

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. April 2020 (30.04.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/083671 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02K 55/04 (2006.01) H02K 3/52 (2006.01)
H02K 3/487 (2006.01) H02K 3/34 (2006.01)
H02K 3/493 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/077649

(22) Internationales Anmeldedatum:

11. Oktober 2019 (11.10.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 217 983.2

22. Oktober 2018 (22.10.2018) DE

(71) Anmelder: **ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG** [DE/DE]; Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE).

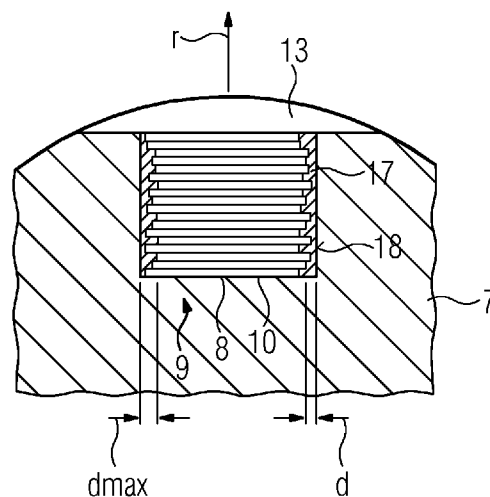
(72) Erfinder: **KUMMETH, Peter**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: ROTOR AND MACHINE WITH A SUPERCONDUCTING PERMANENT MAGNET IN A ROTOR CARRIER

(54) Bezeichnung: ROTOR UND MASCHINE MIT SUPRALEITENDEM PERMANENTMAGNETEN IN EINEM ROTORTRÄGER

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a rotor (5) for an electric machine (1) having a central rotor axis (A). The rotor comprises a rotor carrier (7) and at least one permanent-magnetic, superconducting magnet device mechanically supported by the rotor carrier (7) and having one or more superconducting magnet elements (9), wherein the respective superconducting magnet element (9) is embedded in an appropriate, assigned radially outer recess (12) of the rotor carrier (7), wherein the respective superconducting magnet element (9) is formed by at least one strip conductor stack (8) made up of multiple superconducting strip conductors (10), and wherein the respective strip conductor stack (8) is secured in the associated recess (12) by a radially further outer pole cap (13) in such a way that the pole cap (13) holds together the individual strip conductors (10) in the strip conductor stack (8). The invention also relates to an electric machine comprising a rotor of this type and a method for producing a rotor of this type.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Rotor (5) für eine elektrische Maschine (1) mit einer zentralen Rotorachse (A) angegeben. Der Rotor umfasst: - einen Rotorträger (7) und - wenigstens eine von dem Rotorträger (7) mechanisch getragene permanentmagnetische supraleitende Magneteinrichtung mit einem oder mehreren supraleitenden Magnelementen (9), - wobei das jeweilige supraleitende



WO 2020/083671 A1

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Magnetelement (9) in eine passende, zugeordnete radial außenliegende Aussparung (12) des Rotorträgers (7) eingebettet ist, - wobei das jeweilige supraleitende Magnetelement (9) durch wenigstens einen Bandleiterstapel (8) aus mehreren supraleitenden Bandleitern (10) gebildet ist - und wobei der jeweilige Bandleiterstapel (8) durch eine radial weiter außen angeordnete Polkappe (13) in der zugehörigen Aussparung (12) fixiert ist, derart, dass die Polkappe (13) die einzelnen Bandleiter (10) in dem Bandleiterstapel (8) zusammenhält. Weiterhin werden eine elektrische Maschine mit einem solchen Rotor sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors angegeben.

Beschreibung

Rotor und Maschine mit supraleitendem Permanentmagneten in einem Rotorträger

5

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Rotor für eine elektrische Maschine mit einer zentralen Rotorachse, umfassend einen Rotorträger und wenigstens eine von dem Rotorträger mechanisch getragene permanentmagnetische supraleitende Magneteneinrichtung mit einem oder mehreren supraleitenden Magnetelementen. Weiterhin betrifft die Erfindung eine elektrische Maschine mit einem solchen Rotor sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors.

15 Aus dem Stand der Technik sind elektrische Maschinen bekannt, welche einen Stator und einen Rotor aufweisen und bei welchen der Rotor dazu ausgelegt ist, ein elektromagnetisches Erregerfeld zu erzeugen. Ein solches Erregerfeld kann entweder durch auf dem Rotor angeordnete Permanentmagnete oder durch
20 auf dem Rotor angeordnete Spulenelemente erzeugt werden. Für elektrische Maschinen mit besonders hohen Leistungsdichten werden zum Teil Rotoren mit supraleitenden Spulenelementen eingesetzt. Eine andere Möglichkeit zum Erreichen besonders hoher Leistungsdichten ist die Verwendung von supraleitenden
25 Permanentmagneten.

Die Leistungsdichte einer elektrischen Maschine skaliert mit der magnetischen Flussdichte, die durch die in der elektrischen Maschine zum Einsatz kommenden Elektro- oder Permanentmagnete erzeugbar ist. Dieser Zusammenhang erlaubt eine signifikante Erhöhung der Leistungsdichte ohne wesentliche Veränderung der Topologie der elektrischen Maschine, wenn beispielsweise konventionelle Permanentmagnete durch supraleitende Permanentmagnete ersetzt werden, da mit diesen höhere
30 magnetische Flussdichten generiert werden können.

35

Ein Ansatz zur Erhöhung der Leistungsdichte besteht daher darin, eine elektrische Maschine mit Permanentmagneten aus sup-

rableitfähigen Materialien auszustatten. Derartige Materialien können bei entsprechend niedrigen Temperaturen magnetische Flussdichten in Größenordnungen erzeugen, die ein Vielfaches der mit konventionellen Permanentmagneten erzeugbaren Flussdichten betragen. Bspw. ist es möglich, mit einem Magneten aus YBCO (Yttrium-Barium-Kupfer-Oxid) bei ca. 30 K ein Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte von bis zu 8 T zu erzeugen, während ein konventioneller Magnet, bspw. bestehend aus NeFeB, Flussdichten in Größenordnungen von ca. 1,2 T generiert.

In der DE102016205216A1 wird eine elektrische Maschine mit supraleitfähigen Permanentmagneten sowie ein Verfahren zum Magnetisieren der Permanentmagnete beschrieben. Supraleitende Permanentmagnete müssen vor ihrem Betrieb zunächst bei einer kryogenen Temperatur unterhalb der Sprungtemperatur des Supraleiters aufmagnetisiert werden und dann dauerhaft auf einer solchen kryogenen Temperatur gehalten werden. Aufgrund des verlustfreien Stromflusses im Supraleitermaterial wird so ein dauerhafter Magnetisierungszustand erreicht.

Aufgrund der hohen kritischen Stromdichten und der hohen kritischen magnetischen Flussdichten der inzwischen zur Verfügung stehenden supraleitenden Materialien können auf diese Weise elektrische Maschinen mit prinzipiell sehr hohem magnetischem Nutzfluss (also dem nutzbaren magnetischen Fluss im Luftspalt der elektrischen Maschine) erreicht werden. Für Radialflussmaschinen mit supraleitenden Permanentmagneten im Rotor sind bisher nur sehr wenige tatsächliche technische Realisierungen bekannt. Die meisten bekannten Konzepte basieren auf einem Ersatz der konventionellen Permanentmagneten durch permanentmagnetische supraleitende Magnelemente im Rotor einer konventionellen Radialflussmaschine. Dies bedeutet, dass dann im Rotor mehrere supraleitende Magnelemente in einem radial außenliegenden Bereich eines Rotorträgers über den Umfang des Rotors verteilt sind. Auf diese Weise kann durch den Rotor ein p-poliges Magnetfeld erzeugt werden, wobei die Anzahl p der magnetischen Pole entweder direkt der

Anzahl der über den Umfang verteilten permanentmagnetischen supraleitenden Magnetelemente oder der Anzahl von jeweils zu einem Pol zusammengefassten Gruppen von supraleitenden Magnetelementen entspricht.

5

Die einzelnen supraleitenden Magnetelemente können nach dem Stand der Technik prinzipiell entweder als Stapel aus mehreren supraleitenden Bandleitern oder als supraleitende Bulk-Elemente ausgeführt sein. Die Ausführung der Magnetelemente als Bandleiterstapel hat sich als vorteilhaft erwiesen, um
10 supraleitende Magnetelemente mit vergleichsweise großen Abmessungen und allgemein relativ frei wählbarer Größe und Geometrie herzustellen. Außerdem ist die Menge an benötigtem Supraleitermaterial im Vergleich mit den supraleitenden Bulk-
15 Elementen relativ niedrig.

Nachteilig bei den bekannten permanenterregten Rotoren mit supraleitenden Bandleiterstapeln ist, dass die Herstellung der einzelnen supraleitenden Magnetelemente vergleichsweise
20 aufwendig ist und zusätzliche Herstellungsvorrichtungen erfordern. So wurden die einzelnen Bandleiterstapel nach dem Stand der Technik typischerweise als vorgefertigte Bauteile eingesetzt, die vor ihrer Anordnung im Rotorträger in einem separaten Herstellungsprozess gefertigt werden. Bei der Herstellung dieser vorgefertigten Bauteile werden die einzelnen
25 Bandleiter in der gewünschten Stapel-Geometrie angeordnet und der so gebildete Stapel wird durch ein Klebemittel oder ein Vergussmittel zu einem mechanisch stabilen vorgefertigten Bauteil verbunden. So können insbesondere mechanisch eigen-
30 stabile quaderförmige Magnetelemente gebildet werden, welche dann im Ganzen in zugehörige Aussparungen des Rotorträgers eingebettet werden.

