(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 715 385 B1**

(51) Int. Cl.: *H02K 3/26 (2006.01)*
H02K 11/33 (2016.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01173/18

(22) Anmeldedatum: 26.09.2018

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.03.2020

(24) Patent erteilt: 15.02.2022

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.02.2022

(73) Inhaber:
ETH Zürich, ETH Transfer, HG E 47-49 Rämistrasse 101
8092 Zürich ETH Zentrum (CH)

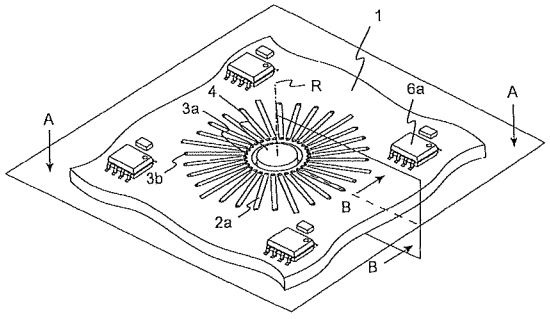
(72) Erfinder:
Marcel Schuck, 8047 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach
8032 Zürich (CH)

(54) Elektrische Maschine.

(57) Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, aufweisend: einen Stator und einen Rotor (4), wobei der Stator eine Statorwicklung zur Erzeugung eines Magnetfeldes zum Antrieb des Rotors (4) aufweist, und die Statorwicklung mindestens abschnittsweise durch Leiterbahnen auf einer Leiterplatte (1) gebildet ist.

Dabei ist die Statorwicklung zum Erzeugen eines sich hauptsächlich in einer Ebene der Leiterplatte (1) erstreckenden Magnetfeldes angeordnet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der elektrischen Maschinen, insbesondere auf elektrische Maschinen mit magnetisch gelagertem Rotor und eines mit Hilfe einer Leiterplatte ausgeführten Stators.

[0002] Aus US4733115A und US 20100123372A1 ist bekannt, dass die Wicklungen des stationären Teils einer elektrischen Maschine, nachfolgend als Stator bezeichnet, als Leiterbahnen auf einer Leiterplatte ausgeführt sein können. Der mittels der bekannten Anordnungen der Wicklungen erzeugte magnetische Fluss ist vorwiegend in axiale Richtung orthogonal zur Leiterplatte gerichtet. Dies resultiert in der Notwendigkeit, den beweglichen Teil der elektrischen Maschine, nachfolgend als Rotor bezeichnet, in axialer Richtung versetzt zum Stator zu platzieren, woraus eine erhöhte axiale Ausdehnung der elektrischen Maschine resultiert. Um eine ausreichende Interaktion des magnetischen Flusses des Rotors mit dem magnetischen Fluss des Stators zu gewährleisten, muss der Rotor eine Ausdehnung in radialer Richtung aufweisen welche ungefähr der Ausdehnung des Stators in radialer Richtung entspricht. Die aufgrund der radialen Ausdehnung des Rotors bei Rotation des Rotors auftretende mechanische Spannung im Rotor und die mechanische Festigkeit des Rotormaterials limitieren die erreichbare Rotordrehzahl. Diese Motorbauform ist daher weniger gut für das Erreichen hoher Rotordrehzahlen geeignet als andere Bauformen welche den Einsatz von Rotoren mit geringerer radialer Ausdehnung ermöglicht. Zudem wird die Miniaturisierung von elektrischen Maschine dieser Bauform erschwert.

[0003] Aus EP3255760A1 ist ein scheibenförmiger Aufbau einer elektrischen Maschine bekannt welcher einen ringförmigen magnetischen Kern (aufweisend ein magnetisch leitendes Material) als Teil des Stators und einen in radialer Richtung innerhalb des Stators platzierten scheibenförmigen Rotor aufweist. Der Rotor ist magnetisch gelagert, wodurch Reibungsverluste gegenüber konventionellen Lagerungen reduziert werden. Die Ausdehnung des Rotors in radialer Richtung ist bei dieser Bauform kleiner als die Ausdehnung des Stators in radialer Richtung. Diese Bauform eignet sich daher gut für das Erreichen hoher Rotordrehzahlen. Diese Bauform weist wenigstens eine den Kern in radialer und axialer Richtung umschliessende Wicklung auf. Das konventionelle Aufbringen der Wicklung als Windungen aus elektrisch leitfähigem Material ist mit hohem Aufwand verbunden, da jede Windung durch die radiale Öffnung des ringförmigen Kerns geführt werden muss. Dies resultiert in hohen Fertigungskosten für elektrische Maschinen dieser Bauform. Zudem wird die Miniaturisierung von elektrischen Maschinen dieser Bauform erschwert.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist, Alternativen zu bestehenden Maschinen zu schaffen. Die Aufgabe wird gelöst durch eine elektrische Maschine gemäss den Patentansprüchen.

[0005] Die elektrische Maschine weist auf: einen Stator und einen Rotor, wobei der Stator eine Statorwicklung zur Erzeugung eines Magnetfeldes zum Antrieb des Rotors aufweist, und die Statorwicklung mindestens abschnittsweise durch Leiterbahnen auf einer Leiterplatte gebildet ist. Dabei ist die Statorwicklung zum Erzeugen eines sich in hauptsächlich in einer Ebene der Leiterplatte erstreckenden Magnetfeldes angeordnet.

[0006] Mit anderen Worten: das Magnetfeld erstreckt sich vorwiegend in radialer und in Umfangsrichtung der Statorwicklung.

[0007] In Ausführungsformen sind zum Betrieb der elektrischen Maschine dienende elektronische Komponenten, insbesondere einen Umrichter bildende Komponenten, auf der gleichen Leiterplatte aufgebracht wie die Leiterbahnen der Statorwicklung.

[0008] In Ausführungsformen weist die elektrische Maschine ein Magnetlager zur Lagerung des Rotors auf.

[0009] In Ausführungsformen weist die elektrische Maschine einen scheibenförmigen Aufbau des Stators auf, insbesondere indem eine Ausdehnung der Statorwicklung in radialer Richtung mindestens das Dreifache, Fünffache oder das Zehnfache einer Ausdehnung der Statorwicklung in axialer Richtung beträgt.

[0010] In Ausführungsformen weist die elektrische Maschine einen scheibenförmigen Aufbau des Rotors auf, insbesondere indem eine Ausdehnung des Rotors in radialer Richtung mindestens das Zweifache, Dreifache oder Fünffache einer Ausdehnung des Rotors in axialer Richtung beträgt.

[0011] Damit kann eine passive Stabilisierung von Verkippungen der Rotorachse und Auslenkungen des Rotors in axialer Richtung realisiert werden.

[0012] In Ausführungsformen weist der Stator einen ringförmigen Kern aus magnetisch leitendem Material **ohne** Nuten auf.

[0013] Durch die Abwesenheit von Nuten werden weniger harmonische Spannungen im Stator erzeugt, wodurch die Maschine besser für hohe Drehzahlen geeignet ist.

[0014] In Ausführungsformen weist der Stator einen ringförmigen Kern aus magnetisch leitendem Material **mit** Nuten auf.

