(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 021 498 B4** 2008.07.24

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 021 498.6**
(22) Anmeldetag: **09.05.2006**
(43) Offenlegungstag: **22.11.2007**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **24.07.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***H02P 25/22*** (2006.01)
H02P 23/04 (2006.01)
H02K 3/04 (2006.01)
H02K 19/06 (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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

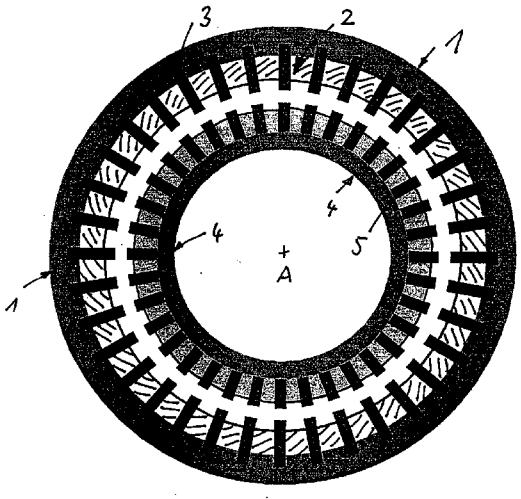
(74) Vertreter:
Fink Numrich Patentanwälte, 80634 München

(72) Erfinder:
Orlik, Bernd, 27793 Wildeshausen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 199 56 768 A1
DE 197 04 504 A1
DE 102 45 887 A1
DE 100 22 061 A1
DE 44 31 199 A1
DE 36 37 479 A1
DE 28 15 597 A1
DE 698 23 937 T2
US2003/01 84 251 A1
US2002/01 45 355 A1
JP 06-2 84 784 A

(54) Bezeichnung: **Elektrische Wechselstrommaschine**

(57) Hauptanspruch: Elektrische Wechselstrommaschine, umfassend einen Stator (1) und einen Rotor (4), wobei der Stator (1) oder der Rotor (4) eine Wicklungsanordnung mit einer Mehrzahl von Wicklungen (2) aufweist und wobei durch die Bewegung des Rotors (4) eine Wechselspannung in der Mehrzahl von Wicklungen erzeugbar ist und/oder durch das Anlegen von Wechselstrom an die Mehrzahl von Wicklungen (2) eine Drehung des Rotors (4) bewirkt werden kann, wobei die Wicklungsanordnung mehrere, entlang des Umfangs des Stators (1) oder Rotors (4) angeordnete Wicklungssegmente (2a, 2b, 2c, 2d; 201, 202, 203, 204) umfasst, wobei ein oder mehrere Sensoren zur Erfassung von Normalkraftschwankungen vorgesehen sind und die Wicklungssegmente (2a, 2b, 2c, 2d; 201, 202, 203, 204) wenigstens ein Paar von gegenüberliegenden Wicklungssegmenten (2a, 2b, 2c, 2d; 201, 202, 203, 204) in gegenüberliegenden Umfangssegmenten des Stators (1) oder Rotors (4) umfassen, wobei die Wicklungssegmente (2a, 2b, 2c, 2d; 201, 202, 203, 204) eines Paars elektrisch derart geschaltet...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine elektrische Wechselstrommaschine, umfassend einen Stator und einen Rotor, wobei der Stator oder der Rotor, vorzugsweise der Stator, eine Wicklungsanordnung mit einer Mehrzahl von Wicklungen aufweist und wobei durch die Bewegung des Rotors eine Wechselspannung in der Mehrzahl von Wicklungen erzeugbar ist und/oder durch das Anlegen von Wechselstrom an die Mehrzahl von Wicklungen eine Drehung des Rotors bewirkt werden kann.

[0002] Elektrische Wechselstrommaschinen werden zum einen als Antriebsmotoren und zum anderen als Generatoren genutzt. Bei der Verwendung als Antriebsmotor wird der elektrischen Maschine Wechselstrom, beispielsweise in der Form von Drehstrom, zugeführt, wodurch die Bewegung des Rotors der Maschine bewirkt wird. Demgegenüber wird beim Einsatz der Maschine als Generator mechanische Energie, welche durch Drehung des Rotors zugeführt wird, in elektrische Energie in Form von Wechselstrom umgewandelt. In Wechselstrommaschinen kann durch den Einsatz von Umrichtern bzw. Wechselrichtern die mechanische Drehzahl von der zugeführten Netzfrequenz entkoppelt werden.

[0003] Um auf ein mechanisches Getriebe in einer Wechselstrommaschine verzichten zu können, ist es erforderlich, dass die Nenndrehzahl der Wechselstrommaschine sehr klein ist und das Drehmoment der Maschine sehr groß ist. Gemäß diesen Anforderungen werden heutzutage Wechselstrommaschinen mit hoher Polzahl, geringer axialer Länge und großen Rotordurchmessern von mehreren Meter konstruiert. Bei diesen Bauformen neigen die Rotoren der Maschine jedoch aufgrund der eingeschränkten mechanischen Steifigkeit zu Schwingungen. Da die Luftspalte zwischen Rotor und Stator oft nur wenige Millimeter betragen, besteht unmittelbar die Gefahr einer Kollision von Rotor und Stator und einer damit verbundenen Beschädigung bzw. Zerstörung der Maschine.

[0004] Die soeben beschriebenen Probleme von auftretenden Schwingungen der Rotoren in Wechselstrommaschinen zeigen sich auch bei langen Wechselstrommaschinen mit kleinen Durchmessern, bei denen die Stützlager der Antriebswelle der Maschine weit auseinander liegen. Dies ist beispielsweise bei Außenantrieben von Schiffen der Fall. Es kommt hierbei zu Durchbiegungen der Welle und damit auch zu Schwingungen der Rotoren. Wegen der damit verbundenen Zerstörungsgefahr für die Maschine ist deshalb das Verhältnis von Rotorlänge zu Rotordurchmesser begrenzt.

[0005] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Lösungen zur Dämpfung von Schwingungen in elektrischen Maschinen bekannt. Die Druckschrift DE 28 15 597 A1 zeigt ein elektrisches Generatorsystem mit einer Mehrzahl von Synchrongeneratoren, deren Rotoren mit Dämpfungswicklungen für Kurzschlüsse versehen sind.

[0006] Aus der DE 44 31 199 A1 ist eine Schenkelpolmaschine bekannt, bei welcher der Rotor eine Dämpferwicklung bestehend aus einer Mehrzahl von Dämpferstäben umfasst.

[0007] Die Druckschrift DE 698 23 937 T2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Schwingungen eines Rotors einer drehenden Maschine, wobei die Schwingungssignale unter Berücksichtigung von vorhandenem Rauschen erfasst werden.

[0008] Aus der Druckschrift DE 100 22 061 A1 ist eine Magnetlagerung für schnell drehende Maschinen bekannt, welche Dämpfungsmittel in der Form von Distanzringscheiben in Magnetringpaketen des Lagers aufweisen.

[0009] Die Druckschrift US 2002/0145355 A1 offenbart eine supraleitende Rotoranordnung, bei der das Drehmoment des Rotors von einer Hohlwelle über eine thermisch isolierende Verbindungsanordnung auf eine Antriebswelle übertragen wird.