Die Verwendung solcher vorgefertigter Bauteile bringt aber
35 den Nachteil mit sich, dass im Bereich der Außenflächen eine nicht zu vernachlässigende Schicht von Klebemittel oder Vergussmittel vorliegt, welche die thermische Ankopplung der supraleitenden Bandleiter des Stapels an den Rotorträger er-

schwert. Wenn das vorgefertigte Bauteil vorgegebene geometrische Abmessungen erfüllen soll, dann ist es zweckmäßig, leichte Variationen in der räumlichen Lage der einzelnen Bandleiter des Stapels durch umhüllendes Klebemittel oder Vergussmittel auszugleichen. Außerdem soll das Klebemittel oder Vergussmittel die mechanische Festigkeit des vorgefertigten Bauteils sicherstellen. Somit ist die Schichtdicke dieses außenliegenden Materials nicht zu vernachlässigen und liegt typischerweise im Bereich von 1 mm oder mehr. Die thermische Leitfähigkeit typischer Klebemittel oder Vergussmittel ist im Vergleich zu metallischen Materialien relativ niedrig, sodass eine solche umhüllende beziehungsweise ausgleichende Schicht die thermische Ankopplung der einzelnen supraleitenden Bandleiter erschweren kann. Beim Einsetzen eines solchen vorgefertigten Bauteils in eine passende Aussparung des Rotorträgers wird weiterhin zwischen dem Bauteil und dem Rotorträger ein kleiner Spalt ausgebildet. Wenn dieser Spalt leer bleibt, liegt in diesem Bereich eine besonders schlechte thermische Ankopplung an den umgebenden Rotorträger vor. Auch wenn er durch ein zusätzliches Füllmittel ausgefüllt wird, ergibt sich insgesamt eine unerwünscht hohe Schichtdicke an zusätzlichem Material zwischen den Bandleitern und dem Material des Rotorträgers.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen Rotor anzugeben, welcher die genannten Nachteile überwindet. Insbesondere soll ein Rotor zur Verfügung gestellt werden, welcher vergleichsweise leicht herzustellen ist und in welchem eine gute thermische Anbindung der verwendeten Bandleiter des Bandleiterstapels an den Rotorträger gegeben ist. Eine weitere Aufgabe ist es, eine elektrische Maschine mit einem solchen Rotor anzugeben. Zusätzlich soll ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors zur Verfügung gestellt werden.

Diese Aufgaben werden durch den in Anspruch 1 beschriebenen Rotor, die in Anspruch 14 beschriebene elektrische Maschine und das in Anspruch 15 beschriebene Verfahren gelöst.

Der erfindungsgemäße Rotor ist als Rotor für eine elektrische Maschine ausgestaltet. Er weist eine zentrale Rotorachse A auf. Der Rotor umfasst einen Rotorträger und eine von dem Rotorträger mechanisch getragene permanentmagnetische supraleitende Magneteinrichtung mit einem oder mehreren supraleitenden Magnetelementen. Dabei ist das jeweilige supraleitende Magnetelemente in eine passende, zugeordnete radial außen liegende Aussparung des Rotorträgers eingebettet. Das jeweilige supraleitende Magnetelement ist durch wenigstens einen Stapel aus mehreren supraleitenden Bandleitern gebildet. Der jeweilige Bandleiterstapel ist durch eine radial weiter außen angeordnete Polkappe in der zugehörigen Aussparung fixiert, derart, dass die Polkappe die einzelnen Bandleiter in dem Stapel zusammenhält.

Unter einem permanentmagnetischen supraleitenden Magnetelement soll im vorliegenden Zusammenhang ein Element verstanden werden, welches ein Supraleitermaterial umfasst und welches durch Aufmagnetisierung bei einer kryogenen Temperatur und Aufrechterhaltung dieser kryogenen Temperatur in einen dauerhaft magnetisierten Zustand gebracht werden kann. Der beschriebene Rotor kann insbesondere eine Mehrzahl von solchen supraleitenden Magnetelementen umfassen, um ein mehrpoliges Magnetfeld erzeugen zu können. Diese Magnetelemente können so über den Umfang des Rotors verteilt sein, dass sie (entweder jeweils einzeln oder in Gruppen) den einzelnen magnetischen Polen eines permanenterregten Rotors entsprechen.

Die einzelnen Bandleiter des Bandleiterstapels sind insbesondere in radialer Richtung übereinandergestapelt. Auf diese Weise kann besonders einfach durch sequenzielles Einlegen einzelner Bandleiter in die radial außenliegende Aussparung ein Bandleiterstapel gebildet werden.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Rotors liegt darin, dass der Bandleiterstapel hier nicht als vorgefertigtes Bauteil, sondern erst als in situ gebildeter Stapel vorliegt. Mit anderen Worten soll der Bandleiterstapel hier ins-

besondere erst innerhalb der zugehörigen Aussparung des Rotorträgers gebildet worden sein. Der Bandleiterstapel bildet in jedem Fall kein mechanisch eigenstabilisiertes vorgefertigtes Bauteil. Die einzelnen Bandleiter sind also insbesondere
5 nicht bereits vor dem Einlegen in die Aussparung mit einem Klebemittel oder Vergussmittel miteinander zu einem vorgefertigten Bauteil verbunden worden.

Insbesondere können die einzelnen Bandleiter des Bandleiterstapels auch im fertig hergestellten Rotor lose übereinanderliegend gestapelt sein. Bei dieser Variante ist auf einfache Weise erkennbar, dass kein vorgefertigtes Bauteil im Sinne eines mechanisch eigenstabilisierten Stapelverbunds vorliegt. Prinzipiell können die einzelnen Bandleiter des Bandleiterstapels
15 aber auch nachträglich (also nach dem Einlegen in die Aussparung des Rotorträgers) miteinander verbunden worden sein. Eine solche nachträgliche Verbindung kann beispielsweise durch Auffüllen der vorhandenen Lücken durch ein Klebemittel und/oder durch ein Vergussmittel erfolgen. Dass diese Verbindung erst nachträglich hergestellt ist und nicht bereits in
20 einem vorgefertigten Magnelement wie beim Stand der Technik gebildet wurde, ist leicht daran zu erkennen, dass in einem solchen Fall kein Spalt zwischen dem Bandleiterstapel und den umgebenden Bereichen des Rotorträgers vorliegt. Ein solcher
25 Spalt wird nämlich bei einem nachträglichen Einbringen des Klebemittels oder Vergussmittels vollständig aufgefüllt.

Bei dem erst in situ innerhalb der Aussparung gebildeten Bandleiterstapel werden die einzelnen Bandleiter des Stapels
30 durch die Polkappe fixiert. Wenn die einzelnen Bandleiter auch im fertigen Rotor nur lose übereinander liegen, werden die einzelnen Bandleiter in radialer Richtung im Wesentlichen nur durch die Polkappe zusammengehalten. Wenn die einzelnen Bandleiter allerdings im fertigen Rotor durch ein nachträglich eingebrachtes Klebemittel oder Vergussmittel zusätzlich
35 miteinander verbunden worden sind, dann sorgt die Polkappe für die initiale Fixierung, bevor ein solches Klebemittel oder Vergussmittel in die Aussparung eingebracht wird und den

Stapel dann zusätzlich fixiert. In diesem Fall wird der Stapel während des Aushärtens des Verguss- oder Klebemittels durch die Polkappe fixiert. Allen Varianten ist gemeinsam, dass die Polkappe mit einem Anpressdruck von radial außen gegen den Bandleiterstapel gedrückt wird und somit die einzelnen Bandleiter gegeneinander fixiert.

Mit der beschriebenen Ausführung des Bandleiterstapels als nicht vorgefertigter, sondern erst in situ gebildeter Bandleiterstapel sind zwei wesentliche Vorteile verbunden: Zum einen wird die Herstellung des Rotors dadurch verbessert, dass weniger Verfahrensschritte sowie weniger spezielle Fertigungsvorrichtungen benötigt werden und die Herstellung insgesamt vereinfacht ist. Wenn die Ausbildung des Bandleiterstapels erst innerhalb der zugehörigen Aussparung erfolgt, wird keine separate Vorrichtung zur Herstellung der vorgefertigten Magnetelemente benötigt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass eine optional vorliegende, den Bandleiterstapel umhüllende beziehungsweise seitlich begrenzende Schicht (also eine Schicht zwischen dem Bandleiterstapel und den umgebenden Teilen des Rotorträgers) insgesamt wesentlich dünner ausgebildet sein kann als bei entsprechenden vorgefertigten Bauteilen. Bei einer solchen dünnen Ausgestaltung der umhüllenden Schicht kann eine deutlich verbesserte thermische Anbindung der einzelnen Bandleiter an den Rotorträger erreicht werden.

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine weist einen erfindungsgemäßen Rotor und einen feststehend angeordneten Stator auf. Die Vorteile der erfindungsgemäßen Maschine ergeben sich analog zu den beschriebenen Vorteilen des erfindungsgemäßen Rotors.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Rotors. Es umfasst die folgenden Schritte:

- Ausbildung wenigstens eines Bandleiterstapels durch sequentielles Einbringen einer Mehrzahl von supraleitenden Band-

leiten in eine passende radial außenliegende Aussparung des Rotorträgers und

- anschließende mechanische Fixierung des so gebildeten Bandleiterstapels durch eine radial weiter außen angeordnete Polkappe.

Mit anderen Worten wird der Bandleiterstapel erst in situ innerhalb der Aussparung ausgebildet und liegt nicht als vorgefertigtes Bauteil vor. Die radial außen angeordnete Polkappe wird erst nachträglich, also erst nach der Ausbildung des Bandleiterstapels angebracht. Hierdurch wird eine mechanische Fixierung des in situ gebildeten Bandleiterstapels ermöglicht. Die Vorteile des Verfahrens und auch die vorteilhaften Ausführungsformen ergeben sich analog zu den beschriebenen Vorteilen und Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Rotors. Insbesondere können auch mehrere solche Stapel innerhalb einer oder mehrerer passender Aussparungen gebildet werden, wodurch dann im letzteren Fall mehrere supraleitende Magnelemente entstehen. Es können also auch innerhalb einer gegebenen Aussparung mehrere Stapel nebeneinander ausgebildet werden. Der Begriff „passend“ soll im vorliegenden Zusammenhang also allgemein bedeuten, dass die Größe und Form der Aussparung entweder zu genau einem Stapel oder zu einer Mehrzahl von in der Aussparung nebeneinander liegenden Stapeln passen soll.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen sowie der folgenden Beschreibung hervor. Dabei können die beschriebenen Ausgestaltungen des Rotors, der elektrischen Maschine und des Herstellungsverfahrens allgemein vorteilhaft miteinander kombiniert werden.

