

(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
10. August 2017 (10.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/133799 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01D 5/20 (2006.01) *G01B 7/31* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/077141
- (22) Internationales Anmeldedatum:
9. November 2016 (09.11.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
16154042.2 3. Februar 2016 (03.02.2016) EP
- (71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder: ULBRICH, Benjamin Gottfried; Bornholmer
Str. 74, 10439 Berlin (DE). WIESCHALLA, Martin; Alt-
Lichtenrade 48, 12305 Berlin (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

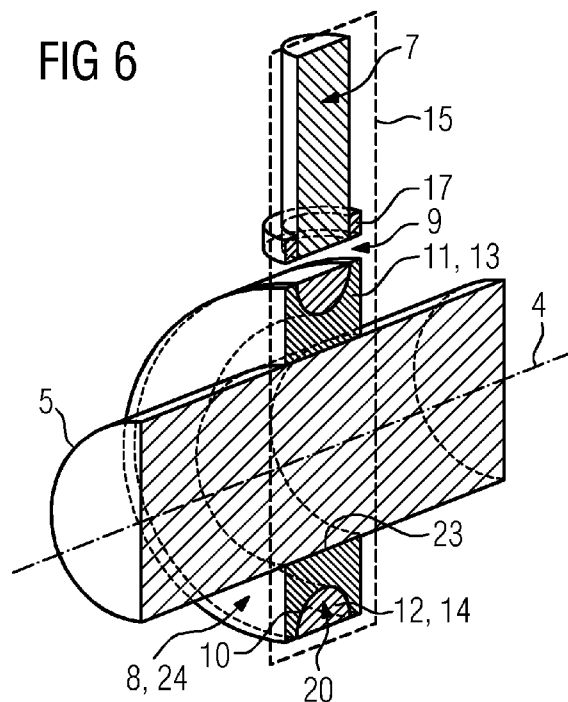
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SENSOR FOR A MAGNETIC BEARING

(54) Bezeichnung : SENSOR FÜR EIN MAGNETLAGER



(57) Abstract: The invention relates to a sensor apparatus (15) for a magnetic bearing apparatus (6), having a motion sensor (7) and a sensor ring (8) which has the shape of a hollow cylinder and is intended to be connected to a shaft (5) of an electrical rotating machine (1) in a force-fitting manner, wherein the motion sensor (7) is separated from the sensor ring (8) by an air gap (9). In order to achieve a greater degree of reliability at high rotation speeds and ratings in comparison to the prior art, the sensor ring (8) has a carrier ring (11) composed of a first material (13) and a sensor target (12) composed of a second material (14).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Sensorvorrichtung (15) für eine Magnetlagervorrichtung (6) aufweisend einen Verschiebungssensor (7) und einen Sensorring (8), welcher die Form eines Hohlzylinders aufweist und dafür vorgesehen ist, kraftschlüssig mit einer Welle (5) einer elektrischen rotierenden Maschine (1) verbunden zu werden, wobei der Verschiebungssensor (7) vom Sensorring (8) durch einen Luftspalt (9) getrennt ist. Um im Vergleich zum Stand der Technik eine höhere Zuverlässigkeit bei hohen Drehzahlen und Leistungen zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass der Sensorring (8) einen Trägererring (11) aus einem ersten Material (13) und ein Sensortarget (12) aus einem zweiten Material (14) aufweist.



Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Sensor für ein Magnetlager

- 5 Die Erfindung betrifft eine Sensorvorrichtung für eine Magnetlagervorrichtung aufweisend einen Verschiebungssensor und einen Sensorring.

10 Weiterhin betrifft die Erfindung eine elektrische rotierende Maschine aufweisend einen um eine Rotationsachse rotierenden Rotor, einen den Rotor umgebenden Stator und mindestens eine Magnetlagervorrichtung, welche mindestens eine derartige Sensorvorrichtung aufweist.

- 15 Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Fertigung einer derartigen Sensorvorrichtung.

Eine derartige Sensorvorrichtung für Magnetlagervorrichtungen kommt bevorzugt in schnelldrehenden elektrischen rotierenden
20 Großmaschinen mit einer Drehzahl von mindestens 1000 U/min und einer Leistung von mindestens 1 Megawatt zum Einsatz, da schnelldrehende Rotoren mit anspruchsvoller Rotordynamik zunehmend mit aktiven Magnetlagern gelagert werden.

- 25 Bei einer Magnetlagerung wird die Position des Rotors während der Rotation erfasst und die Position des Rotors durch Ausüben magnetischer Kräfte auf den Rotor ausgeregelt, sodass eine Verlagerung des Rotors im Magnetlager minimiert wird. Eingangsgröße für eine derartige Regelungstechnik ist die Position des Rotors, die durch eine Messung an beispielsweise
30 vier gleichmäßig verteilten Positionen am Umfang kontaktlos, beispielsweise mit einem induktiven Verschiebungssensor, welcher auch Wirbelstromsensor genannt wird, gemessen wird. Die Qualität des gemessenen Sensorsignals ist direkt für die Zuverlässigkeit des Regelprozesses und damit die Leistungsfähigkeit des Magnetlagers verantwortlich. Bei der Messung des
35 Sensorsignals an einem Sensortarget ist insbesondere der elektrische Run-Out des Sensortargets, welcher beispielsweise

durch Materialunterschiede beeinflusst wird, von Bedeutung. Dieser wird minimiert indem Werkstoffe mit sehr kleiner magnetischer Permeabilität als Sensortarget auf dem Rotor zum Einsatz kommen.

5

Das Sensortarget ist ein sogenannter Sensorring, der ein massiver Hohlzylinders aus Stahl mit oben genannten Eigenschaften ist. Der Sensorring wird separat vom Rest des Rotors gefertigt. Aufgrund der hohen Drehzahlen und thermischer Belastung kommt es im Betrieb der elektrischen rotierenden Großmaschine im Betrieb zum Abheben des Sensorrings und damit zu einer Verfälschung des Sensorsignals, dass in dieser Form dann zu Fehlern in der Regelung führen kann.

15 Die Offenlegungsschrift EP 2 887 022 A1 beschreibt ein Sensortarget für Magnetlager, das eine ringförmige Baugruppe aus magnetischem Material umfasst. Die ringförmige Baugruppe ist auf einer im Allgemeinen ringförmigen Anordnung aus nicht magnetischem Material angebracht. Die im Allgemeinen ringförmige Anordnung aus nicht-magnetischem Material weist zumindest einen ringförmigen Schlitz auf und kann aus einem billigeren Material, beispielsweise Aluminium, hergestellt sein. Der ringförmige Schlitz sorgt für Flexibilität, die einen Betrieb über einen weiten Temperaturbereich ermöglicht.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Sensorvorrichtung für eine Magnetlagervorrichtung anzugeben, welche im Vergleich zum Stand der Technik eine höhere Zuverlässigkeit bei hohen Drehzahlen und Leistungen aufweist.