[0010] Die obigen, aus dem Stand der Technik bekannten Druckschriften offenbaren zwar Möglichkeiten zur Dämpfung von Rotorschwingungen durch passive Dämpfungsmittel, jedoch kann diesen Druckschriften nicht entnommen werden, wie durch eine aktiv beeinflussbare Dämpfung im Betrieb auftretenden Normalkraftschwankungen und ungleichmäßig am Rotor angreifenden Umfangskräften entgegengewirkt werden kann, um unerwünschte Torsionsmomente und biegeelastische Schwingungen in den Maschinen zu verhindern. Unter Normalkräften sind hierbei auf den Rotor wirkende Kräfte zu verstehen, welche nicht in Umfangsrichtung des Rotors, sondern insbesondere in radialer bzw. axialer Richtung, wirken.

[0011] Die Druckschrift DE 36 37 479 A1 zeigt einen Wechselstrommotor mit einer Ständerwicklung, die aus mehreren Wicklungssegmenten in der Form zweier unabhängiger Teilwicklungen besteht. Die Teilwicklungen können unabhängig voneinander jeweils von einem Umrichter mit Strömen unterschiedlicher Stromstärke gespeist werden. Durch eine gezielte Phasenverschiebung zwischen den Strömen in den Teilwicklungen sollen Geräusche, Verluste und Störstrahlungen verhindert werden.

[0012] Aus dem Dokument DE 197 04 504 A1 ist ein Wechselstrommotor mit einer Ständerwicklung bekannt, die aus mehreren Wicklungssegmenten be-

steht, welche in verschiedener Weise elektrisch miteinander verbunden werden können. Die Wicklungen des Wechselstrommotors können so geschaltet werden, dass sie als zwei getrennte Teilwicklungen von zwei parallel geschalteten Umrichtern gespeist werden. Weiterhin können die Teilwicklungen und die Umrichter so dimensioniert werden, dass eine Teilwicklung für einen Grundlastbereich und eine zweite Teilwicklung für einen dynamischen Bereich ausgelegt ist.

[0013] In der Druckschrift DE 199 56 768 A1 ist eine von einem Elektromotor angetriebene Pumpe gezeigt, deren Gehäuseschwingungen von einem Vibrationssensor gemessen werden. Der Elektromotor wird von einer Steuer- oder Regelelektronik angesteuert, welche die Signale des Vibrationssensors auswertet und bei Vorliegen von Vibrationen die Leistung des Elektromotors innerhalb eines Toleranzbandes variiert.

[0014] Die Druckschrift JP 06 284 784 A Abstract zeigt ein Regelverfahren für einen elektrischen Antrieb, bei dem an dem Motorgehäuse ein Vibrationssensor angebracht ist. Der Motor wird von einem Regelschaltkreis, welcher die Signale des Vibrationssensors auswertet, so geregelt, dass er innerhalb eines vorbestimmten Drehzahlbereichs mit derjenigen Drehzahl betrieben wird, mit der die gemessenen Vibrationen am geringsten sind.

[0015] In der Druckschrift DE 102 45 887 A1 ist ein Regelverfahren für einen Elektromotor beschrieben, bei dem der Motorstrom so optimiert ist, dass Resonanzen im Radialkraftspektrum des Motors nicht angeregt werden. Dazu werden von einem Beschleunigungssensor die Vibrationen des Motors erfasst, aus den Phasenströmen des Motors Magnetkraftspektren berechnet und mit Hilfe dieser beiden Daten die Phasenströme so optimiert, dass im Bereich kritischer Resonanzfrequenzen Radialkraftanteile minimiert werden.

[0016] Aus der Druckschrift US 2003/0184251 A1 ist ein Regelverfahren für einen Elektromotor bekannt, bei dem die Signale eines an der Last angebrachten Vibrationssensors zur Parametrisierung eines Filters in dem Positions- und Drehzahlregelkreis des Motors verwendet werden. Der Filter wird dabei so eingestellt, dass im Bereich von Vibrationsfrequenzen eine Regelkreisverstärkung verringert wird.

[0017] Aufgabe der Erfindung ist es, auf einfache Weise die in einer elektrischen Wechselstrommaschine auftretenden Normalkraftschwankungen aktiv zu dampfen.

[0018] Diese Aufgabe wird durch eine elektrische Wechselstrommaschine gemäß Anspruch 1 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0019] Die erfindungsgemäße elektrische Wechselstrommaschine zeichnet sich durch eine spezielle Wicklungsanordnung aus, die vorzugsweise am Stator vorgesehen ist. Diese Wicklungsanordnung umfasst mehrere, am Umfang des Stators oder Rotors angeordnete Wicklungssegmente. Ferner sind ein oder mehrere Sensoren zur Erfassung von Normalkraftschwankungen vorgesehen. Die Wicklungssegmente umfassen wenigstens ein Paar von gegenüberliegenden Wicklungssegmenten in gegenüberliegenden Umfangssegmenten des Stators oder Rotors, wobei die Wicklungssegmente eines Paars elektrisch derart geschaltet sind, dass sie zum Ausgleich der durch den oder die Sensoren erfassten Normalkraftschwankungen mit Strömen unterschiedlicher Stromstärke und/oder Stromrichtung in den gegenüberliegenden Umfangssegmenten gespeist werden können. Der Erfindung liegt hierbei die Erkenntnis zugrunde, dass durch eine elektrische Variation der Stromstärken in einzelnen Wicklungssegmenten sich verändernde, unterschiedlich stark auf den Rotor wirkende Anziehungskräfte erzeugt werden können, mit denen ungleichmäßig verteilten Normalkräften entgegengewirkt werden kann. Durch diese gegenüberliegende Anordnung von Wicklungssegmenten, d. h. durch die Anordnung der Wicklungssegmente um 180° in Umfangsrichtung versetzt zueinander, kann besonders effektiv über eine Verstellung des Unterschieds der Stromstärken in den gegenüberliegenden Segmenten einer ungleichmäßigen Normalkraftverteilung entgegengewirkt werden.

[0020] Die in der erfindungsgemäßen Wechselstrommaschine verwendeten Sensoren sind beispielsweise Geräuschsensoren und/oder Kraftsensoren und/oder Beschleunigungssensoren. Ferner können Sensoren eingesetzt werden, welche die Größe des Luftspaltes zwischen Stator und Rotor messen, denn eine Veränderung der Luftspaltgröße ist ein Indiz für mechanische Vibrationen durch Schwankungen in den Normalkräften.

[0021] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Wechselstrommaschine sind Wicklungssegmente entlang des gesamten Umfangs des Stators oder Rotors verteilt, so dass an jeder Stelle entlang des Umfangs der Wechselstrommaschine gezielt Einfluss auf auftretende Normalkraftschwankungen genommen werden kann.

[0022] Insbesondere bei elektrischen Wechselstrommaschinen, welche einen großen axialen Stützlagerabstand aufweisen, sind wenigstens ein Teil der Wicklungssegmente in axialer Richtung in Teilsegmente unterteilt.