So können nach einer allgemein vorteilhaften Ausführungsform die einzelnen supraleitenden Bandleiter in dem wenigstens einen Bandleiterstapel lose übereinander liegen. Bei dieser Ausführungsform sollen sie also insbesondere nicht zu einer mechanisch festen Einheit miteinander verbunden, insbesondere

nicht vergossen oder verklebt sein. Bei dieser Ausführungsform sind die einzelnen Bandleiter also prinzipiell in seitlicher Richtung gegeneinander verschiebbar. Unter der seitlichen Richtung ist hier eine Richtung senkrecht zur Stapelungsrichtung und parallel zur Ebene der Bandleiter gemeint. Eine solche seitliche Verschiebbarkeit wird jedenfalls nicht durch eine mechanisch feste Verbindung der einzelnen Bandleiter verhindert. Wenn seitlich neben den Bandleitern genügend Platz für eine solche Bewegung vorliegt, ist bei dieser Variante eine seitliche Verschiebung möglich. Bei dieser Ausführungsform ist die Herstellung des Bandleiterstapels besonders einfach, da überhaupt kein zusätzlicher Schritt zur Herstellung eines festen Bandleiter-Verbundes benötigt wird. Die einzelnen Bandleiter werden lediglich durch die von außen angepresste Polkappe gegeneinander fixiert. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft in Kombination mit einer Ausfüllung der gebildeten Hohlräume durch ein Wärmeleitfett. Ein solches Wärmeleitfett liegt zumindest bei Raumtemperatur als hochviskose Flüssigkeit vor und bildet keinen mechanisch festen Verbund zwischen den Bandleitern aus. Das Wärmeleitfett bewirkt jedoch vorteilhaft eine gute thermische Ankopplung der einzelnen Bandleiter an den Rotorträger.

Gemäß einer alternativen Ausführungsvariante können die einzelnen supraleitenden Bandleiter des wenigstens einen Bandleiterstapels innerhalb der zugehörigen Aussparung durch Verkleben und/oder Verguss miteinander verbunden sein. Dieses Verkleben beziehungsweise der Verguss ist dann insbesondere nachträglich erfolgt, also mit anderen Worten erst nach dem Einlegen des Stapels in die Aussparung. Diese erste nachträgliche Ausbildung des festen Verbundes zwischen den einzelnen Bandleitern ist leicht daran erkennbar, dass das Klebemittel beziehungsweise des Vergussmittel den Zwischenraum zwischen dem Bandleiterstapel und den Begrenzungswände der Aussparung spaltfrei ausfüllt. Bei einem vorgefertigten verklebten oder vergossenen Magnetelemente würde dagegen zwischen dem Klebemittel beziehungsweise dem Vergussmittel und den Begrenzungen der Aussparung ein Restspalt verbleiben. Dieser bei einem Ro-

tor nach dem Stand der Technik vorhandene Restspalt könnte prinzipiell durch ein weiteres Füllmittel aufgefüllt werden, um die thermische Ankopplung noch zu verbessern. Dieser zusätzliche Schritt entfällt bei der beschriebenen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Rotors, wodurch das Herstellungsverfahren insgesamt erleichtert wird.

Unter dem beschriebenen Verguss des Bandleiterstapels innerhalb der Aussparung soll allgemein ein Auffüllen der vorliegenden Hohlräume mit einem geeigneten Vergussmittel verstanden werden. Hierbei kann es sich prinzipiell entweder um ein organisches oder um ein anorganisches Vergussmittel handeln. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann es sich bei dem Vergussmittel insbesondere um ein niedrigschmelzendes metallisches Lotmaterial handeln. Ein wesentlicher Vorteil eines solchen metallischen Lotmaterials ist, dass es im Vergleich zu den meisten organischen Materialien eine deutlich höhere thermische Leitfähigkeit aufweist. Somit kann eine bessere thermische Ankopplung des Bandleiterstapels an den Rotorträger erreicht werden. Außerdem ist der thermische Ausdehnungskoeffizient bei metallischen Lotmaterialien typischerweise geringer als bei typischen organischen Vergussmitteln.

Unter einem Vergussmittel soll im vorliegenden Zusammenhang allgemein ein nach der Ausbildung des Bandleiterstapels in die verbleibenden Zwischenräume eingebrachtes Vergussmittel verstanden werden. Ein Klebemittel oder ein anderweitiges Füllmittel kann dagegen auch bereits während der Ausbildung des Stapels in den entstehenden seitlichen Hohlräumen und gegebenenfalls auch in Zwischenräumen zwischen den einzelnen übereinanderliegenden Bandleitern eingebracht werden.

Allgemein und unabhängig vom Material der Polkappe kann diese bevorzugt so ausgebildet sein, dass sie sowohl in axialer als auch in azimuthaler Richtung den Bandleiterstapel wenigstens abdeckt. Sie sollte also in den genannten Richtungen wenigstens so breit sein wie der Bandleiterstapel. Besonders vor-

teilhaft kann sie ihn zumindest in azimuthaler Richtung über-
ragen, um eine besonders zuverlässige mechanische Fixierung
zu erreichen. Eine solche Polkappe kann insbesondere eine
Querschnittsform mit einer abgerundeten radial außenliegenden
5 Oberfläche und einem beidseitigen Überstand (über die seitli-
che Abmessung des Magnetelements hinaus) in Umfangsrichtung
aufweisen.

Allgemein und unabhängig von der sonstigen Ausgestaltung der
10 einzelnen Magnetelemente kann die Polkappe gemäß einer ersten
vorteilhaften Ausführungsform aus einem amagnetischen Materi-
al gebildet sein. Bei dieser Ausführungsform findet also kei-
ne magnetische Wechselwirkung zwischen dem supraleitenden
Magnetelement und der Polkappe statt. Vielmehr dient die Pol-
15 kappe im Wesentlichen der mechanischen Fixierung des Band-
leiterstapels.

Gemäß einer alternativen vorteilhaften Ausführungsform kann
die Polkappe ein ferromagnetisches Material umfassen. Insbe-
20 sondere kann sie im Wesentlichen aus einem ferromagnetischen
Material gebildet sein. Eine solche ferromagnetische Polkappe
kann dazu beitragen, die magnetische Flussführung des ausge-
bildeten Erregerfeldes zu verbessern. Insbesondere kann eine
solche ferromagnetische Polkappe zu einer Homogenisierung des
25 magnetischen Flusses beitragen. Dies kann vor allem dann be-
sonders vorteilhaft sein, wenn ein Magnetelement aus mehreren
(axial und/oder azimuthal) nebeneinanderliegenden Bandleiter-
stapeln gebildet ist. In einem solchen Fall wird durch die
nebeneinanderliegenden Bandleiterstapel typischerweise ein
30 relativ inhomogenes Magnetfeld ausgebildet, welches einzelne
Maxima der magnetischen Flussdichte über den einzelnen Teil-
stapeln aufweist. Für die meisten Anwendungen wird jedoch ei-
ne deutlich homogenere Flussverteilung gewünscht, bei welcher
diese scharfen Maxima geglättet sein sollen. Eine solche
35 Glättung kann in vorteilhafter Weise durch eine ferromagneti-
sche Polkappe erreicht werden, welche die nebeneinanderlie-
genden Teilstapel gemeinsam überdeckt.

Vorteilhafte ferromagnetische Materialien für die Polkappe sind beispielsweise Eisen und eisenhaltige Legierungen und Verbindungen, insbesondere Weicheisen, Ferrit, St37, Transformatorblech, Dynamoblech, Cobalt-Eisen, Silizium-Eisen, Nickel-Eisen sowie die Legierung X8Ni9. Allgemein vorteilhaft weist das ferromagnetische Material eine vergleichsweise hohe Sättigungsmagnetisierung auf, beispielsweise eine Sättigungsmagnetisierung zwischen 1,0 Tesla und 2,5 Tesla und besonders vorteilhaft im Bereich zwischen 1,5 Tesla und 2,5 Tesla.

Bei einer vorteilhaften Variante der ferromagnetischen Polkappe ist diese in ihren azimuthalen Randbereichen dünner ausgebildet und erstreckt sich dort weniger weit nach radial außen als in ihrem azimuthalen Zentrum. Über eine derartige Formgebung kann vorteilhaft erreicht werden, dass in Umfangsrichtung des Rotors gesehen ein im Wesentlichen sinusförmiger magnetischer Flussverlauf erzeugt wird. Die Verwendung eines solchen Rotors in einer elektrischen Maschine ermöglicht einen vergleichsweise oberwellenarmen Betrieb.

Allgemein bevorzugt kann die permanentmagnetische supraleitende Magneteinrichtung zur Erzeugung eines Magnetfelds mit einer magnetischen Flussdichte von wenigstens 1 Tesla ausgelegt sein. Besonders bevorzugt liegt die magnetische Flussdichte sogar oberhalb von 1,5 T. Beispielsweise kann es sich bei der genannten Flussdichte um eine Flussdichte innerhalb des Rotors handeln. Besonders vorteilhaft liegt aber auch die magnetische Flussdichte im Luftspalt der elektrischen Maschine in diesem vergleichsweise hohen Bereich. Ein Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass die magnetische Flussdichte insbesondere höher sein kann als dies mit konventionellen Permanentmagneten erreichbar wäre. Bei derart hohen magnetischen Flussdichten kommen die beschriebenen Vorteile bei der magnetischen Flussführung mittels ferromagnetischer Polkappen besonders wirksam zum Tragen.

Allgemein vorteilhaft kann das supraleitende Magnelement aus einer Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Bandleiter-

stapeln zusammengesetzt sein. Bei Ausführungsformen, bei denen der Rotor mehrere Magnetelemente umfasst, kann insbesondere jedes dieser Magnetelemente auf die beschriebene Weise segmentiert sein. Allgemein ist die Stapelungsrichtung des Bandleiterstapels vorteilhaft eine radiale Richtung bezüglich der zentralen Rotorachse A. In diesem Fall können die einzelnen nebeneinanderliegenden Stapel prinzipiell axial und/oder azimuthal nebeneinander liegend angeordnet sein. Eine derartige Segmentierung erlaubt es, auf einfache Weise Magnetelemente mit relativ großen räumlichen Abmessungen auszubilden.

Bei der beschriebenen Segmentierung in mehrere nebeneinanderliegende Bandleiterstapel können diese entweder jeweils in separaten zugeordneten Aussparungen vorliegen oder aber es können jeweils mehrere Bandleiterstapel nebeneinander in einer gemeinsamen Aussparung angeordnet sein. Die separate Anordnung von einzelnen Bandleiterstapeln in einzelnen Aussparungen kann vorteilhaft sein, um die thermische Ankopplung des jeweiligen Bandleiterstapels an das Material des Rotorträgers zu verbessern. Die gemeinsame Einbettung von mehreren nebeneinanderliegenden Stapeln in eine übergeordnete Aussparung kann jedoch vorteilhaft sein, um eine möglichst lückenlose oder lückenarme Ausgestaltung eines übergeordneten magnetischen Pols zu erreichen. Insbesondere kann mit mehreren sehr dicht nebeneinanderliegenden Bandleiterstapeln eine vergleichsweise hohe und homogene magnetische Flussdichte erreicht werden.

