(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
3. Dezember 2015 (03.12.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/180860 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 55/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/056280

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2015 (24.03.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 210 191.3 28. Mai 2014 (28.05.2014) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). **VOITH PATENT GMBH** [DE/DE]; St. Pöltener Str. 43, 89522 Heidenheim (DE).

(72) Erfinder: **BATZ, Otto**; Mittelehrenbach 18, 91359 Leutenbach (DE). **FRANK, Michael**; Erlanger Straße 27C, 91080 Uttenreuth (DE). **GRUNDMANN, Jörn**; Waldstr. 39, 91091 Großenseebach (DE). **KUHNERT, Anne**; Brünnleinsweg 124a, 90768 Fürth (DE). **KUMMETH, Peter**; Langenzenner Str. 19, 91074 Herzogenaurach (DE). **VAN HASSELT, Peter**; Tennenloher Str. 40, 91058 Erlangen (DE). **BAYER, Dietmar**; Gotzmannstraße 9, 91336 Heroldsbach (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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.

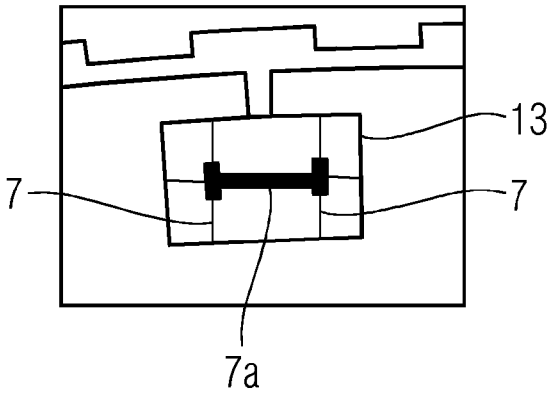
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ISOTHERMAL SUPPORT AND VACUUM CONTAINER FOR SUPERCONDUCTING WINDINGS IN ROTARY MACHINES

(54) Bezeichnung : ISOTHERME ABSTÜTZUNG UND VAKUUMBEHÄLTER FÜR SUPRALEITENDE WICKLUNGEN IN ROTIERENDEN MASCHINEN

FIG 2B



(57) Abstract: The invention relates to a rotary machine (1), in particular a synchronous machine, with cold superconducting windings (9) arranged in a warm soft-magnetic rotor body (3). The invention is characterised in that two adjacent windings (9) are arranged between every two adjacent soft-magnetic pole bodies (11) and are fastened by means of support elements (7) in a common pair of vacuum containers (13) in order to achieve thermal insulation, and the two windings (9) are isothermally interconnected at their mutually facing sides by means of at least one common support and/or traction element (7a).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/180860 A2

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).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft eine rotierende Maschine (1), insbesondere eine Synchronmaschine, mit in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper (3) positionierten kalten supraleitenden Wicklungen (9). Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass jeweils zwei zwischen zwei benachbarten weichmagnetischen Polkörpern (11) zueinander benachbart positionierte Wicklungen (9) zur thermischen Isolierung in einem gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Stützelementen (7) fixiert sind und die zwei Wicklungen (9) an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels mindestens eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelements (7a) miteinander isotherm verbunden sind.

Beschreibung

Isotherme Abstützung und Vakuumbehälter für supraleitende Wicklungen in rotierenden Maschinen

Die vorliegende Erfindung betrifft eine rotierende Maschine gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs und ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäß dem Oberbegriff des ersten Nebenanspruchs sowie dazugehörige Verfahren zur Kühlung einer entsprechenden rotierenden Maschine.

Bei der Verwendung von tiefkalten beziehungsweise kalten supraleitenden Wicklungen in rotierenden Maschinen, insbesondere Synchrongeneratoren oder Synchronmotoren, mit warmen Motoreisen ergibt sich grundsätzlich die Notwendigkeit, jede Wicklung in einem Vakuumgefäß unterzubringen, um eine hinreichend gute thermische Isolierung überhaupt erst zu ermöglichen. Die in der jeweiligen Anwendung an der Wicklung angreifenden Kräfte müssen dabei von der kalten Wicklung an die auf Raumtemperatur oder darüber befindliche warme Wand des Vakuumbehälters sicher übertragen werden. Derartige angreifende Kräfte können beispielsweise magnetische Kräfte oder Fliehkräfte sein, oder ebenso bei Störfällen auftreten, die berücksichtigt werden müssen.

