



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 021 703.7**
(22) Anmeldetag: **18.05.2009**
(43) Offenlegungstag: **25.11.2010**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.08.2013**

(51) Int Cl.: **H02K 21/02 (2006.01)**
H02K 1/14 (2006.01)
H02K 1/18 (2006.01)
H02K 15/03 (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:
Compact Dynamics GmbH, 82319, Starnberg, DE

(74) Vertreter:
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541, München, DE**

(72) Erfinder:
**Gründl, Andreas, Dr., 82319, Starnberg, DE;
Hoffmann, Bernhard, 82319, Starnberg, DE;
Rasch, Reinhard, 82229, Seefeld, DE**

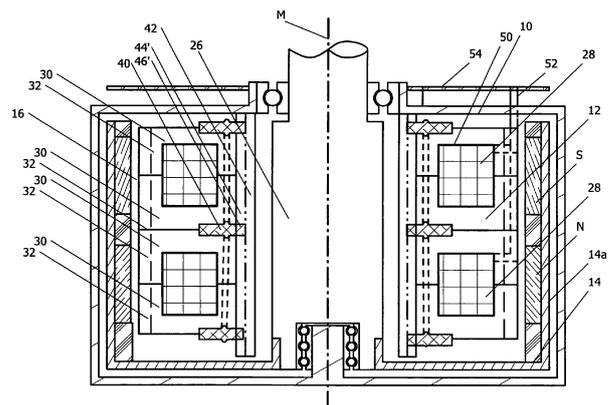
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verbesserte Permanenterregte Synchronmaschine**

(57) Hauptanspruch: Permanenterregte Synchronmaschine (10), aufweisend einen Ständer (12) und einen Läufer (14), wobei

- entweder der Ständer (12) eine Spulenordnung (28) mit Magnetfluss-Jochen (30) aufweist und der Läufer (10) mit Permanentmagnet-Elementen (N, S) versehen ist, oder der Läufer eine Spulenordnung mit Magnetfluss-Jochen (30) aufweist und der Ständer mit Permanentmagnet-Elementen (N, S) versehen ist,
- der Ständer (12) unter Bildung eines Luftspaltes (16) von dem Läufer (14) beabstandet angeordnet ist,
- jedes der Magnetfluss-Joche (30) mehrere zueinander benachbarte Magnetfluss-Pole (32) aufweist,
- die Spulenordnung (28) zumindest teilweise von Magnetfluss-Jochen (30) umgriffen ist,
- die Magnetfluss-Joche (30) aus mehreren Ringzylindersegmenten (30a, 30b, ... 30f) gebildet sind, wobei jedes der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) eine Stirnfläche (34a) aufweist, mit der es wenigstens einem anderen der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) zugewandt ist, und wobei die Stirnfläche (34a) eine Stufe (34b) aufweist, so dass bei einander zugewandten Ringzylindersegmenten (30a, 30b, ... 30f) zwischen deren jeweiligen Stirnflächen (34a) ein Zwischenraum (37) gebildet ist,
- in Richtung einer Mittellängsachse (M) der Magnetfluss-Joche (30) zwischen einander benachbarten Magnetfluss-Jochen (30) jeweils eine Tragscheibe (40) für die Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) der Magnetfluss-Joche (30) angeordnet ist, wobei
 - die Tragscheibe (40)
 - • Einrichtungen zur mechanischen Positionierung wenigstens zweier Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) aufweist, und

- einen thermischen Pfad zu einer Wärmesenke bildet, wobei
 - zwischen der Tragscheibe (40) und jedem an ihr positionierten Ringzylindersegment (30a, 30b, ... 30f) eine elektrisch isolierend wirkende Schicht angeordnet ist.



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

DE	39 04 516	C1
DE	44 42 869	C2
DE	195 47 159	A1
DE 10	2005 036 041	A1
DE 10	2006 027 819	A1
DE 10	2006 037 759	A1
DE 10	2007 017 050	A1
DE	295 00 878	U1
DE	699 27 564	T2
DE	21 58 571	A
US 2002 / 0	158 532	A1
US 2009 / 0	001 843	A1
US	5 682 670	A
EP	0 952 657	A2

Beschreibung

Hintergrund

[0001] Vorgestellt wird eine permanenterregte Synchronmaschine in Form einer elektrischen Maschine mit verbesserter Herstellbarkeit, höherer Effizienz und geringeren Kosten als bekannte permanenterregte Synchronmaschinen. Insbesondere geht es um eine permanenterregte Synchronmaschine mit einem Ständer und einem Läufer, von denen einer, zum Beispiel der Ständer, eine Spule zur Magnetfelderzeugung und der andere, zum Beispiel der Läufer, Permanentmagnet-Elemente zur Interaktion mit dem erzeugten Magnetfeld hat.

Begriffsdefinitionen

[0002] Unter dem Begriff "elektrische Maschine" sind hier sowohl motorisch als auch generatorisch betriebene Maschinen verstanden, als auch Maschinen, die zwischen diesen beiden Betriebsarten wechselnd betrieben werden. Dabei ist es für die hier vorgestellte Anordnung unerheblich, ob eine solche Maschine als Innenläufermaschine oder als Außenläufermaschine ausgestaltet ist.

Stand der Technik

[0003] Dokument US 2009/0001843 A1 offenbart eine elektrische Rotationsmaschine. Diese Rotationsmaschine umfasst einen Klauenpolständer, der eine Vielzahl von separaten Klauenpolpaaren und eine Ständerwicklung umfasst. Die Klauenpole eines Polpaares sind, wenn Strom durch die Ständerwicklung fließt unterschiedlich magnetisiert. Die separaten Klauenpolpaare sind durch Halteplatten aus Kunststoff fixiert.

[0004] Dokument DE 10 2006 027 819 A1 offenbart einen Ringspulenmotor. Dieser Ringspulenmotor weist einen Primärteil und einen Sekundärteil auf. Der Primärteil umfasst Ringspulen und Permanentmagneten. Dabei wird mittels der Ringspulen und der Permanentmagneten eine Kraft auf den Sekundärteil ausgeübt. Der Primärteil kann mehrere, axial hintereinander angeordnete Ringspulen aufweisen, die durch einen Zwischenring voneinander getrennt sind. Der Zwischenring kann aus einem magnetisch nicht leitenden Material, beispielsweise aus thermisch leitender Vergussmasse bestehen.

[0005] Dokument DE 10 2007 017 050 A1 offenbart einen Stator für einen Elektromotor. Dieser Stator besteht aus Mittelsegmenten und Endsegmenten. Insgesamt sind sechs Mittelsegmente und drei Spulen vorgesehen. Je zwei Mittelsegmente und eine Spule bilden eine Unterbaugruppe, so dass drei Unterbaugruppen gebildet werden können. Die drei Unterbau-

gruppen werden so zusammengefügt, dass sie eine ringförmige Baugruppe bilden.

[0006] Die DE 195 47 159 A1 zeigt eine Transversalfeldmaschine mit Leiterringen, die von U-förmigen, weichmagnetischen Körpern von drei Seiten umschlossen sind, wobei ein magnetischer Kreis von weich- und/oder hartmagnetischen Teilen periodisch geschlossen wird. Diese Teile sind durch zwei, radial außerhalb der Leiterringe angeordnete Luftspalte vom jeweiligen U-förmigen, weichmagnetischen Körper getrennt. Die magnetisch aktiven Teile des Rotors oder Stators sind teilweise axial innerhalb der Enden der U-förmigen weichmagnetischen Körper angeordnet.

