



18 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 101 64 435 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
H 02 K 31/00

21 Aktenzeichen: 101 64 435.3
22 Anmeldetag: 29. 12. 2001
43 Offenlegungstag: 7. 8. 2003

DE 101 64 435 A 1

71 **Anmelder:**
Schäfer, Friedbert, 97264 Helmstadt, DE

72 **Erfinder:**
gleich Anmelder

66 **Entgegenhaltungen:**

DE-AS 25 37 548
DE 25 34 511 B2
DE 100 63 230 A1
US 54 26 338 A
US 62 45 440

MOLE et al.: Superconducting Electrical Machinery, Proceedings of the IEEE, Vol. 6, No. 1, Januar 1973, S. 96-105;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 **Flossenlose Mantelfeld-Homopolarmaschine mit integriertem Magnetlager**

57 **Mantelfeld-Homopolarmaschine, deren wesentliches Strukturelement aus zwei ferromagnetischen Mantelfeld-Kernhälften besteht, welche über einen trennenden Luftspalt hinweg ein gemeinsames magnetisches Mantelfeld führen. Der mit dem Mantelfeld wechselwirkende Gleichstrom wird über die jeweiligen Polflächen der beiden Kernhälften geführt. Dabei wird die Stromrichtung so vorgegeben, dass auf die beiden Kernhälften ein gegensinniges Drehmoment ausgeübt wird. Bei geeigneter Lagerung wird somit ein getriebeloser Direktantrieb für gegenläufige Propeller möglich (High Torque Drive for contra-rotating propellers). Im Zusammenspiel mit Brennstoffzellen und Hochtemperatur-Supraleitung kann ein hochintegrierter und effizienter Schiffsantrieb realisiert werden.**

Das systeminhärente magnetische Axiallager kann eine mechanische Axiallagerung des Innenläufers im Außenläufer überflüssig machen. Diese Eigenschaft lässt sich für schwere Schwunghängespeicher und Drallräder nutzen.

Als Generator kann die Maschine als Stromlieferant für die Elektrolyse von Wasser eingesetzt werden oder für andere Hochstromanwendungen wie z. B. Fusionsreaktoren oder Railguns.

DE 101 64 435 A 1

[0001] Wasserstoff besitzt eine hohe Energiedichte und wird in Brennstoffzellen ohne schädliche Nebenprodukte mit dem Sauerstoff der Luft verbrannt. Dabei wird elektrische Energie in Form von Gleichstrom erzeugt. Diese Energiewandlung kann mit hohem Wirkungsgrad erfolgen. Damit die elektrische Energie der Brennstoffzelle ohne Umrichter drehzahlvariabel und getriebelos in mechanische Energie umgesetzt werden kann, werden für künftige Schiffsantriebe, welche mit Wasserstoff statt mit Dieselmotoren mit hoher Kraftdichte benötigt. Zum wirklich umweltfreundlichen Betrieb der Brennstoffzellen wird Wasserstoff benötigt, der aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird. Für die Erzeugung des Wasserstoffs mittels Elektrolyse, werden Gleichstrom-Generatoren benötigt, die in der Lage sind, hohe Strommengen zu liefern.

[0002] Eine Maschine, die als Universalmaschine für beide Energiewandlungen eingesetzt werden kann ist die nun vorgeschlagene flossenlose Mantelfeld-Homopolarmaschine.

[0003] Der Begriff Mantelfeld-Homopolarmaschine wird in meiner Patentanmeldung vom 19.12.2000 (DE 100 63 230 A1) erstmals verwendet. Bereits am 01.08.1975 wurde von Prof. Peter Klaudy (Erfinder) und der Fa. Siemens (Anmelder) eine Unipolarmaschine angemeldet (DE 25 34 511 B2), welche prinzipiell die gleiche magnetische Feldstruktur verwendet wie sie in meiner oben genannten Schrift beschrieben wird. Die von Prof. Klaudy beschriebene Maschine kann somit ebenfalls als Mantelfeld Homopolarmaschine bezeichnet werden. Die Lektüre dieser beiden Schriften wird zum besseren Verständnis der nachfolgend beschriebenen Erfindung empfohlen. Beide vorgenannten Erfindungen haben den gemeinsamen Nachteil, dass sie zu sehr das Vorbild der Faraday'schen Scheibe nachahmen, ohne die mechanischen Probleme ausreichend zu würdigen, die sich bei deren technischen Realisierung ergeben.