30

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Sensorvorrichtung für eine Magnetlagervorrichtung gelöst, welche einen Verschiebungssensor und einen Sensorring aufweist, wobei der Sensorring die Form eines Hohlzylinders aufweist und dafür vorgesehen ist, kraftschlüssig mit einer Welle einer elektrischen rotierenden Maschine verbunden zu werden, wobei der Verschiebungssensor vom Sensorring durch einen Luftspalt getrennt ist, wobei der Sensorring einen Trägerring aus einem

35

ersten Material und ein Sensortarget aus einem zweiten Material aufweist wobei das zweite Material des Sensortargets eine geringere Permeabilität und/oder eine höhere elektrische Leitfähigkeit als das erste Material des Trägerrings aufweist.

Der Verschiebungssensor ist beispielsweise ein Wirbelstromsensor, welcher eine Induktivität aufweist und dafür geeignet ist, über den Luftspalt eine Impedanz und bevorzugt eine Änderung der Impedanz des Sensortargets auf dem Sensorring zu messen, um beispielsweise die räumliche Position einer Welle zu ermitteln. Das Sensortarget wird beispielsweise vom Wirbelstromsensor für eine Impedanzmessung herangezogen. Der Trägerring stellt beispielsweise eine auch bei hohen Drehzahlen belastbare mechanische Verbindung des Sensortargets mit einer Welle her.

Dies ist vorteilhaft, da durch die verschiedenen Materialien mit vorzugsweise unterschiedlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften eine Trennung der Funktionen in einer Komponente vorgenommen werden kann. Beispielsweise erhöht das erste Material des Tragrings die Robustheit des Sensorrings gegenüber Abheben durch Rotation und thermischer Last und das zweite Material weist beispielsweise für die Sensorik optimale Materialeigenschaften auf. Dadurch wird eine höhere Zuverlässigkeit erreicht.

Das zweite Material des Sensortargets weist eine geringere Permeabilität und/oder höhere elektrische Leitfähigkeit als das erste Material des Trägerrings auf. Beispielsweise sind Edelstahl, insbesondere Austenit, Aluminium, Kupfer und Messing als zweites Material für das Sensortarget geeignet. Durch die geringere Permeabilität und/oder höhere elektrische Leitfähigkeit des ersten Materials treten beispielsweise geringere Leitfähigkeits- und/oder Permeabilitätsschwankungen, insbesondere auf der Oberfläche des Sensortargets, auf. Derartige Schwankungen aufgrund von Toleranzen, welche auch als elektrischer Run-Out bezeichnet werden, verursachen eine Ver-

fälschung des gemessenen Sensorsignals. Daher ist eine geringere Permeabilität und/oder geringere elektrische Leitfähigkeit des zweiten Materials im Vergleich zum ersten Material vorteilhaft.

5

Weiterhin wird die Aufgabe durch eine elektrische rotierende Maschine gelöst, welche einen um eine Rotationsachse rotierenden Rotor, einen den Rotor umgebenden Stator und mindestens eine Magnetlagervorrichtung aufweist, wobei die Magnetlagervorrichtung mindestens eine derartige Sensorvorrichtung aufweist.

Durch die magnetische Lagerung, welche mit einer derartigen Sensorvorrichtung betrieben wird, wird ein sehr hoher Wirkungsgrad der elektrischen rotierenden Maschine mit einer hohen Zuverlässigkeit der Lagerung, auch bei hohen Drehzahlen und hohen Leistungen, erreicht.

Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Fertigung einer derartigen Sensorvorrichtung gelöst, wobei in einem ersten Schritt der Trägerring aus einem ersten Material hergestellt wird, wobei in einem folgenden Schritt das Sensortarget, welches aus einem zweiten Material hergestellt wird, mit dem Trägerring zu einem Sensorring verbunden wird.

25

Dies ist vorteilhaft, da durch die verschiedenen Materialien mit vorzugsweise unterschiedlichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften eine Trennung der Funktionen in einer Komponente vorgenommen werden kann. Dadurch wird eine höhere Zuverlässigkeit erreicht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das zweite Material des Sensortargets durch eine stoffschlüssige Verbindung und/oder formschlüssige Verbindung mit dem ersten Material des Trägerrings verbunden. Dies ist besonders vorteilhaft, da mit einer stoffschlüssigen und/oder formschlüssigen Verbindung hohe Kräfte und Momente übertragen werden können. Der Platzbedarf insbesondere einer stoffschlüssigen Verbindung

35

ist sehr gering. Daher hält die stoffschlüssige Verbindung zwischen den beiden Materialien auch bei hohen Drehzahlen und hohen Leistungen zuverlässig.

5 Bei einer weiteren Ausführungsform ist das zweite Material des Sensortargets an der radialen Außenseite des Trägerrings mit dem ersten Material verbunden. Daher ist das erste Material des Trägerrings direkt kraftschlüssig mit der Welle verbunden und erhöht beispielsweise die Robustheit des Sensor-
10 rings während das zweite Material, welches beispielsweise für die Sensorik optimale Materialeigenschaften aufweist, näher am Verschiebungssensor positioniert ist.

Vorteilhaft weist der Trägerring an seiner radialen Außenseite
15 te eine Kavität auf, wobei die Kavität mit dem zweiten Material des Sensortargets ausgefüllt ist. Durch die Kavität ist die Verbindung des zweiten Materials des Sensortargets mit dem ersten Material des Trägerrings stabiler.

20 Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung verjüngt sich die Breite der Kavität radial nach außen hin. Durch die Verjüngung der Kavität entsteht eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Sensortarget und dem Trägerring. Dies ist vorteilhaft, da durch diesen Formschluss das Sensortarget, beispielsweise
25 auch bei hohen Fliehkräften, stabilisiert wird.

Bei einer weiteren Ausführungsform weist das erste Material des Trägerrings eine größere mechanische Festigkeit als das zweite Material des Sensortargets auf. Unter der mechanischen
30 Festigkeit versteht man hierbei den Widerstand des ersten Materials gegen Verformung und Trennung. Dies ist vorteilhaft, da sich durch die größere mechanische Festigkeit des ersten Materials des Tragrings, welcher beispielsweise mit der Welle über eine kraftschlüssige Verbindung verbunden ist, die Ro-
35 bustheit des Sensorrings gegenüber Abheben, was durch hohe Drehzahlen und thermische Belastung verursacht werden kann, erhöht wird. Durch die höhere Robustheit des Sensorrings wird die Wahrscheinlichkeit einer Verfälschung des gemessenen Sen-

sorsignals verringert, was zu einer höheren Zuverlässigkeit, insbesondere für die Regelung, führt.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das erste Material
5 des Trägerrings ein hochfester Stahl. Dadurch bietet der Trägerring beispielsweise die Möglichkeit deutlich erhöhte Schrumpfübermaße zu realisieren und damit die Robustheit gegenüber Abheben durch Rotation und thermischer Last signifikant zu steigern.

10 Bei einer weiteren Ausführungsform ist das zweite Material des Sensortargets ein paramagnetischer Edelstahl. Ein paramagnetischer Edelstahl ist beispielsweise Austenit. Dies ist besonders vorteilhaft, da durch die geringe magnetische Permeabilität ein kleiner elektrischer Run-Out erreicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird im folgenden Schritt die Verbindung des zweiten Materials des Sensortargets mit dem ersten Material des Trägerrings durch eine
20 stoffschlüssige Verbindung hergestellt. Dies ist besonders vorteilhaft, da eine stoffschlüssige Verbindung die erforderliche Festigkeit aufweist, um den erforderlichen mechanischen und thermischen Anforderungen, beispielsweise bei einer Drehzahl von mindestens 1000 U/min und einer Leistung von mindestens 1 Megawatt, zu genügen.

