



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 44 653 B4** 2006.05.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 44 653.5**
 (22) Anmeldetag: **11.09.2001**
 (43) Offenlegungstag: **03.04.2003**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **11.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H02K 5/12** (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
ATE Antriebstechnik und Entwicklungs GmbH,
88299 Leutkirch, DE

(74) Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München

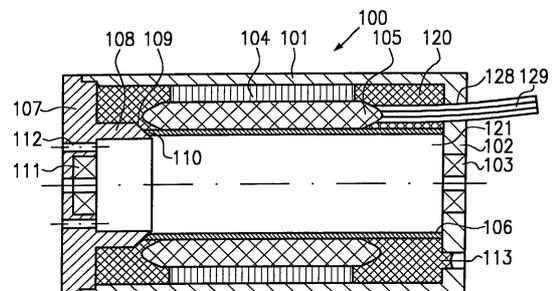
(72) Erfinder:
Vohrer, Mark, 88299 Leutkirch, DE; Merath,
Wolfgang, 88260 Argenbühl, DE

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

DE 41 42 461 C2
DE 199 43 577 A1
DE 44 38 132 A1
DE 43 06 897 A1
DE 19 35 929 A
DE 19 31 661 A1
DE 11 14 577 A
US 60 72 262 A
US 43 82 199 A
EP 09 63 029 A2

(54) Bezeichnung: **Permanent erregte elektromechanische Maschine für den Betrieb in Flüssigkeiten und Gasen**

(57) Hauptanspruch: Elektromechanische Maschine mit einem Gehäuse (101, 201, 301, 401) mit einer Stirnseite und einer Rückseite, die jeweils ein zur Lagerung einer einen Permanentmagneten (115) umfassenden Antriebswelle (114) vorgesehene Lager (103, 111; 203, 211; 303, 311) aufweisen, wobei die Wicklung (105, 205, 305) des Stators vergossen ist, wobei an der Stirnseite und/oder an der Rückseite des Gehäuses (101, 201, 301, 401) ein Lagerschild (107, 207, 307) vorgesehen ist, der mit dem Spulenkörper (106) in Kontakt ist, wobei der Lagerschild (107, 207, 307) eine in Längsrichtung und nach innen hervorstehende ringförmige Erhebung (108, 208, 308) aufweist, wobei die Statorwicklung (105, 205, 305) auf einen aus elektrisch isolierendem Material hergestellten Spulenkörper (106, 306) aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein der ringförmigen Erhebung (108, 208) zugewandter Rand (110, 210) des Spulenkörpers (106) und ein dem Spulenkörper (106) zugewandter Rand (109, 209) der ringförmigen Erhebung (108, 208) eine im Wesentlichen gleiche...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft permanent erregte elektromechanische Maschinen, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] In vielen Bereichen der Technik werden kleine, leistungsfähige drehzahlsteuerbare Antriebe benötigt, die eine hohe Zuverlässigkeit, lange Standzeiten, sowie eine einfache und effiziente Regelung bzw. Steuerung erlauben. Lange Zeit war es schwierig, eine kleine leistungsfähige elektromechanische Maschine bereitzustellen, die alle zuvor aufgeführten Anforderungen erfüllt. Durch die rasche Entwicklung elektronischer Schaltelemente, wie beispielweise MOS-Leistungstransistoren, sowie die Bereitstellung geeigneter Ansteuerlektroniken, ist es möglich, die Vorteile einer permanent erregten Gleichstrommaschine mit den Vorteilen einer kommutatorlosen permanent erregten Synchronmaschine zu vereinigen. Eine permanent erregte Synchronmaschine, die entsprechend der Winkellage des Rotors angesteuert wird, wird auch als bürstenlose oder kommutatorlose Gleichstrommaschine bezeichnet.

[0003] Eine bürstenlose Gleichstrommaschine umfasst eine Statorwicklung mit je nach Art und Aufbau der Maschine abhängigen Anzahl von Wicklungen, die bei geeigneter Bestromung ein umlaufendes Magnetfeld erzeugen. Dabei wird der Magnet des Rotors und damit der gesamte Rotor von dem äußeren Drehfeld mitgezogen. Wenn die Bestromung der einzelnen Statorwicklungen entsprechend der augenblicklichen Rotorlage stattfindet, zeigt diese elektromechanische Maschine das Verhalten einer einfachen permanent erregten Gleichstrommaschine, d.h. die Drehzahl ist näherungsweise proportional zur angelegten Spannung und das Drehmoment ist im wesentlichen proportional zum eingepprägten Strom. Durch die Verwendung von Magneten mit einer hohen Flussdichte gelingt es, kleine leistungsstarke Maschinen mit hohem Wirkungsgrad bereitzustellen, wobei aufgrund des fehlenden Kommutators eine hohe Zuverlässigkeit und Standzeit erreicht wird. Aufgrund dieser Eigenschaften werden zusehends konventionelle Gleichstrommaschinen durch entsprechende kommutatorlose Maschinen ersetzt, insbesondere dort, wo eine lange Lebensdauer und Betriebsdauer ohne Wartung erforderlich ist.

[0004] Die fehlende Funkenbildung aufgrund der elektronischen Kommutierung des Stroms ergibt zudem ein verbessertes EMV-Verhalten und erlaubt ferner die Anwendung kommutatorloser Gleichstrommaschinen auch in Bereichen, die bislang Asynchronmaschinen vorbehalten blieb. Bedingt durch den hohen Wirkungsgrad, der bei bürstenlosen Gleichstrommaschinen kleiner Bauart erreichbar ist, sowie durch die einfachere Regelung der bürstenlosen Gleichstrommaschinen im Vergleich zu Asyn-

chronmaschinen gibt es zahlreichen Anwendungen, die im Leistungsbereich von einigen wenigen Watt bis zu einigen Hundert oder sogar einigen Tausend Watt effizienter und damit kostengünstiger von bürstenlosen Gleichstrommaschinen bewältigt werden können. So werden beispielsweise bürstenlose Gleichstrommaschinen bei der Förderung von Flüssigkeiten, wie Benzin, Diesel, Kerosin etc., verwendet. In derartigen Anwendungen wird häufig ein Pumpenmechanismus mit der Antriebswelle der elektromechanischen Maschine gekoppelt, wobei mittels einer Dichtung der Innenraum der Maschine, d.h. der den Rotor umgebende Raumbereich, zum Pumpengehäuse hin abgedichtet wird. Aufgrund der mechanischen Belastung der Dichtung durch die Antriebswelle erfolgt ein hoher Verschleiß und erzwingt Wartungsintervalle, die deutlich unterhalb der für die restlichen Antriebskomponenten erforderlichen Wartungszeiten liegen.

[0005] Des weiteren sind im Stand der Technik im Bereich kleiner Wasserpumpen Ausführungsformen zu finden, in denen ein Permanentmagnet drehbar auf einer Achse gelagert und mit einem Schaufelrad mechanisch verbunden ist, so dass bei Anlegen eines Drehfelds an die Statorwicklungen, die in einem Gehäuse wasserdicht untergebracht sind, der Magnet und somit das Schaufelrad in Drehung versetzt wird. Aufgrund der Lagerung auf einer Achse, sowie des relativ großen magnetischen Widerstands zwischen der Statorwicklung und dem Permanentmagneten lassen sich lediglich kleine Drehmomente, sowie niedrigen Drehzahlen erreichen. Für effiziente Antriebe, in denen möglicherweise eine genaue Steuerung der mechanischen Leistung erforderlich ist, sind derartige Maschinen daher nicht geeignet.

Stand der Technik

[0006] Ferner ist in US 4382199 A eine bürstenloser Gleichstrommotor offenbart, dessen Rotor axial und radial durch ein den Rotor umströmendes Fluid, vorzugsweise einer hydraulischen Flüssigkeit mit geringer Viskosität, gelagert ist. Der in diesem Dokument beschriebene bürstenlose Gleichstrommotor erlaubt eine Drehzahl von etwa 10.000 U/min. in beiden Richtungen, wobei jedoch zum Zeitpunkt der Richtungsumkehr die Lagerwirkung durch die hydraulische Flüssigkeit nicht mehr gewährleistet ist. Ferner besteht auch bei geringen Drehzahlen die Gefahr, dass der Fluidfilm im Luftspalt abreißt bzw. zu dünn wird, da aufgrund der geringen Drehzahl das für den Betrieb des Motors erforderliche Schaufelrad keine ausreichende Menge an Hydraulikflüssigkeit fördert. Obwohl dieser Motor bei Betrieb mit konstanter Drehzahl eine ausgezeichnete verschleißfreie Lagerung des Rotors erzielt, so erlaubt der Aufbau dieses Motors jedoch keine Anwendungen, in denen ein hoher Dynamikbereich sowie ein relativ hohes Anlaufmoment notwendig ist. Ferner erlaubt der Aufbau des

beschriebenen Motors nur einen Betrieb in einer geeigneten Flüssigkeit, wobei zu gewährleisten ist, dass jederzeit ausreichend Flüssigkeit vorhanden ist, oder wobei der Motor gegenüber der Umgebung in einem entsprechenden Behälter mit Flüssigkeit einzukapseln ist.