[0007] Aus der EP 0 952 657 A2 ist eine Transversalfeldmaschine mit einer Statoranordnung in einem Statorgehäuse bekannt, in dem ein sich in Umlaufrichtung erstreckendes Polsystem mit U-förmigem Querschnitt angeordnet ist. In der Ausnehmung zwischen den Schenkeln des U-förmigen Querschnitts ist eine sich in Umlaufrichtung erstreckende Ringwicklung aufgenommen. Eine Rotoranordnung hat Reihen von abwechselnd angeordneten Permanentmagneten und Weicheisen-Rückflusselementen. Statorseitig ist jeweils zwischen der Ringwicklung und der Rotoranordnung ein Tragring vorgesehen, der an beiden Randbereichen Ausnehmungen zur Aufnahme von in Richtung der Rotoranordnung vorstehenden Zähnen des Polsystems aufweist. Der Tragring dient zur Stabilisierung des Polsystems und der Ringspule. Jedes Polsystem besteht aus einem ringförmigen Poljoch und zwei in dessen seitlichen Bereichen daran anschließenden Polringen. Die Polringe haben in ihren poljochseitigen Randbereichen Einschnitte oder Schlitze.

[0008] Aus der DE 39 04 516 C1 ist eine permanentmagnet-erregte elektrische Maschine bekannt, deren Polringe mit angeformten Polzähnen, Außenstator und Innenstator aus Segmentblechen zusammengesetzt sind, die jeweils aus gegeneinander isolierten Blechen bestehen. Die Segmentbleche erstrecken sich beispielsweise über ein Sechstel des Umfangs.

[0009] Aus der DE 10 2005 036 041 A1 ist eine permanenterregte elektrische Maschine bekannt mit einem Ständer und einem Läufer, wobei entweder der Ständer eine Spulenordnung aufweist und der Läufer mit Permanentmagnet-Elementen versehen ist, oder der Läufer eine Spulenordnung aufweist und der Ständer mit Permanentmagnet-Elementen versehen ist. Zwischen dem Ständer und dem Läufer ist ein Luftspalt gebildet, der von den Permanentmagnet-Elementen und mit auf diese in bestimmten Positionen ausgerichteten magnetisch leitenden Zähnen des Ständers begrenzt ist. Die Spulenordnung hat wenigstens eine hohlzylindrische Wicklung. Die-

ser Ständer oder dessen Teile können aus Blechen oder Blechabschnitten aufgebaut sein, oder aus zu der entsprechenden Gestalt gepressten und/oder gesinterten Eisenpartikeln geformt sein. Auch Mischformen dieser beiden Varianten sind beschrieben, bei denen Übergangsbereiche von radial orientierten Blechabschnitten zu axial orientierten Blechabschnitten aus gepressten und gesinterten Eisenpartikeln geformt sind.

[0010] Aus der DE 699 27 564 T2 ist ein Klauenpol-Dynamo für ein Fahrrad bekannt, bei dem das Statorjoch aus Reineisen-Magnetstahlblechen geformt ist.

Zugrunde liegendes Problem

[0011] Ziel ist es, eine kompakt bauende und hoch-effiziente elektrische Maschine bereit zu stellen, die eine hohe Leistungsdichte bei für die Serienfertigung optimiertem Aufbau hat.

Lösung

[0012] Um dieses Ziel zu erreichen wird hier eine elektrische, permanenterregte Synchronmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Diese permanenterregte Synchronmaschine hat einen Ständer und einen Läufer. Entweder hat der Ständer eine Spulenordnung und der Läufer ist mit Permanentmagnet-Elementen versehen ist oder der Läufer hat eine Spulenordnung und der Ständer ist mit Permanentmagnet-Elementen versehen. Der Ständer ist unter Bildung eines Luftspaltes von dem Läufer beabstandet angeordnet. Jedes der Magnetfluss-Joche hat (innere oder äußere) Seitenbereiche mit Magnetfluss-Polen. Die Spulenordnung kann wenigstens eine von Magnetfluss-Jochen zumindest teilweise umgriffene hohlzylindrische Wicklung haben. Die Wicklung kann eine oder mehrere Windungen haben. Die Magnetfluss-Pole haben jeweils eine zu den Permanentmagnet-Elementen jenseits des Luftspaltes hin orientierte Außen-(oder Innen-)seite. Zueinander in Umfangs- oder Umlaufrichtung des Läufers benachbarte Permanentmagnet-Elemente können jeweils zu dem Luftspalt hin magnetisch abwechselnd orientiert sein. In einigen Positionen des Läufers relativ zum Ständer können wenigstens einige der Magnetfluss-Pole zumindest teilweise mit den Permanentmagnet-Elementen fluchten. Die Magnetfluss-Joche sind aus wenigstens einem oder mehreren Ringzylindersegmenten gebildet. Jedes der Ringzylindersegmente weist eine (in axialer Richtung des Magnetfluss-Joches gerichtete) Stirnfläche auf, mit der es wenigstens einem anderen der Ringzylindersegmente zugewandt ist, wobei die/jede Stirnfläche eine Stufe aufweist, so dass bei einander zugewandten Ringzylindersegmenten zwischen deren jeweiligen Stirnflächen ein Zwischenraum gebildet ist. In Richtung einer Mittel-längsachse der Magnetfluss-Joche zwischen einan-

der benachbarten Magnetfluss-Jochen ist jeweils eine Tragscheibe aus thermisch gut leitendem Material vorgesehen. Die oder jede Tragscheibe weist Einrichtungen zur mechanischen Positionierung wenigstens zweier Ringzylindersegmente auf, ist als durchgehende kreisringförmige Scheibe gebildet, und bildet einen thermischen Pfad zu einer Wärmesenke. Zwischen der Tragscheibe und jedem an ihr positionierten Ringzylindersegment ist eine Isolierschicht zur elektrischen Isolierung angeordnet.

Vorteile, Ausgestaltungen und Weiterbildungen

[0013] Diese Anordnung hat gegenüber bekannten permanenterregten Synchronmaschinen den Vorteil, dass sie sehr kompakt, mechanisch sehr stabil und hoch effizient ist, da sie durch die Tragscheibe(n) die Magnetfluss leitenden Teile des Joches und indirekt auch die Spulenordnung gut entwärmt. In die Tragscheibe können auch die durch die Magnetkraft hervorgerufenen Kräfte sowie die durch das Umlaufen des Rotors hervorgerufenen Drehmomente eingeleitet werden. Außerdem erfordern die segmentierten Ringteile des Magnetfluss-Joches für ihre Herstellung einen geringeren Aufwand als komplette Ringe mit großem Durchmesser. Durch die Segmentierung kann auch die Wirbelstrombildung verringert sein. Die Isolierschicht kann entweder an der Tragscheibe angebracht sein oder an dem Ringzylindersegment angebracht sein oder als zwischen den beiden Komponenten angeordnete, nicht an einer der beiden Komponenten anhaftende Schicht ausgestaltet sein.

[0014] Bei Ringen kleinen Durchmessers (zum Beispiel im Bereich von wenigen Zentimetern bis etwa 15 cm oder 20 cm) ist es auch möglich das Magnetfluss-Joch als einen einzigen durchgehenden Ring, ggf. mit einer Unterbrechung entlang seines Umfangs auszugestalten.