Wenn mehrere nebeneinanderliegende Bandleiterstapel zusammen einen magnetischen Pol ausbilden, kann es allgemein vorteilhaft sein, diese einzelnen Teilstapel mittels einer gemeinsamen Polkappe zu fixieren. Dabei kann beispielsweise entweder genau eine Polkappe für jeden magnetischen Pol zum Einsatz kommen oder aber es können gegebenenfalls auch mehrere Teilkappen für einen magnetischen Pol vorliegen. Bei der Verwendung von magnetisch flussführenden Polkappen kann hierbei wie oben beschrieben eine Homogenisierung der magnetischen Flussdichte erreicht werden.

Alternativ zu den beschriebenen nebeneinanderliegenden diskreten Teilstapeln ist es auch möglich und unter Umständen vorteilhaft, einen Bandleiterstapel auszubilden, der in jeder Ebene des Stapels mehrere nebeneinanderliegende Bandleiter aufweist, wobei die Bandleiter der benachbarten Stapelebenen jedoch derart geometrisch versetzt zueinander angeordnet sind, dass sich von Ebene zu Ebene unterschiedliche Positionen der Lücken ergeben. Auch bei solchen komplexeren Stapeln ist eine Homogenisierung der magnetischen Flussdichte durch flussführende ferromagnetische Polkappen vorteilhaft.

Gemäß einer allgemein vorteilhaften Ausführungsform kann zwischen dem Bandleiterstapel und den Wänden der zugehörigen Aussparung jeweils ein Zwischenraum gebildet sein, welcher durch ein Füllmittel ausgefüllt ist. Insbesondere ist ein solcher Zwischenraum im Wesentlichen vollständig durch dieses Füllmittel ausgefüllt. Wie weiter oben beschrieben, ist ein solches Füllmittel insbesondere nachträglich, also nach der Ausbildung des Leiterstapels innerhalb der Aussparung, in den beim Stapeln gebildeten Hohlraum eingeführt. Durch das Auffüllen der Hohlräume wird die thermische Ankopplung der einzelnen Bandleiter an den Rotorträger vorteilhaft verbessert. Optional kann ein solches Füllmittel zusätzlich auch vorhandene Zwischenräume zwischen den einzelnen Bandleitern des Stapels ausfüllen und somit die einzelnen Bandleiter thermisch besser miteinander koppeln.

Ein solches Füllmittel kann beispielsweise ein Wärmeleitfett, ein Epoxidharz, ein Paraffin und/oder ein niedrigschmelzendes Lotmaterial sein. Es kann sich also allgemein entweder um ein bei Raumtemperatur flüssiges (gegebenenfalls hochviskoses) oder um ein bei Raumtemperatur festes Füllmittel handeln. Ein solches festes Füllmittel kann beispielsweise durch Aushärten eines Klebemittels oder eines Vergussmittels beziehungsweise durch Erstarren eines niedrigschmelzenden Lotmaterials erhalten werden. Das Ausgangsmaterial für ein solches festes Füllmittel kann also durchaus auch ein flüssiges Füllmaterial

sein. Ein flüssiges Ausgangsmaterial ist (unabhängig vom späteren Aggregatzustand des Füllmittels) allgemein zu bevorzugen, da hiermit eine weitgehende Ausfüllung auch von kleineren Hohlräumen und insbesondere schmalen Spalten erreicht werden kann.

Ein besonders geeignetes Wärmeleitfett ist beispielsweise Apiezon N, da es eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist und außerdem gut verarbeitbar ist. Als Epoxidharze kommen sowohl ungefüllten Epoxidharze (beispielsweise Stycast 1266) wie auch gefüllte Epoxidharze (beispielsweise Stycast 2850 FT) in Frage. Allgemein sind die Epoxidharze des Typs Stycast besonders bevorzugt. Als niedrigschmelzende Lotmaterialien eignen sich insbesondere Lotmaterialien mit einer Schmelztemperatur unterhalb von 250 °C, besonders bevorzugt mit einer Schmelztemperatur zwischen 30 °C und 200 °C. Derart niedrigschmelzende Lote sind besonders geeignet, um eine mechanisch feste und thermisch hochleitfähige Füllung der Zwischenräume auszubilden, wobei eine zu starke thermische Belastung der empfindlichen Bandleiter vorteilhaft vermieden wird. Besonders geeignete niedrigschmelzende Lote sind beispielsweise indiumhaltige Lote, insbesondere das sogenannte Fieldsche Metall.

Allgemein vorteilhaft kann das Füllmittel eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von wenigstens 0,05 W/m·K aufweisen. Der genannte Wert für die Wärmeleitfähigkeit soll dabei insbesondere bei einer Betriebstemperatur des Rotors gelten. Diese Betriebstemperatur soll insbesondere eine kryogene Betriebstemperatur sein, bei welcher das supraleitende Material des Bandleiters im supraleitenden Zustand ist. Beispielsweise kann eine solche kryogene Betriebstemperatur in einem Bereich zwischen 20 K und 30 K liegen. Mit Epoxidharzen als Füllmittel können bei solchen kryogenen Temperaturen beispielsweise Wärmeleitfähigkeiten oberhalb von 0,07 W/m·K erreicht werden. Mit Wärmeleitfetten können vorteilhaft noch höhere Werte erreicht werden, beispielsweise Wärmeleitfähigkeiten oberhalb von 0,12 W/m·K. Mit niedrigschmelzenden Loten können vorteil-

haft noch wesentlich höhere Werte erreicht werden, beispielsweise Wärmeleitfähigkeiten oberhalb von $10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Allgemein vorteilhaft kann das Füllmittel in einem Zwischen-
5 raum zwischen dem Bandleiterstapel und den Wänden der zugehö-
rigen Aussparung eine maximale Schichtdicke von höchstens
0,5 mm und insbesondere höchstens 0,2 mm aufweisen. Dabei ist
die durch das Füllmittel gebildete Schicht in diesem Zwi-
schenraum typischerweise keine besonders homogene Schicht, da
10 die einzelnen Bandleiter des Stapels insbesondere bei der ge-
schilderten in-situ Ausbildung des Stapels von Schicht zu
Schicht seitlich etwas versetzt zueinander angeordnet sein
können. Dies bewirkt eine deutliche Variation in der jeweili-
gen Dicke des durch das Füllmittel auszufüllenden Zwischen-
15 raums. So kann die mittlere Schichtdicke des Füllmittels in
diesem Zwischenraum insbesondere deutlich niedriger sein als
die oben genannten Maximalwerte. Sie kann aber auch in einem
ähnlichen Bereich liegen. Beispielsweise kann eine solche
mittlere Schichtdicke allgemein (und unabhängig von der je-
20 weils vorliegenden maximalen Schichtdicke) vorteilhaft im Be-
reich zwischen 0,05 mm und 0,5 mm und insbesondere zwischen
0,05 mm und 0,2 mm liegen.

Die beschriebenen vergleichsweise geringen Schichtdicken sind
25 besonders vorteilhaft, wenn das Füllmittel ein organisches
Füllmittel ist und eine eher niedrige thermische Leitfähig-
keit (beispielsweise unterhalb von $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) aufweist. Bei
diesen Ausführungsformen ist es besonders wünschenswert, wenn
die den Bandleiterstapel umgebende Füllmittel-Schicht beson-
30 ders dünn ist, da dann trotzdem eine vergleichsweise gute
thermische Anbindung des Bandleiterstapels an den Rotorträger
gewährleistet werden kann. Bei anderen Ausführungsformen mit
Füllmittel mit höherer thermischer Leitfähigkeit (beispiels-
weise oberhalb von $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und insbesondere bei der Verwen-
35 dung niedrigschmelzender metallischer Lote können zweckmäßig
auch deutlich größere Schichtdicken des umgebenden Füllmit-
tels vorteilhaft sein, beispielsweise Schichtdicken im Be-
reich zwischen 0,1 mm und 1 mm. Aufgrund der hohen spezifi-

schen thermischen Leitfähigkeit dieser Materialien ist dann trotzdem eine vergleichsweise gute thermische Anbindung möglich.

5 Allgemein können die einzelnen Bandleiter des wenigstens einen Bandleiterstapels jeweils als Hochtemperatursupraleitende Bandleiter ausgebildet sein. Insbesondere können sie jeweils ein normalleitendes Substrat und eine Hochtemperatursupraleitende Schicht aufweisen. Hochtemperatursupraleiter
10 (HTS) sind supraleitende Materialien mit einer Sprungtemperatur oberhalb von 25 K und bei einigen Materialklassen oberhalb von 77 K, bei denen die Betriebstemperatur durch Kühlung mit anderen kryogenen Materialien als flüssigem Helium erreicht werden kann. HTS-Materialien sind auch deshalb besonders attraktiv, da diese Materialien abhängig von der Wahl
15 der Betriebstemperatur hohe obere kritische Magnetfelder sowie hohe kritische Stromdichten aufweisen können. Der Hochtemperatursupraleiter kann beispielsweise Magnesiumdiborid oder einen oxidkeramischen Supraleiter, beispielsweise eine
20 Verbindung des Typs $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (kurz REBCO) umfassen, wobei RE für ein Element der seltenen Erden oder eine Mischung solcher Elemente steht.

Allgemein kann der Rotorträger dazu ausgebildet sein, um beim
25 Betrieb des Rotors auf einer kryogenen Betriebstemperatur vorzuliegen. Hierdurch kann erreicht werden, dass die supraleitenden Magnelemente über den Rotorträger gekühlt werden können. Alternativ oder zusätzlich können die supraleitenden Magnelemente aber auch direkt an zusätzliche Elemente eines
30 Kühlbusses angekoppelt sein. Beispielsweise können einzelne Kupferelemente eines Kupfer-Kühlbusses zusätzlich in die beschriebenen Aussparungen des Rotorträgers eingelassen sein, sodass die eingebetteten Magnelemente in direkten Kontakt mit diesen Kupferelementen treten können. Alternativ können
35 auch ein oder mehrere Wärmerohre in den Rotorträger integriert sein, sodass die Bandleiterstapel im Bereich der Aussparungen in thermischen Kontakt mit den Enden dieser Wärmerohre treten können.

Allgemein kann der Rotorträger aus einem amagnetischen Material ausgebildet sein. Dies ist vorteilhaft, um ein Schließen des magnetischen Flusses im Rotorträger zu vermeiden und eine hohe magnetischen Flussdichte in radial weiter außenliegenden Bereichen zu erzeugen. Geeignete Materialien für den Rotorträger sind beispielsweise amagnetischer Edelstahl, Aluminium, aluminiumhaltige Legierungen, Kupfer und kupferhaltigen Legierungen wie beispielsweise Messing.

Das beschriebene mechanische Anpressen der Polkappen kann beispielsweise durch Schrauben, durch Klemmen und/oder durch axiales Einschieben von schwalbenschwanzartig geformten Polkappen in dazu passende Aussparungen erreicht werden.