[0015] Durch die Anwesenheit von Nuten entsteht eine vergleichsweise höhere passive Steifigkeit und damit verbesserte Lagereigenschaften des Magnetlagers.

[0016] In Ausführungsformen ist wobei der Kern in einer Ausnehmung in einer oder mehrerer Leiterplatten angeordnet.

[0017] In Ausführungsformen sind die Statorwicklungen zumindest abschnittsweise als Leiterbahnen auf Aussenlagen und optional auch auf Innenlagen einer Leiterplatte ausgebildet.

[0018] In Ausführungsformen sind die Statorwicklungen zumindest abschnittsweise als Leiterbahnen auf Aussenlagen und Innenlagen mehrerer Leiterplatten ausgebildet.

[0019] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Figur 1a-c Eine elektrische Maschine gemäss einer ersten Ausführungsform in verschiedenen Ansichten;

Figur 2a-b eine elektrische Maschine gemäss einer zweiten Ausführungsform in verschiedenen Ansichten;

Figur 3a-b eine elektrische Maschine gemäss einer dritten Ausführungsform in verschiedenen Ansichten;

Figur 4a-b eine elektrische Maschine gemäss einer vierten Ausführungsform in verschiedenen Ansichten; und

Figur 5a-c eine elektrische Maschine gemäss einer fünften Ausführungsform in verschiedenen Ansichten.

[0020] Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0021] **Figur 1** mit Teilfiguren **a**, **b** und **c** zeigt eine erste Ausführungsform (A1) einer elektrischen Maschine mit Querschnittsansichten A-A und B-B (vgl. **Figur 1a**). **Figur 1b** zeigt die horizontal ausgerichtete Querschnittsansicht A-A. **Figur 1c** zeigt die vertikal ausgerichtete Querschnittsansicht B-B. Der stationäre Teil der gezeigten elektrischen Maschine weist eine Leiterplatte (1) mit einer Aussparung zur Aufnahme eines um die Rotationsachse (R) rotierbaren Körpers (4) auf. Der rotierbare Körper (4) weist mindestens ein Mittel zur Erzeugung eines sich vorwiegend in der durch die Leiterplatte (1) aufgespannten Ebene ausbreitenden Magnetfeldes auf. Der rotierbare Körper (4) weist bevorzugt wenigstens einen Permanentmagneten auf. Vom rotierbaren Körper (4) aufgewiesene Permanentmagnete weisen bevorzugt eine diametrale Magnetisierung und/oder eine in radiale Richtung gerichtete Magnetisierung auf. Eine diametrale Magnetisierung kann mit einem beispielsweise scheibenförmigen Permanent-magneten mit einem Polpaar im oder als Rotor realisiert sein. Eine radiale Magnetisierung kann mit mehreren Permanentmagneten realisiert werden, die in Umfangsrichtung nacheinander angeordnet sind, wobei zwischen benachbarten Magneten die Polarität alterniert, d.h. beim einen liegt der Südpol aussen und beim anderen der Nordpol aussen am Umfang des Rotors. Der stationäre Teil der elektrischen Maschine weist einen in die Leiterplatte (1) integrierten Kern (5) und wenigstens eine den Kern (5) in radialer und axialer Richtung umschliessende Wicklung (W) auf, um durch Wechselwirkung mit dem durch den rotierbaren Körper (4) erzeugten Magnetfeld ein auf den rotierbaren Körper (4) wirkendes Drehmoment und/oder eine Kraft zur magnetischen Lagerung des rotierbaren Körpers (4) zu erzeugen (vgl. Figur 1b und Figur 1c). Der Kern (5) ist in radialer Richtung gegenüber dem rotierbaren Körper (4) versetzt und umschliesst den rotierbaren Körper (4) in Umfangsrichtung. Der integrierte Kern (5) weist ein magnetisch leitendes Material auf. Der Kern (5) weist bevorzugt eine hohlzylindrische oder torusförmige Geometrie auf. Der rotierbare Körper (4) weist bevorzugt die gleiche oder ähnliche axiale Position wie der Kern (5) auf.

[0022] Um passive Stabilisierung des rotierbaren Körpers (4) gegenüber Verkippungen der Rotationsachse und gegenüber vertikalen Verschiebungen zu erreichen, kann die erste Ausführungsform (A1) vorzugsweise scheibenförmig ausgeführt sein. Das bedeutet, dass die Ausdehnung des rotierbaren Körpers (4) in Richtung der Rotationsachse geringer ist als die Ausdehnung des rotierbaren Körpers (4) in radialer Richtung. Das kann ausserdem bedeuten, dass die Ausdehnung des Kernes (5) in Richtung der Rotationsachse geringer ist als die Ausdehnung des Kernes (5) in radialer Richtung. Diese Überlegungen hinsichtlich der geometrischen Dimensionierung der elektrischen Maschine können in den nachfolgenden Ausführungsformen gleichermassen angewendet und kombiniert werden.

[0023] Das durch Fluss eines elektrischen Stromes in der Wicklung (W) erzeugte Magnetfeld breitet sich vorwiegend in der durch die Leiterplatte (1) aufgespannten Ebene aus und weist vorwiegend in tangentiale und/oder radiale Richtung gerichtete Komponenten auf.

[0024] Die erste Ausführungsform (A1) weist auf den Oberflächen der Leiterplatte (1) angebrachte Leiterbahnen auf. Leiterbahnen auf den Oberflächen der Leiterplatte (1) werden nachfolgend zusammenfassend als Leiterbahnen auf den Aussenlagen bezeichnet.

[0025] Die Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und die Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) weisen vorzugswiese eine Ausdehnung in radialer Richtung auf. Eine sich in axialer Richtung erstreckende elektrisch leitfähige Kontaktierung der Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) mit den Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) erfolgt mittels, in radialer Richtung gesehen, innerhalb des Kernes (5) angebrachter, innerer Durchkontaktierungen (3a) und ausserhalb des Kernes (5) angebrachter, äusserer Durchkontaktierungen (3b). Wenigstens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3a) ist vorzugsweise am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) platziert. Wenigstens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3b) ist vorzugsweise am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) platziert. Die Wicklung (W) wird unter anderem durch Leiterbahnen (2a) auf der

Oberseite der Leiterplatte (1) und Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) gebildet. Die Wicklung (W) wird ausserdem durch in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3a) und radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3b) gebildet. Zur Bildung einer zusammenhängenden Wicklung (W) sind die Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und/oder die Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) vorzugsweise so angeordnet, dass sie eine Verbindung zwischen einer innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3a) und einer in Umfangsrichtung des Kernes (5) versetzten ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3b) oder umgekehrt herstellen. Leiterbahnen (2c) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) an einem Ende einer Wicklung (W) weisen zwecks der Verbindung mit externen Komponenten bevorzugt keine ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3b) auf. Leiterbahnen (2d) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) am gleichen und/oder einem anderen Ende einer Wicklung (W) weisen zwecks der Verbindung mit externen Komponenten bevorzugt keine ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3b) auf.