[0023] In einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Wechselstrommaschine ist wenigstens eine

Wicklung der Mehrzahl von Wicklungen der Wicklungsanordnung in Teilwicklungen aufgeteilt, wobei die Teilwicklungen die Wicklungssegmente im Sinne der Erfindung darstellen. Jede der Teilwicklungen ist vorzugsweise mit einem separaten Umrichter verbunden, an dem eine Wechselstromquelle anschließbar ist. Hierdurch können die unterschiedlichen Ströme in den einzelnen Teilwicklungen auf einfache Weise erzeugt werden.

[0024] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Wechselstrommaschine umfasst wenigstens eine Wicklung der Mehrzahl von Wicklungen der Wicklungsanordnung eine Hauptwicklung und mehrere, in Umfangssegmenten des Stators oder Rotors angeordnete Hilfswicklungen, wobei die Hilfswicklungen die Wicklungssegmente im Sinne der hier beschriebenen Erfindung darstellen. Gemäß dieser Ausführungsform werden, im Unterschied zu Ausführungsformen, bei denen die Wicklungssegmente Teilwicklungen sind, die unterschiedlichen Ströme nicht über eine Variation des Antriebsstroms, sondern über einen separaten Zusatzstrom erzeugt. Dieser Zusatzstrom kann wesentlich kleiner als der Antriebsstrom sein, da er lediglich zur Dämpfung von Rotorschwingungen durch Ausgleich von Normalkraftschwankungen dient. Die Hilfswicklungen umfassen vorzugsweise wenigstens ein Paar von gegenüberliegenden Hilfswicklungen in gegenüberliegenden Umfangssegmenten des Stators oder Rotors, wobei in den Hilfswicklungen eines Paars entlang des Umfangs des Stators oder Rotors in entgegengesetzter Richtung fließende Ströme erzeugt werden können. Hierdurch kann auf besonders einfache Weise ein Stromunterschied zwischen gegenüberliegenden Umfangssegmenten und dadurch ein Ausgleich für ungleichmäßig angreifende Normalkräfte erreicht werden. Darüber hinaus wird es ermöglicht, dass die Hilfswicklungen wenigstens eines Paars von gegenüberliegenden Hilfswicklungen mit einem gemeinsamen Umrichter verbunden werden können, an dem eine Wechselstromquelle anschließbar ist.

[0025] Ein Anwendungsbereich der Erfindung ist der Einsatz in Transversalflussmaschinen, welche eine Mehrzahl von jeweils den Umfang des Stators umlaufenden Wicklungssträngen umfassen. Transversalflussmaschinen zeichnen sich durch geringe Abmaße und geringes Gewicht sowie durch ein hohes Drehmoment im unteren Drehzahlbereich aus. Sie eignen sich insbesondere auch als Direktantriebe. Der Nachteil dieser Maschinen besteht jedoch darin, dass sie eine hohe Drehmomentwelligkeit aufweisen sowie geräusch- und vibrationsstarken Normalkraftschwankungen unterliegen. Um diese Normalkraftschwankungen mit Hilfe der Erfindung zu reduzieren, werden wenigstens ein Teil der Wicklungssegmente in der Transversalflussmaschine dadurch gebildet, dass ein Wicklungsstrang in eine Mehrzahl von Segmenten, insbesondere in vier Segmente, unterteilt wird. Es ist jedoch auch möglich, dass der Wicklungsstrang eine Hauptwicklung bildet und benachbart zu dem Wicklungsstrang die bereits oben erwähnten Hilfswicklungen, insbesondere vier Hilfswicklungen, angeordnet sind, mit denen Ströme zur Beeinflussung von Normalkräften erzeugt werden können.

[0026] Die Erfindung kann in beliebigen Wechselstrommaschinen, insbesondere in Synchronmaschinen, eingesetzt werden. Insbesondere kann die Erfindung in jeder Art von Transversalflussmaschinen, wie in permanenterregten Transversalflussmaschinen, beispielsweise in Sammlerbauweise, oder aber auch in Transversalflussmaschinen in Reluktanzbauweise verwendet werden. Darüber hinaus ist es auch möglich, die Erfindung in einer Drehfeldmaschine einzusetzen.

[0027] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Figuren detailliert beschrieben.

[0028] Es zeigen:

[0029] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Transversalflussmaschine gemäß dem Stand der Technik;

[0030] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Transversalflussmaschine gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0031] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Transversalflussmaschine gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0032] Fig. 4 eine schematische Detailansicht einer Transversalflussmaschine in Sammlerbauweise, welche gemäß der Erfindung ausgeführt sein kann;

[0033] Fig. 5 bis Fig. 8 schematische Schnittansichten von verschiedenen Ausführungsformen von Drehfeldmaschinen, welche ebenfalls gemäß der Erfindung ausgestaltet sein können.

[0034] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht in Axialrichtung A einer Transversalflussmaschine gemäß dem Stand der Technik. Transversalflussmaschinen eignen sich insbesondere zum Direktantrieb von industriellen Produktionsanlagen, können jedoch auch als Generatoren, beispielsweise in modernen Windenergieanlagen, eingesetzt werden. Der Vorteil von Transversalflussmaschinen besteht darin, dass sie aufgrund ihres Aufbauprinzips extrem hohe Kraftdichten mit sehr kleinen Drehzahlen liefern können. Somit können diese Maschinen ein hohes Drehmoment bereitstellen und eignen sich deshalb sehr gut als Direktantrieb. Der Nachteil von Transversalfluss-

maschinen besteht jedoch darin, dass starke Drehmomentwelligkeiten und Normalkraftschwankungen auftreten, die zu starken Geräuschen und Vibrationen in der Maschine führen. Ein bevorzugter Anwendungsbereich der Erfindung sind deshalb Transversalflussmaschinen, bei denen erfindungsgemäß die sich durch die Normalkraftschwankungen ergebenden Rotorschwingungen gedämpft werden.

[0035] Fig. 1 zeigt eine Transversalflussmaschine nach dem Reluktanzprinzip. Die Maschine umfasst einen außen liegenden Stator **1** mit einer Vielzahl von U-förmigen Polen **3**, wobei in den Polen ein durchgehender kreisförmiger Wicklungsstrang **2** angeordnet ist. In der Transversalflussmaschine der Fig. 1 ist innerhalb des Stators **1** der innen liegende Rotor **4** vorgesehen, der analog zum Stator eine Vielzahl von weichmagnetischen Rotorpolen **5** aufweist. Zwischen den Rotorpolen befindet sich nicht-magnetisches Material, beispielsweise in der Form von glasfaserverstärktem Kunststoff. Die Transversalflussmaschine besteht aus mindestens drei getrennten kreisförmigen Wicklungssträngen **2**, die in axialer Richtung hintereinander angeordnet sind. Im Unterschied hierzu weist eine Transversalflussmaschine in Sammlerbauweise Permanentmagnete zwischen den Rotorpolen **5** auf und es müssen lediglich mindestens zwei getrennte kreisförmige Wicklungsstränge **2** in axialer Richtung hintereinander angeordnet sein. Aufgrund der Ansicht in Axialrichtung A ist in Fig. 1 nur einer der Wicklungsstränge ersichtlich.