[0007] Aufgrund der oben dargelegten Situation besteht daher ein Bedarf an kommutatorlosen elektromechanischen Maschinen, die eine Betriebsweise mit einem großen Dynamikbereich bei einem Drehzahlbereich von Null bis einige Zigtausend Umdrehungen pro Minute erlauben, wobei die Maschine unabhängig von der umgebenden Atmosphäre betreibbar sein soll.

[0008] Die DE 1931661 A (nächstliegender Stand der Technik) zeigt einen Elektromotor mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Aufgabenstellung

[0009] Angesicht der zuvor genannten Problematik ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine zum Stand der Technik verbesserte kommutatorlose elektromechanische Maschine bereitzustellen, die ohne Einschränkung des Regelverhaltens sowohl in einer Flüssigkeitsatmosphäre als auch in einer Gasatmosphäre betreibbar ist, wobei eine effiziente Montage der Maschine gewährleistet ist.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Maschine gelöst, wie sie im Anspruch 1 definiert ist. Unter anderem ergeben sich die folgenden Vorteile.

[0011] Durch die vergossene Statorwicklung wird eine ausgezeichnete elektrische Isolierung des Stators von der den Motor umgebenden und insbesondere den Luftspalt zwischen dem Stator und dem Rotor durchsetzenden Atmosphäre erreicht. Aufgrund dieser Bauart ist eine präzise Lagerung des Motors, ähnlich wie bei konventionellen Motoren, gegeben, wobei jedoch durch die elektrische Isolierung sowohl zum Luftspalt hin als auch zu allen anderen die Statorwicklung umgebenden Bereichen ein Betrieb des Motors in kritischer Atmosphären möglich ist. Insbesondere kann der Motor in Flüssigkeiten, auch in elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten, ohne Beeinträchtigung des Regelverhaltens oder des Betriebsverhaltens betrieben werden. Wenn ferner der Motor in einer Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, betrieben wird, ergibt sich durch die Umspülung des vergossenen Stators eine effiziente Kühlung der Wicklung, wodurch die erreichbare Leistung der Maschine im Vergleich zu einem konventionellen Motor vergleichbarer Größe, der in einer Gasatmosphäre betrieben wird, gesteigert ist. Des Weiteren erlaubt diese Ausbildung des Motors einen Einsatz, in der sich die Motorumgebung ändern kann, wie dies beispielsweise

bei Verwendung des Motors als Pumpe auftreten kann, wenn keine zu fördernde Flüssigkeit mehr vorhanden ist. Die Maschine läuft dann einfachweiter, ohne dass besondere Vorkehrungen zum Schutz der Maschine notwendig sind.

[0012] Die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine ist in einer Ausführungsform aufgrund des gekapselten Stators sowohl in einer Flüssigkeit als auch in einem Gas oder in einer Atmosphäre, in der beides vorhanden ist, betreibbar, wobei die Maschine einen Dauerbetrieb zulässt, unabhängig von der Art der umgebenden Atmosphäre. Im Gegensatz zu konventionellen Maschinen, die lediglich für den Betrieb in einer Flüssigkeit oder einem Gas konstruiert sind, erlaubt die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine somit einen Betrieb in einer beliebigen Atmosphäre. Dies kann beispielsweise vorteilhaft genutzt werden in Anwendungen, in denen feuchte oder heiße Gase und/oder Flüssigkeiten die Maschine umströmen bzw. durchströmen, wie dies in Generatoren mit Betrieb von Dämpfen und/oder Flüssigkeiten der Fall ist. Da ferner hohe Drehzahlen sowie eine einfache Regelung der Maschine möglich ist, kann die Betriebsweise der Maschine an unterschiedliche Strömungsbedingungen, beispielsweise in einem Gas-Flüssigkeits-Kanal angepasst werden.

[0013] Aufgrund des Gleitlagers in Kombination mit dem gekapselten Stator erlaubt die erfindungsgemäße Maschine eine Anwendung bei niedrigen und hohen Drehzahlen, wobei eine präzise Lagerung der Antriebswelle gewährleistet ist. Im Gegensatz zu herkömmlich verwendeten Kugellagern oder zu der in der zuvor erwähnten US Patentschrift hydrodynamischen Lagerung ist somit ein Betrieb der erfindungsgemäßen elektromechanischen Maschine in einer Vielzahl von Flüssigkeits- und Gasatmosphären über einen weiten Drehzahl- und Leistungsbereich möglich.

[0014] Das Vorsehen eines Spulenkörpers für die Statorwicklung erlaubt eine einfache und effiziente Bewicklung des Spulenkörpers sowie eine ausgezeichnete hermetische Abdichtung der Wicklung zum Rotor hin. Ferner ist durch die Innenwand des Spulenkörpers eine präzise Oberfläche vorgegeben, an der sich der Rotor während des Betriebs vorbeibewegt, so dass sich ein widerstandsarmes Strömungsverhalten für Flüssigkeiten ergibt und somit lediglich ein minimaler radialer Abstand zwischen der Rotoraußenfläche und dem Spulenkörper notwendig ist. Dadurch lässt sich der Spalt zwischen der Statorwicklung und dem Rotormagnet, der auch als Luftspalt bezeichnet wird, sehr genau durch die Materialdicke des Spulenkörpers und dem Abstand zwischen der Spulenkörperfläche und dem Rotormagneten einstellen.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform ist an

dem Spulenkörper ein Kammerbereich zur Aufnahme eines Wicklungsabschnitts der Statorwicklung vorgesehen.

[0016] Durch den Kammerbereich in dem Spulenkörper kann der üblicherweise in radialer Richtung eine größere Ausdehnung annehmende Wicklungskopf so auf dem Spulenkörper untergebracht werden, dass der Außendurchmesser, d.h. die dem Rotor abgewandte Seite der Statorwicklung im Bereich der das Magnetfeld erzeugenden Wicklung und im Bereich des Wicklungskopfs im wesentlichen gleich ist. Dadurch lässt sich der Spulenkörper nach der Bewicklung in ein Gehäuse einschieben, das beispielsweise einen bereits vorinstallierten Eisenring als magnetischen Rückschluss aufweist.

[0017] Vorzugsweise weist der Kammerbereich einen Durchmesser auf, der kleiner als der Durchmesser des restlichen Spulenkörpers ist.

[0018] Durch diese stufenartige Ausbildung des Spulenkörpers lässt sich beispielsweise der magnetisch nicht aktive Teil der Statorwicklung auf dem Spulenkörper unterbringen, ohne dass eine Zunahme der Länge des Spulenkörpers erforderlich ist.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform bildet der Spulenkörper mit Teilen der Gehäuseinnenwand einen hermetisch dichten, die Statorwicklung umschließenden Raumbereich.

[0020] Auf diese Weise lässt sich die Statorwicklung sowohl vom Innenraum, d.h. dem Raumbereich des Rotors, sowie von der die Maschine umgebenden Atmosphäre isolieren.

[0021] In einer Ausführungsform ist der der Endfläche zugewandte Rand des Spulenkörpers mit dem Gehäuse mittels eines Dichtelements verbunden. Dadurch ergibt sich eine effiziente Abdichtung zwischen Spulinnenraum und Gehäuse. Das Dichtelement kann als O-Ring ausgebildet sein.

[0022] In einer weiteren Ausführungsform ist der Raumbereich mit einem Füllmaterial gefüllt.

[0023] Auf diese Weise lässt sich eine rasche und zuverlässige Isolierung sowie eine hohe mechanische Stabilität erreichen.

[0024] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausbildung ist das Füllmaterial eine Vergussmasse, eine Flüssigkeit, ein Pulver, ein Gel oder dergleichen.

[0025] Vorteilhafterweise weist ist das Füllmaterial elektrisch isolierend und weist eine Wärmeleitfähigkeit von ungefähr 0,5 bis 2 Watt pro Meter und Kelvin auf.

[0026] Dieser Bereich der Wärmeleitfähigkeit stellt sicher, dass in der Statorwicklung erzeugte Wärme abtransportiert wird. Insbesondere, wenn die elektromechanische Maschine in einer Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, betrieben wird, ist eine sehr effiziente Kühlung gewährleistet, da der Rotor sowohl von der Gehäuseaußenseite her als vom Innenraum her, d.h. von dem Raumbereich des Rotors gekühlt wird. Damit lässt sich die elektromechanische Maschine beim Betrieb in einer Flüssigkeit im Überlastbetrieb betreiben, ohne dass nachteilige Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer der Maschine auftreten.