[0026] Die in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierungen (3a) und/oder die in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierungen (3b) können durch durchmetallisierte Bohrungen (Vias1) gebildet werden.

[0027] Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierungen (3a) und/oder der in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierungen (3b) können diese mit einem leitfähigen Material, beispielsweise Lot und/oder Kupfer, gefüllt werden. Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Leiterbahnen (2a), (2b), (2c), (2d) auf den Aussenlagen der Leiterplatte (1) kann auf diese ein leitfähiges Material, beispielsweise Lot, aufgebracht werden. Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Leiterbahnen (2a), (2b), (2c), (2d) auf den Aussenlagen der Leiterplatte (1) kann sich deren Ausdehnung in Umfangsrichtung (Breite der Leiterbahnen) mit zunehmendem radialem Abstand von der Rotationsachse (R) erhöhen. Im Vergleich zu Leiterbahnen mit konstanter Breite ermöglicht dies eine bessere Ausnutzung der auf der Leiterplatte (1) zur Verfügung stehenden Fläche. Durch die erhöhte Oberfläche wird ausserdem eine verbesserte Abfuhr der Verlustwärme an die Umgebung erzielt. Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Wicklung (W) können mehrere in Umfangsrichtung und/oder in radialer Richtung zueinander versetzte in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3b) zur Kontaktierung einer Leiterbahn (2a), (2c) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) mit einer Leiterbahn (2b), (2d) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) angeordnet sein. Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Wicklung (W) können mehrere in Umfangsrichtung und/oder in radialer Richtung zueinander versetzte in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3a) zur Kontaktierung einer Leiterbahn (2a), (2c) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) mit einer Leiterbahn (2b), (2d) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) angeordnet sein. Diese Massnahmen zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Wicklung (W) können in den nachfolgenden Ausführungsformen gleichermassen angewendet werden.

[0028] Zum Betrieb der elektrischen Maschine oder zur Erfüllung anderer Funktionen kann die erste Ausführungsform (A1) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) angebrachte aktive und/oder passive elektronische Komponenten (6a) und/oder auf der Unterseite der Leiterplatte (1) angebrachte aktive und/oder passive elektronische Komponenten (6b) aufweisen. Dies ermöglicht eine kompakte Bauweise der elektrischen Maschine und des zum Betrieb notwendigen Umrichters. Der Anschluss der Wicklung (W) an die elektronischen Komponenten (6a) und/oder (6b) erfolgt vorzugsweise über Leiterbahnen (2c) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) am Ende einer Wicklung (W) und/oder Leiterbahnen (2d) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) am gleichen und/oder einem anderen Ende einer Wicklung (W). Das Aufbringen elektronischer Komponenten auf eine Leiterplatte auf die gleichzeitig die Wicklung (W) einer elektrischen Maschine in Form von Leiterbahnen aufgebracht ist, kann gleichermassen für die nachfolgenden Ausführungsformen erfolgen.

[0029] **Figur 2** mit Teilfiguren **a** und **b** zeigt Querschnittsansichten A-A und B-B einer zweiten Ausführungsform (A2) der Erfindung ähnlich zur ersten Ausführungsform (A1). **Figur 2a** zeigt ein Winkelsegment entlang des Umfangswinkels einer horizontal ausgerichteten Querschnittsansicht A-A, wobei die Ausrichtung der Querschnittsfläche der in **Figur 1a** dargestellten mit A-A bezeichneten horizontalen Querschnittsfläche entspricht. **Figur 1a** zeigt ausschliesslich Leiterbahnen die sich in axialer Richtung oberhalb des Kernes (5) befinden. Leiterbahnen die sich unterhalb des Kernes (5) befinden sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. **Figur 2b** zeigt die vertikal ausgerichtete Querschnittsansicht B-B, wobei die Ausrichtung der Querschnittsfläche der in **Figur 1a** dargestellten mit B-B bezeichneten vertikalen Querschnittsfläche entspricht.

[0030] Zusätzlich zur ersten Ausführungsform (A1) mit auf den Oberflächen der Leiterplatte (1) angebrachten Leiterbahnen weist die zweite Ausführungsform (A2) im Inneren der Leiterplatte (1) angebrachte Leiterbahnen auf. Leiterbahnen im Inneren der Leiterplatte (1) werden nachfolgend zusammenfassend als Leiterbahnen auf den Innenlagen bezeichnet. Die zweite Ausführungsform (A2) weist wenigstens eine Lage von im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (7a) und/oder wenigstens eine Lage von im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (7a) auf. Die in axiale Richtung gerichtete elektrisch leitfähige Kontaktierung der im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (7a) und der im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (7b) erfolgt mittels in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (3c) und anderen in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (3d).

[0031] Mindestens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3a) ist vorzugsweise am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) platziert. Mindestens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3b) ist vorzugsweise am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) platziert. Mindestens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3c) ist vorzugsweise am in radialer Richtung inneren Ende einer im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahn (7a) und/oder am inneren Ende einer im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahn (7b) platziert. Mindestens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (3d) ist vorzugsweise am in radialer Richtung äusseren Ende einer im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahn (7a) und/oder am äusseren Ende einer im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahn (7b) platziert.

[0032] Die Wicklung (W) wird unter anderem durch Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und/oder im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (7a) und/oder Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) und/oder im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (7b) gebildet.

[0033] Die Wicklung (W) wird ausserdem durch in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3a) der Leiterplatte (1) für auf den Aussenlagen der Leiterplatte (1) platzierte Leiterbahnen (2a), (2b) und/oder in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3c) für auf den Innenlagen der Leiterplatte (1) platzierte Leiterbahnen (7a), (7b) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3b) der Leiterplatte (1) für auf den Aussenlagen der Leiterplatte (1) platzierte Leiterbahnen (2a), (2b) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (3d) für auf den Innenlagen der Leiterplatte (1) platzierte Leiterbahnen (7a), (7b) gebildet.

[0034] Zur Bildung einer zusammenhängenden Wicklung (W) sind die Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und/oder die Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) vorzugsweise so angeordnet, dass sie eine Verbindung zwischen einer innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3a), (3c) und/oder einer in Umfangsrichtung des Kernes (5) versetzten ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3b), (3d) oder umgekehrt herstellen.

[0035] Zur Bildung einer zusammenhängenden Wicklung (W) sind die im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (7a) und/oder die im Inneren der Leiterplatte (1) unterhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (7b) vorzugsweise so angeordnet, dass sie eine Verbindung zwischen einer innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3c), (3a) und/oder einer in Umfangsrichtung des Kernes (5) versetzten ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (3d), (3b) oder umgekehrt herstellen.