[0015] Die segmentierten Ringteile des Magnetfluss-Joches können an der Außenwand oder an der Innenwand eines magnetisch nicht wirksamen Rohres (zum Beispiel aus Aluminium) herum angeordnet sein. An der entsprechenden anderen Wand (also der Innenwand bzw. der Außenwand) kann die Wärmesenke zum Beispiel in Form einer Fluidkühlung vorgesehen sein, bei der Kohlenwasserstoff, (zum Beispiel Öl oder Alkohol), Wasser, Luft oder dergl. durch einen oder mehrere entsprechend geformte Kanäle strömt.

[0016] Jede Tragscheibe kann als durchgehende kreisringförmige Scheibe aus einem Material mit guter Wärmeleitung, wie Aluminium oder dergl. gebildet sein. Ein Aspekt ist dabei, dass die Tragscheiben aus magnetisch nicht oder wenig wirksamem Material gebildet sind. Ein weiterer Aspekt kann sein, dass die Tragscheiben zwischen zwei Magnetfluss-Jochen angeordnet ist, die jeweils unterschiedliche Spulen-

anordnungen umgreifen. Weiterhin kann jeweils an beiden Stirnseiten der Magnetfluss-Joche ebenfalls eine Tragscheibe vorgesehen sein, die in diesem Fall nur mit einem Magnetfluss-Joch verbunden ist.

[0017] Jede Tragscheibe kann – durch entsprechende Formgebung und/oder durch andere Maßnahmen – gegen Verdrehen gesichert an einem Träger angeordnet sein. Der Träger kann ein magnetisch nicht wirksames Rohr sein, auf das die (ebenfalls aus magnetisch nicht wirksamem Material bestehende) Tragscheibe aufgeschumpft oder anders verdrehgesichert gehalten sein kann. Als Einrichtungen zur mechanischen Positionierung der Ringzylindersegmente an der Tragscheibe können Ausnehmungen, Erhebungen, oder Vertiefungen für kraft- und/oder formschlüssige Verbindung vorgesehen sein, die zum Zusammenwirken mit korrespondierend gestalteten Einrichtungen an den Ringzylindersegmenten ausgebildet sind. Die Tragscheibe kann in radialer Richtung, aber auch in Umfangsrichtung, profiliert sein. Bei einer Variante ist der Tragring an seinem dem Tragrohr näheren Rand dicker als an seinem dem Tragrohr fernen Rand.

[0018] Die Wärmesenke kann in einer Variante in dem Träger(rohr) angeordnet und als Fluidkühlung, als Peltieremelent-Anordnung, oder dergl. ausgebildet sein.

[0019] Jedes der Ringzylindersegmente kann eine Aufnahmestelle für zumindest einen Abschnitt der jeweiligen Tragscheibe aufweisen. Die Aufnahmestelle ist in diesem Fall so dimensioniert und an dem Ringzylindersegment so angeordnet, dass ein Entwärmen des Ringzylindersegmentes ermöglicht ist. Ein magnetischer Fluss längs einer Richtung einer Mittellängsachse der Magnetfluss-Joche durch diese ist dabei zumindest weitgehend unbeeinträchtigt.

[0020] Die Tragscheibe überdeckt in radialer Richtung etwa 10% bis etwa 80%, vorzugsweise etwa 25% bis etwa 40% der radialen Erstreckung des Ringzylindersegmentes.

[0021] Weiterhin kann jedes der Ringzylindersegmente zwei (In Umfangsrichtung des Magnetfluss-Joches gerichtete) Seitenflächen aufweisen, mit denen es in Umfangsrichtung des Magnetfluss-Joches wenigstens einem anderen der Ringzylindersegmente zugewandt ist, wobei die Seitenflächen zweier aneinander angrenzender Ringzylindersegmente elektrisch gegeneinander isoliert sind.

[0022] Zum zumindest teilweisen Umgreifen der Spulenordnung können aufeinander zu gerichtete Ringzylindersegmente einander mit ihren jeweiligen Stirnflächen teilweise in Umfangsrichtung der Magnetfluss-Joche überlappen. Als aufeinander zu gerichtete Ringzylindersegmente sind dabei solche

verstanden, deren jeweilige Magnetfluss-Pole versetzt zwischen einander greifen. Damit wird das Auftreten von induzierten Strömen in Umfangsrichtung des Ständers bzw. von nennenswertem axialem magnetischem Fluss durch die Tragscheiben so gut wie vollständig ausgeschlossen. Jedes Magnetfluss-Joch kann einteilig oder mehrteilig, zum Beispiel zweiteilig, dreiteilig, vierteilig, fünfteilig, sechsteilig, siebenteilig, achteilig, etc. aus einem Reineisenblech mit einer Materialdicke zwischen etwa 1,5 Millimeter und etwa 5 Millimeter hergestellt sein wobei alle dazwischen liegenden Werte als hier offenbart gelten. Die Magnetfluss-Joche können auch aus gepresstem, gesinterem Reineisenpulver oder aus eisenhaltigem Pulver hergestellt sein.

[0023] Die Ringzylindersegmente können als Gleichteile gestaltet sein. Dies verringert den Fertigungsaufwand. Da die Segmente kompakter sind als ein vollständiger Magnet-Jochring, erfordert das Herstellen der Segmente im Pressverfahren auch nur Presseinrichtungen geringerer Presskraft.

[0024] Wenn der Ständer die Spulenordnung trägt und der Läufer mit den Permanentmagnet-Elementen versehen ist, vermeidet dies die Notwendigkeit bewegter (zum Beispiel rotierender) Stromübergänge auf eine im Läufer vorhandene Spulenordnung.

[0025] Der Luftspalt zwischen den Magnetfluss-Polen und den Permanentmagnet-Elementen kann zwischen etwa 0,1 Millimeter und etwa 1,5 Millimeter oder mehr betragen, wobei auch alle dazwischen liegenden Werte als hier offenbart gelten.

[0026] Die Seitenbereiche der Magnetfluss-Joche können voneinander beabstandete Stege haben, welche die Magnetfluss-Pole bilden. Stege eines Magnetfluss-Joches können dabei soweit von einander beabstandet sein, dass sie und entsprechend geformte Stege eines gegenüber befindlichen Magnetfluss-Joches wie Finger zweier Hände ineinander greifen. Stege eines Magnetfluss-Joches können eine im Wesentlichen quaderförmige Gestalt haben. Es ist auch möglich, ihnen eine sich zu ihren Enden hin in der Breite und/oder der Höhe verjüngende Gestalt zu geben. Diese Formgebung verringert oder minimiert die magnetischen Streuflüsse zwischen benachbarten Stegen der Magnetfluss-Joche.

[0027] Jedes Magnetfluss-Joch hat einen im Wesentlichen ebenen Bodenbereich mit einer zentralen Öffnung, um jedes Magnetfluss-Joch drehsicher auf einem Ständerträger anzuordnen. Dazu ist die Öffnung im Querschnitt nicht kreisrund und der Ständerträger als im Querschnitt annähernd gegengleich geformter Zylinder ausgestaltet. Der Ständerträger ist ein zylindrisches Rohr, das aus magnetisch nicht wirksamem Material (zum Beispiel Aluminium oder dergl.) geformt ist.