[0027] Das Vorsehen eines beispielsweise einpressbaren Lagerschilds erleichtert den Zusammenbau der Maschine, wobei durch den mechanischen Kontakt zwischen dem Lagerschild und dem Spulenkörper eine Trennung zwischen dem Raumbereich, in dem die Statorwicklung vorgesehen ist, und dem Raumbereich, in dem der Rotor vorgesehen ist, erreicht wird.

[0028] Durch eine nach innen hervorstehende ringförmige Erhebung des Lagerschilds wird ein mechanischer Kontakt zwischen dem Spulenkörper und dem Lagerschild in zuverlässiger Weise gewährleistet, so dass eine entsprechende Abdichtung des Stators erreicht ist. Dabei weisen ein der ringförmigen Erhebung zugewandter Rand des Spulenkörpers und ein dem Spulenkörper zugewandter Rand der ringförmigen Erhebung eine im Wesentlichen gleichen Schräge aus.

[0029] Durch diese Anordnung ergibt sich eine "gleitende" Kontaktfläche zwischen der ringförmigen Erhebung und dem Spulenkörper, wobei beim Montieren des Lagerschilds die beiden schrägen Ränder geringfügig aufeinander gleiten können, so dass sich eine leichte Toleranz in axialer Richtung ausgleichen lässt.

[0030] In einer weiteren Ausbildung umfassen ein der ringförmigen Erhebung zugewandter Rand des Spulenkörpers und ein dem Spulenkörper zugewandter Rand der ringförmigen Erhebung ein Dichtelement.

[0031] Durch dieses Dichtelement, beispielsweise in Form eines O-Rings ergibt sich eine einfache zuverlässige Dichtung.

[0032] In einer weiteren Ausbildung weisen der Lagerschild und/oder das Gehäuse ein Dichtelement zum Verschließen des Gehäuses auf.

[0033] In einer weiteren Ausbildung weist das Gehäuse zumindest eine Durchgangsöffnung zwischen dem Raumbereich, der zwischen dem Gehäuse und dem Spulenkörper gebildet ist, und der Umgebung

auf.

[0034] Die Durchgangsöffnung kann vorteilhafterweise bei der Befüllung des Raumbereichs, der die Statorwicklung enthält, verwendet werden. Bei Vorhandensein von zwei oder mehr Durchgangsöffnungen kann vorteilhafterweise eine Durchgangsöffnung als Einfüllöffnung und eine weitere Öffnung als Austrittsöffnung für überschüssiges Füllmaterial verwendet werden. Vorteilhafterweise ist die Durchgangsöffnung verschließbar.

[0035] In einer weiteren Ausführungsform sind die Sinterlager mit einem Schmiermittel getränkt.

[0036] Auf diese Weise ist eine exzellente Lagerung der den Rotormagnet tragenden Antriebswelle auch bei einem Betrieb in einer Gasatmosphäre gewährleistet. Vorteilhafterweise wird das Schmiermittel so gewählt, dass dieses mit dem umgebenden Medium, in dem die elektromechanische Maschine zu betreiben ist, kompatibel ist.

[0037] In einer weiteren Ausführungsform beträgt ein Spaltabstand zwischen der Statorwicklung und dem Permanentmagnet des Rotors ungefähr 0,3 bis 0,8 mm.

[0038] Diese Wahl des Spaltabstands zwischen der Statorwicklung und dem Rotor erlaubt zum einen eine hohe magnetische Kopplung zwischen den beiden Elementen, und zum anderen eine ausreichende Strömung zwischen dem gekapselten Stator und dem Rotor bei Verwendung der Maschine in einer Flüssigkeit.

[0039] In einer weiteren Ausbildung zeichnet sich die elektromechanische Maschine dadurch aus, dass die Stirnseite und/oder die Rückseite zumindest eine Durchgangsöffnung zu einem von dem Stator umschlossenen Innenraum aufweist.

[0040] Diese zumindest eine Durchgangsöffnung, die eine Fluidverbindung zu dem vom Stator umschlossenen Innenraum bildet, erlaubt einen Flüssigkeits- bzw. Gasaustausch mit der umgebenden Atmosphäre. Insbesondere bei Betrieb in einer Flüssigkeit, beispielsweise bei Anwendung als Pumpenmotor in Wasser, wird somit eine gewisse Strömung durch den Innenraum hervorgerufen, die zu einer sehr effizienten Kühlung des Motors beiträgt.

[0041] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist der Rotormagnet eine die gesamte freiliegende Oberfläche des Magneten schützende Beschichtung auf.

[0042] Dadurch ist der Magnet ganzflächig vor einer korrodierenden Wirkung bei Betrieb in einer Flüssigkeit oder in einer feuchten Atmosphäre zuverlässig

geschützt.

[0043] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Antriebswelle einen Auswuchtabschnitt zum selektiven Materialabtrag während des Auswuchtens des Rotors.

[0044] Durch das Vorsehen eines speziellen Auswuchtabschnitts kann der Rotor effizient ausgewuchtet werden, ohne dass Material von dem Magnetmaterial des Rotors entfernt werden muss. Auf diese Weise kann eine schützende Beschichtung vor der Montage der Maschine aufgebracht oder die ursprünglich vorhandene schützende Beschichtung erhalten werden.

[0045] In einer weiteren Ausgestaltung sind die Lager und der Rotor der elektromechanischen Maschine für einen Betrieb im Drehzahlbereich von Null bis 50.000 U/min. ausgebildet.

[0046] Das Verwenden von einem Lager für den obigen Drehzahlbereich sowie eines Rotors, der in diesem Drehzahlbereich betreibbar ist, wird ein großer Regelbereich der Maschine erreicht. Beim Betrieb der Maschine in einer Flüssigkeit wird bei sehr hohen Drehzahlen zusätzlich eine hydrodynamische Lagerwirkung erzielt, wodurch die integrierten Sinterlager entlastet werden. Die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine kann durch diesen hohen Drehzahlbereich in feuchten, nassen oder Dampfatmosphären bei hohem Druck eingesetzt werden. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Turbinenräder direkt mit der Antriebswelle der Maschine zu verbinden, so dass sich eine effiziente Umwandlung von mechanischer Drehbewegung in elektrische Energie bei sehr hohem Wirkungsgrad im kleinen bis mittleren Leistungsbereich erreichen lässt.

[0047] In einer weiteren Ausgestaltung weist die Statorwicklung im Bereich des Rotormagneten Wicklungsabschnitte auf, die im Wesentlichen parallel zur Antriebswelle verlaufen. Dadurch ergibt sich eine einfache Wicklungsgeometrie.

[0048] In einer weiteren Ausführungsform weist die Statorwicklung im Bereich des Rotormagneten Wicklungsabschnitte auf, die schräg zu Antriebswelle verlaufen.

[0049] Durch die schräge Wicklung kann der Magnetfeldverlauf in der elektromechanischen Maschine optimiert werden, wodurch sich der Wirkungsgrad der Maschine verbessern lässt.

[0050] In einer weiteren Ausbildung ist eine Ansteuerlektronik zur Erzeugung eines Statorfeldes vorgesehen. Durch das Bereitstellen einer geeigneten Ansteuerlektronik lässt sich die elektromechanische Maschine in einem weiten Bereich den mecha-

nischen Erfordernissen anpassen. Insbesondere kann die Ansteuerlektronik so ausgelegt werden, dass die Drehzahlverstellung der Maschine bei einer optimalen Statorfeldform möglich ist. Des Weiteren kann eine blockförmige Ansteuerung der Statorwicklung erfolgen, wobei vorzugsweise die Bestromung einzelner Statorwicklungen in Abhängigkeit von der aktuellen Rotorlage durchgeführt wird.

[0051] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Ansteuerlektronik an dem Gehäuse oder in dem Gehäuse angebracht und elektrisch zur Umgebung isoliert. Durch das Vorsehen der Ansteuerlektronik am oder in dem Gehäuse lässt sich eine sehr kompakte Bauweise verwirklichen, wobei lediglich der Anzahl der einzelnen Wicklungen der Statorwicklung eine entsprechende Anzahl von Zuleitungen erforderlich ist, um die Maschine zu betreiben. Vorteilhafterweise kann dabei die Ansteuerlektronik vollständig vergossen sein, so dass ein Betrieb in feuchten Umgebungen oder in einer Flüssigkeit problemlos möglich ist, wenn die Umgebungstemperatur entsprechend gering ist. Bei Betrieb der elektromechanischen Maschine in Umgebungen mit erhöhten Temperaturen, beispielsweise in Dampfatamosphären, kann das Zuführen bzw. Abführen elektrischer Leistung zu bzw. von der elektromechanischen Maschine durch temperaturbeständige Zuleitungen erfolgen, die mit einer entfernten Ansteuerlektronik verbunden sind.