Die Breite der einzelnen Bandleiter des Bandleiterstapels kann beispielsweise in einem Bereich zwischen 4 mm und 100 mm liegen. Hierbei sind vergleichsweise breite Bandleiter besonders zu bevorzugen, um möglichst große supraleitende Magnetelemente mit relativ homogenen Magnetfeldern und hoher Magnetisierung auszubilden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen beschrieben, in denen:

Figur 1 eine erste Ausführungsform einer elektrischen Maschine im schematischen Querschnitt zeigt,
Figur 2 bis 5 Detailausschnitte von ähnlichen Maschinen im Bereich der supraleitenden Magnetelemente zeigen und
Figur 6 eine weitere Ausführungsform einer elektrischen Maschine im schematischen Querschnitt zeigt.

In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen.

In Figur 1 ist eine elektrische Maschine 1 im schematischen Querschnitt, also senkrecht zur zentralen Achse A gezeigt.

Die Maschine umfasst einen außenliegenden feststehend angeordneten Stator 3 und einen innenliegenden, um die zentrale Achse A drehbar gelagerten Rotor 5. Die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen Rotor 5 und Stator 3 findet dabei
5 über den dazwischenliegenden Luftspalt 6 hinweg statt. Es handelt sich um eine permanenterregte Maschine, welche zur Ausbildung eines Erregerfeldes im Bereich des Rotors eine Mehrzahl von permanentmagnetischen supraleitenden Magnetelementen 9 aufweist. Im Querschnitt der Figur 1 sind hier beispielhaft vier derartige Permanentmagnete über den Umfang des
10 Rotors verteilt. Sie sind in entsprechenden radial außenliegenden Aussparungen 12 eines Rotorträgers 7 angeordnet, wobei der Rotorträger 7 die Magnetelemente 9 mechanisch trägt. In der hier nicht dargestellten axialen Richtung können jedoch
15 zusätzlich noch weitere als die hier gezeigten vier Magnetelemente vorliegen, wobei durch eine solche axiale Unterteilung jedoch die magnetische Polzahl der elektrischen Maschine nicht erhöht wird.

Der Rotorträger 7 wird zusammen mit den darauf gehaltenen Magnetelementen 9 durch eine hier nicht detaillierter dargestellte Kühlvorrichtung auf eine kryogene Betriebstemperatur gekühlt, welche unterhalb der Sprungtemperatur des in den
20 Magnetelementen verwendeten Supraleitermaterials liegt. Um diese kryogene Temperatur aufrechtzuerhalten, sind Rotorträger 7 und Magnetelemente 9 zusammen im Innenraum eines Kryostaten 11 angeordnet. Zwischen dem Kryostaten und dem Rotorträger 7 befindet sich ein ringförmiger Vakuumraum V zur thermischen Isolation.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 sind die einzelnen Magnetelemente 9 jeweils als Bandleiterstapel 8 aus einzelnen supraleitenden Bandleitern 10 gebildet. Dabei ist jeweils eine
30 Vielzahl von solchen supraleitenden Bandleitern 10 in einer radialen Richtung übereinandergestapelt. Die einzelnen Bandleiter 10 der jeweiligen Bandleiterstapel sind dabei nicht zu einem vorgefertigten Bauteil miteinander verbunden, sondern sie sind nacheinander in die entsprechende Aussparung 12 des

Rotorträgers 7 eingelegt worden. Die Bandleiterstapel 8 wurden hier also in situ innerhalb der jeweiligen Aussparungen 12 des Rotorträgers 7 gebildet. Anschließend wurden die so gebildeten Bandleiterstapel 8 jeweils durch die Anordnung einer radial weiter außenliegenden Polkappe 13 mechanisch fixiert. Diese Polkappen 13 halten also die einzelnen Bandleiter 10 der in den Aussparungen gebildeten Bandleiterstapel zusammen. Dazu werden die Polkappen 13 mit einem radialen Anpressdruck p von radial außen gegen die Bandleiterstapel 8 gepresst. Nach der Bildung der Bandleiterstapel sind die einzelnen Bandleiter 10 zunächst nicht fest miteinander verbunden. Es ist möglich, dass sie auch im fertigen Rotor 5 nur lose übereinanderliegen und nur durch den Anpressdruck p der Polkappen 13 zusammengehalten werden. Alternativ können sie jedoch nach der Ausbildung des Stapels innerhalb der jeweiligen Aussparung 12 beispielsweise durch ein Klebemittel und/oder ein Füllmittel zusätzlich miteinander fixiert werden. Diese unterschiedlichen Varianten werden im Zusammenhang mit den nachfolgend beschriebenen Detailausschnitten deutlich werden.

So zeigt Figur 2 einen Detailausschnitt des Rotors einer elektrischen Maschine im schematischen Querschnitt. Gezeigt ist der Bereich eines supraleitenden Magnetelements 9, das in eine radial außenliegende Aussparung des Rotorträgers 7 eingebettet ist. Der übrige Teil der elektrischen Maschine kann beispielsweise ähnlich wie beim Beispiel der Figur 1 ausgestaltet sein. Auch das Magnetelement 9 ist hier durch einen Bandleiterstapel 8 aus einer Vielzahl von einzelnen supraleitenden Bandleitern 10 gebildet. Diese einzelnen Bandleiter 10 sind in radialer Richtung r übereinandergestapelt. Sie werden von radial außen durch eine Polkappe 13 fixiert, welche mit einem Anpressdruck gegen den Bandleiterstapel 8 gedrückt wird. Die Mittel zur Ausbildung dieses Anpressdrucks sind hier der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Im Beispiel der Figur 2 sind die einzelnen Bandleiter 10 des Bandleiterstapels 8 nur lose übereinandergelegt und werden ausschließlich durch das Anpressen der außenliegenden Polkappe

13 zusammengehalten. Ansonsten sind sie prinzipiell in seitlicher Richtung gegeneinander verschiebbar. Sie sind also insbesondere nicht miteinander verklebt oder miteinander vergossen. Dadurch, dass der Bandleiterstapel hier innerhalb der Aussparung durch sequenzielles Einlegen der einzelnen Bandleiter 10 gebildet worden ist, können die Bandleiter 10 einen leichten seitlichen Versatz zueinander aufweisen. Dieser seitliche Versatz ist in der Figur 2 zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt. Zwischen den seitlichen Rändern der einzelnen Bandleiter und den Wänden 18 der zugehörigen Aussparung des Rotorträgers ist ein kleiner Zwischenraum 15 gebildet. Auch dieser Zwischenraum 15 ist hier übertrieben dargestellt. Es kann sich dabei auch nur um einen minimalen Spalt handeln, der nach dem Einlegen der Bandleiter zu den Wänden der Aussparung hin verbleibt, wobei manche Bandleiter die Wand auch direkt berühren können. Die mittlere Breite dieses Zwischenraums beziehungsweise Spalts ist in Figur 2 mit b bezeichnet. Im Vergleich zu einem herkömmlichen vorgefertigten Bandleiterstapel kann dieser mittlere Abstand b zu den Wänden der Aussparung besonders klein gewählt werden. Dies liegt daran, dass bei dem in situ gebildeten Bandleiterstapel keine äußere Umhüllung zur mechanischen Fixierung der einzelnen Bandleiter aneinander benötigt wird und dass im Vergleich zum vorgefertigten Bauteil durch eine genaue Anpassung an die Größe der Aussparung ein besonders geringer seitlicher Versatz der einzelnen Bandleiter erreicht werden kann.

Die radial außenliegenden Polkappen 13 sind so geformt, dass sie in azimuthaler Richtung die kreisförmige äußere Querschnittsform des Rotorträgers nachbilden beziehungsweise fortsetzen. Die einzelnen Polkappen 13 sind hier jeweils aus einem ferromagnetischen Material gebildet. Dies bewirkt allgemein vorteilhaft eine verbesserte magnetische Flussführung und insbesondere eine Homogenisierung des nach radial außen dringenden magnetischen Flusses.

Figur 3 zeigt einen Detailausschnitt für einen ähnlichen Bereich eines Rotors nach einem weiteren Beispiel der Erfin-

dung. Auch hier ist der Bereich eines supraleitenden Magne-
telements 8 gezeigt, welches insgesamt ähnlich wie beim Bei-
spiel der Figur 2 ausgebildet ist. Im Unterschied zum dortigen
Beispiel ist jedoch hier der Zwischenraum zwischen den
5 seitlichen Rändern der Bandleiter und den Wänden 18 der Aus-
sparung durch ein Füllmittel 17 gefüllt. Dieses Füllmittel 17
kann den seitlichen Zwischenraum vorteilhaft im Wesentlichen
ganz oder zumindest zum überwiegenden Teil ausfüllen. Prinzi-
piell kann es sich dabei entweder um ein bei Raumtemperatur
10 flüssiges (gegebenenfalls hochviskos flüssiges) oder auch um
ein bei Raumtemperatur festes Füllmittel handeln. Ein festes
Füllmittel kann beispielsweise dadurch erhalten werden, dass
ein ursprünglich flüssiges Füllmittel in den Zwischenraum
eingegossen wird und anschließend chemisch ausgehärtet wird
15 oder durch Abkühlung erstarrt. Das Füllmittel kann dabei ent-
weder nachträglich nach der Anordnung des gesamten Bandlei-
terstapels und/oder während der Stapelung der einzelnen Band-
leiter in den seitlichen Zwischenraum eingebracht werden.
Beispielsweise kann es sich bei dem Füllmittel um ein Wärme-
20 leitfett, ein Klebemittel, ein Vergussmittel und oder um ein
niedrigschmelzendes Lot handeln.

Ein wesentlicher Vorteil der Befüllung des Zwischenraums mit
einem solchen Füllmittel 17 liegt darin, dass die thermische
25 Ankopplung des Bandleiterstapels 8 an den Rotorträger 7 im
Vergleich zu einem unausgefüllten Zwischenraum wesentlich
verbessert werden kann. Dies ist insbesondere dann der Fall,
wenn die thermische Leitfähigkeit des Füllmittels 17 ver-
gleichsweise hoch ist und/oder wenn die mittlere Schichtdicke
30 d des seitlich umhüllenden Füllmittels 17 vergleichsweise
klein gewählt ist. Beispielsweise kann diese mittlere
Schichtdicke unterhalb von 0,5 mm liegen. Diese mittlere
Schichtdicke kann vorteilhaft deutlich dünner gewählt sein,
als dies bei der Verwendung eines vorgefertigten, bereits
35 verklebten oder vergossenen Bandleiterstapels möglich wäre.