[0028] Die Permanentmagnet-Elemente können als Press-, Guss- oder Schnitt-Teile aus einer AlNi- oder AlNiCo-Legierung, aus Barium- oder Strontiumferrit, aus einer SmCo-, oder NdFeB-Legierung gebildet sein. Damit sind Energieprodukte $(BH)_{\max}$ von Permanentmagneten im Bereich von etwa 30 bis etwa 300 Kilojoule/Kubikmeter – auch im erhöhten Temperaturbereich von etwa 150 bis etwa 180 Grad Celsius – erreichbar.

[0029] Die Permanentmagnet-Elemente können auch als Bauteile aus magnetischen Pulverteilchen eingebettet in temperaturbeständige Kunststoffbinder enthaltend zum Beispiel Polyamid, Polyphensulfid, Duroplast, Epoxidharz, oder dergl. gebildet sein. Es kann sich bei dem Kunststoffbinder auch um Methacrylatklebstoff, Epoxidharzklebstoff, Polyurethan- klebstoff, Phenolharzklebstoff, Epoxidharz mit Faser- verstärkung, oder hydrophobiertes Epoxidgießharz handeln.

[0030] Des Weiteren können die Permanentmagnet-Elemente eine im Wesentlichen quaderförmige Gestalt haben. Sie können eine Gestalt haben, die im Wesentlichen mit der Gestalt der Stege der Magnet- fluss-Joche übereinstimmt; sie können in der Drauf- sicht zum Luftspalt hin also rechteckig, trapez- oder dreieck-, bzw. rautenförmig, oder dergl. sein. Dabei kann zum Erreichen eines im Spaltmaß im Wesentli- chen konstanten Luftspaltes die Kontur der Magnet- fluss-Joche (konkav oder konvex) gegengleich in die Permanentmagnet-Elemente eingearbeitet sein.

[0031] In dem Gehäuse der permanenterregten Syn- chronmaschine oder außen daran angebracht kann eine elektronische Steuereinheit vorgesehen sein, die mit einer Stromversorgung zu verbinden und mit einem Positions- oder Winkelsollsignal zu speisen ist, und die mit einem Drehbewegungen der permanen- terregten Synchronmaschine erfassenden Drehposi- tions- oder Drehwinkelgeber zu verbinden ist, um die Spulenordnung entsprechend anzusteuern. Auch eine sensorlose Pollageerfassung ist möglich.

[0032] Zur Bildung der Spulenordnung können Kupferlackdraht, Kupferflachbänder, oder Kupferlit- zen bestehend aus lackisolierten Einzelleitern ver- wendet werden, die miteinander verdrillt oder ver- flochten sind. Mit derartigen Litzen kann der Erhö- hung des Leiterwiderstandes bei höheren Frequen- zen entgegengewirkt werden.

[0033] Die Spulenordnung kann in einem magne- tisch nicht wirksamen Spulenkörper (zum Beispiel aus Kunststoff) aufgenommen sein, der einen bis zu einer Elektronikplatine im Innern oder außerhalb der permanenterregten Synchronmaschine reichen- den Anschlusskanal aufweist. Dies erleichtert die Montage erheblich.

[0034] Jedes der Magnetfluss-Joche kann mehre- re zueinander benachbarte Magnetfluss-Pole aufwei- sen, die entlang des Umfangs, außer an einer Stelle, an der ein Magnetfluss-Pol fehlt, gleichmäßig verteilt angeordnet sind. Anstatt eines fehlenden Magnet- fluss-Pols können auch mehrere Magnetfluss-Pole und/oder Teile eines Magnetfluss-Pols weggelassen werden, je nachdem, welchen Raumbedarf der An- schlusskanal bzw. die Anschlussleitung in Umfangs- richtung hat. Durch diese Ausgestaltung kann an der Stelle, an der der Magnetfluss-Pol fehlt, der An- schlusskanal von dem Kunststoffspulenkörper zwis- chen den Magnetfluss-Polen zu der Elektronikplati- ne führen.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0035] Weitere Merkmale, Eigenschaften, Vortei- le und mögliche Abwandlungen werden für einen Fachmann anhand der nachstehenden Beschreibung deutlich, in der auch auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen ist.

[0036] [Fig. 1](#) ist eine schematische Längsschnitt- darstellung einer permanenterregten Synchronmaschi- ne.

[0037] [Fig. 2](#) ist eine schematische seitliche Teildar- stellung von Magnetfluss-Jochen.

[0038] [Fig. 3](#) ist eine schematische perspektivische Darstellung eines Ringzylindersegmentes eines Ma- gnetfluss-Joches.

[0039] [Fig. 4](#) ist eine schematische Darstellung ei- nes Magnetfluss-Joches von oben.

[0040] [Fig. 5](#) ist eine schematische Darstellung ei- nes Magnetfluss-Joches von unten.

[0041] [Fig. 6](#) zeigt eine schematische vergrößerte Schnitt- darstellung eines Magnetfluss-Joches mit zwei ineinander gesetzten Segmenten und einer dar- in aufgenommenen Spulenordnung.

[0042] [Fig. 7](#) zeigt eine schematische perspektivi- sche Darstellung einer Tragscheibe.

[0043] [Fig. 8](#) ist eine schematische Schnitt- darstellung durch zwei benachbarte Magnetfluss-Joche mit jeweils zwei ineinander gesetzten Segmenten und darin aufgenommenen Spulenordnungen, wobei die Segmente der Magnetfluss-Joche durch Trag- scheiben an einem Tragrohr gehalten sind.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0044] [Fig. 1](#) zeigt eine als permanenterregte Syn- chronmaschine ausgestaltete elektrische Maschine in Form einer Außenläufermaschine. Die permanen-

terregte Synchronmaschine **10** hat einen Ständer **12** und einen Läufer **14**. Der Läufer **14** hat einen becherförmigen Träger **14a** für Permanentmagnet-Elemente N, S. Der Ständer **12** hat mehrere (hier zwei) Spulenordnungen **28**. Jede Spulenordnung **28** des Ständers **12** hat eine kreisringzylindrische Wicklung und ist von zwei im Wesentlichen kreisringförmigen Magnetfluss-Jochen **30** umgriffen. Jedes der kreisringförmigen Magnetfluss-Joche **30** hat Seitenbereiche mit Magnetfluss-Polen **32**. Die Außenseiten der Magnetfluss-Pole **32** sind zu den in Permanentmagnet-Elementen N, S des Läufers **14** hin orientiert.

[0045] Zwischen dem Läufer **14** und dem Ständer **12** ist ein ringzylindrischer Luftspalt **16** gebildet. Die magnetische Orientierung zueinander benachbarter Permanentmagnet-Elemente N, S des Läufers **14** ist zu dem Luftspalt **16** hin jeweils abwechselnd. In bestimmten Positionen des Läufers **12** relativ zum Ständer **14** sind die Permanentmagnet-Elemente N, S mit den Magnetfluss-Pole **32** des Läufers **12** fluchtend ausgerichtet. Die Permanentmagnet-Elemente sind hier zum Beispiel aus einer SmCo- oder NdFeB-Legierung gebildet. Die Magnetfluss-Joche **30** haben mehrere Segmente und sind als Press-/Sinter Teile aus Reineisenpulver ausgebildet. Mit dem Läufer **14** ist eine Abtriebswelle **26** drehfest verbunden, zum Beispiel verschweißt.