[0052] In einer weiteren Ausführungsform weist die Ansteuerlektronik eine freigelegte Kühlfläche auf. Diese Kühlfläche ist insbesondere wirksam, wenn die Maschine in einer Flüssigkeit mit einer Temperatur von unterhalb 60 bis 70° C betrieben wird, da dann die Ansteuerlektronik im wesentlichen auf der Umgebungstemperatur gehalten werden kann.

[0053] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Ansteuerlektronik eine flüssigkeitsdichte wärmeleitende Ummantelung auf. Durch die wärmeleitende Ummantelung ergibt sich nicht nur eine ausgezeichnete Dichtigkeit gegenüber der umgebenden Atmosphäre, sondern auch eine hohe mechanische Stabilität und damit Robustheit der Ansteuerlektronik.

Ausführungsbeispiel

[0054] Weitere Merkmale und Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert und gehen ebenfalls aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor.

[0055] In den Zeichnungen zeigen:

[0056] [Fig. 1a](#) einen schematischen Querschnitt einer elektromechanischen Maschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei

der Rotor nicht eingezeichnet ist;

[0057] [Fig. 1b](#) einen schematischen Querschnitt der elektromechanischen Maschine aus [Fig. 1a](#) mit Rotor;

[0058] [Fig. 2](#) einen schematischen Querschnitt einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die Form der Statorwicklung und des Spulenkörpers im Vergleich zur vorhergehenden Ausführungsform geändert ist;

[0059] [Fig. 3](#) einen schematischen Querschnitt einer weiteren Ausführungsform einer elektromechanischen Maschine mit gekapseltem Stator; und

[0060] [Fig. 4](#) schematisch eine elektromechanische Maschine mit einer am Gehäuse angebrachten Ansteuerlektronik.

[0061] Mit Bezug zu den [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) wird zunächst ein anschauliches Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung beschrieben. In [Fig. 1a](#) weist eine elektromechanische Maschine **100**, die in diesem Beispiel als bürstenlose Gleichstrommaschine ausgelegt ist, ein Gehäuse **101** mit einer Endfläche **102** auf, in der ein Sinterlager **103** vorgesehen ist. Das Sinterlager **103** ist für Nass- und Trockenlauf ausgebildet und kann mit einem Schmiermittel getränkt sein. An der Innenwand des Gehäuses **101** ist ein ferromagnetischer Ring **104** vorgesehen, der beispielsweise aus geblechtem Eisenmaterial oder einem anderen geeigneten Material bestehen kann. Ein Spulenkörper **106**, der beispielsweise aus elektrisch isolierendem Material, wie etwa Kunstharz, diversen Kunststoffen, Ferrit, Keramik, etc., hergestellt sein kann, ist mit einer Statorwicklung **105** bewickelt. Die Statorwicklung **105** ist lediglich schematisch dargestellt und weist eine von dem Anwendungszweck abhängige Anzahl an einzelnen Wicklungen auf, wobei die einzelnen Wicklungen Wicklungsabschnitte im zentralen Bereich in der axialen Richtung aufweisen können, die im Wesentlichen parallel zur axialen Richtung verlaufen. In einer weiteren Ausführungsform kann die Statorwicklung **105** Wicklungsabschnitte aufweisen, die bezüglich der axialen Richtung im Bereich des ferromagnetischen Rings **104** schräg zur axialen Richtung verlaufen. In der weiteren Beschreibung sowie in den Zeichnungen wird die Statorwicklung **105** als eine dreiphasige Wicklung dargestellt, wobei die vorliegende Erfindung keinerlei Einschränkungen hinsichtlich der Anzahl der Phasen unterworfen ist.

[0062] An der zur Endfläche **102** gegenüberliegenden Seite des Gehäuses **101** ist ein Lagerschild **107** angebracht, in den ein zweites Sinterlager **111** eingepasst ist. Des Weiteren ist an dem Lagerschild **107** eine ringförmige Erhebung **108** ausgebildet, die in der vorliegenden Ausführungsform an dem der End-

fläche **102** zugewandten Rand **109** eine Schräge aufweist. Der Rand **109** der ringförmigen Erhebung **108** ist mit einem Rand **110** des Spulenkörpers **106** in Kontakt, wobei der Rand **110** ebenfalls eine Schräge aufweist, die vorzugsweise im Wesentlichen gleich der Schräge des Randes **109** ist. Des Weiteren sind in dem Lagerschild **107** Durchgangsöffnungen **112** ausgebildet, die einen durch die Endfläche **102**, den Spulenkörper **106** und den Lagerschild **107** begrenzten Innenraum **121** mit der umgebenden Atmosphäre strömungsmäßig verbinden. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind vier Durchgangsöffnungen **112** vorgesehen, jedoch kann eine beliebige Zahl an Durchgangsöffnungen vorgesehen sein, oder in gewissen Ausführungsbeispielen kann auf die Durchgangsöffnungen **112** gänzlich verzichtet werden. Des Weiteren ist es möglich, an der gegenüberliegenden Endfläche **102** ebenfalls eine oder mehrere Durchgangsöffnungen vorzusehen. Ferner können an der Endfläche **102** eine oder mehrere Durchgangsöffnungen **113** vorgesehen sein, die zumindest teilweise mit einem Füllmaterial **120** gefüllt sind, das ebenfalls den durch das Gehäuse **102**, den Spulenkörper **106** und die ringförmige Erhebung **108** abgegrenzten Raumbereich füllt. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt die Länge der elektromechanischen Maschine **100** ca. 47 mm und der Durchmesser ca. 26 mm. Es ist jedoch zu betonen, dass die Abmessungen der elektromechanischen Maschine **100** entsprechend der gewünschten Anwendung und der benötigten Abgabeleistung der Maschine variieren können. Des Weiteren ist an der Endfläche **102** eine gas- und flüssigkeitsdichte Durchföhrung **128** zur Aufnahme einer Anschlussleitung **129** vorgesehen. Die Durchföhrung **128** kann mit Vergussmasse oder einer geeigneten Dichtung (nicht gezeigt) abgedichtet sein. Alternativ oder zusätzlich kann eine gas- und flüssigkeitsdichte Steckverbindung (nicht gezeigt) am Gehäuse **101** vorgesehen sein. Die Durchföhrung **128** sowie die Steckverbindung können an einer beliebigen geeigneten Stelle am Gehäuse **101** vorgesehen sein.

[0063] **Fig. 1b** zeigt schematisch den Querschnitt der elektromechanischen Maschine **100**, wobei ein aus einer Antriebswelle **114**, einem auf der Antriebswelle **114** befestigten Permanentmagnet **115**, der mit einer schützenden Schicht (nicht gezeigt) versehen ist, so dass alle freigelegten Oberflächen abgedeckt sind, und Auswuchtbereichen **116** und **117** bestehender Rotor gezeigt ist. Der Magnet **115** bildet im Raumbereich **121** mit dem Spulenkörper **106** einen Spalt **122**, wobei der Spalt **122** zusammen mit der Materialstärke des Spulenkörpers **106** den effektiven magnetischen Widerstand zwischen dem Statorfeld und dem Rotorfeld definiert. Im allgemeinen wird der Abstand des Magneten **115** von der Statorwicklung **105** als Luftspalt bezeichnet, wobei in diesem Falle dieser Luftspalt aus dem Spalt **122** und der Wandstärke des Spulenkörpers **106** gebildet ist. Für ge-

wöhnlich weisen die Materialien, aus denen der Spulenkörper **106** hergestellt sein kann, Permeabilitätswerte auf, die gleich dem Permeabilitätswert von Luft sind.

[0064] Die Herstellung der elektromechanischen Maschine **100** kann beispielsweise die folgenden Schritte umfassen. Zunächst wird der Spulenkörper **106** mit einer geeigneten Länge und geeignetem Durchmesser bereitgestellt, wobei, wie zuvor erwähnt, der Rand **110** vorzugsweise eine Schräge aufweist. Anschließend wird der Spulenkörper **106** mit der Statorwicklung **105** bewickelt, wobei die Anzahl der einzelnen Wicklungen von anwendungstypischen Anforderungen abhängen. Die Größe, die Drahtstärke und die Anzahl der Windungen in den einzelnen Statorwicklungen hängen ebenfalls von dem spezifizierten Anwendungsfall ab. Bei der Bewicklung des Spulenkörpers **106** ist vorzugsweise darauf zu achten, dass der äußere Durchmesser der Statorwicklung **105** überall in etwa den gleichen Wert aufweist. Dies gilt insbesondere für den Teil der Wicklung, in der der Draht entlang dem Umfang des Spulenkörpers **106** geföhrt wird, um jeweils ein gegenüberliegendes Wicklungspaar zu verbinden. Nach der Bewicklung des Spulenkörpers **106** wird in dieser in das Gehäuse **101** eingeföhrt, in dem zuvor der ferromagnetische Ring **104** befestigt worden ist. Aufgrund des im Wesentlichen gleichen Außendurchmessers ist das Einföhren in das Gehäuse **101** mit bereits installiertem Eisenring **104** in einfacher Weise möglich. Alternativ kann der ferromagnetische Ring **104** nach dem Einföhren des Spulenkörpers **106** in das Gehäuse **101** eingeschoben und befestigt werden.