Vorteilhaft wird die stoffschlüssige Verbindung durch Auftragsschweißen oder Diffusionsschweißen hergestellt. Beim Auftragsschweißen wird beispielsweise das erste Material des
30 Trägerrings mit dem zweiten Material des Sensortargets beschichtet. Beim Diffusionsschweißen werden beispielsweise das erste Material und das zweite Material unter hohem Druck und hoher Temperatur zusammengepresst. Beide Verfahren sind vorteilhaft, da mit ihnen eine optimal ausgebildete Verbindung,
35 insbesondere bei höheren Temperaturen, bei geringer Durchmischung gewährleistet ist.

In einer weiteren Ausführungsform wird beim Diffusionsschweißen Nickel als Diffusionsstoff verwendet. Dies ist besonders vorteilhaft, da sich Nickel metallurgisch als besonders geeigneter Diffusionsstoff für eine feste Verbindung erwiesen hat.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird im ersten Schritt der Trägerring derartig hergestellt, dass sich an seiner radialen Außenseite eine Kavität ausbildet, wobei im folgenden Schritt das Sensortarget in die Kavität eingefügt wird und mit dem Trägerring verbunden wird. Durch die Kavität wird die Verbindung des zweiten Materials des Sensortargets mit dem ersten Material des Trägerrings stabilisiert.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert.

Es zeigen:

FIG 1 einen Längsschnitt einer Welle mit einem Sensorring,

FIG 2 einen Längsschnitt einer Welle mit einer ersten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings,

FIG 3 einen Längsschnitt einer Welle mit einer zweiten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings,

FIG 4 einen Längsschnitt einer Welle mit einer dritten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings,

FIG 5 einen Längsschnitt einer Welle mit einer vierten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings,

FIG 6 eine dreidimensionale Schnittdarstellung einer Sensorvorrichtung mit einem Komposit-Sensorring,

FIG 7 einen Längsschnitt einer Sensorvorrichtung mit einem Komposit-Sensorring und

FIG 8 eine elektrische rotierende Maschine.

5

FIG 1 zeigt einen Längsschnitt einer Welle 5 mit einem Sensorring 8. Die Welle 5 mit dem Sensorring 8, welche mit aktiven Magnetlagern gelagert ist, ist für einen Rotor mit anspruchsvoller Rotordynamik vorgesehen, wobei die anspruchsvolle Rotordynamik beim Betrieb einer elektrischen rotierenden Maschine mit einer Drehzahl von mindestens 1000 U/min und einer Leistung von mindestens 1 Megawatt entsteht.

Bei der magnetischen Lagerung der Welle 5 wird die Position der Welle 5 erfasst, wobei magnetische Kräfte auf die Welle 5 ausgeübt werden, sodass die Verlagerung der Welle 5 im Magnetlager minimiert wird. Eingangsgröße für eine derartige Regelung ist die Position der Welle 5, welche an mehreren vorzugsweise gleichmäßig verteilten Positionen mit einem Verschiebungssensor, beispielsweise einem Wirbelstromsensor, gemessen wird. Die Qualität des Messsignals hat direkten maßgeblichen Einfluss auf die Güte des Regelprozesses und Leistungsfähigkeit des Magnetlagers. Der Sensorring 8 fungiert hierbei in einer Sensorvorrichtung als Sensortarget 12 für den Verschiebungssensor und ist derartig ausgestaltet, dass seine äußere radiale Oberfläche über den kompletten Umfang nahezu den gleichen Abstand zur Rotationsachse 4 aufweist. Die Messung wird durch Abweichungen von der idealen Kreisform der Messebene, dem mechanischen Run-Out, und durch Restmagnetismus und/oder Materialunterschiede, dem elektrischen Run-Out, beeinflusst. Derartige mechanische und/oder elektrische Abweichungen täuschen eine Verlagerung der Welle 5 vor. Deshalb dürfen die genannten Abweichungen bestimmte Werte nicht überschreiten.

35

Am Sensorring 8 ist der elektrische Run-Out des Sensortargets 12, welcher beispielsweise durch Materialunterschiede beeinflusst wird, von besonderer Bedeutung, da mit einem geringen

elektrischen Run-Out die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Messung während der Regelung minimiert wird. Dieser wird durch die Verwendung eines Werkstoffs mit sehr kleiner magnetischer Permeabilität als Sensortarget 12 auf der Welle 5 minimal.

Der Sensorring 8 in FIG 1 besteht aus einem zweiten Material 14. Das zweite Material 14 ist ein Material mit sehr homogenen elektrischen und magnetischen Eigenschaften, bevorzugt ein paramagnetischer Edelstahl, insbesondere Austenit. Insbesondere durch die geringe magnetische Permeabilität wird ein sehr geringer elektrischer Run-Out erreicht.

Die Innenseite des rotationssymmetrischen Sensorrings ist mit einer kraftschlüssigen Verbindung 23 drehfest mit der Außenseite der um eine Rotationsachse 4 rotierbaren Welle 5 verbunden. Der Kraftschluss zwischen dem Sensorring 8 und der Welle 5 wird durch eine Schrumpfverbindung erreicht.

Bei einer derartigen Schrumpfverbindung wird der Sensorring 8 beispielsweise um einige hundert Grad Celsius, erhitzt, wodurch sich der Innendurchmesser des Sensorrings 8 aufgrund von Wärmeausdehnung, welche auch thermische Expansion genannt wird, vergrößert. Der durch die thermische Expansion vergrößerte Sensorring 8 wird im erhitzten Zustand über die Welle 5, welche aus Stahl besteht und einen geringfügig kleineren Außendurchmesser als der Innendurchmesser des erhitzten Sensorrings 8 aufweist, gestülpt. Beim Abkühlen des Sensorrings 8 findet eine Wärmeschrumpfung, welche auch thermische Kontraktion genannt wird, statt wodurch der Sensorring 8 die vorherige Größe wieder bekommt und mechanisch fest mit der Welle 5 verbunden ist.

Das zweite Material 14 des Sensorrings 8 weist relativ kleine Werte der Dehngrenze auf, weshalb das Übermaß und somit die Robustheit gegenüber Abheben des Sensorringes 8 im Betrieb klein ist. Gleiches gilt gegenüber der Sensitivität auf

Abheben gegenüber thermischer Belastung und infolge auftretender thermischer Ausdehnung.

FIG 2 zeigt einen Längsschnitt einer Welle 5 mit einer ersten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings 24. Ein derartiger Komposit-Sensorring 24 ist ein Sensorring 8, welcher aus mehreren Bauteilen 11, 12, welche vorzugsweise aus unterschiedlichen Materialien 13, 14 bestehen, aufgebaut ist. Der übrige Aufbau entspricht dem aus FIG 1.