[0004] Drei Nachteile der Vorgängerversionen sollen durch die nachfolgend beschriebene Erfindung beseitigt werden:

1. Radial verlaufende Luftspalte (gemeint sind Luftspalte, welche orthogonal zur Drehachse angeordnet sind) erfordern zusätzliche Stützkörper, welche eine Annäherung der Mantelfeld-Segmente verhindern.
2. Durch die Verwendung von Scheiben oder Flossen als Träger des mit dem Erregerfeld wechselwirkenden Stromes werden aus einem Luftspalt effektiv zwei Luftspalten. Um einen ungewollten mechanischen Kontakt zwischen Läuferflosse und Erregereinheit auszuschließen, müsste der Luftspalt wesentlich größer bemessen werden als in konventionellen elektrischen Maschinen, welche nur einen axialen Luftspalt zwischen den beiden Hauptelementen besitzen.
3. Um die Scheibe bzw Flosse ausreichend stabil und tragfähig zu machen müsste sie entsprechend dick dimensioniert werden, womit der magnetische Widerstand im Mantelfeld stark ansteigt, sofern die Flosse nicht mit hochpermeablen Material verstärkt wird.

[0005] Ein vierter Nachteil, der allen Gleichstrom Homopolarmaschinen gemeinsam ist, besteht in der Notwendigkeit, sehr große Strommengen über Bürsten übertragen zu müssen. Durch die flossenlose Mantelfeld Homopolarmaschine, zumindest in der contrarotorischen Version, wird der Nachteil abgeschwächt. Bisher wurden für vier aktive Läu-

ferflossen acht Bürstenanordnungen benötigt. Die neue Version benötigt nur noch fünf Schleifkontaktzonen für vier drehmomentbildende bzw. induktionsstromliefernde Wandungssegmente. Bei geschickter Kombination zweier Funktionseinheiten kann man den Vorteil noch verbessern. (Siehe Anspruch 6.)

[0006] Für die Gestaltung der Bürstenanordnungen findet man in der US-Patentschrift 6,245,440 ("Continuous metal fiber brushes") wertvolle Hinweise.

[0007] Als Hauptanwendung der mechanisch verbesserten neuen Version wird der Einsatz als High-Torque-Antrieb für gegenläufige Schiffsschrauben oder andere gegenläufige Rotoren mit hoher Drehmomentanforderung anvisiert. Gegenläufige Propeller, welche über konzentrische Hohlwellen angetrieben werden, besitzen gegenüber einfachen Schiffspropeller einen besseren Propulsionswirkungsgrad. Daraus ergibt sich für die Konstruktion die zusätzlich einzuhaltende Forderung, dass beide Hauptelemente gleichermaßen rotationsstauglich sein müssen.

[0008] Die nun vorliegende Version einer Mantelfeld-Homopolarmaschine beseitigt die genannten Nachteile der Vorgängerversionen und erleichtert durch eine weitgehend ähnliche Gestaltung der Hauptelemente deren Verwendung in contrarotorischen Anwendungen. Die Maschine ist nun vorrangig als Läufer-Gegenläufer-Maschine konzipiert, so wirkt auf das Fundament der Maschine keinerlei Rückdrehmoment. Dieses Konzept erleichtert die Leistungsbereitstellung an den Schiffs-Schrauben über extrem hohe Drehmomente bei relativ niedrigen Drehzahlen.