[0065] Vor oder nach dem Vorbereiten des Gehäuses **101** wird der Permanentmagnet **115**, der aus bekannten Magnetmaterialien, wie beispielsweise Materialien aus seltenen Erden, Eisenneodymmaterialien, etc., bestehen kann, auf der Welle **114** beispielsweise mittels eines Klebstoffes, etwa Lock-Tite, befestigt. Anschließend oder zuvor werden einer oder beide Auswuchtbereiche **116** und **117** auf der Antriebswelle **114** befestigt und der Rotor wird ausgewuchtet, wobei definiert Material an den Auswuchtbereichen **116** und/oder **117** abgetragen wird. Vorteilhaft dabei ist, dass kein Materialabtrag an dem Magnetmaterial **115** notwendig ist, so dass eine bereits aufgebrauchte Schutzschicht (nicht gezeigt) des Magneten **115** nicht beschädigt wird. Ferner erfolgt der Ausgleich einer Unwucht durch achsennahen Materialabtrag, so dass insgesamt das Trägheitsmoment des Rotors trotz des zusätzlichen Materials klein bleibt. Dadurch lässt sich ein hoher Drehzahlbereich von etwa 50.000 U/min. erreichen. Vorzugsweise ist daher der Durchmesser der Auswuchtbereiche **116** und **117** kleiner als der halbe Durchmesser des Magnetmaterials **115**.

[0066] Entsprechend einer weiteren Ausführungs-

form wird der Rotor vor dem endgültigen Befestigen des Magneten **115** auf der Antriebswelle **114** ausgewuchtet, indem der Magnet **115** mit seiner Bohrung, die ein geringfügiges Spiel im Bereich von Zehntel bis Hundertstel Millimeter aufweist, zunächst mittels einer speziellen Klebevorrichtung (nicht gezeigt) auf der Antriebswelle provisorisch befestigt. Anschließend wird die Unwucht des Rotors ermittelt und entsprechend der festgestellten Unwucht wird die Position des Magneten **115** in radialer Richtung verschoben, um damit die Unwucht zu reduzieren. Dies kann beispielsweise solange ausgeführt werden, bis der Kleber seine endgültige Härte erreicht hat. Diese Methode des Auswuchtens besitzt den Vorteil, dass die Unwucht des Rotors ohne Materialabtrag am Magnet **115** oder den Auswuchtbereichen **116** und **117**, die somit auch weggelassen werden können, minimiert werden kann. Insbesondere bei elektromechanischen Maschinen, die unteren Drehzahlbereich bis etwa 10000 U/min betrieben werden, reicht eine derartige Auswuchten ohne das Vorsehen der Auswuchtbereiche **116** und **117** zumeist aus. Daraus ergibt sich ein minimales Trägheitsmoment des Rotors. Ferner kann die Bohrung des Magneten **115** entsprechend vergrößert werden, so dass sich für das Auswuchten ein größerer radialer Einstellbereich ergibt. Die durch diesen Materialabtrag an der Bohrung bewirkte Verletzung einer bereits aufgetragenen Beschichtung des Magneten **115** wirkt sich nicht nachteilig auf die Beständigkeit des Magneten aus, da dieser Bereich durch das Klebemittel geschützt ist. Selbstverständlich kann das Verfahren auch in Kombination mit Materialabtrag an den Auswuchtbereichen **116** und/oder **117** angewendet werden.

[0067] Nach dem Auswuchten wird der aus der Antriebswelle **114**, den Auswuchtbereichen **116** und **117** sowie dem Magneten **115** bestehende Rotor in den durch den Spulenkörper **106** gebildeten Raumbereich **121** und in das Sinterlager **103** eingeführt. Anschließend wird der Lagerschild **107** auf das Gehäuse **101** aufgesetzt, wobei der angeschrägte Rand **109** der ringförmigen Erhebung **108** den Rand **110** des Spulenkörpers **106** andrückt und den Spulenkörper **106** gegen die Endfläche **102** presst. Dadurch wird erreicht, dass zum einen eine mögliche Fertigungstoleranz des Lagerschildes **107** und/oder des Spulenkörpers **106** und/oder des Gehäuses **101** in axialer Richtung ausgeglichen wird, und zum anderen, dass eine dichte Verbindung zwischen dem Lagerschild **107** und dem Spulenkörper **106** und zwischen der Endfläche **102** und dem Spulenkörper **106** entsteht. Dabei ist es vorteilhaft, dass zumindest ein Bereich des Spulenkörpers **106** und/oder die ringförmige Erhebung **108** eine gewisse Verformbarkeit besitzen, so dass durch eine entsprechende Verformung ein Abgleiten der beiden Ränder **109** und **110** eine axiale Toleranz ausgleicht. Vorteilhafterweise sind die ringförmige Erhebung **108** und/oder der Spulenkörper **106** so dimensioniert, dass auch bei der größten auf-

tretenden Toleranz gerade noch eine Berührung stattfindet.

[0068] Anschließend wird das Füllmaterial **120**, beispielsweise als Vergussmasse, durch die eine oder mehrere Durchführungen **113** eingefüllt, bis die eine oder mehrere Durchführungen **113** zumindest teilweise mit Füllmaterial **120**, beispielsweise mit Vergussmasse, gefüllt sind, wodurch sichergestellt ist, dass zumindest die Statorwicklung **105** im Wesentlichen vollständig von dem Füllmaterial **120** umschlossen ist. Das Befüllen des Raumbereichs zwischen dem Spulenkörper **106**, dem Lagerschild **107** und dem Gehäuse **101** ist unkritisch, da durch den Abschluss des Spulenkörpers **106** an dem Rand **110** und der Endfläche **102** bereits eine ausreichende Dichtigkeit zum Innenraum **121** hin gegeben ist. Vorzugsweise wird das Füllmaterial **120** in Form einer Vergussmasse eingefüllt, wobei die Vergussmasse elektrisch isolierend ist und vorzugsweise eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Damit ist eine ausreichende thermische Kopplung der Statorwicklung **105** an den Spulenkörper **106** und an das Gehäuse **101** gewährleistet. Mögliche kleine Hohlräume, die während des Befüllens mit Vergussmasse entstehen können, sind für die Funktion der elektromechanischen Maschine **100** ohne Auswirkungen.

[0069] Alternativ kann vor dem Aufsetzen des Lagerschildes **107** der zwischen dem Spulenkörper **106** und dem Gehäuse **101** gebildete Raumbereich mit dem Füllmaterial **120** teilweise aufgefüllt werden, so dass der Benetzungsgrad der Statorwicklung **105** beobachtbar ist. Anschließend wird dann der Lagerschild **107** aufgesetzt und die Befüllung kann durch eine an dem Lagerschild vorgesehene Öffnung (nicht gezeigt) oder durch die Durchführungen **113** vervollständigt werden.

[0070] [Fig. 2](#) zeigt im Querschnitt eine weitere Ausführungsform einer elektromechanischen Maschine **200**, wobei in [Fig. 2](#) die Teile der elektromechanischen Maschine **200** mit den gleichen jedoch um 100 erhöhten Bezugszeichen belegt sind wie in [Fig. 1](#). Die Beschreibung der entsprechenden Teile wird daher weggelassen. In [Fig. 2](#) weist der Spulenkörper **206** an dem der Endfläche **202** zugewandten Ende einen stufenartig nach innen abgesetzten Bereich **218** auf. In diesem Bereich **218** sind Wicklungsbereiche **219** dargestellt, mit denen gegenüberliegende Wicklungen der Statorwicklung **205** über den Umfang des Spulenkörpers **206** verbunden sind. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da im allgemeinen mehrphasige (beispielsweise dreiphasige) Motoren verwendet werden, wobei die mehreren Windungen möglichst raumsparend zu verbinden sind. In der in [Fig. 2](#) gezeigten Ausführungsform kann der Bereich **218** die über den Umfang geführten Wicklungsdrähte der drei Phasen bei relativ geringer axialer Ausdehnung aufnehmen, wobei sichergestellt ist, dass der

Außendurchmesser der Wicklungsbereiche **219** den Außendurchmesser der Statorwicklung **205** nicht überschreitet. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass der Spulenkörper **206** mit der Statorwicklung **205** und dem Wicklungsbereich **219** in das Gehäuse **201** einführbar ist, wenn der ferromagnetische Ring **204** bereits in dem Gehäuse **201** befestigt ist.

