Spalte 3, Zeile 49 - Spalte 8, Zeile 13; Abbildungen 1-5	5-6

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Stehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
23. November 2009	04/12/2009
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040 Fax (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Möbius, Henning

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/000813

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5517071	A	14-05-1996	JP 6200942 A	19-07-1994
JP 1141224	A	02-06-1989	KEINE	
JP 1003320	A	09-01-1989	KEINE	
DE 4436831	A1	14-06-1995	KEINE	