[0009] Im Umkehrbetrieb kann die Maschine als Gleichstrom-Generator für Hochstromanwendungen eingesetzt werden. Die nun vorgeschlagene Bauart sollte noch besser als andere Bauformen geeignet sein, die Bewegungsenergie strömender Medien wie Luft oder Wasser in elektrische Energie umzuwandeln. So wie gegenläufige Schiffs-Schrauben einen besseren Wirkungsgrad bei der Propulsion liefern, so sollte auch der Einsatz gegenläufiger Turbinenräder im Generatorbetrieb eine höhere Ausnutzung der Strömungsenergie erwarten lassen. Windkraftwerke, Gezeitenkraftwerke und Meeresströmungskraftwerke können von dieser Erfindung profitieren. Bei Wirtschaftlichkeitserwägungen kann die minimal erforderliche Strömungsgeschwindigkeit deutlich geringer angesetzt werden. Die Speicherung der regenerativ gewonnenen elektrischen Energie kann nach der Elektrolyse von Wasser in Form von Wasserstoff erfolgen.

[0010] Die Funktionsweise der flossenlosen Mantelfeld-Homopolarmaschine soll nun am Beispiel eines Direktantriebs für gegenläufige Schiffspropeller erläutert werden:

Über die Schleifkontaktringe (9) und (13) werden über viele Einzelbürsten mehrere parallel geschaltete Gleichstromquellen, vorzugsweise Brennstoffzellen elektrisch mit der Maschine verbunden. Da es sich bei der Maschine um eine Hochstrom-Maschine handelt, ist es sinnvoll, zur Begrenzung der Leitungsverluste den Strom über supraleitende Kabel zuzuführen. Gleichstrom kann in supraleitenden Kabel über weite Strecken verlustfrei weitergeleitet werden. Innerhalb der Maschine kann bei entsprechend großzügig bemessener Stärke der Strombelage-Wandungen (5), (6), (7) und (8), sowie ausreichender Querschnittsauslegung der Bürstenzuleitungen der Ohmsche Widerstand vernachlässigbar klein gehalten werden. Die Wandungen bestehen aus elektrisch gut leitendem Material und sind gegen die Kernhälften (1) und (2) des Mantelfeldes elektrisch isoliert. Das Kernmaterial seinerseits ist massiv und besitzt vorzugsweise extrem hohe magnetische Permeabilität, um den erforderlichen Magnetisierungsstrom, der in Form von Gleichstrom die Schalenwicklungen (3) und (4) durchfließt, zu minimieren. Dieser Erregerstrom wird übrigens in Achsennähe über

eigene, in den Zeichnungen nicht dargestellte Schleifkontakte zugeführt, oder fließt im Falle der supraleitenden Ausföhrung als Kurzschluss-Strom verlustfrei durch die Erregerwicklungen.

[0011] Die Strombelagswandungen dürfen wegen des magnetischen Widerstands, den diese Wandungen für den zirkularen Fluss darstellen, nicht zu großzüüg bemessen werden. Der erforderliche Erregerstrom wird größtenteils durch die Luttspaltweite und die Stärke der Strombelagswandungen bestimmt. Der Wicklungsraum für die innere Schaltungswicklung (4) ist in den Zeichnungen vielleicht etwas knapp dargestellt. Vor allem bei Ausführungen, die auf Supraleitung verzichten, muss dieser Raum aufgeweitet werden.

[0012] Als Leitermaterial für die Erregerwicklungen und für die Verbindungskabel zwischen Spannungsquelle(n) und Maschine stehen neuerdings Hochtemperatur-Supraleiter (kurz: HTSL) zur Verfügung. Die amerikanische Firma American Superconductor stellt bereits flexible HTSL-Kabel in ausreichenden Längen zur kommerziellen Nutzung bereit. Der zur Kühlung notwendige Stickstoff kann im Zentrum der Achse über geeignete Vorrichtung dem Innenläufer auch während der Rotation zugeführt werden. Hier haben die gegeneinander beweglichen Abdichtungen eine niedrige gegenseitige Relativgeschwindigkeit. Die notwendigen Technologien zur Kühlung des Innenläufers sind verfügbar. Beim Außenläufer wird zumindest in der hier bevorzugten Anwendung mit zwei gegenläufigen Hauptelementen auf eigene Erregerwicklungen verzichtet. Der zirkulare magnetische Kreis wird über das hochpermeable Kernmaterial (2) des Außenläufers geschlossen. Die mechanischen Verbindungen außerhalb der magnetischen Kreishälften des Innenläufers und des Außenläufers sind aus unmagnetischem, hochfestem Material so ist gewährleistet, dass der magnetische Fluss weitgehend vollständig und fast ohne Streuverluste die Strombelagewandungen durchdringt.