[0036] Die Durchkontaktierungen (3c) und (3d) der Leiterbahnen auf den Innenlagen (7a) und (7b) können durch durchmetallisierte Bohrungen (Vias2) gebildet werden. Die Durchkontaktierungen (3c) und (3d) der Leiterbahnen (7a), (7b) auf den Innenlagen können durch vergrabene, nicht bis an die Oberflächen der Leiterplatte (1) reichende, durchmetallisierte Bohrungen (Buried Vias2) gebildet werden. Die Durchkontaktierungen (3c), (3d) der Leiterbahnen (7a), (7b) auf den Innenlagen können zu den Durchkontaktierungen (3a), (3b) der Leiterbahnen (2a), (2b) auf den Aussenlagen in axialer und/oder radialer Richtung versetzt angeordnet sein. Im Falle der Verwendung vergrabener durchmetallisierter Bohrungen (Buried Vias2) können diese im Inneren der Leiterplatte (1) mit Überdeckung zu Leiterbahnen auf den Aussenlagen angeordnet sein. Im Falle der Verwendung vergrabener durchmetallisierter Bohrungen (Buried Vias2) können diese im Inneren der Leiterplatte (1) mit Überdeckung zu Leiterbahnen auf Innenlagen die sich von den Innenlagen für welche die Durchkontaktierung Umgesetzt wird unterscheiden angeordnet sein.

[0037] Die Verwendung von auf den Innenlagen angebrachten Leiterbahnen (7a), (7b) zusätzlich zu auf den Aussenlagen angebrachten Leiterbahnen (2a), (2b) ermöglicht im Vergleich zur ausschliesslichen Verwendung von auf den Aussenlagen angebrachten Leiterbahnen (2a), (2b) die Umsetzung einer höheren Windungszahl (N) der Wicklung (W) pro Fläche der Leiterplatte (1). Die Windungszahl (N) bezeichnet die Anzahl der Umschliessungen des Kernes (5) in radialer und axialer Richtung pro Wicklung (W).

[0038] Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der auf den Innenlagen der Leiterplatte (1) angebrachten Leiterbahnen (7a) und (7b) kann sich deren Ausdehnung in Umfangsrichtung (Breite der Leiterbahnen) mit zunehmendem radialem Abstand von der Rotationsachse (R) erhöhen. Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes der Wicklung (W) können Leiterbahnen auf den Innenlagen und/oder den Aussenlagen parallel geschaltet werden.

[0039] Diese Massnahmen können in allen nachfolgenden Ausführungsformen welche Innenlagen einer Leiterplatte aufweisen gleichermassen verwendet werden.

[0040] **Figur 3** mit Teilfiguren **a** und **b** zeigt eine dritte Ausführungsform (A3) der Erfindung ähnlich zu den ersten beiden Ausführungsformen (A1) und (A2). **Figur 3a** zeigt eine Schnittansicht einer Explosionsdarstellung der dritten Ausführungsform (A3), wobei der rotierbare Körper (4) aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist. **Figur 3b** zeigt die vertikal ausgerichtete Querschnittsansicht B-B. Im Gegensatz zu der ersten und zweiten Ausführungsform (A1)

und (A2) weist die dritte Ausführungsform (A3) wenigstens eine untere Leiterplatte (8) und wenigstens eine obere Leiterplatte (9) auf. Der Kern (5) ist in axialer Richtung zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) angebracht. Zur Aufnahme des Kerns (5) kann die untere Leiterplatte (8) eine Ausfräsung (14a) aufweisen. Zur Aufnahme des Kerns (5) kann die obere Leiterplatte (9) eine Ausfräsung (14b) aufweisen. Die in die untere Leiterplatte (8) eingebrachte Ausfräsung (14a) und die in die obere Leiterplatte (9) eingebrachte Ausfräsung (14b) sind vorzugsweise identisch ausgeführt. Das bedeutet, dass sie vorzugsweise die gleiche Kontur aufweisen. Das bedeutet weiterhin, dass sich vorzugsweise je die Hälfte der axialen Ausdehnung des Kernes (5) über die in der unteren Leiterplatte (8) eingebrachte Ausfräsung (14a) und die in der oberen Leiterplatte (9) eingebrachte Ausfräsung (14b) erstreckt. Die untere Leiterplatte (8) weist Leiterbahnen (10b) auf der Unterseite und/oder wenigstens eine Lage von im Inneren der unteren Leiterplatte (8) unterhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (15b) auf.

[0041] Die obere Leiterplatte (9) weist Leiterbahnen (11a) auf der Oberseite und/oder wenigstens eine Lage von im Inneren der oberen Leiterplatte (9) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen (15a) auf.

[0042] Die in axiale Richtung gerichtete elektrisch leitfähige Kontaktierung der auf den Aussenlagen der unteren Leiterplatte (8) angebrachten Leiterbahnen (10b) erfolgt mittels in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (12a) und anderen in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (12b). Die in axiale Richtung gerichtete elektrisch leitfähige Kontaktierung der im Inneren der unteren Leiterplatte (8) angebrachten Leiterbahnen (15b) erfolgt mittels in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (12c) und anderen in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (12d).

[0043] Die in axiale Richtung gerichtete elektrisch leitfähige Kontaktierung der auf den Aussenlagen der oberen Leiterplatte (9) angebrachten Leiterbahnen (11a) erfolgt mittels in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (13a) und anderen in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (13b). Die in axiale Richtung gerichtete elektrisch leitfähige Kontaktierung der im Inneren der oberen Leiterplatte (9) angebrachten Leiterbahnen (15a) erfolgt mittels in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (13c) und anderen in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachter Durchkontaktierungen (13d).

[0044] Wenigstens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (12a) ist vorzugsweise am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (10b) auf der Unterseite der unteren Leiterplatte (8) und deckungsgleich mit wenigstens einer in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (13a) am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (11a) auf der Oberseite der oberen Leiterplatte (9) platziert. Wenigstens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (12b) ist vorzugsweise am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (10b) auf der Unterseite der unteren Leiterplatte (8) und deckungsgleich mit wenigstens einer in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (13b) am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (11a) auf der Oberseite der oberen Leiterplatte (9) platziert. Wenigstens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (12c) ist vorzugsweise am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (15b) im Inneren der unteren Leiterplatte (8) und deckungsgleich mit wenigstens einer in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (13c) am in radialer Richtung inneren Ende einer Leiterbahn (15a) im Inneren der oberen Leiterplatte (9) platziert. Wenigstens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierung (12d) ist vorzugsweise am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (15b) im Inneren der unteren Leiterplatte (8) und deckungsgleich mit wenigstens einer in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachten Durchkontaktierung (13d) am in radialer Richtung äusseren Ende einer Leiterbahn (15a) im Inneren der oberen Leiterplatte (9) platziert.