Auch beim Beispiel der Figur 3 weisen die einzelnen Bandlei-
ter 10 des Bandleiterstapels 8 untereinander einen leichten

seitlichen Versatz auf, der auch hier übertrieben dargestellt ist. Durch diesen lateralen Versatz ist die Schichtdicke d des seitlich benachbarten Füllmittels 17 nicht konstant, sondern sie kann von Lage zu Lage deutlich variieren. Wenn einzelne Bandleiter die seitliche Wand 18 berühren, kann sie an einzelnen Stellen auch 0 oder nahezu 0 sein. Die maximale seitliche Schichtdicke des Füllmittels 17 ist in Figur 3 mit $d_{\max}$ bezeichnet. Auch sie kann vorteilhaft deutlich geringer sein als bei einem vergleichbaren vorgefertigten und bereits verklebten oder vergossenen Magnelement.

In Figur 4 ist ein ähnlicher Detailausschnitt eines Rotors nach einem weiteren Beispiel der Erfindung gezeigt. Im Unterschied zu den vorhergehenden Beispielen ist hier das Magnelement 9 nicht durch einen einzelnen Bandleiterstapel, sondern durch eine Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Bandleiterstapeln 8 gebildet. Hier sind beispielhaft drei nebeneinanderliegende Bandleiterstapel 8 gezeigt, wobei diese Zahl auch niedriger oder höher gewählt sein kann. Im Beispiel der Figur 4 sind die einzelnen Bandleiterstapel in azimuthaler Richtung des Rotors nebeneinander angeordnet. Sie sind zusammen in eine gemeinsame Aussparung des Rotorträgers 7 eingebettet. Außerdem werden sie zusammen von einer gemeinsamen Polkappe 13 fixiert, welche in azimuthaler Richtung alle drei Bandleiterstapel 8 des Magnelements 9 überragt. Auch hier ist die Polkappe aus einem ferromagnetischen flussführenden Material gewählt. Dies ist bei der hier vorliegenden Segmentierung des Magnelements 9 besonders zweckmäßig, um eine Homogenisierung des nach radial außen vordringenden magnetischen Flusses zu erreichen. Insbesondere werden dadurch die über den einzelnen Bandleiterstapel 18 ausgebildeten Maxima des magnetischen Flusses nach außen hin geglättet.

Auch beim Beispiel der Figur 4 ist es grundsätzlich denkbar, dass die Zwischenräume 15 zwischen den Bandleiterstapeln 8 und den Wänden der Aussparung entweder frei bleiben oder durch ein Füllmittel ähnlich wie beim Beispiel der Figur 3 gefüllt sind. Auch die Zwischenräume 15a, die zwischen den

einzelnen Bandleiterstapeln 8 ausgebildet sind, können analog entweder frei bleiben oder mit einem Füllmittel ausgefüllt sein. Allgemein ist die Verwendung eines Füllmittels vorteilhaft, um die thermische Ankopplung und somit die Kühlung der
5 einzelnen Bandleiterstapel zu verbessern.

Figur 5 zeigt einen weiteren Detailausschnitt eines Rotors nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung. Gezeigt ist eine Aufsicht von radial außen auf eine radial
10 außenliegende Oberfläche des Rotors im Bereich von drei außenliegenden Aussparungen. Diese drei Aussparungen sind hier in axialer Richtung des Rotors nebeneinander angeordnet. In diese drei Aussparungen sind drei zugehörige Bandleiterstapel 8 eingebettet, also jeweils ein Bandleiterstapel pro
15 Aussparung. Diese axial benachbarten Bandleiterstapel bilden insbesondere zusammen einen gemeinsamen magnetischen Pol des Rotors aus.

Beim Beispiel der Figur 5 ist in jede der Aussparungen jeweils nur ein Bandleiterstapel 8 eingebettet. Es ist alternativ aber auch möglich, dass in jede dieser Aussparungen ein
20 Magnelement 9 eingebettet ist, welches ähnlich wie beim Beispiel der Figur 4 aus mehreren azimuthal benachbarten Bandleiterstapeln gebildet ist. Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist es auch möglich, dass alternativ oder zusätzlich
25 auch mehrere axial benachbarte Bandleiterstapel zusammen in einer gemeinsamen Aussparung des Rotorträgers angeordnet sind.

Auch beim Beispiel der Figur 5 sind ähnlich wie beim Beispiel der Figur 3 die Zwischenräume zwischen den Bandleiterstapeln und den seitlichen Wänden der Aussparungen durch ein Füllmittel 17 mit entsprechend niedriger mittlerer Schichtdicke d
30 ausgefüllt. Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, dass diese Zwischenräume eine relativ geringe Breite aufweisen und ohne eine solche Füllung ausgebildet sind, ähnlich wie beim Beispiel der Figur 2.

In Figur 6 ist eine schematische Querschnittsdarstellung für eine weitere Ausführungsform einer elektrischen Maschine gezeigt. Insgesamt ist diese elektrische Maschine ähnlich ausgestaltet wie die elektrische Maschine der Figur 1. Im Unterschied zu dieser sind hier jedoch die Polkappen 13 auf ihrer radial außen liegenden Seite nicht dem kreisförmigen Umfang des Rotorträgers 7 nachgebildet, sondern sie weisen eine stärkere Krümmung auf. Ähnlich wie beim Beispiel der Figur 1 sind also auch hier die azimuthalen Randbereiche 13a der Polkappen jeweils dünner ausgebildet als das azimuthale Zentrum 13b. Beim Beispiel der Figur 6 erstrecken sich die azimuthalen Zentren 13b jedoch in radialer Richtung noch weiter nach außen als diese azimuthalen Randbereiche 13a. Durch diese verstärkte Krümmung kann vorteilhaft erreicht werden, dass die ausgebildete magnetische Flussdichte über den Umfang des Rotors gesehen einen im Wesentlichen sinusförmigen Verlauf erhält. Dies führt vorteilhaft zu einer oberwellenarmen elektrischen Maschine 1.

Bezugszeichenliste

	1	elektrische Maschine
	3	Stator
5	5	Rotor
	6	Luftspalt
	7	Rotorträger
	8	Bandleiterstapel
	9	supraleitendes Magnelement
10	10	Bandleiter
	11	Kryostatwand
	12	radial außenliegende Aussparung
	13	Polkappe
	13a	azimutaler Randbereich der Polkappe
15	13b	azimutales Zentrum der Polkappe
	15	Zwischenraum
	15a	Zwischenraum zwischen Bandleiterstapeln
	17	Füllmittel
	18	Wand der Aussparung
20	A	zentrale Rotorachse
	b	mittlere Breite des Spalts
	d	mittlere Schichtdicke
	$d_{\max}$	maximale seitliche Schichtdicke
	p	Anpressdruck
25	r	radiale Richtung
	V	Vakuumraum

Patentansprüche

1. Rotor (5) für eine elektrische Maschine (1) mit einer zentralen Rotorachse (A), umfassend
- 5 - einen Rotorträger (7) und
- wenigstens eine von dem Rotorträger (7) mechanisch getragene permanentmagnetische supraleitende Magneteinrichtung mit einem oder mehreren supraleitenden Magnetelementen (9),
- 10 - wobei das jeweilige supraleitende Magnetelement (9) in eine passende, zugeordnete radial außenliegende Aussparung (12) des Rotorträgers (7) eingebettet ist,
- wobei das jeweilige supraleitende Magnetelement (9) durch wenigstens einen Bandleiterstapel (8) aus mehreren supraleitenden Bandleitern (10) gebildet ist
- 15 - und wobei der jeweilige Bandleiterstapel (8) durch eine radial weiter außen angeordnete Polkappe (13) in der zugehörigen Aussparung (12) fixiert ist, derart, dass die Polkappe (13) die einzelnen Bandleiter (10) in dem Bandleiterstapel (8) zusammenhält.
- 20
2. Rotor (5) nach Anspruch 1, bei welchem die einzelnen supraleitenden Bandleiter (10) des wenigstens einen Bandleiterstapels (8) lose übereinanderliegen.
- 25
3. Rotor (5) nach Anspruch 1, bei welchem die einzelnen supraleitenden Bandleiter (10) des wenigstens einen Bandleiterstapels (8) innerhalb der zugehörigen Aussparung (12) durch Verkleben und/oder Verguss miteinander verbunden sind.
- 30
4. Rotor (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Polkappe (13) aus einem amagnetischen Material gebildet ist.
5. Rotor (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem
- 35 die Polkappe (13) ein ferromagnetisches Material umfasst.
6. Rotor (5) nach Anspruch 5, bei welchem die Polkappe (13) in ihren azimuthalen Randbereichen (13a) dünner ausgebildet

ist und sich weniger weit nach radial außen erstreckt als in ihrem azimuthalen Zentrum (13b).

7. Rotor (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
5 welchem die permanentmagnetische supraleitende Magneteinrichtung zur Erzeugung eines Magnetfelds mit einer magnetischen Flussdichte von wenigstens 1,0 T ausgelegt ist.
8. Rotor (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
10 welchem das supraleitende Magnelement (9) aus einer Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Bandleiterstapeln (8) zusammengesetzt ist.
9. Rotor (5) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
15 welchem zwischen dem Bandleiterstapel (8) und den Wänden (18) der zugehörigen Aussparung (12) ein Zwischenraum (15) gebildet ist, welcher im Wesentlichen durch ein Füllmittel (17) ausgefüllt ist.
- 20 10. Rotor (5) nach Anspruch 9, bei welchem das Füllmittel (17) ein Wärmeleitfett, ein Epoxidharz, ein Paraffin und/oder ein niedrigschmelzendes Lotmaterial ist.
- 25 11. Rotor (5) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei welchem das Füllmittel (17) bei der Betriebstemperatur des Rotors (5) eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von wenigstens 0,05 W/m·K aufweist.
- 30 12. Rotor (5) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei welchem das Füllmittel (17) im Zwischenraum (15) zwischen dem Bandleiterstapel (8) und den Wänden (18) der zugehörigen Aussparung (12) eine maximale Schichtdicke ($d_{\max}$) von höchstens 0,5 mm, insbesondere höchstens 0,2 mm, aufweist.
- 35 13. Rotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die einzelnen Bandleiter des wenigstens einen Bandleiterstapels jeweils ein normalleitendes Substrat und eine Hochtemperatursupraleitende Schicht aufweisen.

14. Elektrische Maschine mit einem Rotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche und einem feststehend angeordneten Stator.