Durch die verschiedenen Bauteile 11, 12 wird eine Trennung der Funktionen des Sensorrings 8 vorgenommen. Der Sensorring 8 wird aus einem Trägerring 11 und einem Sensortarget 12, welches aus dem in FIG 1 beschriebenen zweiten Material 14 besteht, gefertigt. Das auf der Außenseite des Sensorrings 8 aufgebrachte Sensortarget 12 bietet deshalb die Vorteile eines kleinen elektrischen Run-Outs. Der Trägerring 11 wird aus einem ersten Material 13, einem sehr festen und schweißbaren Werkstoff hergestellt. Er trägt das Sensortarget 12 an seiner Außenseite und wird an seiner Innenseite kraftschlüssig mit der Welle 5 verbunden. Das erste Material ist vorzugsweise einem hochfesten Stahl, welcher die Möglichkeit bietet, deutlich erhöhte Schrumpfübermaße zu realisieren und damit die Robustheit gegenüber Abheben durch Rotation und thermischer Last signifikant zu steigern.

Das zweite Material 14 des Sensortargets 12 ist an der radialen Außenseite des Trägerrings 11 mit dem ersten Material 13 über eine stoffschlüssige Verbindung 10 verbunden. Die stoffschlüssige Verbindung 10 wird durch Auftragsschweißen oder Diffusionsschweißen hergestellt.

FIG 3 zeigt einen Längsschnitt einer Welle 5 mit einer zweiten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings 24, wobei der Trägerring 11 an der radialen Außenseite eine Kavität 20 aufweist, in welcher sich das zweite Material 14 des Sensortargets 12 befindet. Der Trägerring 11 mit dem Sensortarget 12 weist die Form eines Hohlzylinders auf und ist über den Trä-

gerring 11 drehfest mit der Welle 5 verbunden. Der übrige Aufbau entspricht dem aus FIG 2. Es besteht eine stoffschlüssige Verbindung 10, welche durch Auftragsschweißen oder Diffusionsschweißen hergestellt wird, zwischen dem Trägergerring 11 und dem Sensortarget 12.

Die Kavität 20 im Trägergerring 11, welche mit dem zweiten Material 14 des Sensortargets 12 gefüllt ist, ist rund, kann aber auch Ecken aufweisen. Durch die Kavität 20, durch welche das Sensortarget 12 eine größere Berührungsfläche mit dem Trägergerring 11 hat, wird die Stabilität und Robustheit der stoffschlüssigen Verbindung zwischen dem ersten Material 13 und dem zweiten Material 14 erhöht und dadurch zusätzlich eine Abheben des Sensortargets 12 verhindert.

FIG 4 zeigt einen Längsschnitt einer Welle 5 mit einer dritten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings 24, wobei der Trägergerring 11 eine Kavität 20 aufweist, welche mit dem zweiten Material 14 des Sensortargets 12 gefüllt ist und wobei sich die axiale Breite der Kavität 20 in radiale Richtung nach außen verjüngt. Der übrige Aufbau entspricht dem aus FIG 3. Durch die Verjüngung der Kavität entsteht zusätzlich zur stoffschlüssigen Verbindung 10 eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Trägergerring 11 und dem Sensortarget 12. Dies ist vorteilhaft, da durch diesen Formschluss das Sensortarget 12 bei hohen Fliehkräften zusätzlich stabilisiert wird.

Die Kavität 10 in FIG 4 ist so ausgestaltet, dass neben dem Trägergerring 11 auch das Sensortarget 12 mechanisch mit der Welle 5 verbunden sind. Die kraftschlüssige Verbindung 23 des Sensorrings 8 zur Welle 5 wird zumindest durch den Trägergerring 11 gebildet.

FIG 5 zeigt einen Längsschnitt einer Welle 5 mit einer vierten Ausführungsform eines Komposit-Sensorrings 24. Die Kavität 20 des Trägerrings 11 ist, verglichen mit FIG 4, abgerundet ausgebildet verjüngt sich kontinuierlich. Der Trägergerring

ist kraftschlüssig mit der Welle 5 verbunden. Der übrige Aufbau entspricht dem aus FIG 4.

FIG 6 zeigt eine dreidimensionale Schnittdarstellung einer Sensorvorrichtung 15 mit einem Komposit-Sensorring 24. Der exemplarisch wie in FIG 3 ausgeführte Komposit-Sensorring 24 ist kraftschlüssig mit der Welle 5 verbunden. Ein Verschiebungssensor 7, welcher als Wirbelstromsensor ausgeführt ist, befindet sich, durch einen Luftspalt 9 getrennt, über dem Sensortarget 12. Der Verschiebungssensor 7 ist dafür vorgesehen berührungslos eine Abstandsänderung zum rotierenden Komposit-Sensorring 24 und damit zur rotierenden Welle 5 zu messen.

FIG 7 zeigt einen Längsschnitt einer Sensorvorrichtung 15 mit einem Komposit-Sensorring 24, welcher exemplarisch wie in FIG 4 dargestellt ausgeführt ist. Der übrige Aufbau der Sensorvorrichtung 15 entspricht dem aus FIG 6. Der als Wirbelstromsensor ausgeführte Verschiebungssensor 7 wird durch ein Wechselstromsignal gespeist und erzeugt durch die Spule 17 ein elektromagnetisches Wechselfeld, welches im rotierenden Sensortarget 12 Wirbelströme induziert. Über eine Auswerteeinrichtung 16, welche mit dem Verschiebungssensor 7 verbunden ist, wird die Impedanz der Spule 17 gemessen. Die Impedanz wird durch die im Sensortarget 12 induzierten Wirbelströme, deren Betrag und Phase von der Größe des Luftspalts 9 abhängig sind, beeinflusst.

Eine Abstandsänderung zwischen dem Sensorring 8 und damit der Welle 5 und dem Verschiebungssensor 7 wird über die Änderung der Impedanz der Spule 17 gemessen. Die Impedanzänderung wird als Änderung der Amplitude und/oder der Phase erfasst und ausgewertet. Die Auswerteeinrichtung 16 gibt ein dem Abstand proportionales analoges Strom- oder Spannungssignal aus, welches als Eingangsgröße für die Regelungstechnik eines Magnetlagers geeignet ist. Die Regelungstechnik und das Magnetlager sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die Messung der Impedanzänderung wird durch Abweichungen von der idealen Kreisform des Sensorrings 8 beeinflusst, wobei diese Abweichung als mechanischer Run-Out bezeichnet wird. Weiterhin treten bei einem derartigen Wirbelstrommeßverfahren bekannte Messeffekte auf, die auf Leitfähigkeits- oder Permeabilitätsschwankungen vorwiegend in der Oberfläche des Sensortargets 12 beruhen und als elektrischer Run-Out bezeichnet werden.