[0045] Die Wicklung (W) wird unter anderem durch die Leiterbahnen (10b) auf der Unterseite der unteren Leiterplatte (8) und/oder im Inneren der unteren Leiterplatte (8) unterhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (15b) und/oder Leiterbahnen (11a) auf der Oberseite der oberen Leiterplatte (9) und/oder im Inneren der oberen Leiterplatte (9) oberhalb des Kernes (5) platzierten Leiterbahnen (15a) gebildet. Die Wicklung (W) wird ausserdem durch in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (12a) der unteren Leiterplatte (8) für auf den Aussenlagen der unteren Leiterplatte (8) platzierte Leiterbahnen (10b) und/oder in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (12c) für auf den Innenlagen der unteren Leiterplatte (8) platzierte Leiterbahnen (15b) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (12b) der unteren Leiterplatte (8) für auf den Aussenlagen der unteren Leiterplatte (8) platzierte Leiterbahnen (10b) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (12d) für auf den Innenlagen der unteren Leiterplatte (8) platzierte Leiterbahnen (15b) gebildet. Die Wicklung (W) wird ausserdem durch in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (13a) der oberen Leiterplatte (9) für auf den Aussenlagen der oberen Leiterplatte (9) platzierte Leiterbahnen (11a) und/oder in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (13c) für auf den Innenlagen der oberen Leiterplatte (9) platzierte Leiterbahnen (15a) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (13b) der oberen Leiterplatte (9) für auf den Aussenlagen der oberen Leiterplatte (9) platzierte Leiterbahnen (11a) und/oder in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen (13d) für auf den Innenlagen der oberen Leiterplatte (9) platzierte Leiterbahnen (15a) gebildet.

[0046] Zur Bildung einer zusammenhängenden Wicklung (W) bestehen ähnliche Möglichkeiten wie bei der zweiten Ausführungsform (A2) mit dem Unterschied, dass die den Kern (5) umschliessenden Leiterbahnen teilweise auf und/oder im Inneren der unteren Leiterplatte (8) und teilweise auf und/oder im Inneren der oberen Leiterplatte (9) platziert sind.

[0047] Die Durchkontaktierungen (12a), (12b), (12c), (12d) der unteren Leiterplatte (8) weisen an ihren oberen und/oder unteren Enden an den Oberflächen der unteren Leiterplatte (8) bevorzugt elektrisch nicht isolierte Kontaktpunkte (KP1) auf. Die Durchkontaktierungen (13a), (13b), (13c), (13d) der oberen Leiterplatte (9) weisen an ihren oberen und/oder unteren Enden an den Oberflächen der oberen Leiterplatte (9) bevorzugt andere elektrisch nicht isolierte Kontaktpunkte (KP2) auf.

[0048] Die Herstellung eines elektrisch leitfähigen Kontaktes zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) zur Bildung der Wicklung (W) erfolgt vorzugsweise durch Aufeinanderpressen der Kontaktpunkte (KP1) der unteren Leiterplatte (8) und der Kontaktpunkte (KP2) der oberen Leiterplatte (9).

[0049] Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes am Übergang der Kontaktpunkte (KP1) der unteren Leiterplatte (8) und der Kontaktpunkte (KP2) der oberen Leiterplatte (9) kann auf die Kontaktpunkte (KP1) der unteren Leiterplatte (8) und/oder die Kontaktpunkte (KP2) der oberen Leiterplatte (9) zusätzlich ein leitfähiges Material, beispielsweise Lot, aufgebracht werden.

[0050] Die untere Leiterplatte (8) und die obere Leiterplatte (9) können identisch ausgeführt sein. Eine zur Herstellung eines elektrischen Kontaktes notwendige Überdeckung zwischen den Kontaktpunkten (KP1) der unteren Leiterplatte (8) und den Kontaktpunkten (KP2) der oberen Leiterplatte (9) kann in diesem Fall durch eine um die Rotationsachse (R) rotierte Anbringung der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) zueinander erfolgen.

[0051] **Figur 4** mit Teilfiguren **a** und **b** zeigt eine vierte Ausführungsform (A4) der Erfindung welche aus der dritten Ausführungsform (A3) abgeleitet werden kann. **Figur 4a** zeigt eine Schnittansicht einer Explosionsdarstellung der vierten Ausführungsform (A4), wobei der rotierbare Körper (4) aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist. **Figur 4b** zeigt die vertikal ausgerichtete Querschnittsansicht B-B. Im Gegensatz zu der dritten Ausführungsform (A3) weist die vierte Ausführungsform (A4) keine in die untere Leiterplatte (8) eingebrachte Ausfräsung (14a) und/oder keine in die obere Leiterplatte (9) eingebrachte Ausfräsung (14b) auf. Die vierte Ausführungsform (A4) weist mindestens eine in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte innere mittlere Leiterplatte (16) und mindestens eine in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte äussere mittlere Leiterplatte (17) auf. Der Kern (5) ist in axialer Richtung zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) angebracht. Die untere Leiterplatte (8) weist in der vierten Ausführungsform (A4) zusätzlich zu der dritten Ausführungsform (A3) Leiterbahnen (10a) auf der Oberseite der unteren Leiterplatte (8) auf. Die obere Leiterplatte (9) weist in der vierten Ausführungsform (A4) zusätzlich zu der dritten Ausführungsform (A3) Leiterbahnen (11b) auf der Unterseite der oberen Leiterplatte (9) auf. Die axiale Ausdehnung des Kerns (5) wird durch die innere mittlere Leiterplatte (16) und die äussere mittlere Leiterplatte (17) überbrückt. Zur Herstellung von elektrisch leitfähigen Verbindungen zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) weist die innere mittlere Leiterplatte (16) Durchkontaktierungen (18a) auf. Zur Herstellung von elektrisch leitfähigen Verbindungen zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) weist die äussere mittlere Leiterplatte (17) andere Durchkontaktierungen (18b) auf.

[0052] Die Durchkontaktierungen (18a) der inneren mittleren Leiterplatte (16) und die Durchkontaktierungen (18b) der auf der äusseren mittleren Leiterplatte (17) weisen an ihren oberen und/oder unteren Enden an den Oberflächen der mittleren Leiterplatten (16), (17) bevorzugt elektrisch nicht isolierte Kontaktpunkte (KP3) auf.

[0053] Die Herstellung eines elektrisch leitfähigen Kontaktes zwischen der unteren Leiterplatte (8) und der oberen Leiterplatte (9) über die mittleren Leiterplatten (16), (17) zur Bildung der Wicklung (W) erfolgt vorzugsweise durch Aufeinanderpressen der Kontaktpunkte (KP1) der unteren Leiterplatte (8), der Kontaktpunkte (KP2) der oberen Leiterplatte (9) und der Kontaktpunkte (KP3) der mittleren Leiterplatten (16), (17).

[0054] Zur Verringerung des elektrischen Widerstandes am Übergang der Kontaktpunkte (KP3) der mittleren Leiterplatten (16), (17) kann auf die Kontaktpunkte (KP3) der mittleren Leiterplatten (16), (17) zusätzlich ein leitfähiges Material, beispielsweise Lot, aufgebracht werden.

[0055] Zusätzlich zu den in der dritten Ausführungsform (A3) zur Verfügung stehenden Leiterbahnen, können in der vierten Ausführungsform (A4) auch die Leiterbahnen (10a) auf der Oberseite der unteren Leiterplatte (8) und/oder die Leiterbahnen (11b) auf der Unterseite der oberen Leiterplatte (9) zur Bildung der Wicklung (W) verwendet werden. Im Vergleich zur dritten Ausführungsform (A3) kann eine höhere Windungszahl (N) der Wicklung (W) pro Fläche der unteren Leiterplatte (8) und/oder pro Fläche der oberen Leiterplatte (9) und/oder es kann eine Verringerung des elektrischen Widerstandes der Wicklung (W) durch Parallelschalten von Leiterbahnen auf mehreren Lagen erzielt werden.