[0071] **Fig. 3** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer elektromechanischen Maschine **300**, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche aber im Vergleich zu **Fig. 2** um 100 erhöhte Bezugszeichen verwendet sind. In **Fig. 3** besitzt der Spulenkörper **306** an dem der Endfläche **302** zugewandten Ende ein Dichtelement **326**, das beispielsweise in Form eines O-Rings vorgesehen sein kann. Des Weiteren sind der Rand **310** des Spulenkörpers **306** sowie der Rand **309** des Lagerschildes **307** gerade ausgeführt, wobei der Rand **310** und/oder der Rand **309** ein Dichtelement **327** aufweisen, das beispielsweise in Form eines O-Rings ausgebildet ist. Ferner weist das Gehäuse **301** und/oder der Lagerschild **307** ein Dichtelement **328**, beispielsweise in Form eines O-Rings, auf.

[0072] Beim Zusammenbau der elektromechanischen Maschine entsprechend der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform wird beim Aufsetzen des Lagerschildes **307** dieser gegen den Spulenkörper **306** und gegen das Gehäuse **301** gepresst, so dass der Spulenkörper **306** gegen die Endfläche **302** gedrückt wird. Dabei ergibt sich aufgrund der Dichtelemente bzw. O-Ringe **326**, **327** und **328** eine hermetische Abdichtung des durch das Gehäuse **301**, den Spulenkörper **306** und den Lagerschild **307** definierten Raumbereichs. Fertigungstoleranzen in axialer Richtung werden durch die Verformung der Dichtelemente bzw. O-Ringe **326**, **327** und **328** ausgeglichen. Der Lagerschild **307** kann durch ein geeignetes Befestigungsmittel (nicht gezeigt) mit dem Gehäuse **301** verbunden werden. Zu geeigneten Befestigungsmitteln gehören beispielsweise Schrauben mit entsprechendem Gewinde im Gehäuse **301**, am Gehäuse angebrachte Stifte, die durch entsprechende Durchführungen im Lagerschild **307** mittels Schrauben befestigt werden, Gewindestifte, die sich über die gesamte Länge des Gehäuses **301** erstrecken, Ringschellen, etc.

[0073] Durch die Kapselung des Stators **305** mittels der Dichtelemente **326**, **327** und **328** ist eine Befüllung des durch den Lagerschild **307**, den Spulenkörper **306** und dem Gehäuse **301** definierten Raumbereichs nicht notwendig. Alternativ kann dieser Raumbereich mit einem Füllmaterial mit hoher elektrischer Isolationsfähigkeit und mit hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise in Form eines Granulats, eines Pulvers, einer Flüssigkeit, eines Gel, etc., durch beispielsweise die Durchführung **313**, die mit einem entsprechenden Verschlusselement (nicht gezeigt), beispielsweise einer Kappe, verschließbar ist, befüllt

werden. Somit kann eine gute thermische Kopplung der Statorwicklung **305** an den Spulenkörper **306** und das Gehäuse **301** erreicht werden. Die in **Fig. 3** dargestellte Ausführungsform erlaubt es, in einfacher Weise die elektromechanische Maschine zu demonstrieren, so dass eventuell anstehende Wartungsarbeiten, wie beispielsweise Austauschen der Lager **303** und/oder **311**, in einfacher Weise auszuführen sind. Ferner können ganz Baugruppen, wie beispielsweise das Gehäuse **301** und/oder der Lagerschild **307** und/oder der Stator **305** mit dem Spulenkörper **306** und/oder der Rotor ausgetauscht werden, wobei die restlichen Komponenten wiederverwendbar sind. Diese Bauweise ist besonders vorteilhaft für elektromechanische Maschinen im mittleren und hohen Leistungsbereich, so dass eine Wartung der Maschinen bei minimalen Materialaufwand möglich ist. Ferner kann in dieser Ausführungsform der Spulenkörper **306** aus einem mechanisch sehr stabilen Material hergestellt sein, da eine Verformung zum Ausgleich von Toleranzen durch die entsprechenden Dichtelemente stattfinden kann. In einer weiteren Ausführungsform ist die ringförmige Erhebung **308** nicht vorgesehen und statt dessen ist der Spulenkörper **306** über die gesamte Länge ausgebildet, wobei das Ende des Spulenkörpers mittels eines Dichtelementes mit dem eben ausgebildeten Lagerschild **307** verbunden ist. Des Weiteren kann beim Zusammenfügen dieser Maschine beispielsweise die Statorwicklung **305** mit dem Spulenkörper **306** verklebt oder vergossen werden.

[0074] Im Betrieb der elektromechanischen Maschine **100** oder **200** oder **300** (im folgenden werden nur die Bezugszeichen der **Fig. 1** verwendet) wird den Statorwicklungen **105** eine geeignete Spannung und ein geeigneter Strom zugeführt, so dass das entstehende Statorfeld den Rotor mitzieht. Wenn die elektromechanische Maschine **100** in einer Flüssigkeit betrieben wird, bildet sich im Innenraum **121** aufgrund der Drehbewegung des Rotors eine Strömung aus, die durch die Durchgangsöffnungen **112**, sowie die unvermeidlichen Undichtigkeiten an den Lagern **103** und **111** einen Strömungsaustausch mit der Umgebung des Motors bewirkt. Somit ist der gesamte Innenraum **121** einschließlich des Spalts **122** mit Flüssigkeit gefüllt, wodurch sich zugleich eine hydrodynamische Lagerung des Rotors sowohl in der radialen als auch in axialer Richtung ergibt. Dadurch werden bei hohen Drehzahlen die auf die Lager **102** und **111** wirkenden Kräfte reduziert. Bei Versuchen, die von den Erfindern durchgeführt worden sind, ergab sich ein Drehzahlbereich von Null bis 50.000 U/min, für elektromechanische Maschinen **100** im Leistungsbereich von wenigen Watt bis einige Hundert Watt.

[0075] Wenn die Umgebungstemperatur der Flüssigkeit deutlich unter der Betriebstemperatur der elektromechanischen Maschine **100** im Vergleich zum Betrieb in einer umgebenden Gasatmosphäre

bei Zimmertemperatur liegt, so ergibt sich durch die Strömung im Raumbereich **121**, sowie durch die thermische Ankopplung des Stators **105** an das Gehäuse **101** eine erhöhte Kühlleistung, die den Betrieb des Motors in einem erhöhten Leistungsbereich ermöglicht. Ein typischer Anwendungsbereich für die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine ist der Einsatz als Pumpenmotor, wobei vorteilhafterweise keine aufwendige Dichtung zwischen dem Pumpengehäuse und dem Motor notwendig ist. Ferner können in einfacher Weise Pumpenausführungsformen verwirklicht werden, da lediglich entsprechende Schaufelräder, etc. auf die Antriebswelle **114** aufgesetzt werden müssen. Durch die hohe elektrische sowie mechanische Zuverlässigkeit der erfindungsgemäßen elektromechanischen Maschine **100** ist eine Verwendung in kritischen Anwendungen, beispielsweise als Förderpumpe von Flüssigkeiten, wie Benzin, Diesel, Öl, etc., sowie Anwendungen in medizinischen Bereichen vorteilhaft. Ferner erlaubt es der konstruktive Aufbau der erfindungsgemäßen elektromechanischen Maschine **100**, dass diese sowohl in einer Gas-, als auch in einer Flüssigkeitsatmosphäre betrieben wird. Beim Betrieb in einer Gasatmosphäre ist zu berücksichtigen, dass die thermische Kopplung der Statorwicklung **105** an die Umgebung über das Gas stattfindet, so dass die Kühlleistung einer konventionellen Maschine entspricht und im Vergleich zum Betrieb in einer Flüssigkeit mit tiefer Temperatur verringert ist. In gewissen Anwendungsbereichen kann es daher vorteilhaft sein, die elektromechanische Maschine **100** zumindest teilweise in eine entsprechende Flüssigkeit einzutauchen, so dass eine hohe Kühlleistung erreicht wird, da die Kühlflüssigkeit sowohl das Gehäuse **101** zumindest teilweise umgibt und den Innenraum **121** zumindest teilweise ausfüllt. Bei einer entsprechenden Anwendung kann es beispielsweise vorteilhaft sein, die elektromechanische Maschine **100** in nahezu vertikaler Ausrichtung zu betreiben, da dann lediglich ein Behälter als Kühlmittelgefäß notwendig ist, wobei an der oberen offenen Seite des Behälters ohne mechanischen Aufwand eine Lastmaschine an der Antriebswelle **114** ankopplbar ist. Ein weiterer vorteilhafter Verwendungszweck ergibt sich bei der Verwendung beispielsweise als dampfgetriebener Generator, wobei entsprechende Turbinenschaufelräder direkt an der Antriebswelle **114** befestigbar sind. Aufgrund des konstruktiven Aufbaus der erfindungsgemäßen elektromechanischen Maschine **100** kann diese ohne Beeinträchtigung direkt im Dampfstrahl betrieben werden, wobei lediglich die verwendeten Materialien für den Lagerschild **107** und Spulenkörper **106** für erhöhte Temperaturen von etwa 120° bis 180° C auszulegen sind. Da die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine **100** bis zu einem Drehzahlbereich von 50.000 einsetzbar ist, können die bei einem Turbinenbetrieb auftretenden hohen Drehzahlen ohne ein entsprechendes Getriebe direkt an die erfindungsgemäße elektromechanische Maschine **100** übertragen wer-

den, wobei der hohe Wirkungsgrad der Maschine eine Anwendung auch im unteren und mittleren Leistungsbereich attraktiv erscheinen lässt.