10 Daher besteht das Sensortarget 12 aus einem Material mit sehr homogenen elektrischen und insbesondere magnetischen Eigenschaften, beispielsweise ein austenitischer Edelstahl mit paramagnetischen Eigenschaften. Der Trägerring 11 aus dem ersten Material 13 ist aus einem sehr festen und schweißbaren Werkstoff, beispielsweise ein harter Stahl, welcher dafür geeignet ist das Sensortarget 12 auch bei großen Fliehkräften zu tragen. Weiterhin ist der Stahl für den Trägerring dafür geeignet hohe Schrumpfübermaße von mehr als 100 µm zu realisieren, um auch bei hohen Fliehkräften und großen thermischen Belastungen drehfest mit der Welle 5 verbunden zu sein. FIG 8 zeigt eine elektrische rotierende Maschine 1, welche auf einem Fundament 19 steht. Die elektrische rotierende Maschine 1 weist einen um eine Rotationsachse 4 rotierbaren Rotor 3 und einen den Rotor 3 umgebenden Stator 2 auf. Die Welle 5 des Rotors ist an beiden axialen Enden durch jeweils eine aktive Magnetlagervorrichtung 6 berührungslos gelagert.

Eine aktive Magnetlagervorrichtung 6 weist einen Magnetlagerrotor 18, welcher über eine kraftschlüssige Verbindung 23 mit der Welle 5 verbunden ist, und einen den Magnetlagerrotor 18 umgebenden Elektromagneten 22 auf. Der Elektromagnet 22 weist Wicklungen 21 auf, die von einem Gleichstrom gespeist werden und ein magnetisches Gleichfeld erzeugen. Zusätzlich kann neben dem Elektromagneten 22 ein Permanent eingesetzt werden um das magnetische Gleichfeld zu erzeugen. Mit Hilfe des Magnetischen Gleichfeldes wird die Welle 5 näherungsweise in der Mitte des Elektromagneten 22 gehalten und magnetisch nahezu reibungslos gelagert.

Um die Lage der Welle 5 mit dem Magnetlagerrotor 18 im Magnetfeld des Elektromagneten 22 ermitteln zu können, sind an mindestens vier gleichmäßig verteilten Positionen um den Umfang der Welle 5 verteilt Sensorvorrichtungen 15, welche wie
5 in FIG 6 und in FIG 7 gezeigt ausgeführt sind, angeordnet. Die Sensorvorrichtungen 15 sind dafür vorgesehen die Position der Welle 5 des Rotors 3 in der radialen Ebene zu ermitteln und weisen einen Verschiebungssensor 7 und einen Sensorring 8, welcher als Komposit-Sensorring 24 ausgeführt ist, auf.
10 Die Magnetlagervorrichtung 6 ist exemplarisch als Radiallager ausgeführt. Eine Verwendung der Sensorvorrichtung 15 für ein Axiallager ist ebenfalls Gegenstand der Patentanmeldung, wobei im Falle eines Axiallagers die Sensorvorrichtung 15 dafür vorgesehen ist, die Position der Welle 5 in axialer Richtung
15 zu ermitteln.

Zusammenfassend betrifft die Erfindung eine Sensorvorrichtung 15 für eine Magnetlagervorrichtung 6 aufweisend einen Verschiebungssensor 7 und einen Sensorring 8, welcher die Form
20 eines Hohlzylinders aufweist und dafür vorgesehen ist, kraftschlüssig mit einer Welle 5 einer elektrischen rotierenden Maschine 1 verbunden zu werden, wobei der Verschiebungssensor 7 vom Sensorring 8 durch einen Luftspalt 9 getrennt ist. Um im Vergleich zum Stand der Technik eine höhere Zuverlässig-
25 keit bei hohen Drehzahlen und Leistungen zu erreichen, wird vorgeschlagen, dass der Sensorring 8 einen Trägerring 11 aus einem ersten Material 13 und ein Sensortarget 12 aus einem zweiten Material 14 aufweist.

Patentansprüche

1. Sensorvorrichtung (15) für eine Magnetlagervorrichtung (6) aufweisend einen Verschiebungssensor (7) und einen Sensorring (8), welcher die Form eines Hohlzylinders aufweist und dafür vorgesehen ist, kraftschlüssig mit einer Welle (5) einer elektrischen rotierenden Maschine (1) verbunden zu werden, wobei der Verschiebungssensor (7) vom Sensorring (8) durch einen Luftspalt (9) getrennt ist, wobei der Sensorring (8) einen Trägerring (11) aus einem ersten Material (13) und ein Sensortarget (12) aus einem zweiten Material (14) aufweist, wobei das zweite Material (14) des Sensortargets (12) eine geringere Permeabilität und/oder eine höhere elektrische Leitfähigkeit als das erste Material (13) des Trägerrings (11) aufweist.

2. Sensorvorrichtung (15) nach Anspruch 1,
wobei das zweite Material (14) des Sensortargets (12) durch
20 eine stoffschlüssige Verbindung (10) und/oder formschlüssige
Verbindung mit dem ersten Material (13) des Trägerrings (11)
verbunden ist.

3. Sensorvorrichtung (15) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
wobei das zweite Material (14) des Sensortargets (12) an der
radialen Außenseite des Trägerrings (11) mit dem ersten Mate-
rial (13) verbunden ist.

4. Sensorvorrichtung (15) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
30 wobei der Trägerring (11) an seiner radialen Außenseite eine
Kavität (20) aufweist, wobei die Kavität (20) mit dem zweiten
Material (14) des Sensortargets (12) ausgefüllt ist.

5. Sensorvorrichtung (15) nach Anspruch 4,
35 wobei sich die Breite der Kavität (20) radial nach außen hin
verjüngt.

6. Sensorvorrichtung (15) einem der Ansprüche 1 bis 5,
wobei das erste Material (13) des Trägerrings (11) eine grö-
ßere mechanische Festigkeit als das zweite Material (14) des
Sensortargets (12) aufweist.

5

7. Sensorvorrichtung (15) nach einem der vorherigen Ansprü-
che,
wobei das erste Material (13) des Trägerrings (11) ein hoch-
fester Stahl ist.

10

8. Sensorvorrichtung (15) nach einem der vorherigen Ansprü-
che,
wobei das zweite Material (14) des Sensortargets (12) ein
paramagnetischer Edelstahl ist.

15

9. Elektrische rotierende Maschine (1) aufweisend einen um
eine Rotationsachse (4) rotierenden Rotor (3), einen den Ro-
tor (3) umgebenden Stator (2) und mindestens eine Magnetla-
gervorrichtung (6), welche mindestens eine Sensorvorrichtung
(15) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 aufweist.

20

10. Verfahren zur Fertigung einer Sensorvorrichtung (15) nach
einem der Ansprüche 1 bis 8,
wobei in einem ersten Schritt der Trägerring (11) aus einem
ersten Material (13) hergestellt wird,
wobei in einem folgenden Schritt das Sensortarget (12), wel-
ches aus einem zweiten Material (14) hergestellt wird, mit
dem Trägerring (11) zu einem Sensorring (8) verbunden wird.

25

11. Verfahren nach Anspruch 10,
wobei im folgenden Schritt die Verbindung des zweiten Materi-
als (14) des Sensortargets (12) mit dem ersten Material (13)
des Trägerrings (11) durch eine stoffschlüssige Verbindung
(10) hergestellt wird.