[0056] Durch die Verwendung einer Mehrzahl von in axialer Richtung gestapelt angebrachten inneren mittleren Leiterplatten (16) und einer Mehrzahl von in axialer Richtung gestapelt angebrachten äusseren mittleren Leiterplatten (17), entsteht eine Variante der vierten Ausführungsform (A4) welche eine erhöhte Länge in axiale Richtung aufweist. Diese Variante der vierten Ausführungsform (A4) ermöglicht die Ausführung einer elektrischen Maschine mit einem rotierbaren Körper (4) der eine grössere axiale als radiale Ausdehnung aufweist und deren Wicklung (W) von Leiterbahnen gebildet wird.

[0057] **Figur 5** mit Teilfiguren **a**, **b** und **c** zeigt eine fünfte Ausführungsform (A5) der Erfindung mit Querschnittsansichten A-A und B-B (vgl. **Figur 5a**). **Figur 5b** zeigt die horizontal ausgerichtete Querschnittsansicht A-A. **Figur 5c** zeigt die vertikal ausgerichtete Querschnittsansicht B-B. Im Unterschied zu den zuvor gezeigten Ausführungsformen weist der in die Leiterplatte (1) integrierte Kern (5) mindestens einen mit dem Kern (5) magnetisch leitfähig verbundenen sich in radialer Richtung zum rotierbaren Körper (4) hin erstreckenden Zahn (19) auf. Dadurch weist der Kern (5) Nuten zwischen einer

Seitenfläche des Zahns (19) und einer anderen Seitenfläche des gleichen Zahns (19) oder einer anderen Seitenfläche eines anderen in Umfangsrichtung versetzten Zahns auf. Die fünfte Ausführungsform (A5) weist bevorzugt mindestens eine den Zahn (19) in Umfangsrichtung und in axialer Richtung umschliessende Wicklung (W) auf. Die Wicklung (W) wird dabei wie in den vorangegangenen Ausführungsformen unter anderem von Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und von Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) gebildet. Die Wicklung (W) wird ausserdem von ausserhalb beider Seitenflächen angebrachten Durchkontaktierungen gebildet. Zur Bildung einer zusammenhängenden Wicklung (W) sind die Leiterbahnen (2a) auf der Oberseite der Leiterplatte (1) und/oder die Leiterbahnen (2b) auf der Unterseite der Leiterplatte (1) vorzugsweise so angeordnet, dass sie eine Verbindung zwischen einer ausserhalb einer Seitenfläche des Zahns (19) angebrachten Durchkontaktierung und einer in radialer Richtung versetzten ausserhalb einer anderen Seitenfläche des Zahns (19) angebrachten Durchkontaktierung oder umgekehrt herstellen.

[0058] Die fünfte Ausführungsform (A5) kann zusätzlich oder alternativ wie in den vorangegangenen Ausführungsformen gezeigt wenigstens eine den Kern (5) in radialer und axialer Richtung umschliessende andere Wicklung aufweisen.

[0059] Zur vereinfachten Herstellung der fünften Ausführungsform (A5) kann der Zahn (19) einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Dies ermöglicht es eine zur Einbringung des Zahns (19) in die Leiterplatte (1) angeordnete Aussparung als stirnseitig in die Leiterplatte (1) gebohrtes Loch auszuführen.

[0060] In der fünften Ausführungsform (A5) kann die Windung zusätzlich oder alternativ wie in der zweiten Ausführungsform (A2) und/oder der dritten Ausführungsform (A3) und/oder der vierten Ausführungsform (A4) gezeigt durch Innenlagen der Leiterplatte (1) und/oder mehrere Leiterplatten gebildet werden.

[0061] Die fünfte Ausführungsform (A5) hat gegenüber den vorhergegangenen Ausführungsformen den Vorteil, dass bei ähnlichen geometrischen Abmessungen höhere passive Steifigkeiten eines Magnetlagers und/oder ein höheres auf den rotierbaren Körper (4) wirkendes Drehmoment erzielt werden kann.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0062]

1	Leiterplatte
2a	Leiterbahnen auf der Oberseite der Leiterplatte
2b	Leiterbahnen auf der Unterseite der Leiterplatte
2c	Leiterbahnen auf der Oberseite der Leiterplatte am Ende einer Wicklung
2d	Leiterbahnen auf der Unterseite der Leiterplatte am Ende einer Wicklung
3a	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen
3b	in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen
3c	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen
3d	in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen
4	rotierbarer Körper
5	Kern
6a	auf der Oberseite der Leiterplatte (1) angebrachte elektronische Komponenten
6b	auf der Unterseite der Leiterplatte (1) angebrachte elektronische Komponenten
7a	im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen
7b	im Inneren der Leiterplatte (1) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen
8	untere Leiterplatte
9	obere Leiterplatte
10a	Leiterbahnen auf der Oberseite der unteren Leiterplatte (8)
10b	Leiterbahnen auf der Unterseite der unteren Leiterplatte (8)
11a	Leiterbahnen auf der Oberseite der oberen Leiterplatte (9)
11b	Leiterbahnen auf der Unterseite der oberen Leiterplatte (9)
12a	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen der unteren Leiterplatte (8)
12b	in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen der unteren Leiterplatte (8)
12c	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen der unteren Leiterplatte (8)
12d	in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen der unteren Leiterplatte (8)
13a	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen der oberen Leiterplatte (9)
13b	in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Aussenlagen der oberen Leiterplatte (9)
13c	in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen der oberen Leiterplatte (9)

13d in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen für Innenlagen der oberen Leiterplatte (9)
14a in die untere Leiterplatte (8) eingebrachte Ausfräsung
14b in die obere Leiterplatte (9) eingebrachte Ausfräsung
15a im Inneren der oberen Leiterplatte (9) oberhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen
15b im Inneren der unteren Leiterplatte (8) unterhalb des Kernes (5) platzierte Leiterbahnen
16 in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte mittlere Leiterplatte
17 in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte mittlere Leiterplatte
18a auf der mittleren Leiterplatte in radialer Richtung innerhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen
18b auf der mittleren Leiterplatte in radialer Richtung ausserhalb des Kernes (5) angebrachte Durchkontaktierungen
19 Zahn