[0036] Die einzelnen Wicklungsstränge werden bei der Verwendung der Transversalflussmaschine als Antriebsmotor mit Wechselstrom gespeist. Hierzu ist die Maschine vorzugsweise mit einem Wechselrichter oder Umrichter verbunden, der aus einer Gleichspannung oder einer Netzwechselspannung eine für den Betrieb erwünschte Betriebswechselspannung erzeugt. Die Wechselströme, die den einzelnen, in axialer Richtung versetzten Wicklungssträngen zugeführt werden, sind hierbei phasenversetzt. Bei einer zweistrangigen Transversalflussmaschine sind die Ströme in den beiden Wicklungssträngen um 90° gegeneinander phasenverschoben. Ferner sind die Statorpole der einzelnen Wicklungsstränge in einer zweisträngigen Transversalflussmaschine gegeneinander verdreht, und zwar um eine halbe Polteilung, wobei die Polteilung der Abstand zwischen zwei benachbarten Statorpolen ist, der in der Maschine der Fig. 1 konstant ist. Neben einer zweisträngigen Anordnung von Wicklungssträngen gibt es jedoch auch mehrsträngige Anordnungen, beispielsweise dreisträngige Anordnungen mit 120° Phasenverschiebung in den Wicklungssträngen, wobei sich dreisträngige Transversalflussmaschinen trotz der räumlichen Trennung der Wicklungsstränge wie dreiphasige Drehfeldmaschinen verhalten.

[0037] Bei Betrieb der Transversalflussmaschine mit Wechselspannung wird durch die Wechselwirkung des im Stator erzeugten Magnetfeldes mit den Rotorpolen eine Tangentialkraft erzeugt, welche den Rotor antreibt. Wie bereits oben erwähnt, können in der herkömmlichen Transversalflussmaschine gemäß Fig. 1 Rotorschwingungen auftreten, welche beispielsweise dadurch verursacht werden, dass eine in radialer Richtung (d. h. senkrecht zur Achse A) wirkende Normalkraft an einer Seite der Transversalflussmaschine größer ist als an der gegenüberliegenden Seite der Transversalflussmaschine. Um derartige Normalkraftschwankungen auszugleichen, werden gemäß der Erfindung mehrere Wicklungssegmente verwendet, welche in einer ersten Ausführungsform durch eine Unterteilung des Wicklungsstrangs **2** und in einer zweiten Ausführungsform durch Hilfswicklungen realisiert werden.

[0038] Fig. 2 zeigt die erste Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung. Der Rotoraufbau der Maschine der Fig. 2 entspricht hierbei dem Rotoraufbau der Maschine der Fig. 1. Die Ansicht der Fig. 2 ist analog zur Fig. 1 gewählt und für gleiche Bauteile wurden die gleichen Bezugszeichen verwendet. Im Unterschied zu der herkömmlichen Transversalflussmaschine der Fig. 1 ist der Wicklungsstrang **2** der Maschine in vier Teilsegmente **2a**, **2b**, **2c** und **2d** unterteilt. Wie schematisch angedeutet ist, wird jedes Teilsegment über einen separaten Wechselrichter W1, W2, W3 bzw. W4 gespeist. Die vier Wechselrichter weisen hierbei ähnliche Leistungen auf und erzeugen Stromflüsse in gleicher Umfangsrichtung, so dass ein durchgehender Stromfluss entlang des Umfangs des Stators **1** analog zu Fig. 1 erzeugt werden kann. Im Unterschied zu Fig. 1 können über die Wechselrichter die einzelnen Teilsegmente jedoch mit unterschiedlich großen Strömen durchflossen sein. Insbesondere können die gegenüberliegenden Teilsegmente **2a** und **2c** bzw. **2b** und **2d** mit unterschiedlich großen Strömen gespeist werden. Hierdurch können die im Vorangegangenen beschriebenen Normalkraftschwankungen ausgeglichen werden, wobei im Falle einer erhöhten Normalkraft auf einer Seite der Wicklung der Strom in dieser entsprechenden Wicklung bzw. in der gegenüberliegenden Wicklung zur Kompensation der Normalkraft entsprechend erhöht bzw. erniedrigt wird.

[0039] Vorzugsweise umfasst die Transversalflussmaschine der Fig. 2 eine (nicht gezeigte) Steuereinrichtung, welche automatisch Normalkräfte durch Steuerung des Stroms kompensiert. Hierzu sind entsprechende (nicht gezeigte) Sensoren in der Transversalflussmaschine vorgesehen, welche Normalkraftschwankungen erfassen. Diese Sensoren können Kraftsensoren, Beschleunigungssensoren, Geräuschsensoren und dergleichen sein, welche Kraftschwankungen und/oder Vibrationen im Statorgehäuse bzw. im Rotor erfassen. In Antwort auf die Sensorsignale wird dann eine entsprechende Rege-

lung der Ströme in den Wicklungssegmenten durch die Steuereinrichtung eingeleitet. Die Realisation einer solchen Steuerung zum Ausgleich von Normalkraftschwankungen liegt im Bereich handwerklichen fachmännischen Könnens, so dass eine solche Regelung nicht detailliert beschrieben wird. Eine Möglichkeit der Regelung besteht beispielsweise darin, dass ein Sensor den Luftspalt L zwischen Rotor und Stator an mehreren Stellen entlang der Umfangsrichtung der Transversalmaschine durch Sensoren erfasst. Sollte der Luftspalt an einer Stelle kleiner werden, wird dies als eine Vergrößerung der Normalkraft an dieser Stelle gewertet. Als Konsequenz wird der Strom des Teilsegments, an dem die Verkleinerung des Luftspalts durch den Sensor detektiert wurde, entsprechend vermindert. Alternativ bzw. zusätzlich kann der Storm in dem gegenüberliegenden Teilsegment entsprechend erhöht werden. Dies führt zu einer geringeren Anziehung des Rotors im Bereich des verkleinerten Luftspalts hin zum Stator, wodurch die Normalkraft kompensiert werden kann. Durch entsprechende Experimente bzw. physikalische Simulationen der Kraftverteilungen kann hierdurch eine Regelung in Antwort auf Sensorsignale geschaffen werden, welche den Luftspalt berücksichtigen. Analoge Regelungen können auch mit den Signalen von anderen Sensoren, wie z. B. den oben erwähnten Geräusch-, Vibrations- bzw. Kraftsensoren, erreicht werden.