[0013] Bei Anwendungen, welche nur einen rotierenden Läufer benötigen, bei der also eine Kern-Hälfte des Mantelfeldes fest verankert ist und die andere Hälfte rotiert, befinden sich die Erregerwicklungen bevorzugt am feststehenden Teil. Dann kann der Erregerstrom über ruhende Verbindungen zugeführt werden. Zur Verringerung der Stromdichte in den Schalenwicklungen kann bei Ausführungen mit feststehenden Außenteil der Erregerstrom auf beide Kernhälften verteilt installiert werden.

[0014] Die Wandungen bilden das Flussbett für den Läuferstrom, welcher im wesentlichen nur im Bereich der Stirnflächen, welche ich mit Wirkzonen bezeichne, mit dem zirkularen Mantelfeld drehmomentbildend reagiert. Die Stromföhrung erfolgt durch vier Wirkzonen hindurch so; dass nach der "Rechte-Hand-Regel" die resultierenden Tangentialkräfte F die gewünschten Drehrichtungen erzwingen; Für die Berechnung der Partialkräfte auf jedes einzelne der vier Wandungssegmente (6), (7), (8) und (9) kann die "Dicke" des Mantelfeldes als wirksame Leiterlänge eingesetzt werden.

[0015] Die Mantelfeld-Homopolarmaschine ist rotations-symmetrisch aufgebaut. Fig. 1 zeigt anschaulich in einer dreidimensionalen Schnitt-Illustration die resultierenden Kraftwirkungen auf eine konzentrische Welle Hohlwelle-Kombination An Hand der Fig. 2 wird erläutert, wie der Läuferstrom mit Hilfe von Bürsten durch die Maschine hindurch geführt wird:

Über den Schleifkontaktring (9), der außerhalb des Mantelfeldes angeordnet ist, gelangt der Läuferstrom auf das Wandungssegment (7) des Innenläufers, durchläuft das Mantelfeld von außen nach innen, wird durch die Bürstenanordnung (12) abgegriffen, und isoliert von der Gegenleitung

zum Wandungssegment (8) des Außenläufers geführt. In diesem Segment durchläuft der Strom das Mantelfeld von innen nach außen und wird dann über die Bürstenanordnung (11) wieder zum Wandungssegment (5) des Innenläufers zurückübertragen. Über dieses Segment durchströmt der Strom genau wie in der Ausgangssituation das Mantelfeld von außen nach innen. Er ist zwar nun der ursprünglichen Stromrichtung auf Segment (7) entgegengerichtet, da aber auch die Flussrichtung des Mantelfeldes entgegengesetzt verläuft, haben die auf die Wandungssegmente (5) und (7) jeweils resultierenden Tangentialkräfte die gleiche Richtung. Über die Bürstenanordnung (10) wird nun das Wandungssegment (6) des Außenläufers mit Strom versorgt. Für die Segmente (6) und (8) des Außenläufers vollzieht sich die Reaktion mit dem Mantelfeld in gleicher Weise; wie für die Segmente des Innenläufers erläutert, jedoch mit entgegengesetzten Vorzeichen.

[0016] Durch die enge Anordnung der gegensinnig gerichteten Ströme in den sich gegenüber liegenden Läuferwandungen ist eine nach außen hin nur geringe oder gar keine magnetische Fernwirkung zu erwarten. Unter dem Gesichtspunkt der gegenseitigen Kompensation der Fernwirkung ist auch die Anordnung der Bürsten (10) und (12) mit Ihren Zuleitungen, die sich isoliert voneinander gegenseitig durchdringen, vorzunehmen.