[0046] Wie in den Fig. zu sehen ist, haben die Magnetfluss-Joche **30** im Querschnitt eine etwa U-förmige Gestalt mit einem äußeren und einem inneren Seitenbereich **32**, **34**, die zusammen mit einem zwischen diesen befindlichen ebenen Verbindungsbe- reich **36** das U-förmige Profil ergeben. In der vorliegenden Variante sind die äußeren Seitenbereiche **34** der Magnetfluss-Joche **30** als an ihrem Umfang angeformte Vielzahl voneinander beabstandeter Stege ausgestaltet, welche die Magnetfluss-Pole **32** bilden. Die Stege **34** eines Magnetfluss-Joches **30** sind so weit voneinander beabstandet, dass sie und entsprechend geformte Stege **34** eines dagegen gerichteten Magnetfluss-Joches **30** finger- oder krallenartig ineinander greifen und so die Spulenordnung **28** an ihrer Außenseite umgreifen und einfassen. Jedes Magnetfluss-Joch **30** hat so einen im Wesentlichen ebenen Bodenbereich **36** mit einer zentralen Öffnung **38**. Zur Erhöhung der mechanischen Stabilität der Gesamtanordnung kann neben der Spulenordnung **28** zwischen die Magnetfluss-Joche **30** ein keilförmiger Ring **48** aus elastisch verformbarem Kunststoff eingelegt sein, der bei der Montage in axialer Richtung zusammengesprengt wird (siehe [Fig. 6](#)).

[0047] Jedes der ringförmigen Magnetfluss-Joche **30** ist aus mehreren, hier sechs, Ringzylindersegmenten **30a**, **30b**, ... **30f** gebildet (siehe [Fig. 2](#), [Fig. 3](#)). Zwischen einander benachbarten Magnetfluss-Jochen **30** ist jeweils eine Tragscheibe **40** für die Ringzylindersegmente **30a**, **30b**, ... **30f** der Ma-

gnetfluss-Joche angeordnet. Die Tragscheibe **40** hat Einrichtungen in Form von Ausnehmungen, Erhebungen **40'** oder Vertiefungen **40''**. In [Fig. 7](#) sind nur einige der an jeder Tragscheibe **40** in regelmäßigen Abständen entlang des gesamten Umfangs an der Oberseite und der Unterseite vorgesehenen Erhebungen **40'** oder Vertiefungen **40''** veranschaulicht. Sie reichen im montierten Zustand der Tragscheibe mit den Magnetfluss-Jochen in entsprechend dimensionierte Ausnehmungen **35** der Ringzylindersegmente **30a**, **30b**, ... **30f** und dienen zur mechanischen Positionierung der Ringzylindersegmente **30a**, **30b**, ... **30f** in radialer und in Umfangsrichtung. An den beiden Stirnseiten des Stapels aus Magnetfluss-Jochen **30** ist ebenfalls jeweils eine Tragscheibe **40** angeordnet.

[0048] Jede Tragscheibe **40** ist zur Sicherstellung einer hohen mechanischen Stabilität der Gesamtanordnung der Magnetfluss-Joche **30** als durchgehende kreisringförmige Scheibe ausgestaltet. Um die Magnetfluss-Joche **30** – und die von ihnen eingefassten Spulenordnungen **28** – während des Betriebes gut zu entwärmen, sind die Tragscheiben **40** aus einem Material mit guter Wärmeleitung, wie Aluminium oder dergl. gebildet ist. Weiterhin sind die Tragscheiben **40** aus magnetisch nicht oder wenig wirksamem Material gebildet – auch hierfür ist Aluminium gut geeignet. Schließlich sind die Tragscheiben **40** jeweils zwischen zwei Magnetfluss-Jochen **30** angeordnet, die jeweils unterschiedliche Spulenordnungen **28** umgreifen. Da die Tragscheibe **40** aus Aluminium eloxiert ist, wirkt sie außerdem auch elektrisch isolierend. Die Tragscheibe **40** kann auch mit Kunststoff, Lack, Glas, oder einem anderen elektrisch isolierenden aber Wärme gut leitenden Stoff beschichtet sein. Es ist auch möglich, die Magnetfluss-Joche **30** mit einem dieser Stoffe zu beschichten, oder eine separate Isolierschicht zwischen die Magnetfluss-Joche **30** und die Tragscheibe **40** einzubringen.

[0049] Jede Tragscheibe **40** ist gegen Verdrehen gesichert an einem Träger **42** angeordnet, der in den gezeigten Varianten ein Tragrohr **42** ist. Zum Sichern dient in der in [Fig. 7](#) veranschaulichten Variante eine Nut **44** in der Tragscheibe **40**, in die ein gegen gleich geformter Vorsprung am (inneren oder äußeren) Umfang des Träger(rohrs) **42** eingreift. Alternativ dazu (siehe [Fig. 1](#)) kann auch eine Längsnut **44'** in dem Träger **42** vorgesehen sein, in die ein gegen gleich geformter Vorsprung **46'** am (inneren oder äußeren) Umfang der Tragscheibe **40** eingreift.

[0050] Das Tragrohr **42** ist mit Kanälen **50** zur Durchleitung von Kühlflüssigkeit ausgestattet, damit über die Tragscheiben **40** abgeleitete Verlustwärme aus den Magnetfluss-Jochen **30** abgeführt werden kann. Dazu ist die Tragscheibe **40** in engem Wärme leitendem Kontakt mit den Magnetfluss-Jochen **30** ohne dabei die Magnetflussführung durch die Magnet-

fluss-Joche **30** nennenswert zu beeinträchtigen. Die Tragscheibe **40** reicht in der gezeigten Variante in radialer Richtung etwa 1/3 der radialen Erstreckung des Ringzylindersegmentes **30a**, **30b**, ... **30f** von der Tragrohrwand. In der hier veranschaulichten Variante hat die Tragscheibe einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt. Zur Verbesserung des Wärmeübergangs von der Tragscheibe zu der Tragrohrwand kann der Querschnitt der Tragscheibe auch keilförmig sein, wobei die der Tragrohrwand zugewandte Flanke der Tragscheibe größer ist als die zwischen die Magnetfluss-Joche **30** reichende Flanke (siehe [Fig. 8](#)).

[0051] Jedes der Ringzylindersegmente **30a**, **30b**, ... **30f** hat an seinem radial innen liegenden Seitenbereich **34** eine Stirnfläche **34a**, in die an einem Ende eine Stufe **34b** eingearbeitet ist (siehe [Fig. 3](#)). Wenn in montiertem Zustand der Ringzylindersegmente die Stirnflächen **34a** einander zugewandt sind, entsteht zwischen deren jeweiligen Stirnflächen **34a** ein Zwischenraum **37**. Weiterhin hat jedes der Ringzylindersegmente zwei Seitenflächen **38a**, **38b**, mit denen es in Umfangsrichtung des Magnetfluss-Joches **30** jeweils einem anderen der Ringzylindersegmente zugewandt. Dabei sind die Seitenflächen **38a**, **38b** zweier aneinander angrenzender Ringzylindersegmente elektrisch gegeneinander isoliert, indem ein Luftspalt **39** zwischen ihnen vorgesehen ist. Nachdem die Ringzylindersegmente mit den in ihnen aufgenommenen Spulenanordnungen fertig montiert sind, können die Luftspalte und die Zwischenräume **37**, aber auch andere Hohlstellen in der Anordnung mit Harz oder Klebstoff ausgefüllt werden.

[0052] Die Ringzylindersegmente sind als Gleichteile gestaltet. Ringzylindersegmente, deren Magnetfluss-Joche fingerartig ineinander greifen sind einander mit ihren jeweiligen Stirnflächen teilweise in Umfangsrichtung der Magnetfluss-Joche überlappend (etwa nach Art einer Ziegelmauerung) angeordnet, was die mechanische Stabilität der Gesamtanordnung weiter erhöht.