[0040] Die in Fig. 2 gezeigte Ausführungsform ermöglicht durch dynamische Änderungen des Antriebsstroms den Ausgleich der Normalkraftschwankungen. Mit zunehmender Leistung der Transversalflussmaschine wird es jedoch immer schwieriger, die Normalkraftschwankungen über die Änderung des Antriebsstroms der Transversalflussmaschine zu regeln. In solchen Fällen wird dann vorzugsweise die in Fig. 3 gezeigte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Transversalflussmaschine verwendet. Die Transversalflussmaschine der Fig. 3 unterscheidet sich von der Maschine in Fig. 2 darin, dass die Normalkraftschwankungen über sog. Hilfswicklungen **201**, **202**, **203** und **204** ausgeglichen werden. Es ist nicht erforderlich, den Hauptwicklungsstrang **2** in Teilsegmente zu unterteilen, so dass die Transversalflussmaschine in Fig. 3 – analog zu der Maschine gemäß Fig. 1 – einen einzigen durchgehenden Hauptwicklungsstrang aufweist, wobei in der Maschine der Fig. 3 jedoch noch vier Hilfswicklungen **201** bis **204** vorgesehen sind. Die Transversalflussmaschine wird deshalb in Bezug auf die Bereitstellung der Antriebskraft analog zur Fig. 1 betrieben. Zusätzlich sind zum Ausgleich der Normalkräfte die vier Hilfswicklungen **201** bis **204** vorgesehen, welche wiederum mit Wechselrichtern W1, W2, W3 und W4 gespeist werden, wobei diese Wechselrichter jedoch eine wesentlich geringere Leistung als die Wechselrichter in Fig. 2 aufweisen. Die einzelnen Hilfswicklungen müssen nämlich im Vergleich zum Antriebsstrom nur einen relativ kleinen Strom erzeugen, der nur zum Ausgleich von auftretenden Normalkraftschwankungen dient.

[0041] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird der Strom den einzelnen Hilfswicklungen nicht über vier getrennte Wechselrichter zugeführt, sondern die Paare von gegenüberliegenden Wicklungen **201**, **203** bzw. **202**, **204** weisen jeweils einen gemeinsamen Wechselrichter auf, der in den gegenüberliegenden Wicklungen Strom mit der gleichen Stromstärke erzeugt, wobei die Ströme jedoch in entgegengesetzten Umfangsrichtungen fließen. Bei einer derartigen Realisation der Stromspeisung kann somit die Anzahl der Wechselrichter von vier auf zwei reduziert werden. Normalkraftschwankungen werden analog zur Maschine der Fig. 2 über entsprechende Sensoren erfasst, wobei ebenfalls eine entsprechende Steuerung zum Ausgleich der Normalkraftschwankungen vorgesehen ist. Es wird jedoch nunmehr nicht der Antriebsstrom variiert, sondern der in den Hilfswicklungen fließende Kompensationsstrom. Tritt beispielsweise eine durch einen Sensor erfasste Verkleinerung des Luftspalts zwischen Stator und Rotor im Bereich der Hilfswicklung **202** auf, wird die Hilfswicklung **202** mit einem entsprechenden Strom gespeist, der die im Bereich der Wicklung **202** auftretende erhöhte Normalkraft durch eine magnetische Gegenkraft kompensiert. Im Falle, dass die Hilfswicklung **202** und **204** durch den gleichen Wechselrichter betrieben werden, wird in der Wicklung **204** ein Strom in entgegengesetzter Richtung zum Strom in der Wicklung **202** erzeugt, wodurch der Effekt des Ausgleichs der Normalkraft verstärkt wird.

[0042] Fig. 4 zeigt in Detailansicht eine Transversalflussmaschine in Sammlerbauweise, in der ebenfalls das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden kann. Der Stator besteht hierbei aus einem äußeren Teil, der in Fig. 4 den oberen Teil darstellt und durch drei Statorpole **3** angedeutet ist. Der untere Teil der Fig. 4 stellt demgegenüber den inneren Teil des Stators dar, von dem zwei Statorpole **3** dargestellt sind. Die Statorpole im Innenteil des Stators sind hierbei versetzt zu den Statorpolen im äußeren Teil angeordnet. Der Rotor **4** bewegt sich im Zwischenraum zwischen innerem und äußerem Statorteil. Die Drehrichtung des Rotors ist in Fig. 4 durch den Pfeil P angedeutet. Im Unterschied zu den Reluktanz-Transversalflussmaschinen der Fig. 1 bis Fig. 3 handelt es sich in der Fig. 4 um eine permanenterregte Transversalflussmaschine, bei der zwischen den einzelnen Rotorpolen **5** Permanentmagnete **6** vorgesehen sind. Hierdurch wird eine höhere Kraftdichte als bei Maschinen nach dem Reluktanzprinzip erreicht. Darüber hinaus sind die Magnete in der sog. Sammlerbauweise angeordnet, bei der die Kontaktfläche der weichmagnetischen Rotorpole **5** hin zu den Permanentmagneten **6** größer ist als die Oberfläche der Rotorpole hin zum Luftspalt. Das er-

findungsgemäße Prinzip kann auch in weiteren Bauweisen von Transversalflussmaschinen eingesetzt werden, insbesondere in Transversalflussmaschinen mit Flachmagnetanordnung, bei denen auf einer zum Luftspalt hin gewandten Seite des Rotors flache Permanentmagnete angeordnet sind.

[0043] Die Erfindung ist ferner nicht nur auf Transversalflussmaschinen beschränkt, sondern kann in jeder Art von Wechselstrommaschine eingesetzt werden. Insbesondere kann die Erfindung auch in durch Drehstrom gespeisten Drehfeldmaschinen verwendet werden, wobei entweder zusätzlich zu der normalen Drehfeldwicklung mehrere, paarweise gegenüberliegende Drehfeld-Hilfswicklungen installiert werden oder die Wicklungen analog zu Fig. 2 in gegenüberliegende Segmente eingeteilt werden, welche separat durch einen Wechselrichter gespeist werden. Bespiele von Drehfeldmaschinen, in denen die Erfindung realisiert werden kann, sind in Querschnittsansicht in Fig. 5 bis Fig. 8 wiedergegeben. Fig. 5 zeigt hierbei eine Drehfeldmaschine mit innen liegendem Rotor **4** und außen liegendem Stator **1**, wobei Rotor und Stator Blechpakete **7** aufweisen, in denen sich die Drehfeldwicklungen in entsprechenden (nicht gezeigten) Nuten befinden. Statt der Verwendung von Drehfeldwicklungen kann der Rotor auch mit Permanentmagneten ausgestattet sein. Fig. 6 zeigt eine Drehfeldmaschine analog zu Fig. 5, wobei die Blechpakete **7** zur axialen Stabilisierung gezahnt sind. Fig. 7 zeigt eine Drehfeldmaschine mit zwei unabhängigen Magnetkreisen zur axialen Stabilisierung, wobei Rotor und Stator jeweils zwei vertikal verlaufende Blechpakete aufweisen. Fig. 8 zeigt ebenfalls eine Drehfeldmaschine mit zwei unabhängigen Magnetkreisen, wobei die Blechpakete von Rotor und Stator jedoch geneigt angeordnet sind, wodurch eine kombinierte axiale und radiale Stabilisierung erreicht wird. Wie bereits erwähnt, kann in allen im Vorangegangenen beschriebenen Drehfeldmaschinen die Erfindung dadurch implementiert werden, dass die Wicklungen in den Blechpaketen des Stators entsprechend segmentiert werden bzw. weitere Hilfswicklungen im Stator angeordnet werden.