[0076] **Fig. 4** zeigt schematisch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen elektromechanischen Maschine **400**, wobei eine entsprechende Ansteuer-elektronik **430** an dem Gehäuse **401**, beispielsweise als ringförmige Platine an der Endfläche **402** befestigt ist. Je nach Verwendungszweck kann die Ansteuer-elektronik **430** lediglich vergossen sein oder eine elektrisch isolierende Ummantelung aufweisen, so dass eine hohe mechanische und elektrische Integrität der Elektronik **430** erreicht wird. Je nach Anwendungszweck kann die Ansteuer-elektronik **430** entsprechend ausgebildete Kühlflächen aufweisen, so dass ein Betrieb bei hoher Leistung mit minimalen Bauvolumen der Ansteuer-elektronik **430** erreichbar ist. Insbesondere bei der Verwendung der elektromechanischen Maschine **400** in einer Flüssigkeit mit relativ geringer Temperatur lässt sich die Kühlleistung für die Ansteuer-elektronik **430** bei gleichbleibender Oberfläche deutlich steigern. Somit kann eine große Leistung auf einfache Weise elektromechanisch umgewandelt werden. Es können äußerst leistungsfähige Antriebe für große Pumpen, Schiffe, etc. aufgebaut werden.

[0077] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Ansteuer-elektronik **430** in das Gehäuse **401** integriert, beispielsweise indem das Gehäuse **401** an der Seite der Endfläche verlängert ist. Auf diese Weise ergibt sich eine erhöhte Robustheit der kombinierten Maschine-Elektronik-Einheit, wobei dennoch eine optimale Kühlung der Ansteuer-elektronik erreicht wird, wenn die Einheit in einer Flüssigkeit betrieben wird.

Patentansprüche

1. Elektromechanische Maschine mit einem Gehäuse (**101**, **201**, **301**, **401**) mit einer Stirnseite und einer Rückseite, die jeweils ein zur Lagerung einer einen Permanentmagneten (**115**) umfassenden Antriebswelle (**114**) vorgesehene Lager (**103**, **111**; **203**, **211**; **303**, **311**) aufweisen, wobei die Wicklung (**105**, **205**, **305**) des Stators vergossen ist, wobei an der Stirnseite und/oder an der Rückseite des Gehäuses (**101**, **201**, **301**, **401**) ein Lagerschild (**107**, **207**, **307**) vorgesehen ist, der mit dem Spulenkörper (**106**) in Kontakt ist, wobei der Lagerschild (**107**, **207**, **307**) eine in Längsrichtung und nach innen hervorstehende ringförmige Erhebung (**108**, **208**, **308**) aufweist, wobei die Statorwicklung (**105**, **205**, **305**) auf einen aus elektrisch isolierenden Material hergestellten Spulenkörper (**106**, **306**) aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein der ringförmigen Erhebung (**108**, **208**) zugewandter Rand (**110**, **210**) des Spulenkörpers (**106**) und ein

dem Spulenkörper (106) zugewandter Rand (109, 209) der ringförmigen Erhebung (108, 208) eine im Wesentlichen gleiche Schräge aufweisen.

2. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 1, wobei die elektromechanische Maschine als büstenlose Gleichstrommaschine betreibbar und für Dauerbetrieb ausgelegt ist, und wobei ein Spalt zwischen dem gekapselten Stator und dem auf der Antriebswelle (114) befestigten Permanentmagneten (115) des Rotors während des Betriebs mit Flüssigkeit und/oder Gas beaufschlagbar ist.

3. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 1, wobei der Stator gekapselt ist und das Lager (103, 111; 203, 211; 303, 311) ein Gleitlager ist, das zur Lagerung der Antriebswelle (114) für Nass- und Trockenlauf geeignet ist.

4. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Spulenkörper einen Kammerbereich (218) zur Aufnahme eines Wicklungskopfs der Statorwicklung aufweist.

5. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Kammerbereich (218) einen Durchmesser aufweist, der kleiner als der Durchmesser des restlichen Spulenkörpers ist.

6. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Spulenkörper (106, 306) mit Teilen der Gehäuseinnenwand einen hermetisch dichten, die Statorwicklung umschließenden Raumbereich bildet.

7. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der dem Gehäuse (301) zugewandte Rand des Spulenkörpers (306) mit dem Gehäuse (301) mittels eines Dichtelements (326) verbunden ist.

8. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Dichtelement (326) ein O-Ring ist.

9. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Raumbereich mit einem Füllmaterial (120, 220, 320) gefüllt ist.

10. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Füllmaterial (120, 220, 320) eine Vergussmasse und/oder eine Flüssigkeit und/oder ein Pulver und/oder ein Gel ist.

11. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Füllmaterial (120, 220, 320) elektrisch isolierend ist und

eine Wärmeleitfähigkeit im Bereich von 0.5 bis 2.0 Watt pro Kelvin und Meter aufweist.

12. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein dem Lagerschild (307) zugewandter Rand (310) des Spulenkörpers (306) und/oder ein dem Spulenkörper (306) zugewandter Rand (309) der ringförmigen Erhebung ein Dichtelement (327) aufweisen.

13. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Lagerschild (307) und/oder das Gehäuse (301) ein Dichtelement (328) zum Verschließen des Gehäuses (301) aufweisen.

14. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (101, 201, 301) zumindest eine Durchgangsöffnung (113, 213, 313) zwischen dem Raumbereich, der zwischen dem Gehäuse (101, 201, 301) und dem Spulenkörper (106, 306) gebildet ist, und der Umgebung aufweist.

15. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Durchgangsöffnung (113, 213, 313) einen dichtenden Verschluss umfasst.

16. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnseite und die Rückseite jeweils ein für Nass- und Trockenlauf geeignetes Lager (103, 111; 203, 211; 303, 311) umfassen, welches ein Sinterlager ist.

17. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 3 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Sinterlager mit einem Schmiermittel getränkt sind.

18. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Spaltabstand (122) zwischen der Statorwicklung und dem Permanentmagnet (115) des Rotors ungefähr 0,3 bis 0,8 mm beträgt.

19. Elektromechanische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnseite und/oder die Rückseite zumindest eine Durchgangsöffnung (112, 212, 312) zu einem von dem Stator umschlossenen Innenraum aufweist.

20. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (115) des Rotors eine die gesamte freiliegende Oberfläche des Magneten schützende Beschichtung aufweist.

21. Elektromechanische Maschine nach einem

der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswelle (**114**) einen Auswuchtabschnitt (**116, 117**) zum selektiven Materialabtrag während des Auswuchtens des Rotors aufweist.

22. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Auswuchtabschnitt (**116, 117**) einen Durchmesser aufweist, der kleiner als der halbe Rotordurchmesser ist.

23. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lager und der Rotor für einen Betrieb im Drehzahlbereich von 0 bis ungefähr 50000 Umdrehungen pro Minute ausgebildet sind.

24. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Statorwicklung im Bereich des Permanentmagneten (**115**) des Rotors Wicklungsabschnitte aufweist, die im Wesentlichen parallel zu der Antriebswelle (**114**) verlaufen.

25. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Statorwicklung im Bereich des Permanentmagneten (**115**) des Rotors Wicklungsabschnitte aufweist, die schräg zur Antriebswelle (**114**) verlaufen.

26. Elektromechanische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ansteuerelektronik (**430**) zur Erzeugung eines Stator Drehfeldes vorgesehen ist.

27. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerelektronik (**430**) an dem Gehäuse (**401**) oder in dem Gehäuse (**401**) angebracht und elektrisch zur Umgebung isoliert ist.

28. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerelektronik (**430**) eine freigelegte Kühlfläche aufweist.

29. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerelektronik (**430**) eine flüssigkeitsdichte wärmeleitende Ummantelung aufweist.