[0053] Die Permanentmagnet-Elemente N, S sind aus einem Magnetwerkstoff gebildet und haben eine im Wesentlichen quaderförmige Gestalt.

[0054] Die Spulenanordnung ist als Ringzylinder-spule aus Litzen, bestehend aus miteinander verdrillten oder verflochtenen lackisolierten Einzelleitern, in einem Spulenkörper **50** aus Kunststoff gewickelt. Der Spulenkörper **50** hat einen Anschlusskanal **52**, der von der Außenseite des Spulenkörpers **50** bis zu einer Steuerungs-Elektronikplatine **54** außerhalb der permanenterregten Synchronmaschine reicht. Entlang des Umfangs der Magnetfluss-Joche fehlt jeweils an einer gleichen Stelle ein Magnetfluss-Pol. Dort führt der Anschlusskanal **52** von dem Kunst-

stoffspulenkörper **50** zwischen den Magnetfluss-Polen zu der Steuerungs-Elektronikplatine **54**.

[0055] Zur Bildung der Spulenanordnung können Litzen bestehend aus lackisolierten, miteinander verdrillten oder verflochtenen Einzelleitern verwendet werden. Dies wirkt der Erhöhung des Leiterwiderstandes bei höheren Frequenzen entgegen. In einem elektrischen Leiter entstehen durch magnetische Felder des Wechselstromes Wirbelströme, die dem Stromfluss entgegenwirken. Diese Wirbelströme nehmen bei höheren Frequenzen zu. Zum Gleichstromwiderstand addiert sich demnach ein von der Frequenz abhängiger Wechselstrom-Wirkwiderstand. Die Wirbelstromverluste sind beim Grund der durch die Magnetfluss-Joche gebildeten Nut am größten und nehmen nach außen zum Luftspalt hin ab. Um die vorgenannten Verluste so gering wie möglich zu halten, wird der Leiterquerschnitt reduziert, was weniger Wirbelstromverluste hervorruft und führt dafür mehrere Leiter parallel. Um die Strom-Asymmetrie der einzelnen Leiter auszugleichen, werden die Leiter miteinander verdrillt oder verseilt. Die Verdrillung ist so gewählt, dass über die Länge der Litze gesehen die Position eines Drahtes gleichmäßig zwischen dem Nutgrund und der Nutöffnung abwechselt.

[0056] Der Einzelleiterquerschnitt sollte mit steigender Frequenz abnehmen; im Bereich um 1 kHz sollte der Einzelleiterquerschnitt etwa 0.4 mm betragen. Zur Verbesserung des Füllfaktors (Rauminhalt des Wickelraumes bezogen auf den Rauminhalt der elektrischen Leiters) setzt man vorzugsweise Litzen mit rechteckigem Profil ein. Der Füllfaktorgewinn ergibt sich aus der Verdichtung der Litze, der besseren Füllung des Wickelraumes durch die Rechteckgeometrie. Der Einzelleiter kann eine oder mehrere Umspinnungen/Umflechtungen mit unterschiedlichen Garnen, z. B. Polyamid, Baumwolle, Glas, Polyester, Aramid, usw. haben. Auch können eine oder mehrere Bandagierungen mit Polyesterfolien, Polyimidfolien, Aramidpapier, Glasbänder, etc. eingesetzt sein. Isolationen aus klebebeschichteten Folien wie Polyester und Polyimid werden wärmebehandelt, um eine gut verklebte Isolation zu erreichen. Kombinationen der vorgenannten Maßnahmen sind ebenfalls einsetzbar. Anstelle der Litzen kann auch eine massive Kupferleitung aus einem Kupferband die Wicklung bilden. Auch hierbei kann die Leitung verdrillt werden. Das Kupferband sollte in Richtung der Nut dünn sein.

[0057] Die vorstehend erläuterten Details sind zwar im Zusammenhang dargestellt; sie sind jedoch auch unabhängig von einander und auch frei miteinander kombinierbar.

[0058] Die in den Fig. gezeigten Verhältnisse der einzelnen Teile und Abschnitte hiervon zueinander und deren Abmessungen und Proportionen sind nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr können ein-

zelne Abmessungen und Proportionen auch von den gezeigten abweichen.

Patentansprüche

1. Permanenterregte Synchronmaschine (10), aufweisend einen Ständer (12) und einen Läufer (14), wobei

– entweder der Ständer (12) eine Spulenordnung (28) mit Magnetfluss-Jochen (30) aufweist und der Läufer (10) mit Permanentmagnet-Elementen (N, S) versehen ist, oder der Läufer eine Spulenordnung mit Magnetfluss-Jochen (30) aufweist und der Ständer mit Permanentmagnet-Elementen (N, S) versehen ist,

– der Ständer (12) unter Bildung eines Luftspaltes (16) von dem Läufer (14) beabstandet angeordnet ist,
– jedes der Magnetfluss-Joche (30) mehrere zueinander benachbarte Magnetfluss-Pole (32) aufweist,
– die Spulenordnung (28) zumindest teilweise von Magnetfluss-Jochen (30) umgriffen ist,

– die Magnetfluss-Joche (30) aus mehreren Ringzylindersegmenten (30a, 30b, ... 30f) gebildet sind, wobei jedes der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) eine Stirnfläche (34a) aufweist, mit der es wenigstens einem anderen der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) zugewandt ist, und wobei die Stirnfläche (34a) eine Stufe (34b) aufweist, so dass bei einander zugewandten Ringzylindersegmenten (30a, 30b, ... 30f) zwischen deren jeweiligen Stirnflächen (34a) ein Zwischenraum (37) gebildet ist,

– in Richtung einer Mittellängsachse (M) der Magnetfluss-Joche (30) zwischen einander benachbarten Magnetfluss-Jochen (30) jeweils eine Tragscheibe (40) für die Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) der Magnetfluss-Joche (30) angeordnet ist, wobei

– die Tragscheibe (40)

– • Einrichtungen zur mechanischen Positionierung wenigstens zweier Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) aufweist, und

• einen thermischen Pfad zu einer Wärmesenke bildet, wobei

– zwischen der Tragscheibe (40) und jedem an ihr positionierten Ringzylindersegment (30a, 30b, ... 30f) eine elektrisch isolierend wirkende Schicht angeordnet ist.

2. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach Anspruch 1, bei dem die Isolierschicht entweder an der Tragscheibe (40) angebracht ist, oder an dem Ringzylindersegment (30a, 30b, ... 30f) angebracht ist, oder als zwischen der Tragscheibe (40) und dem Ringzylindersegment (30a, 30b, ... 30f) angeordnete Schicht ausgestaltet ist, die elektrisch isolierend wirkt.

3. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem jede Tragscheibe (40)

• als durchgehend kreisringförmige Scheibe aus einem Material mit guter Wärmeleitung, wie Aluminium oder dergleichen gebildet ist, und/oder

• aus magnetisch nicht oder wenig wirksamem Material gebildet ist, und/oder

• zwischen zwei Magnetfluss-Jochen (30) angeordnet ist, die jeweils unterschiedliche Spulenordnungen (28) umgreifen.

4. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei der jede Tragscheibe (40)

• gegen Verdrehen gesichert an einem Träger (42) angeordnet ist, und/oder

• als Einrichtungen zur mechanischen Positionierung der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) Ausnehmungen, Erhebungen, oder Vertiefungen für kraft- und/oder formschlüssige Verbindung aufweist, die zum Zusammenwirken mit korrespondierend gestalteten Einrichtungen an den Ringzylindersegmenten (30a, 30b, ... 30f) ausgebildet sind.

5. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Wärmesenke in dem Träger (42) angeordnet ist und als Fluidkühlung, als Peltieremement-Anordnung, oder dergl. ausgebildet ist.

6. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der jedes der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) eine Aufnahmestelle für zumindest einen Abschnitt der jeweiligen Tragscheibe (40) aufweist wobei die Aufnahmestelle so dimensioniert und an dem Ringzylindersegment (30a, 30b, ... 30f) so angeordnet ist, dass ein Entwärmen des Ringzylindersegmentes (30a, 30b, ... 30f) ermöglicht ist und/oder ein magnetischer Fluss in Richtung einer Mittellängsachse (M) der Magnetfluss-Joche (30) durch diese zumindest weitgehend unbeeinträchtigt ist.

7. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Tragscheibe (40) in radialer Richtung etwa 10% bis etwa 80%, vorzugsweise etwa 25% bis etwa 40% der radialen Erstreckung der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) überdeckt.

8. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der jedes der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) zwei Seitenflächen (38a, 38b) aufweist, mit denen es in Umfangsrichtung des Magnetfluss-Joches (30) wenigstens einem anderen der Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) zugewandt ist, und wobei die Seitenflächen (38a, 38b) zweier aneinander angrenzender Ringzylindersegmente (30a, 30b, ... 30f) elektrisch gegeneinander isoliert sind.

9. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die

Ringzylindersegmente (**30a**, **30b**, ... **30f**) als Gleichteile gestaltet sind und/oder zum zumindest teilweisen Umgreifen der Spulenordnung (**28**) aufeinander zu gerichtete Ringzylindersegmente (**30a**, **30b**, ... **30f**) einander mit ihren jeweiligen Stirnflächen (**34a**) teilweise in Umfangsrichtung der Magnetfluss-Joche (**30**) überlappen.

10. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Ringzylindersegmente (**30a**, **30b**, ... **30f**) aus eisenhaltigem Pulver gepresst sind.

11. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Permanentmagnet-Elemente (N, S) aus einer Al-Ni- oder AlNiCo-Legierung, aus Barium- oder Strontiumferrit, aus einer SmCo-, oder NdFeB-Legierung, auch eingebettet in Kunststoffbinder enthaltend Polyamid, Polyphensulfid, Duroplast, Epoxidharz, oder dergl. gebildet sind.

12. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Permanentmagnet-Elemente (N, S) eine im Wesentlichen quaderförmige Gestalt aufweisen.

13. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Spulenordnung (**28**) aus Litzen, bestehend aus miteinander verdrillten oder verflochtenen lackisolierten Einzelleitern, gebildet ist.

14. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Spulenordnung (**28**) in einem magnetisch nicht wirksamen Spulenkörper aufgenommen ist, der einen Anschlusskanal aufweist, der bis zu einer Elektronikplatine im Innern oder außerhalb der permanenterregten Synchronmaschine (**10**) reicht.

15. Permanenterregte Synchronmaschine (**10**) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei jedes der Magnetfluss-Joche (**30**) mehrere zueinander benachbarte Magnetfluss-Pole (**24**) aufweist, die entlang des Umfangs, außer an einer Stelle, an der ein Magnetfluss-Pol fehlt, gleichmäßig verteilt angeordnet sind, so dass an der Stelle, an der der Magnetfluss-Pol fehlt, der Anschlusskanal von dem Kunststoffspulenkörper zwischen den Magnetfluss-Polen zu der Elektronikplatine führt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