Patentansprüche

1. Elektrische Wechselstrommaschine, umfassend einen Stator (**1**) und einen Rotor (**4**), wobei der Stator (**1**) oder der Rotor (**4**) eine Wicklungsanordnung mit einer Mehrzahl von Wicklungen (**2**) aufweist und wobei durch die Bewegung des Rotors (**4**) eine Wechselspannung in der Mehrzahl von Wicklungen erzeugbar ist und/oder durch das Anlegen von Wechselstrom an die Mehrzahl von Wicklungen (**2**) eine Drehung des Rotors (**4**) bewirkt werden kann, wobei die Wicklungsanordnung mehrere, entlang des Umfangs des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) angeordnete Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) umfasst, wobei ein oder mehrere Sensoren zur Erfassung von Normalkraftschwankungen vorgesehen sind und die Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) wenigstens ein Paar von gegenüberliegenden Wicklungssegmenten (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) in gegenüberliegenden Umfangssegmenten des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) umfassen, wobei die Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) eines Paars elektrisch derart geschaltet sind, dass sie zum Ausgleich der durch den oder die Sensoren erfassten Normalkraftschwankungen mit Strömen unterschiedlicher Stromstärke und/oder Stromrichtung in den gegenüberliegenden Umfangssegmenten gespeist werden können.

2. Wechselstrommaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Sensoren einen Geräuschsensor und/oder einen Kraftsensor und/oder einen Beschleunigungssensor und/oder einen Sensor zur Messung des Luftspalts zwischen Stator (**1**) und Rotor (**2**) umfassen.

3. Wechselstrommaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass entlang des gesamten Umfang des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) verteilt sind.

4. Wechselstrommaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere der Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) in axialer Richtung der Wechselstrommaschine jeweils in Teilsegmente unterteilt sind.

5. Wechselstrommaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Wicklung der Mehrzahl von Wicklungen (**2**) der Wicklungsanordnung in Teilwicklungen (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**) aufgeteilt wird, wobei die Teilwicklungen die Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) darstellen.

6. Wechselstrommaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede der Teilwicklungen (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**) mit einem separaten Umrichter (W1, W2, W3, W4) verbunden ist, an dem eine Wechselstromquelle anschließbar ist.

7. Wechselstrommaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Wicklung der Mehrzahl von Wicklungen (**2**) der Wicklungsanordnung eine Hauptwicklung und mehrere, in Umfangssegmenten des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) angeordnete Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) umfasst, wobei die Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) die Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2d**; **201**, **202**, **203**, **204**) darstellen.

8. Wechselstrommaschine nach Anspruch 7, da-

durch gekennzeichnet, dass die Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) wenigstens ein Paar von gegenüberliegenden Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) in gegenüberliegenden Umfangssegmenten des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) umfassen, wobei in den Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) eines Paars entlang des Umfangs des Stators (**1**) oder Rotors (**4**) in entgegengesetzter Richtung fließende Ströme erzeugbar sind.

9. Wechselstrommaschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfswicklungen wenigstens eines Paars von gegenüberliegenden Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**) mit einem gemeinsamen Umrichter verbunden sind, an dem eine Wechselstromquelle anschließbar ist.

10. Wechselstrommaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselstrommaschine eine Transversalflussmaschine mit einer Mehrzahl von jeweils den Umfang des Stators (**1**) umlaufenden Wicklungssträngen ist.

11. Wechselstrommaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil der Wicklungssegmente (**2a**, **2b**, **2c**, **2c**; **201**, **202**, **203**, **204**) dadurch gebildet ist, dass ein Wicklungsstrang in eine Mehrzahl von Segmenten, insbesondere in vier Segmente, unterteilt ist.

12. Wechselstrommaschine nach Anspruch 10 oder 11 in Kombination mit einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptwicklung durch einen der Wicklungsstränge gebildet ist und benachbart zu dem Wicklungsstrang Hilfswicklungen (**201**, **202**, **203**, **204**), insbesondere vier Hilfswicklungen, angeordnet sind.

13. Wechselstrommaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselstrommaschine eine permanenterregte Transversalflussmaschine, insbesondere in Sammlerbauweise, ist.

14. Wechselstrommaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselstrommaschine eine Transversalflussmaschine in Reluktanzbauweise ist.

15. Wechselstrommaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselstrommaschine eine Drehfeldmaschine ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