5

15. Verfahren zur Herstellung eines Rotors nach einem der Ansprüche 1 bis 13, umfassend die folgenden Schritte:

- Ausbildung wenigstens eines Bandleiterstapels durch sequen-
tielles Einbringen einer Mehrzahl von supraleitenden Band-
leitern in eine passende radial außenliegende Aussparung
des Rotorträgers und
- anschließende mechanische Fixierung des so gebildeten Band-
leiterstapels durch eine radial weiter außen angeordnete
Polkappe.

15

FIG 1

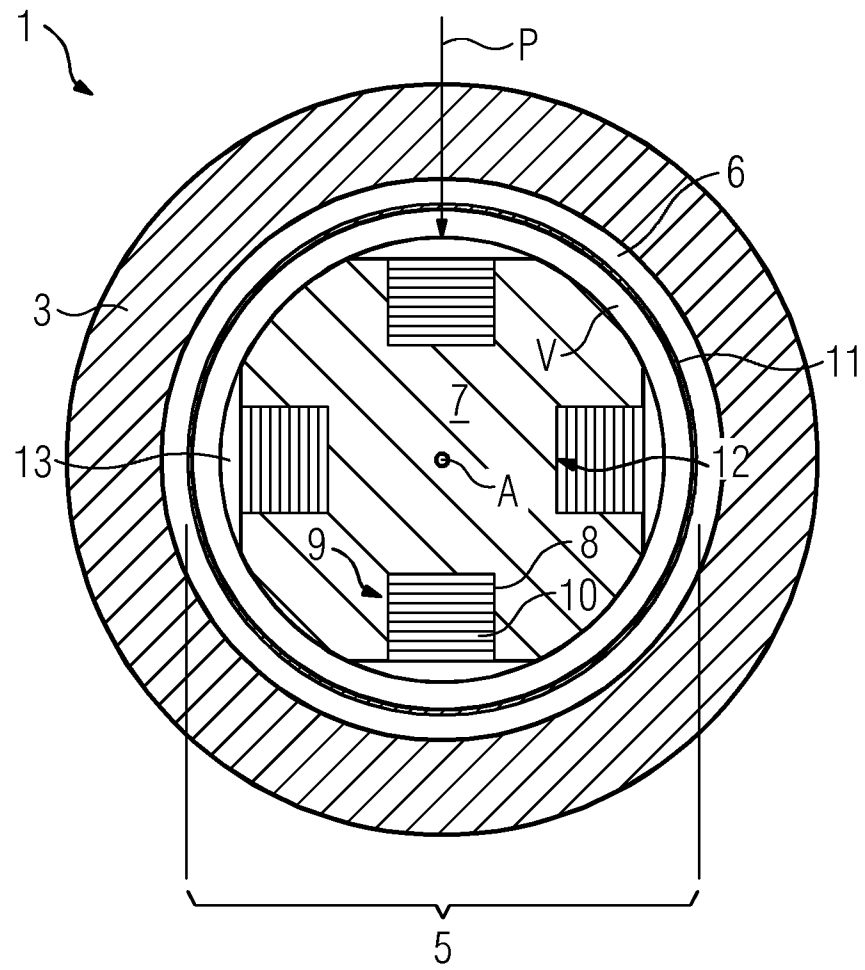


FIG 2

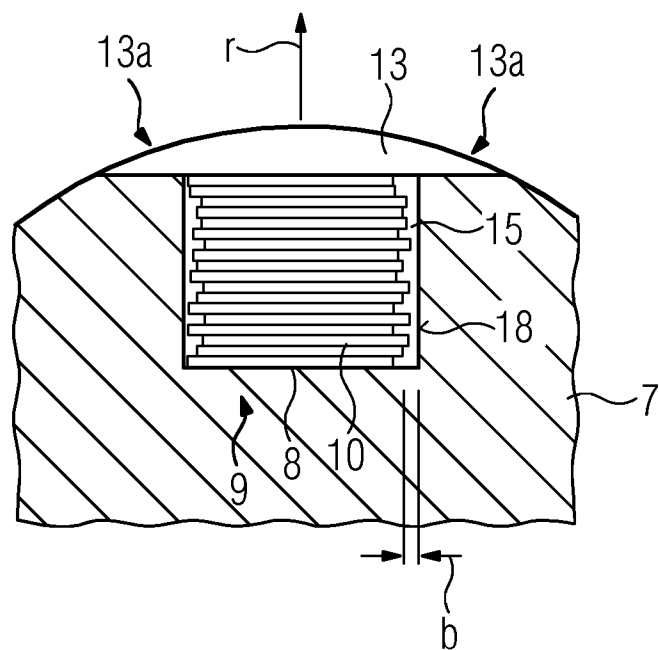


FIG 3

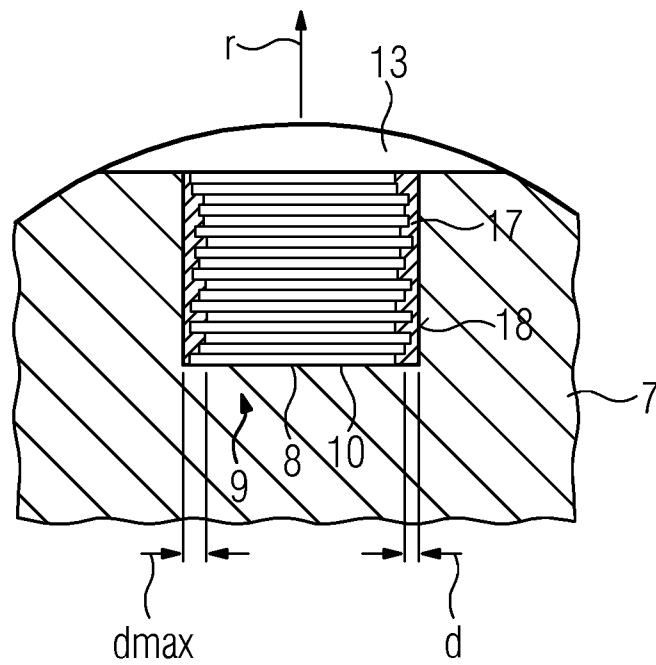


FIG 4

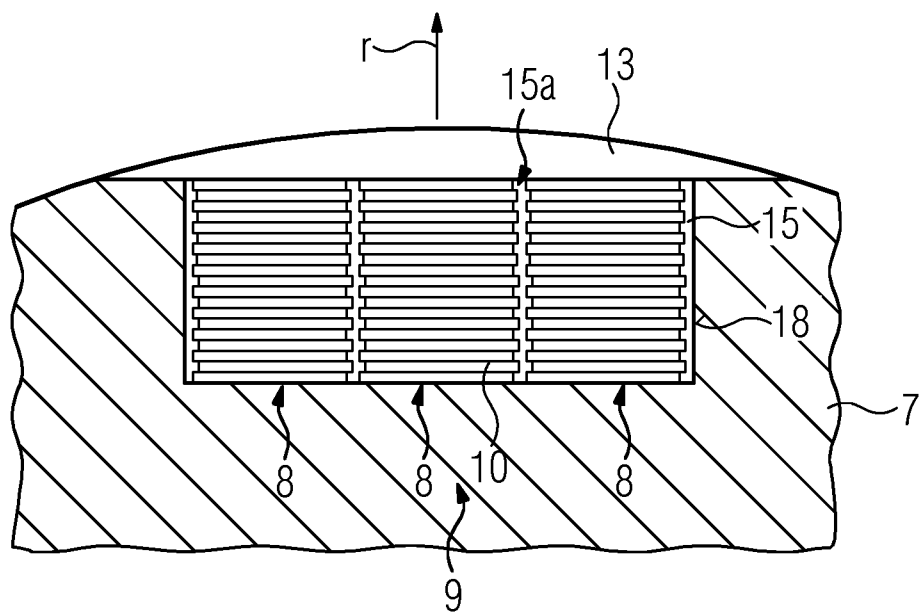


FIG 5

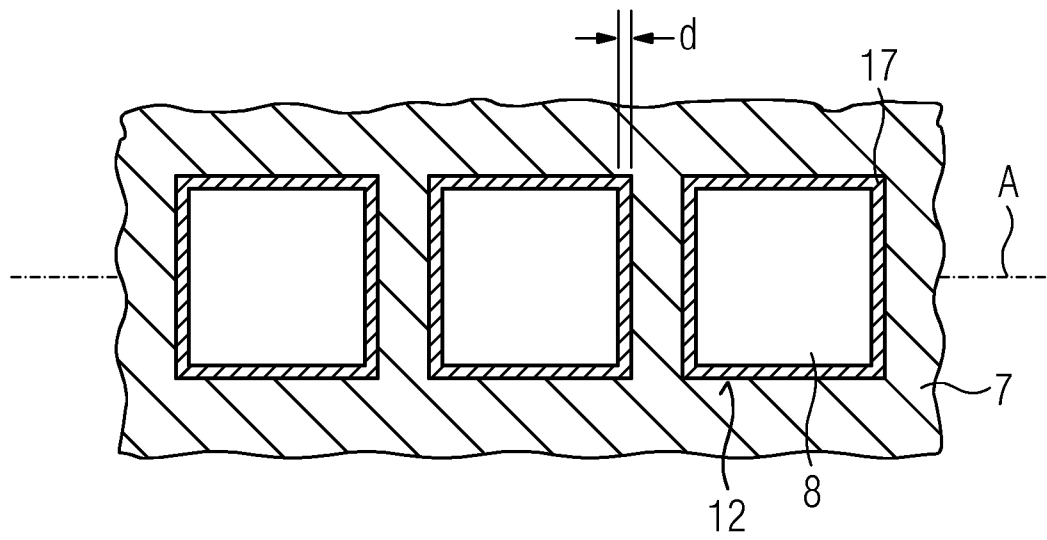
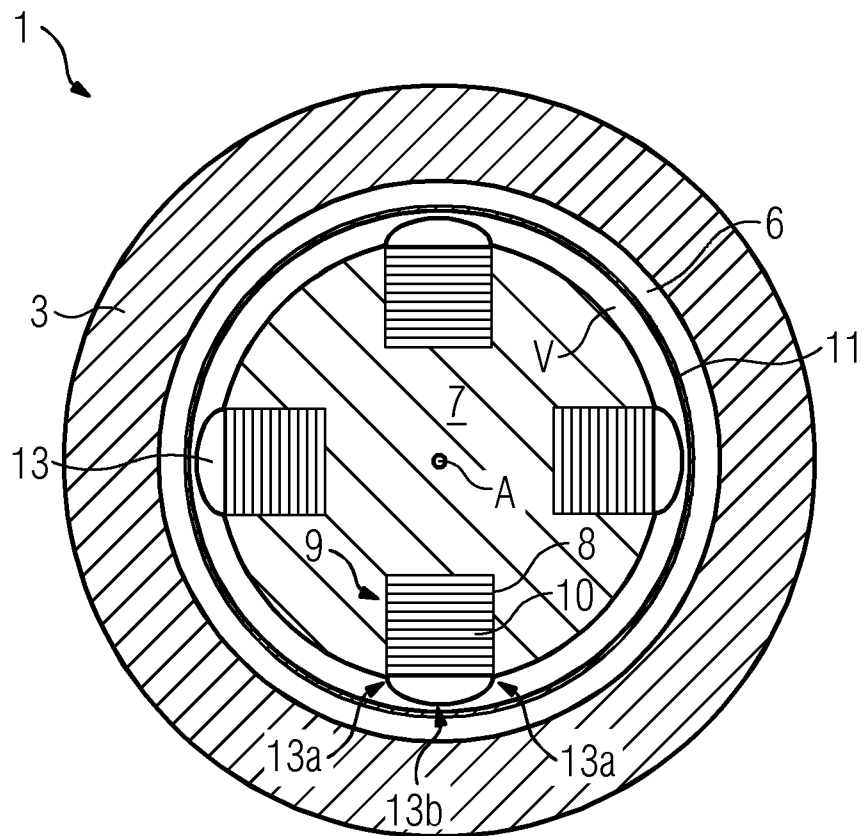