30

35

12. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei die stoffschlüssige Verbindung (10) durch
Auftragschweißen oder Diffusionsschweißen hergestellt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12,
wobei beim Diffusionsschweißen Nickel als Diffusionsstoff
verwendet wird.

- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
wobei im ersten Schritt der Trägerring (11) derartig herge-
stellt wird, dass sich an seiner radialen Außenseite eine Ka-
vität (20) ausbildet,
wobei im folgenden Schritt das Sensortarget (12) in die Kavi-
10 tät (20) eingefügt wird und mit dem Trägerring (11) verbunden
wird.

1/4

FIG 1

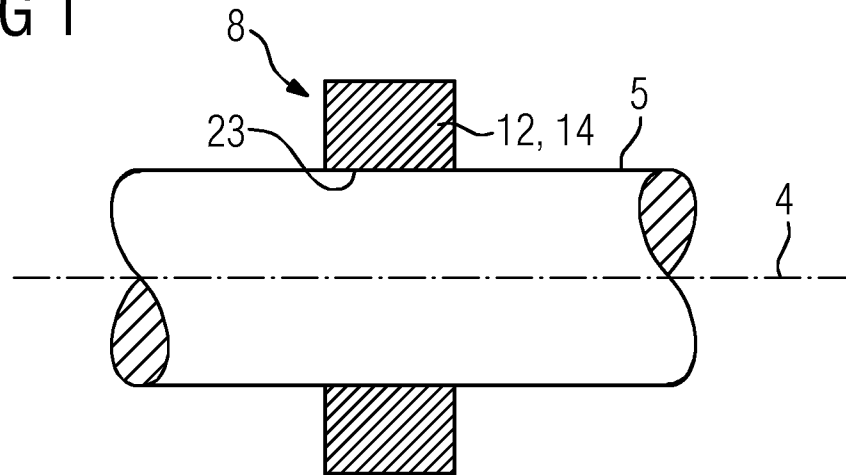


FIG 2

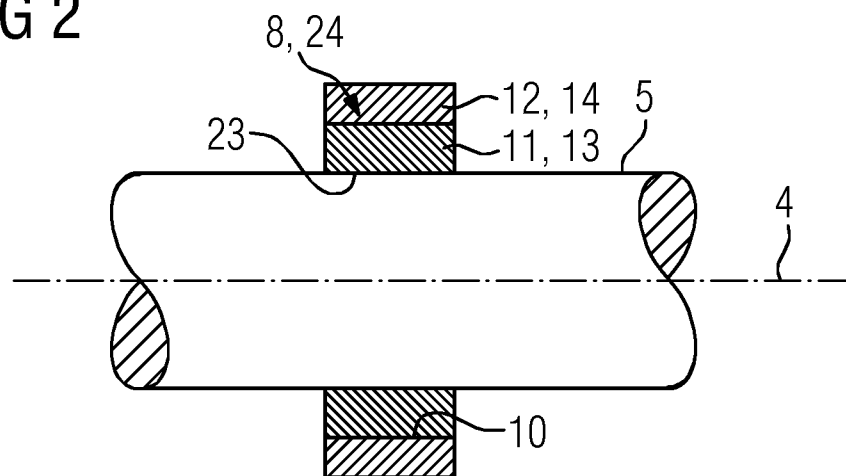


FIG 3

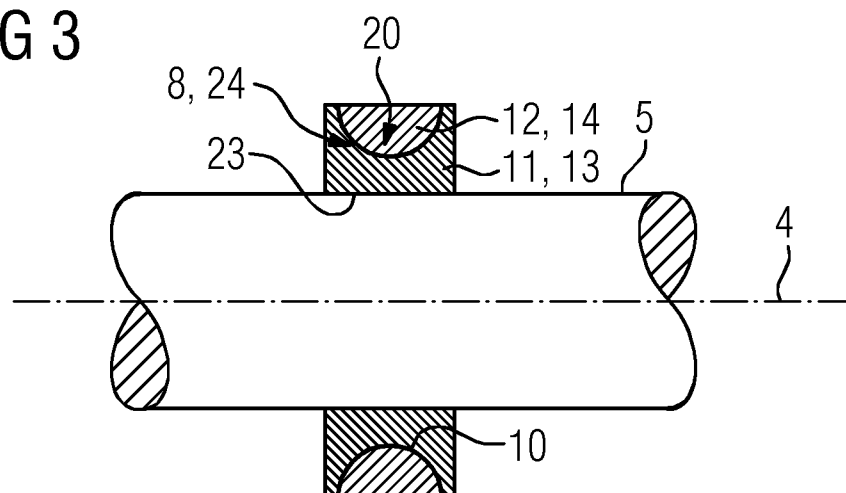


FIG 4

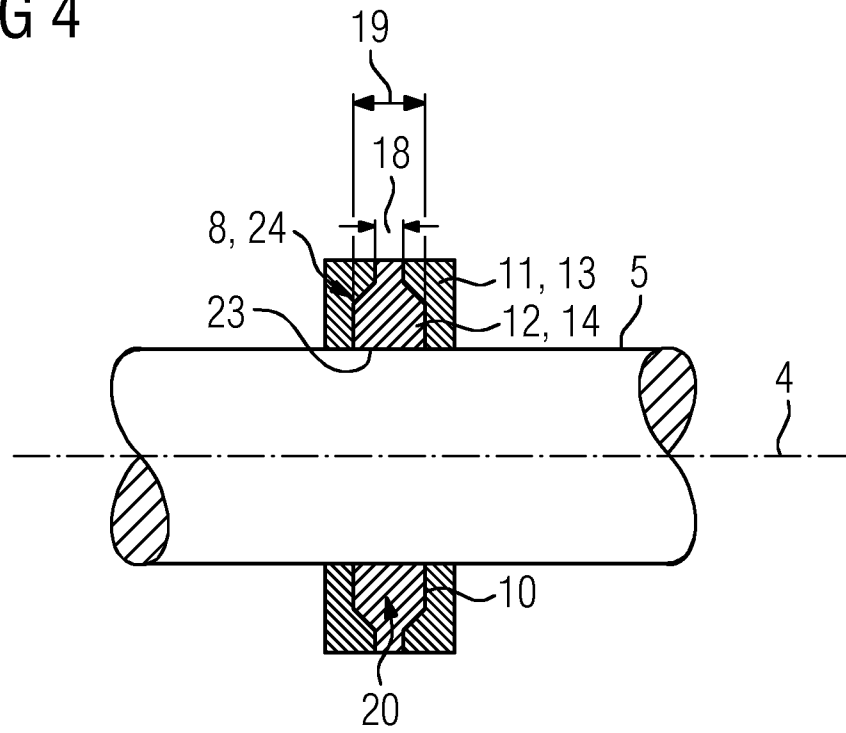


FIG 5

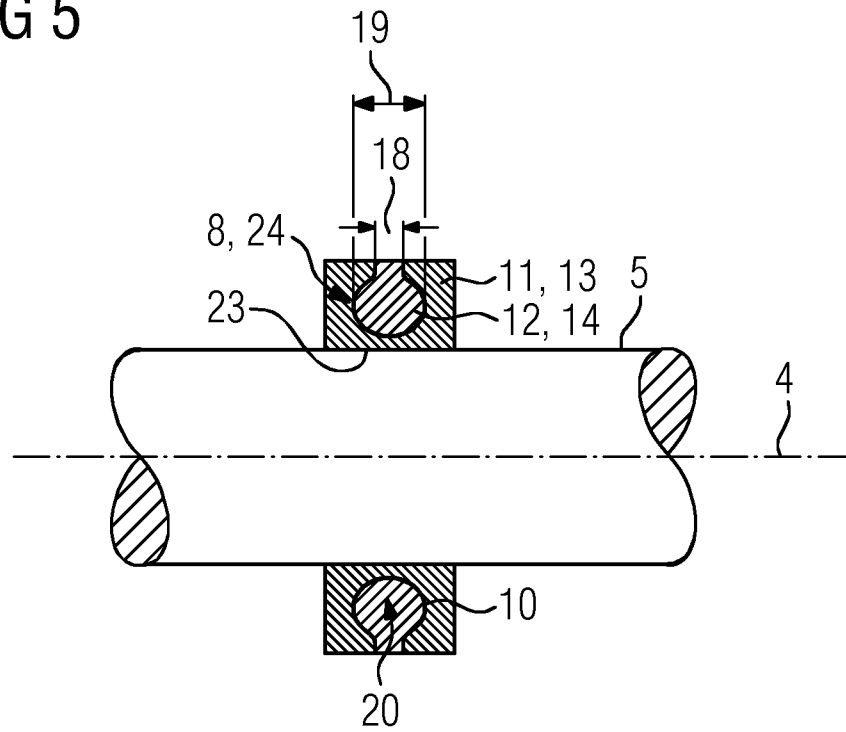


FIG 6

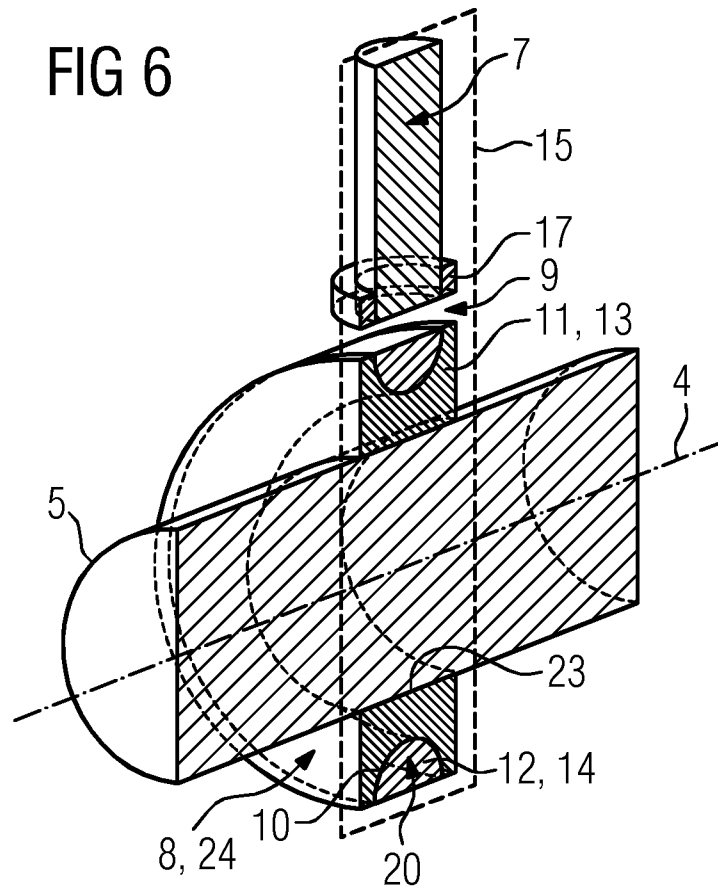
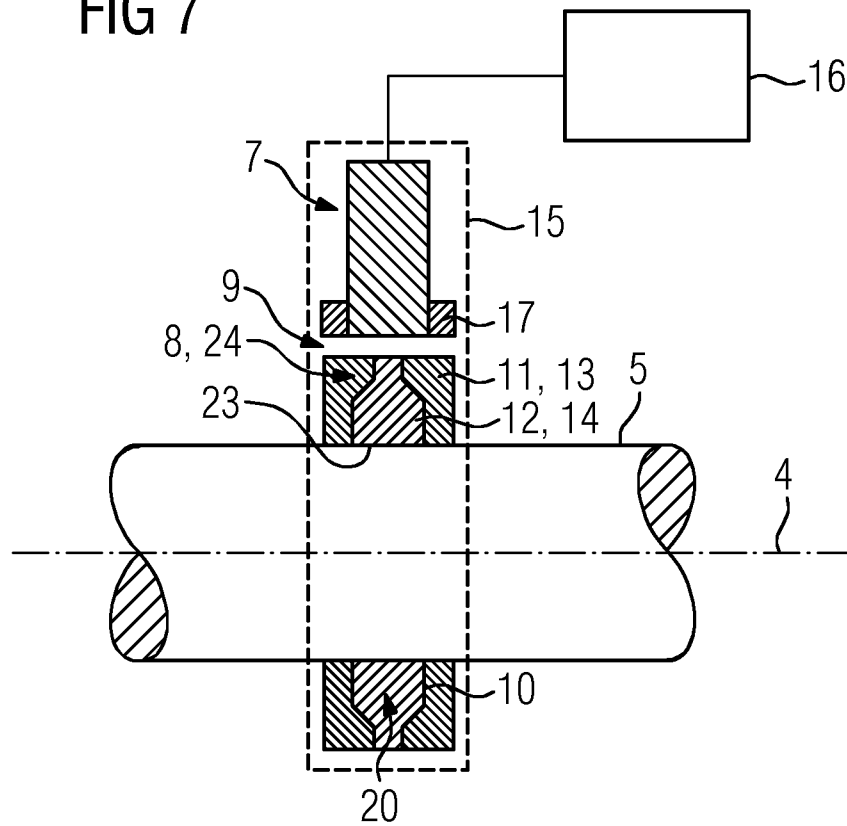
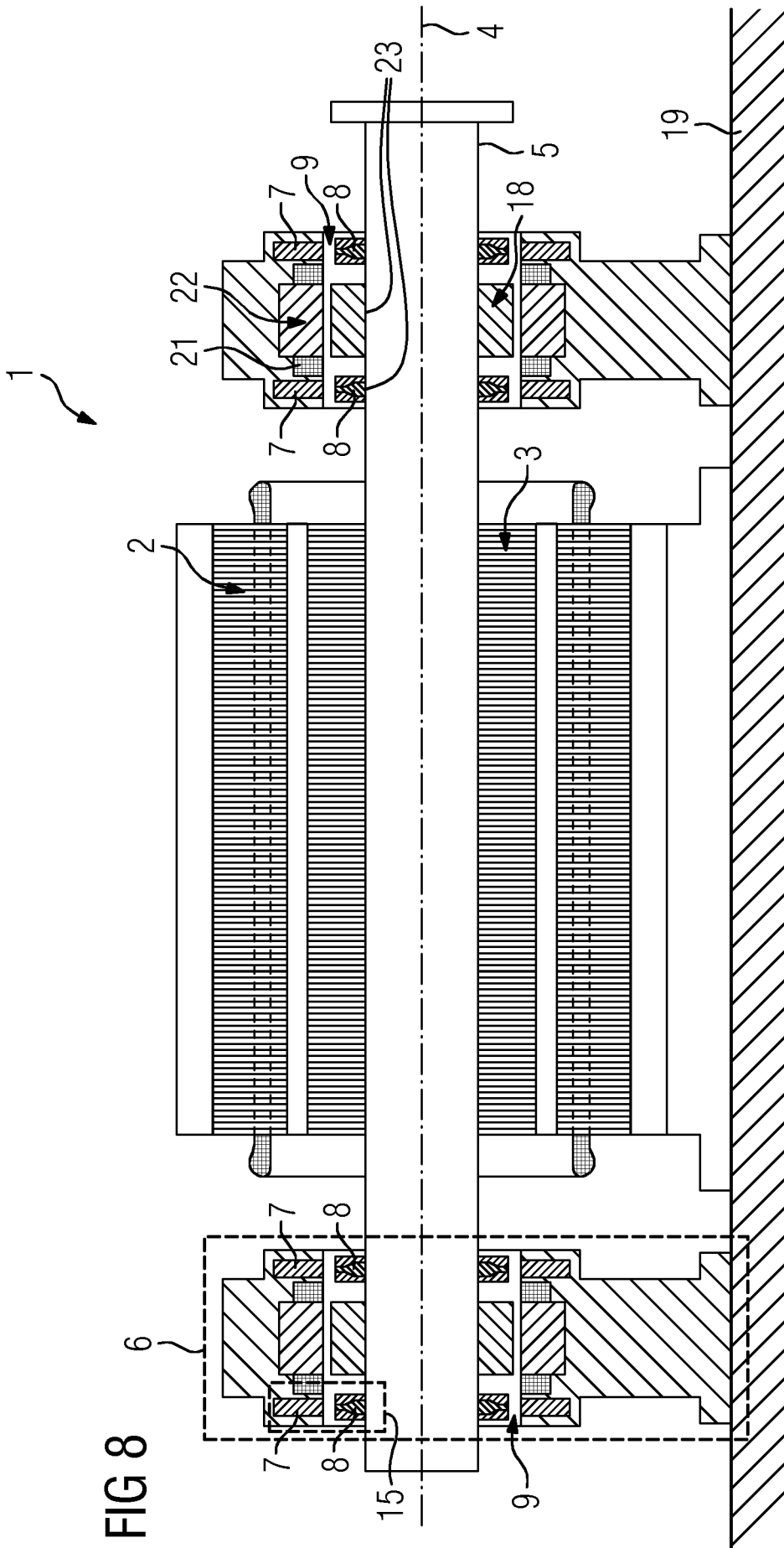