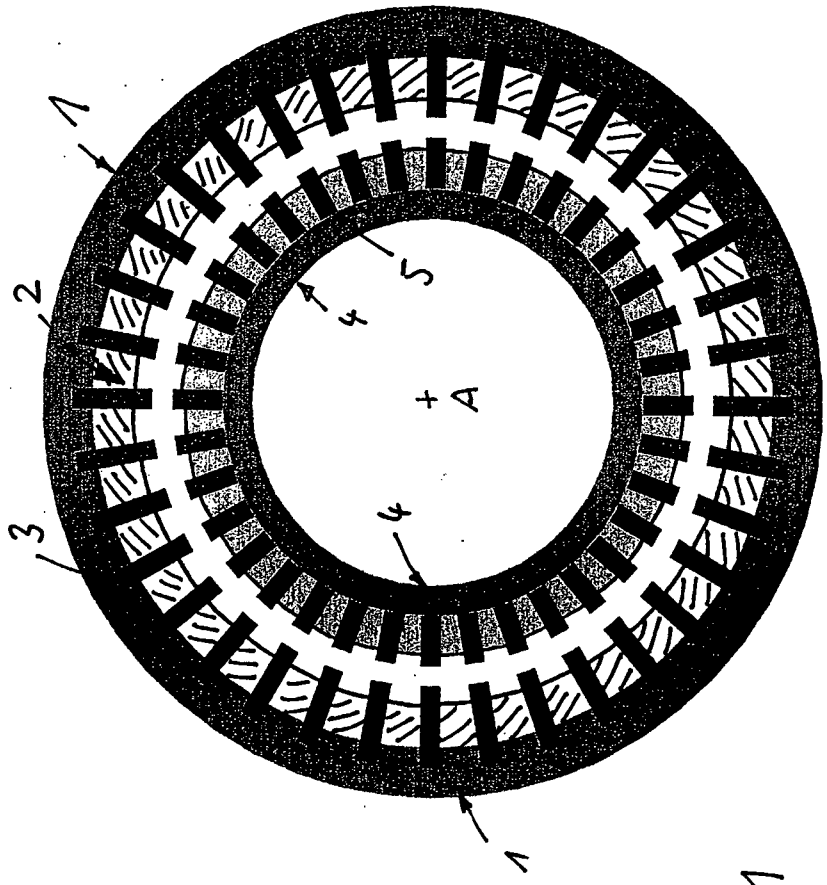


Fig. 1

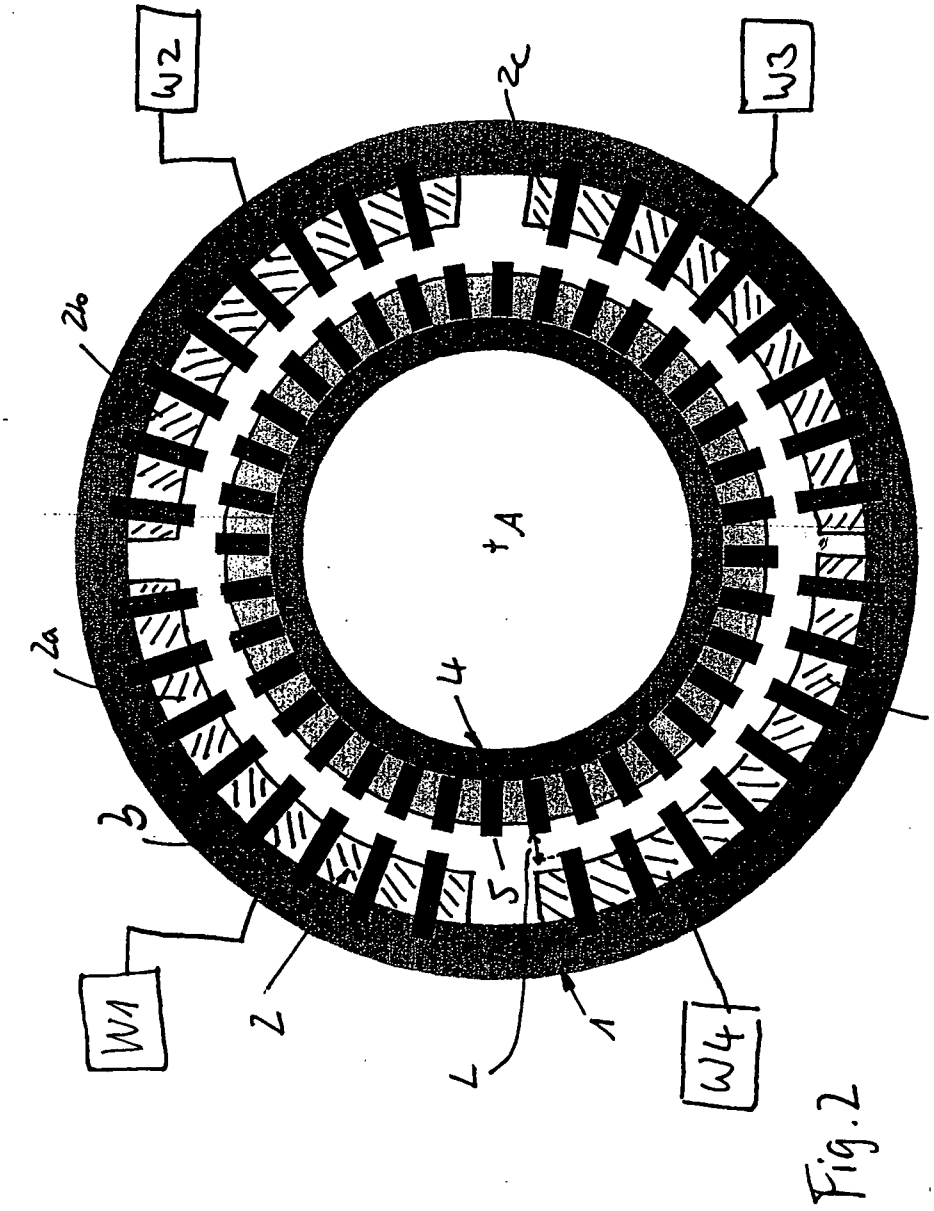


Fig. 2

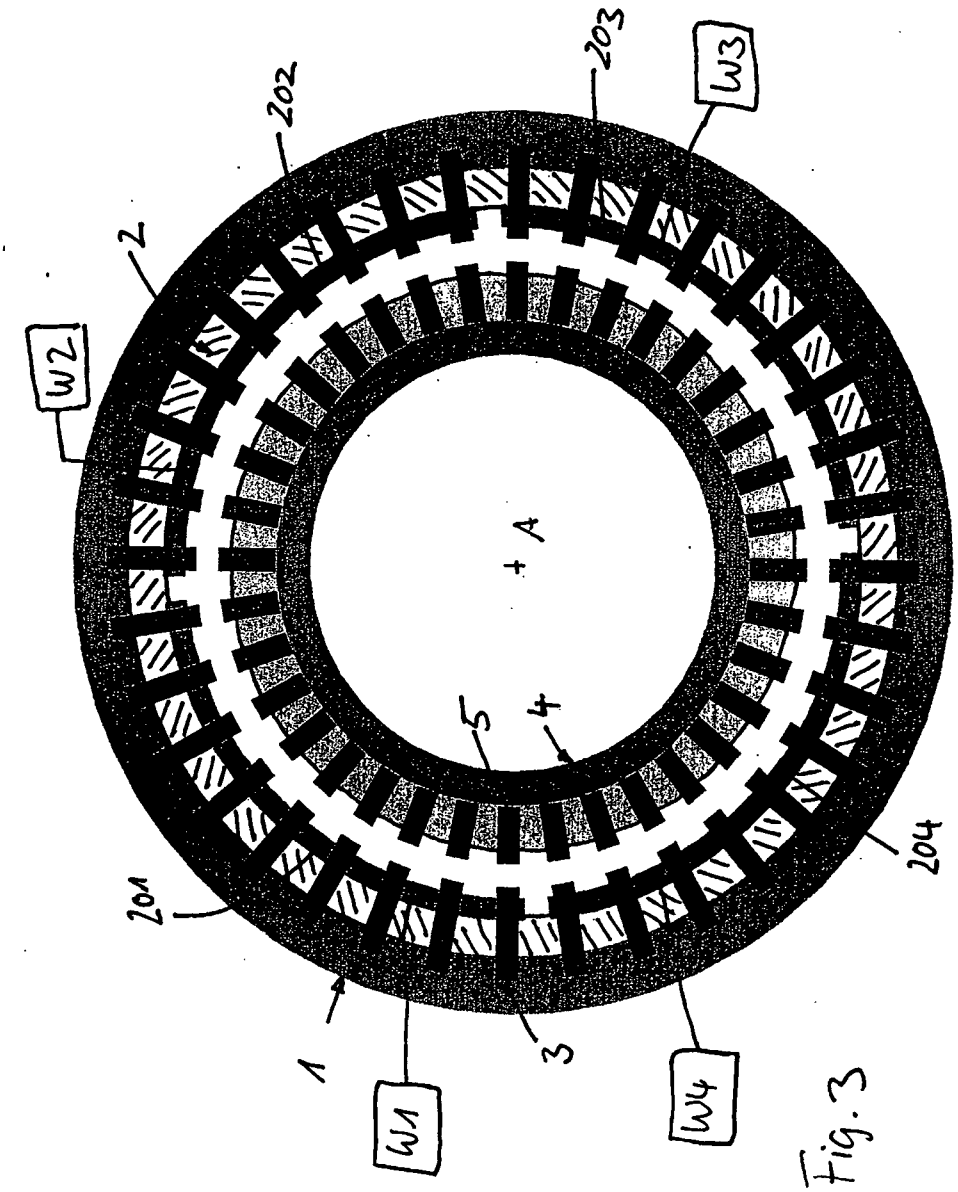


Fig. 3

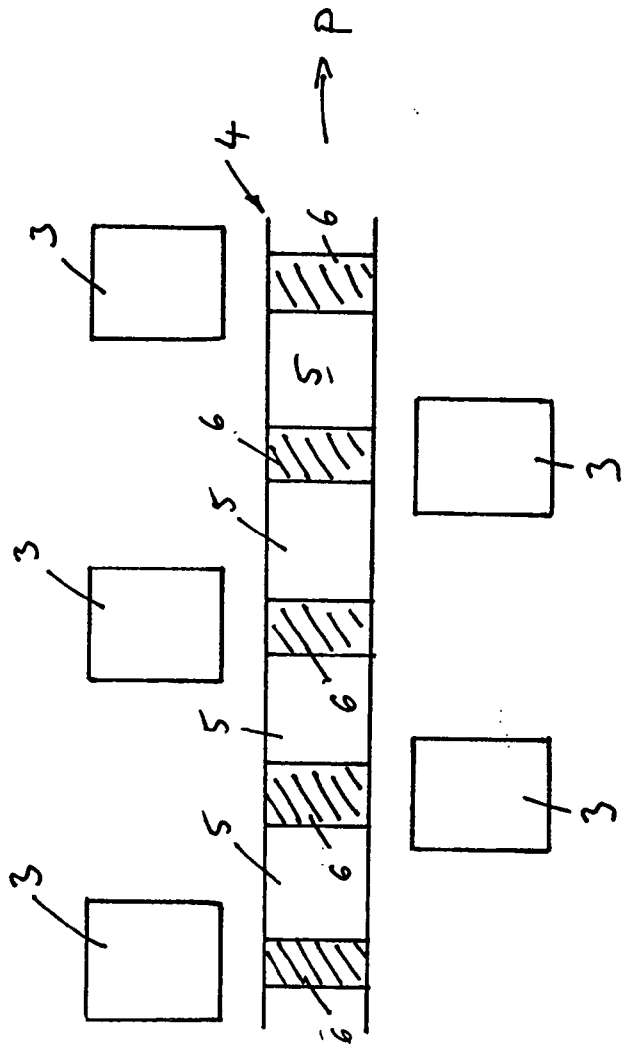


Fig. 4