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine, aufweisend einen Stator und einen Rotor (4) mit einer Rotationsachse (R), wobei der Stator eine Statorwicklung (W) zur Erzeugung eines Magnetfeldes zum Antrieb des Rotors (4) aufweist, und die Statorwicklung (W) mindestens abschnittsweise durch Leiterbahnen auf einer Leiterplatte (1) gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Statorwicklung (W) zum Erzeugen eines sich hauptsächlich in einer Ebene der Leiterplatte (1) erstreckenden Magnetfeldes angeordnet ist.
2. Elektrische Maschine gemäss Anspruch 1, wobei zum Betrieb der elektrischen Maschine dienende elektronische Komponenten, inbesondere einen Umrichter bildende Komponenten, auf der gleichen Leiterplatte (1) aufgebracht sind wie die Leiterbahnen der Statorwicklung (W).
3. Elektrische Maschine gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, aufweisend ein Magnetlager zur Lagerung des Rotors (4).
4. Elektrische Maschine gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, aufweisend einen scheibenförmigen Aufbau des Stators, insbesondere indem eine Ausdehnung der Statorwicklung (W) in radialer Richtung bezüglich der Rotationsachse (R) des Rotors (4) mindestens das Zweifache, Dreifache oder Fünffache einer Ausdehnung der Statorwicklung (W) in axialer Richtung bezüglich der Rotationsachse (R) des Rotors (4) beträgt.
5. Elektrische Maschine gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, aufweisend einen scheibenförmigen Aufbau des Rotors (4), insbesondere indem eine Ausdehnung des Rotors (4) in radialer Richtung mindestens das Zweifache, Dreifache oder Fünffache einer Ausdehnung des Rotors (4) in axialer Richtung beträgt.
6. Elektrische Maschine gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Stator einen ringförmigen Kern (5) aus magnetisch leitendem Material **ohne** Nuten aufweist.
7. Elektrische Maschine gemäss einem Ansprüche 1 bis 5, wobei der Stator einen ringförmigen Kern (5) aus magnetisch leitendem Material **mit** Nuten aufweist.
8. Elektrische Maschine gemäss einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei der Kern (5) in einer Ausnehmung in einer oder mehrerer Leiterplatten angeordnet ist.
9. Elektrische Maschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Statorwicklung (W) zumindest abschnittsweise als Leiterbahnen auf Aussenlagenund optional auch auf Innenlagen der Leiterplatte (1) ausgebildet ist.