[0017] Nicht dargestellt sind die erforderlichen Lager, durch welche die beiden Hauptelemente gegenseitig und die Maschine insgesamt drehbar gelagert ist. Übrigens lässt sich die gezeigte Anordnung der beiden Hauptelemente auch für ein magnetisches Axiallager nutzen. Beide Hauptelemente widersetzen sich einer gegenseitigen, axialen Verschiebung aus der dargestellten Position, da diese den geringsten magnetischen Widerstand für das Mantelfeld bedeutet. Diese beiläufig gefundene Eigenschaft lässt sich für schwere Schwungenergiespeicher und Drallräder nutzen.

Bezugszeichenliste

F_2 Tangentialkraft auf Außenläufer

F_1 Tangentialkraft auf Innenläufer

B Mantelfeld

1 massiver, hochpermeabler Kern des Innenläufers

2 massiver, hochpermeabler Kern des Außenläufers

3 äußere Schalenwicklung des Mantelfeldes

4 innere Schalenwicklung des Mantelfeldes

5 und 7 Wandungssegmente des Innenläufers

6 und 8 Wandungssegmente des Außenläufers

9 Bürstenanordnungen entlang der jeweiligen Umfangslinie

10 Bürstenanordnungen entlang der jeweiligen Umfangslinie

11 Bürstenanordnungen entlang der jeweiligen Umfangslinie

12 Bürstenanordnungen entlang der jeweiligen Umfangslinie

13 Bürstenanordnungen entlang der jeweiligen Umfangslinie

Patentansprüche

1.1. Mantelfeld-Homopolarmaschine, **gekennzeichnet durch zwei**, im wesentlichen rotationssymmetrische, konzentrische Hauptelemente, welche beide ein massiv ausgeführtes, halbkreisförmiges, feldführendes Profil aus hochpermeablen Magnetwerkstoff besitzen und sich gegenseitig zum Kreis ergänzen und somit über den trennenden Luftspalt hinweg ein gemeinsames Mantelfeld bilden.

1.2. weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass die vier

Stirnflächen der beiden Hauptelemente, welche sich paarweise auf gleicher axialer Höhe gegenüberstehen, jeweils mit einer elektrisch gut leitenden Strombelagswandung versehen sind. Diese Wandungen sind mit dem magnetisch hochpermeablen, massiven Kern der Hauptelemente fest verbunden, aber elektrisch isoliert von diesem.

2. Mantelfeld-Homopolarmaschine nach Anspruch 1., dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt achsenparallel, also zylindrisch verläuft.

3. Mantelfeld-Homopolarmaschine nach Anspruch 1., dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt nicht zylindrisch, sondern konisch verläuft.

4. Mantelfeld-Homopolarmaschinen nach Anspruch 2. oder 3., dadurch gekennzeichnet, dass beiden Hauptelementen durch geeignete Lagerungen eine gegensinnige Rotation ermöglicht wird.

5. Mantelfeld-Homopolarmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass auf gleicher Achse zwei Funktionseinheiten nach Anspruch 2. oder 3. axial und/oder radial versetzt angeordnet sind, deren läuferstromführende Wandungssegmente in Serie geschaltet sind.

6. Mantelfeld-Homopolarmaschine nach Anspruch 5., dadurch gekennzeichnet, dass die zwei kombinierten Funktionseinheiten dicht aufeinander folgen und deren in axialer Folge benachbarte Wandungssegmente ohne Bürstenübergänge elektrisch leitend verbunden sind. Weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelfelder der zwei kombinierten Funktionseinheiten gegenseitig polarisiert sind, sodass für insgesamt acht aktive Wirkzonen nur noch sieben Bürstenübergänge notwendig sind.

7. Magnetlager, welches die in Anspruch 2. oder 3. bezeichnete Konfiguration beinhaltet.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