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/077649

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02K 55/04**(2006.01)i; **H02K 3/487**(2006.01)n; **H02K 3/493**(2006.01)n; **H02K 3/52**(2006.01)n; **H02K 3/34**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1203437 A2 (AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORP [US]) 08 May 2002 (2002-05-08) paragraphs [0001], [0004], [0022], [0026], [0032]; figures 1-4	1,2,4,5,7,10-15
X	US 2002149453 A1 (SNITCHLER GREGORY L [US] ET AL) 17 October 2002 (2002-10-17) paragraph [0001]; figures 6-9	1,2,4,5,7,10-15
X	JP H06284693 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI) 07 October 1994 (1994-10-07) paragraph [0001]; figures 1-4	1,2,4-8,10-12,14,15
X	JP H10336999 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18 December 1998 (1998-12-18) paragraphs [0011], [0012], [0020], [0047], [0048]; figures 1-3	1-5,7-12,14,15
X	JP H0993906 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI) 04 April 1997 (1997-04-04) paragraph [0001]; figures 7-10	1,2,4-12,14,15
X	CN 101951128 A (UNIV TSINGHUA) 19 January 2011 (2011-01-19) paragraphs [0001], [0047]; figures 2, 7	1-5,7,10-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 January 2020

Date of mailing of the international search report

16 January 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Georgopoulos, P

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/077649

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4774429 A (UEDA AKINORI [JP]) 27 September 1988 (1988-09-27) column 1, line 9 - line 10; figures 1-4 column 4, line 8 - line 22	1,2,4,5,7,9-12,14,15
A	JP S5517283 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 06 February 1980 (1980-02-06) figure 2	2
A	JP H02228005 A (TOSHIBA CORP) 11 September 1990 (1990-09-11) paragraph [0001]	10
A	KR 101445034 B1 (DOOSAN ENGINE CO LTD [KR]) 30 October 2014 (2014-10-30) paragraph [0048]	10
A	US 2008079323 A1 (ZHANG JIPING [US] ET AL) 03 April 2008 (2008-04-03) paragraph [0052]	11
A	US 2004046474 A1 (KALSI SWARN S [US]) 11 March 2004 (2004-03-11) paragraph [0042]	11
A	US 2010148625 A1 (OKAZAKI TORU [JP] ET AL) 17 June 2010 (2010-06-17) paragraphs [0061] - [0062]	12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/077649

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1203437	A2	08 May 2002	AU	2572401	A	17 April 2001
				DE	60019609	T2	02 March 2006
				EP	1203437	A2	08 May 2002
				JP	4308308	B2	05 August 2009
				JP	2003526304	A	02 September 2003
				JP	2008237020	A	02 October 2008
				US	7453174	B1	18 November 2008
				WO	0120750	A2	22 March 2001
US	2002149453	A1	17 October 2002	AU	763545	B2	24 July 2003
				BR	0012701	A	09 April 2002
				CA	2380228	A1	01 February 2001
				CN	1371519	A	25 September 2002
				EP	1212760	A1	12 June 2002
				JP	3953813	B2	08 August 2007
				JP	2003505877	A	12 February 2003
				US	2002149453	A1	17 October 2002
				WO	0108173	A1	01 February 2001
JP	H06284693	A	07 October 1994	NONE			
JP	H10336999	A	18 December 1998	NONE			
JP	H0993906	A	04 April 1997	NONE			
CN	101951128	A	19 January 2011	NONE			
US	4774429	A	27 September 1988	DE	3636296	A1	21 May 1987
				FR	2589643	A1	07 May 1987
				US	4774429	A	27 September 1988
JP	S5517283	A	06 February 1980	NONE			
JP	H02228005	A	11 September 1990	NONE			
KR	101445034	B1	30 October 2014	NONE			
US	2008079323	A1	03 April 2008	EP	2067243	A2	10 June 2009
				US	2008079323	A1	03 April 2008
				US	2009315425	A1	24 December 2009
				WO	2008140465	A2	20 November 2008
US	2004046474	A1	11 March 2004	AU	7913201	A	18 February 2002
				US	2004046474	A1	11 March 2004
				WO	0213353	A2	14 February 2002
US	2010148625	A1	17 June 2010	CN	101233674	A	30 July 2008
				EP	1909376	A1	09 April 2008
				HK	1117949	A1	02 February 2011
				JP	4758703	B2	31 August 2011
				JP	2007037343	A	08 February 2007
				KR	20080030627	A	04 April 2008
				TW	200711192	A	16 March 2007
				US	2010148625	A1	17 June 2010
				WO	2007013207	A1	01 February 2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02K55/04

ADD. H02K3/487

H02K3/493

H02K3/52

H02K3/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 203 437 A2 (AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORP [US]) 8. Mai 2002 (2002-05-08) Absätze [0001], [0004], [0022], [0026], [0032]; Abbildungen 1-4 -----	1,2,4,5, 7,10-15
X	US 2002/149453 A1 (SNITCHLER GREGORY L [US] ET AL) 17. Oktober 2002 (2002-10-17) Absatz [0001]; Abbildungen 6-9 -----	1,2,4,5, 7,10-15
X	JP H06 284693 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI) 7. Oktober 1994 (1994-10-07) Absatz [0001]; Abbildungen 1-4 ----- -/-	1,2,4-8, 10-12, 14,15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Januar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/01/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Georgopoulos, P

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H10 336999 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18. Dezember 1998 (1998-12-18) Absätze [0011], [0012], [0020], [0047], [0048]; Abbildungen 1-3 -----	1-5, 7-12,14, 15
X	JP H09 93906 A (CHODENDO HATSUDEN KANREN KIKI) 4. April 1997 (1997-04-04) Absatz [0001]; Abbildungen 7-10 -----	1,2, 4-12,14, 15
X	CN 101 951 128 A (UNIV TSINGHUA) 19. Januar 2011 (2011-01-19) Absätze [0001], [0047]; Abbildungen 2, 7 -----	1-5,7, 10-15
X	US 4 774 429 A (UEDA AKINORI [JP]) 27. September 1988 (1988-09-27) Spalte 1, Zeile 9 - Zeile 10; Abbildungen 1-4 Spalte 4, Zeile 8 - Zeile 22 -----	1,2,4,5, 7,9-12, 14,15
A	JP S55 17283 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 6. Februar 1980 (1980-02-06) Abbildung 2 -----	2
A	JP H02 228005 A (TOSHIBA CORP) 11. September 1990 (1990-09-11) Absatz [0001] -----	10
A	KR 101 445 034 B1 (DOOSAN ENGINE CO LTD [KR]) 30. Oktober 2014 (2014-10-30) Absatz [0048] -----	10
A	US 2008/079323 A1 (ZHANG JIPING [US] ET AL) 3. April 2008 (2008-04-03) Absatz [0052] -----	11
A	US 2004/046474 A1 (KALSI SWARN S [US]) 11. März 2004 (2004-03-11) Absatz [0042] -----	11
A	US 2010/148625 A1 (OKAZAKI TORU [JP] ET AL) 17. Juni 2010 (2010-06-17) Absätze [0061] - [0062] -----	12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/077649

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1203437	A2	08-05-2002	AU 2572401 A 17-04-2001
		DE 60019609 T2 02-03-2006	
		EP 1203437 A2 08-05-2002	
		JP 4308308 B2 05-08-2009	
		JP 2003526304 A 02-09-2003	
		JP 2008237020 A 02-10-2008	
		US 7453174 B1 18-11-2008	
		WO 0120750 A2 22-03-2001	
US 2002149453	A1	17-10-2002	AU 763545 B2 24-07-2003
		BR 0012701 A 09-04-2002	
		CA 2380228 A1 01-02-2001	
		CN 1371519 A 25-09-2002	
		EP 1212760 A1 12-06-2002	
		JP 3953813 B2 08-08-2007	
		JP 2003505877 A 12-02-2003	
		US 2002149453 A1 17-10-2002	
		WO 0108173 A1 01-02-2001	
JP H06284693	A	07-10-1994	KEINE
JP H10336999	A	18-12-1998	KEINE
JP H0993906	A	04-04-1997	KEINE
CN 101951128	A	19-01-2011	KEINE
US 4774429	A	27-09-1988	DE 3636296 A1 21-05-1987
		FR 2589643 A1 07-05-1987	
		US 4774429 A 27-09-1988	
JP S5517283	A	06-02-1980	KEINE
JP H02228005	A	11-09-1990	KEINE
KR 101445034	B1	30-10-2014	KEINE
US 2008079323	A1	03-04-2008	EP 2067243 A2 10-06-2009
		US 2008079323 A1 03-04-2008	
		US 2009315425 A1 24-12-2009	
		WO 2008140465 A2 20-11-2008	
US 2004046474	A1	11-03-2004	AU 7913201 A 18-02-2002
		US 2004046474 A1 11-03-2004	
		WO 0213353 A2 14-02-2002	
US 2010148625	A1	17-06-2010	CN 101233674 A 30-07-2008
		EP 1909376 A1 09-04-2008	
		HK 1117949 A1 02-02-2011	
		JP 4758703 B2 31-08-2011	
		JP 2007037343 A 08-02-2007	
		KR 20080030627 A 04-04-2008	
		TW 200711192 A 16-03-2007	
		US 2010148625 A1 17-06-2010	
		WO 2007013207 A1 01-02-2007	