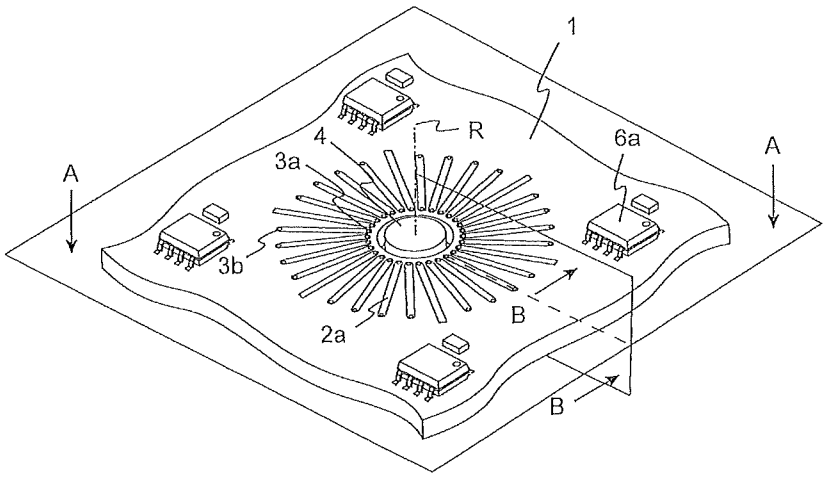


Fig. 1a

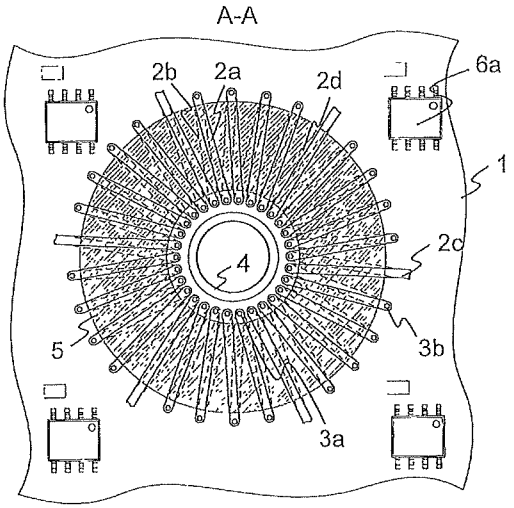


Fig. 1b

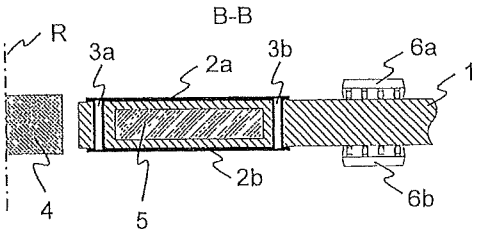


Fig. 1c

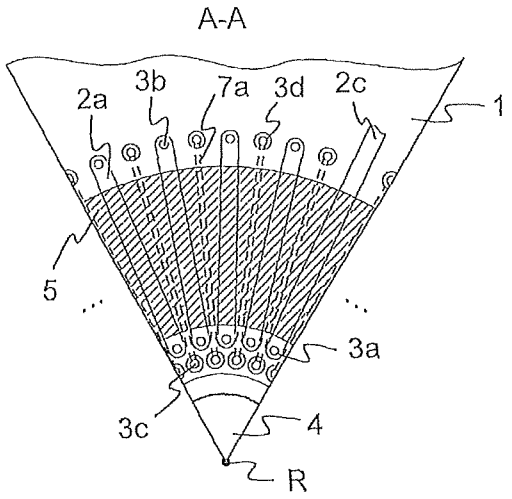


Fig. 2a

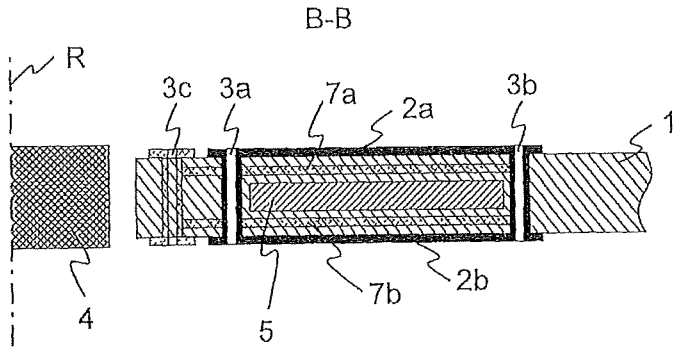


Fig. 2b

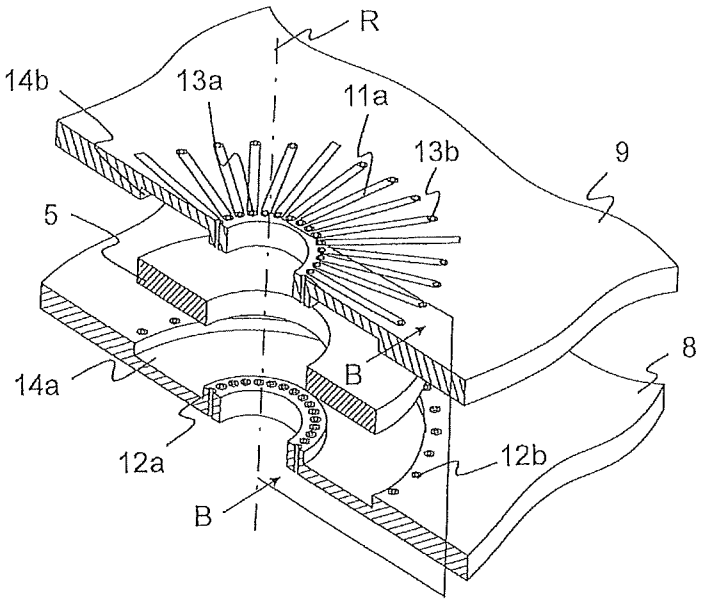


Fig. 3a

B-B

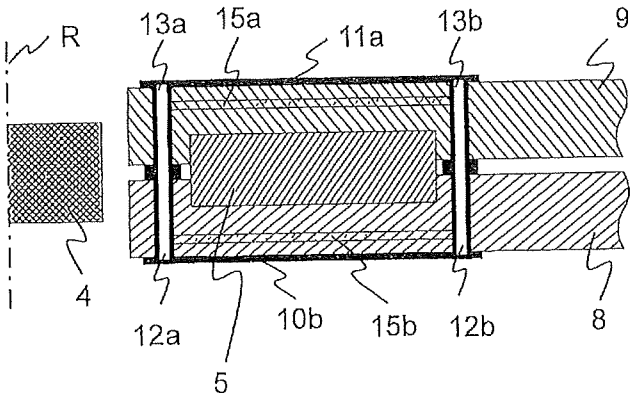


Fig. 3b

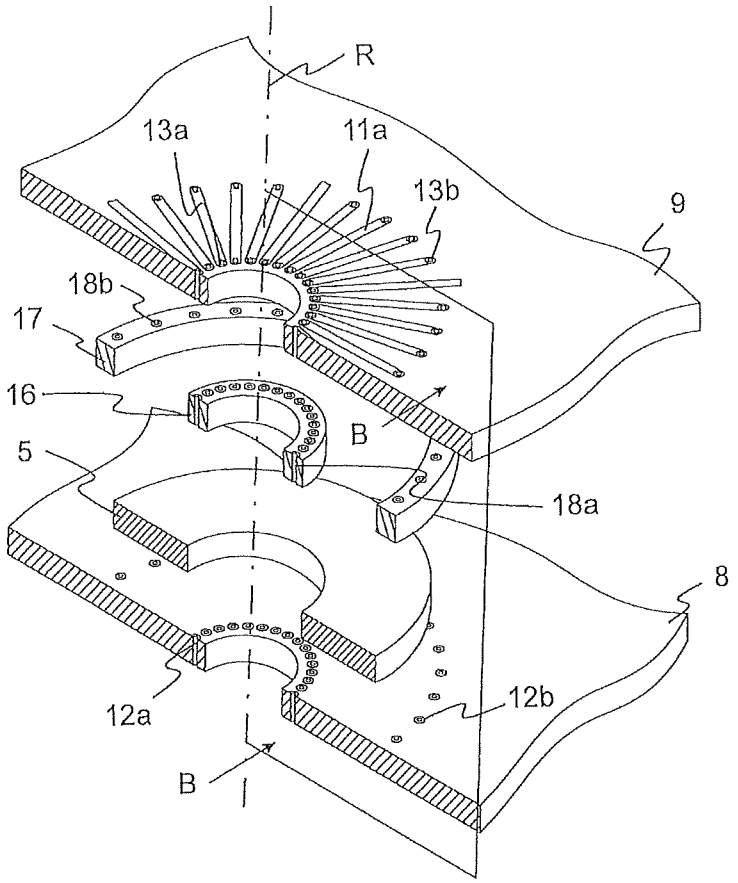


Fig. 4a

B-B

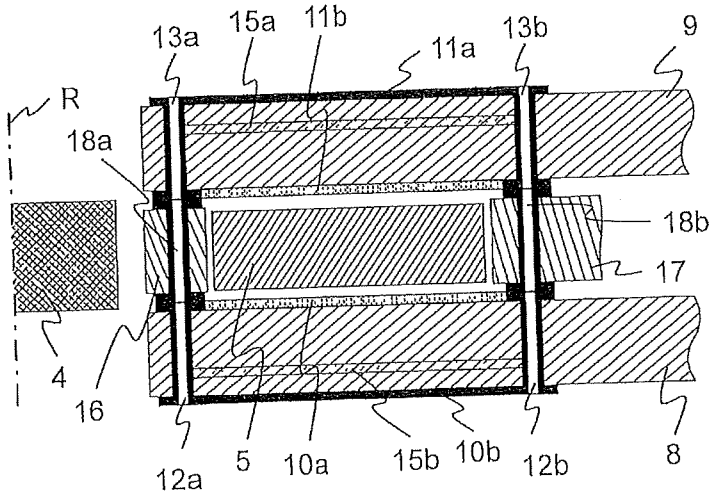


Fig. 4b

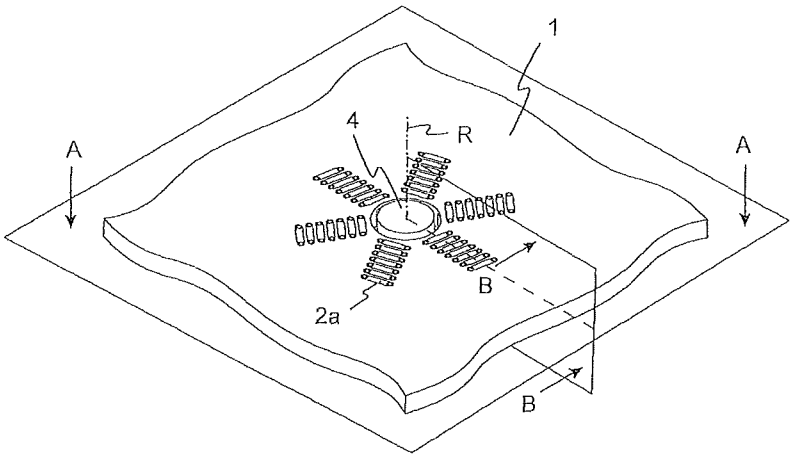


Fig. 5a

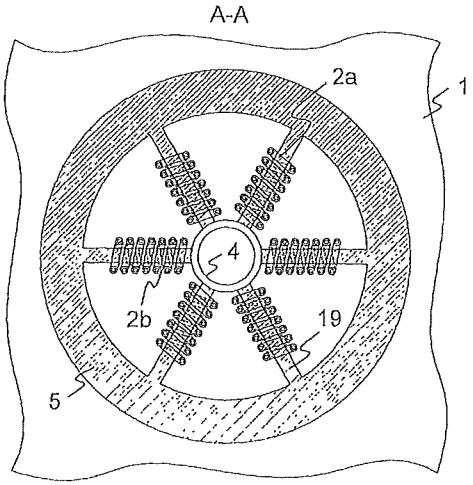


Fig. 5b

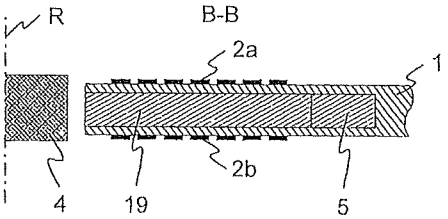


Fig. 5c