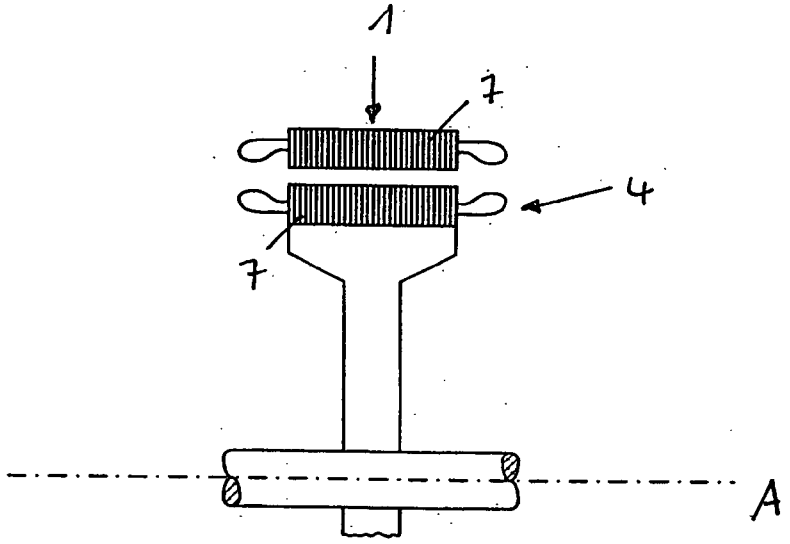


Fig. 5

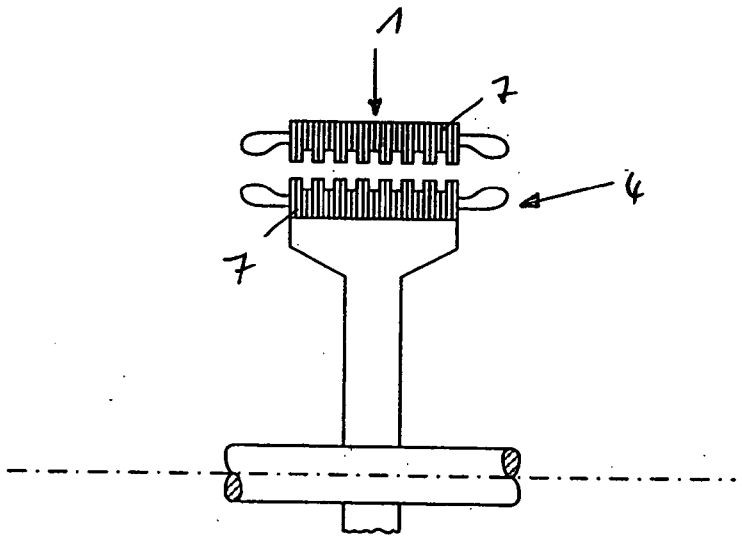


Fig. 6

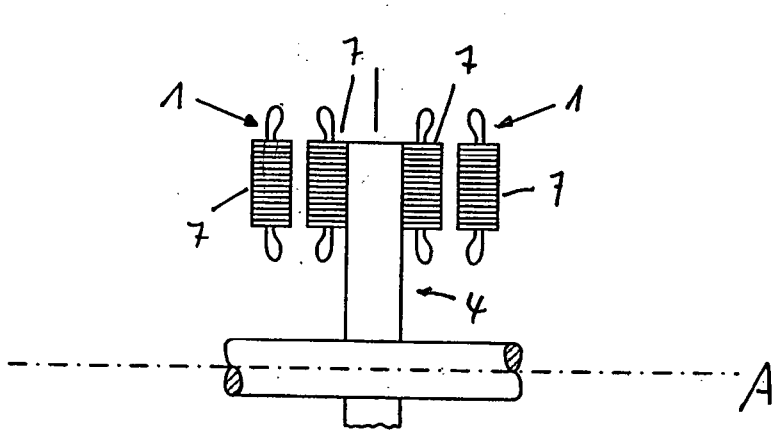


Fig. 7

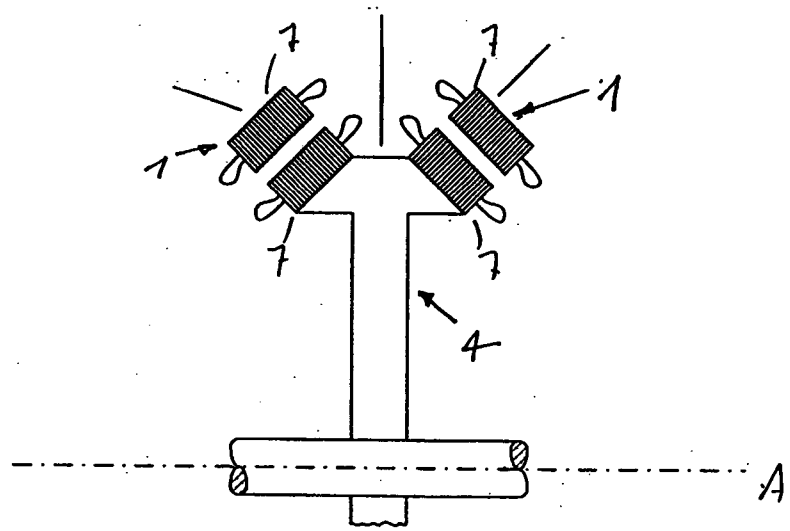


Fig. 8