30. Elektromechanische Maschine nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerelektronik (**430**) in dem Gehäuse (**401**) vorgesehen ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

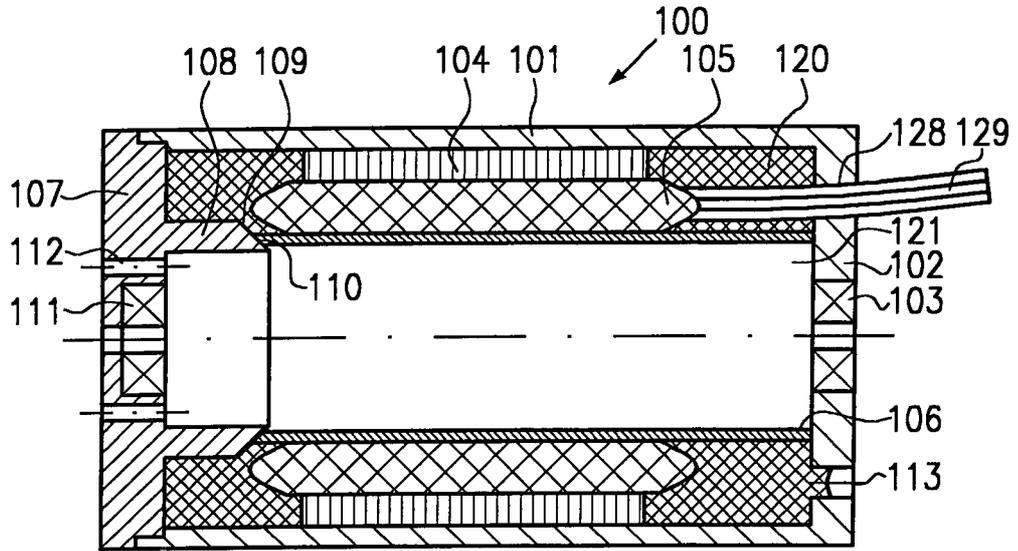


FIG.1a

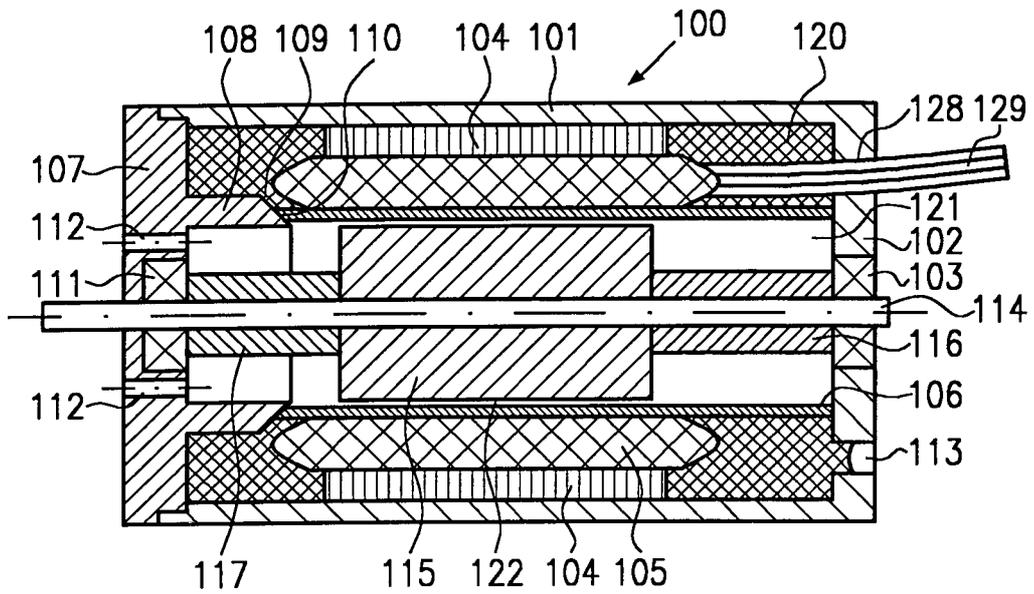


FIG.1b

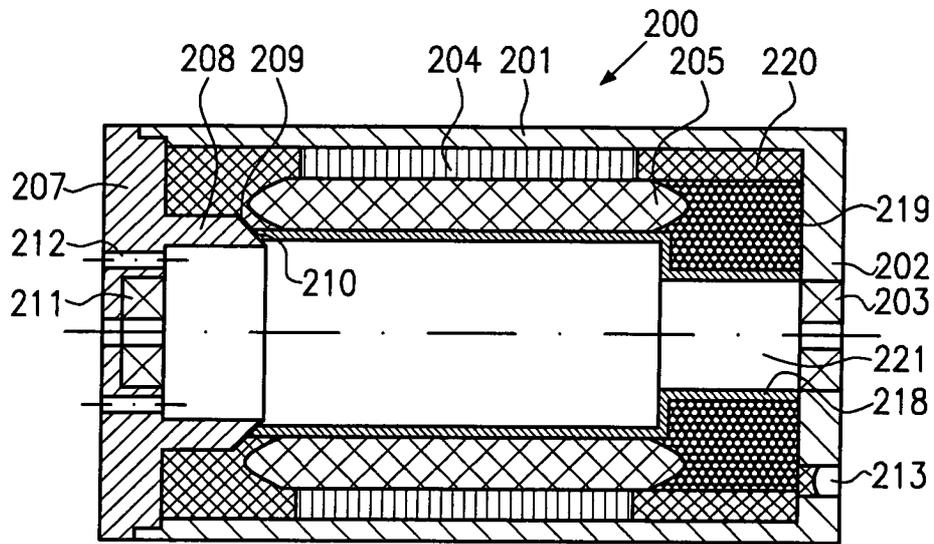


FIG.2

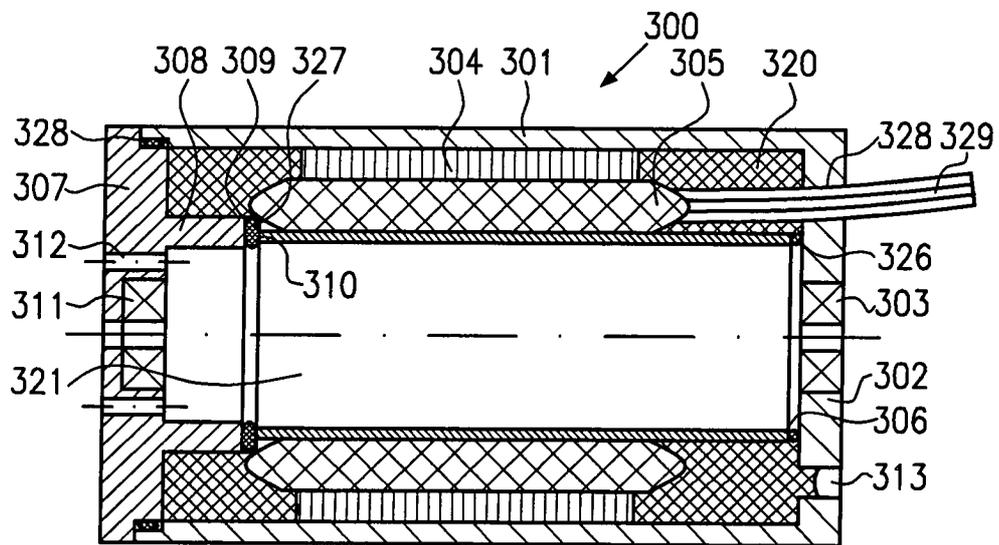


FIG.3

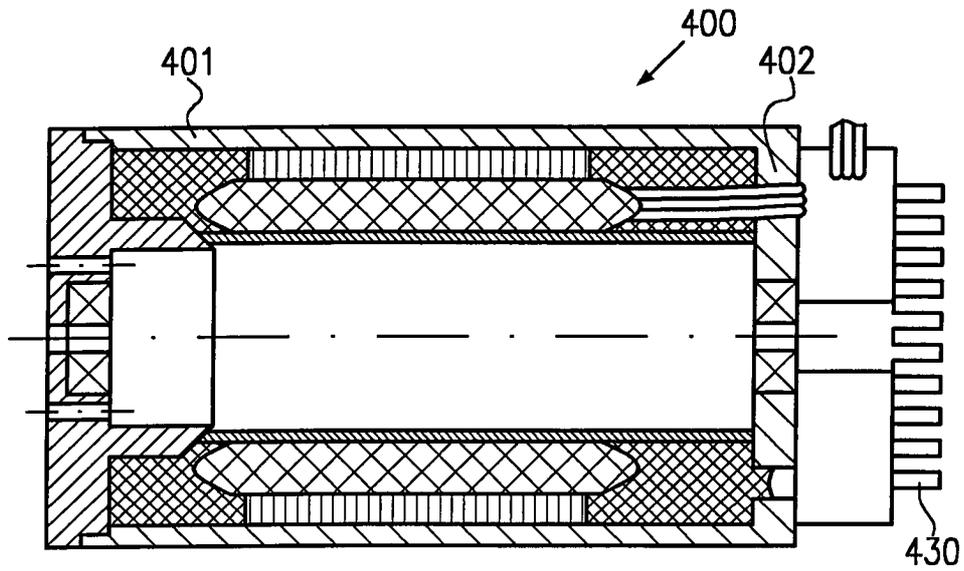


FIG.4