FIG 7





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/077141

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01D5/20 G01B7/31
ADD.

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)
G01D G01B G01P F16C H02K

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 practicable, 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.
Y	EP 2 887 022 A1 (SKF MAGNETIC MECHATRONICS [FR]) 24 June 2015 (2015-06-24) paragraphs [0002], [0003], [0008], [0009], [0037], [0039]; figures 1,9 -----	1-4,6,7, 9-14
A	US 4 726 962 A (SIEMERS PAUL A [US] ET AL) 23 February 1988 (1988-02-23) column 1, line 51 - line 56 column 2, line 28 - line 30 column 2, line 46 - line 50 -----	1-14
A	DE 11 2006 003635 T5 (UCHIYAMA MFG [JP]) 27 November 2008 (2008-11-27) paragraphs [0001], [0043], [0044], [0045], [0061]; figures 2,12 ----- -/-	5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent 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

12 January 2017

Date of mailing of the international search report

19/01/2017

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

Biedermann, Benjamin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/077141

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 801 545 A1 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN [DE]) 27 June 2007 (2007-06-27) paragraphs [0001], [0004], [0006], [0008], [0009], [0013], [0014], [0023], [0025]; figure 1 -----	1-4,6,7, 9-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/077141

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2887022	A1	24-06-2015	CA 2874305 A1 20-06-2015
			CN 104729393 A 24-06-2015
			EP 2887022 A1 24-06-2015
			JP 2015121323 A 02-07-2015
			US 2015177024 A1 25-06-2015
US 4726962	A	23-02-1988	DE 3566961 D1 02-02-1989
			EP 0196306 A1 08-10-1986
			NO 166694 B 21-05-1991
			NO 166848 B 03-06-1991
			US 4657823 A 14-04-1987
			US 4726962 A 23-02-1988
			WO 8601757 A1 27-03-1986
DE 112006003635 T5		27-11-2008	DE 112006003635 T5 27-11-2008
			JP 4705854 B2 22-06-2011
			JP 2007187484 A 26-07-2007
			US 2009219017 A1 03-09-2009
			WO 2007080792 A1 19-07-2007
EP 1801545	A1	27-06-2007	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01D5/20 G01B7/31
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01D G01B G01P F16C H02K

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.
Y	EP 2 887 022 A1 (SKF MAGNETIC MECHATRONICS [FR]) 24. Juni 2015 (2015-06-24) Absätze [0002], [0003], [0008], [0009], [0037], [0039]; Abbildungen 1,9 -----	1-4,6,7, 9-14
A	US 4 726 962 A (SIEMERS PAUL A [US] ET AL) 23. Februar 1988 (1988-02-23) Spalte 1, Zeile 51 - Zeile 56 Spalte 2, Zeile 28 - Zeile 30 Spalte 2, Zeile 46 - Zeile 50 -----	1-14
A	DE 11 2006 003635 T5 (UCHIYAMA MFG [JP]) 27. November 2008 (2008-11-27) Absätze [0001], [0043], [0044], [0045], [0061]; Abbildungen 2,12 ----- -/-	5



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

12. Januar 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/01/2017

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

Biedermann, Benjamin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 801 545 A1 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN [DE]) 27. Juni 2007 (2007-06-27) Absätze [0001], [0004], [0006], [0008], [0009], [0013], [0014], [0023], [0025]; Abbildung 1 -----	1-4,6,7, 9-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/077141

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2887022	A1	24-06-2015	CA 2874305 A1 20-06-2015
			CN 104729393 A 24-06-2015
			EP 2887022 A1 24-06-2015
			JP 2015121323 A 02-07-2015
			US 2015177024 A1 25-06-2015
US 4726962	A	23-02-1988	DE 3566961 D1 02-02-1989
			EP 0196306 A1 08-10-1986
			NO 166694 B 21-05-1991
			NO 166848 B 03-06-1991
			US 4657823 A 14-04-1987
			US 4726962 A 23-02-1988
			WO 8601757 A1 27-03-1986
DE 112006003635 T5		27-11-2008	DE 112006003635 T5 27-11-2008
			JP 4705854 B2 22-06-2011
			JP 2007187484 A 26-07-2007
			US 2009219017 A1 03-09-2009
			WO 2007080792 A1 19-07-2007
EP 1801545	A1	27-06-2007	KEINE