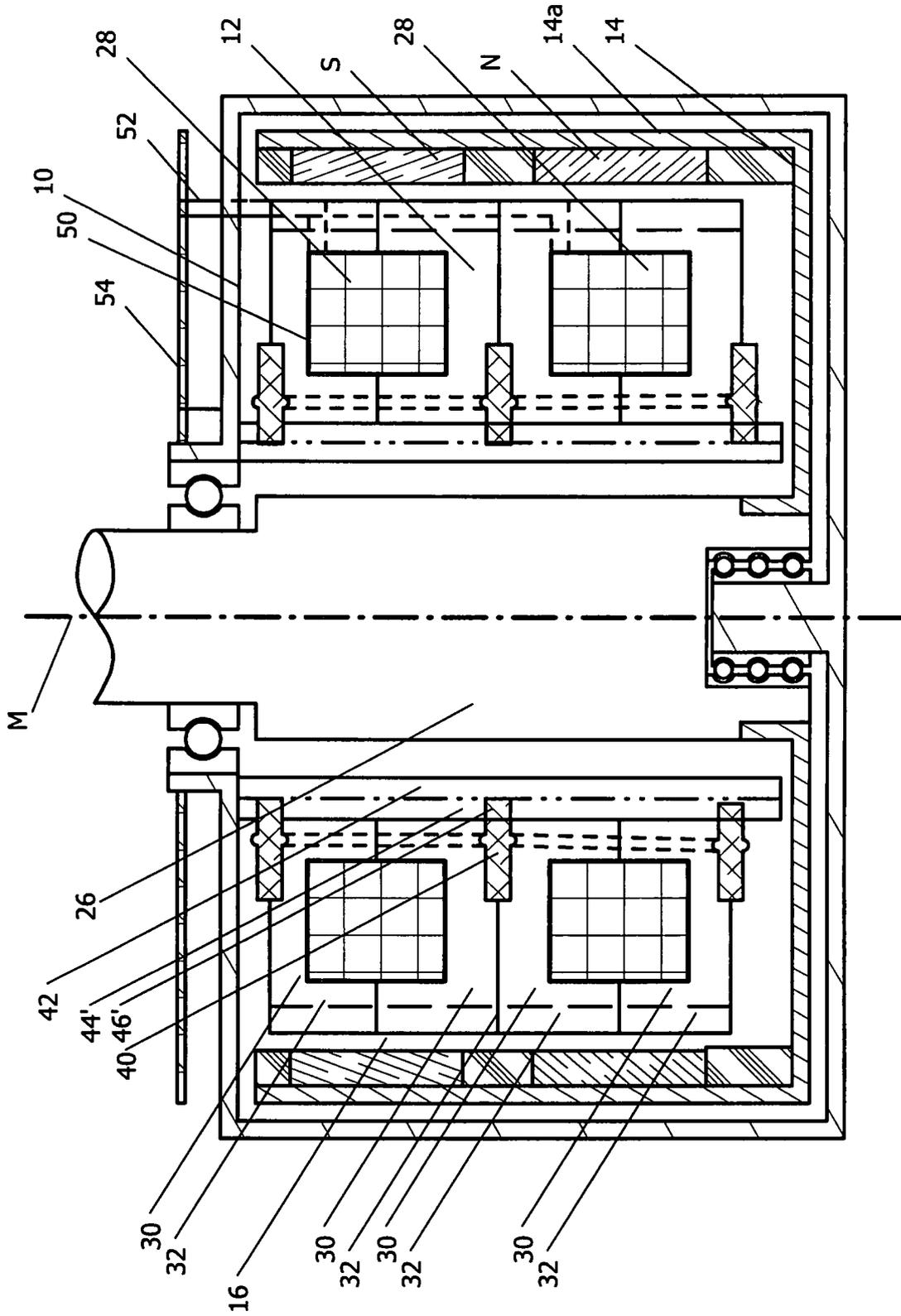


Fig. 1

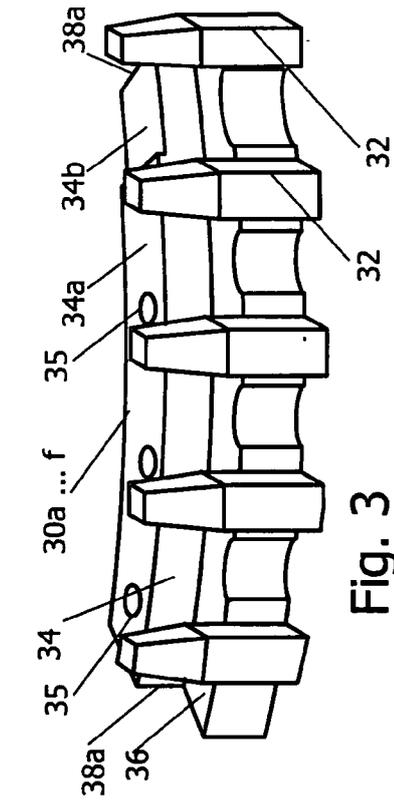


Fig. 3

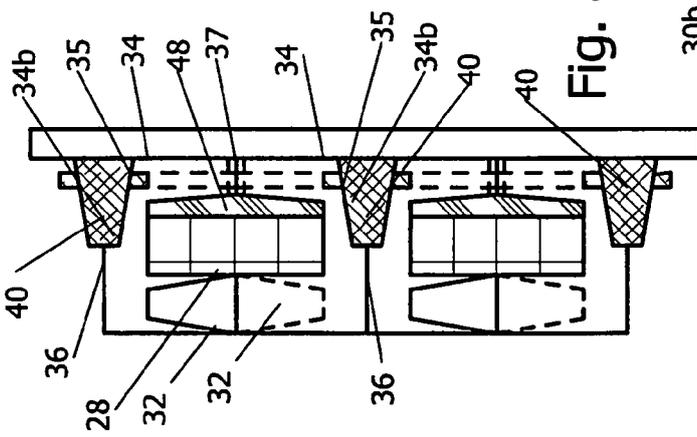


Fig. 8

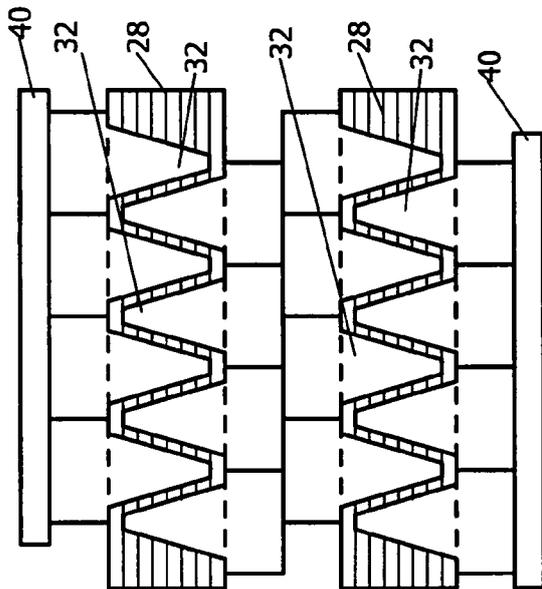


Fig. 2

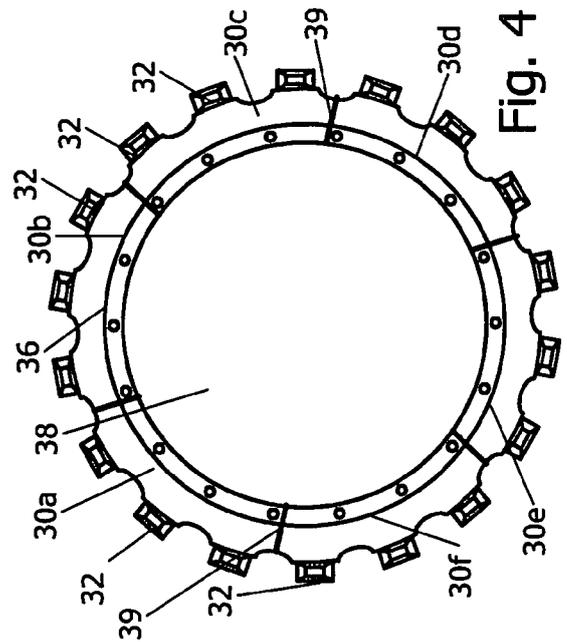


Fig. 4

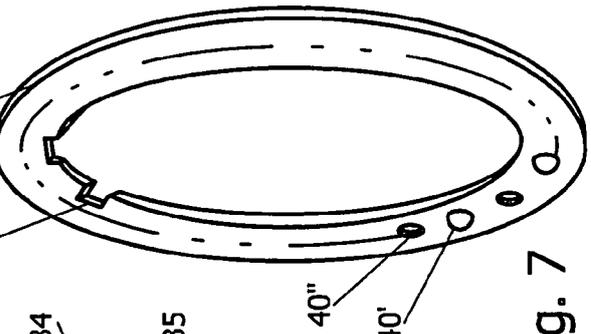


Fig. 7

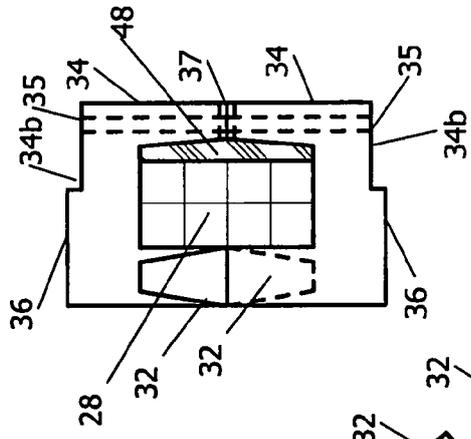


Fig. 6

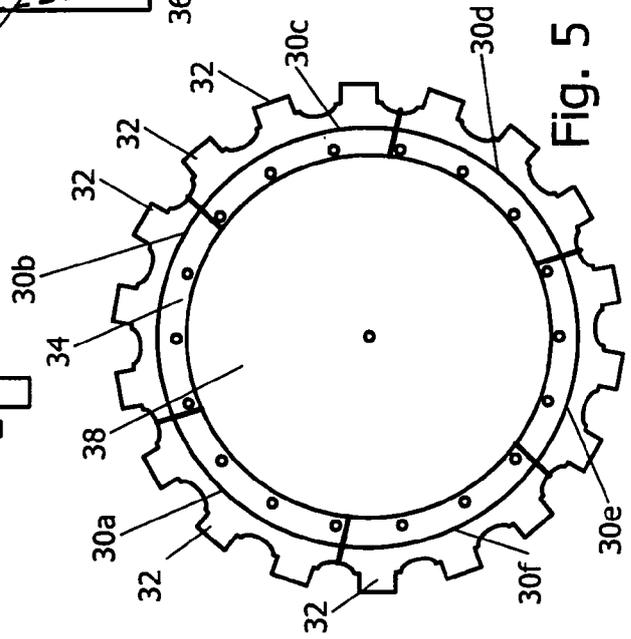


Fig. 5