Herkömmlicherweise kommen deshalb für entsprechende Stütz- oder Zugelemente zwischen einer einzelnen Wicklung und deren Vakuumhülle thermisch schlecht leitende Materialien zum Einsatz. Derartige Materialien können beispielsweise Titan oder bevorzugt glasfaserstärkte Kunststoffe (GFK) sein. Ein hierfür erforderlicher Materialquerschnitt dieser Stütz- oder Zugelemente und entsprechend die unerwünschte Wärmeleitung skaliert letztlich mit der Größe der Kräfte, die relativ zur warmen Wand abgestützt werden müssen.

Es ist Aufgabe der Erfindung bei einer rotierenden Maschine, insbesondere einer Synchronmaschine, mit kalten supraleitenden Wicklungen, die zur thermischen Isolierung jeweils in ei-

nem Vakuumbehälter in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper positioniert sind, bei einer jeweiligen Anwendung an einer jeweiligen Wicklung angreifende Kräfte von der Wicklung an eine warme Wand eines jeweiligen Vakuumbehälters sicher zu übertragen. Des Weiteren soll die Bauform der Vakuumbehälter wirksam vereinfacht werden.

Die Aufgabe wird durch eine rotierende Maschine gemäß dem Hauptanspruch, sowie mittels Verfahren der beiden Nebenansprüche gelöst.

Gemäß einem ersten Aspekt wird eine rotierende Maschine, insbesondere eine Synchronmaschine, beansprucht, mit in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper positioniertem kalten supraleitenden Wicklungen, wobei jeweils mindestens zwei zwischen zwei benachbarten weichmagnetischen Polkörpern zueinander benachbart positionierte Wicklungen zur thermischen Isolierung in einem gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter mittels Stützelementen fixiert sind, und die mindestens zwei Wicklungen an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels mindestens eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelements miteinander isotherm verbunden sind.

Die supraleitende Wicklung kann als „kalt" und der weichmagnetische Rotorkörper und die Wand des Vakuumbehälters können als „warm" bezeichnet werden. „Kalt" bedeutet hier eine Temperatur nahe der Betriebstemperatur des Supraleiters aufweisend und „warm" bedeutet hier eine Temperatur größer oder gleich Raumtemperatur aufweisend.

Isotherm verbinden bedeutet hier insbesondere, dass zwei Elemente, und zwar hier insbesondere Wicklungen, derart miteinander mechanisch gekoppelt und/oder mechanisch aneinander angeschlossen sind, dass beide Elemente eine gleiche Temperatur, insbesondere im Bereich einer das isotherme Verbinden bereitstellenden Brücke oder eines das isotherme Verbinden bereitstellenden Bindeglieds, aufweisen. Es erfolgt auf diese Weise kein Wärmeübergang mittels Wärmeleitung zwischen den

beiden Elementen, da ein Temperaturverlauf von einem zum anderen Element konstant ist.

Eine rotierende Maschine kann einen weichmagnetischen Rotorkörper umfassen, der auf einem weichmagnetischen Tragekörper (Joch) eine Vielzahl von weichmagnetischen Polkörpern aufweist. Als weichmagnetisches Material kann beispielsweise Eisen, Stahl, Nickel-Eisen- oder Kobalt-Eisen-Legierungen verwendet werden. Zwischen zwei weichmagnetischen Polkörpern sind jeweils zwei Wicklungen zueinander benachbart positioniert. Zwischen zwei weichmagnetischen Polkörpern kann ein Abstandsbereich in Form einer Nut ausgebildet sein. Polkörper können als Polzähne oder als Polschuh-Polkern-Kombination ausgebildet sein.

Einzel- und Paar-Vakuumbehälter in einem Rotorkörper können zu dessen Rotationsachse Außen- und Innenradien aufweisen.

Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass in einer Anordnung kalter Wicklungen um einen auf Raumtemperatur befindlichen Rotorkörper - und zwar mit einem magnetischen Polkörper pro Wicklung - benachbarte Wicklungen sich direkt aneinander abstützen können. Vorteilhaft müssen deshalb im besten Fall, nämlich bei dem alle in entgegengesetzter Richtung auftretenden Kräfte direkt mit entsprechenden kalten isothermen Verbindungen kompensierbar sind, lediglich die tatsächlich auftretenden Nettokräfte zwischen kaltem Wicklungssystem und warmen Rotoreisen übertragen werden. Zu den tatsächlich auftretenden Nettokräften gehört beispielsweise der auf Wicklungssystem und Rotorkörper entfallende Anteil des Nennmoments. Erfindungsgemäß werden entsprechend reduzierte Materialquerschnitte für die hierfür noch benötigten Kalt-Warm-Verbindungen beziehungsweise Stützelementen mit entsprechend geringerer Wärmelast ermöglicht. Als unmittelbare vorteilhafte Folge sinkt ein Investitionsaufwand für die zugehörige Kühltechnik und deren Betriebskosten.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, die herkömmlicherweise topologisch getrennten Vakuumbehälter einzelner Wicklungen, also getrennte Einzel-Vakuumbehälter, einer rotierenden Synchronmaschine mit Rotorwicklungen aus Hochtemperatursupraleitern (HTS) und warmen Polkörpern zwecks direkter Abstützung mit geeigneten Öffnungen für Zug- und/oder Stützverbindungen untereinander zu verbinden. Je nach konkreter Ausführung entsteht hierdurch entweder eine Vielzahl von Einzelverbindungen oder bei einer vollständigen Verbindung der bislang getrennten Einzel-Vakuumbehälter im geraden aktiven Bereich der Wicklungen eine komplizierte Form des gesamten Vakuumbehälters beziehungsweise Vakuumgefäßes, und zwar insbesondere im Bereich der Wicklungsköpfe.

Gemäß einem zweiten Aspekt wird ein Verfahren zur Herstellung einer rotierenden Maschine, insbesondere einer Synchronmaschine, vorgeschlagen, mit in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper positionierten kalten supraleitenden Wicklungen, wobei jeweils zwei zwischen zwei benachbarten weichmagnetischen Polkörpern zueinander benachbart positionierte Wicklungen zur thermischen Isolierung in einem gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter mittels Stützelementen fixiert sind, und die zwei Wicklungen an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels mindestens eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelements miteinander isotherm verbunden werden.

Gemäß einem dritten Aspekt wird ein Verfahren zur Kühlung einer rotierenden Maschine vorgeschlagen, wobei die von in einem Gesamt-Vakuumbehälter eingeschlossenen Bereiche eines weichmagnetischen Rotorkörpers erzeugte Wärme mittels Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung an eine innere Wand eines Hohlzylinders abgeleitet wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden in Verbindung mit den Unteransprüchen beansprucht.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung können alle Paar-Vakuumbehälter von einem gemeinsamen Gesamt-Vakuumbehälter

beziehungsweise Gesamt-Vakuumgefäß ersetzt werden, indem dieser alle Paar-Vakuumbehältervolumen und zusätzlich zumindest Teile des weichmagnetischen Rotorkörpers einschließt beziehungsweise umfasst. Es ist vorteilhaft erkannt worden, dass herkömmlicherweise das warme, das heißt auf Raumtemperatur oder darüber befindliche magnetische Eisen oder ein weichmagnetischer Rotorkörper außerhalb des Isoliervakuums für eine kalte Wicklung angebracht wird. Mittels der Einbeziehung des weichmagnetischen Materials, beispielsweise von Eisen, in den Vakuumbehälterraum vereinfacht sich die Bauform eines herkömmlichen Vakuumgefäßes erheblich und ermöglicht einfache Vakuumbehälter. Eine benötigte Gesamtlänge von hochvakuumdichten Löt- oder Schweißverbindungen ist wirksam kleiner und führt somit zu einer schnelleren und kostengünstigeren Fertigung gegenüber dem Stand der Technik. Besonders wirksam sind derartige Vorteile bei hochpoligen Rotationsmaschinen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der jeweilige Paar-Vakuumbehälter mittels Ausbilden eines vakuumdichten Verbindungskanals zwischen den zwei jeweils eine Wicklung umschließenden Einzel-Vakuumbehälter erzeugt werden, wobei der Verbindungskanal das gemeinsame Stütz- und/oder Zugelement aufnimmt.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der jeweilige Paar-Vakuumbehälter mittels Entfernen von zwei Zwischenwänden zwischen den zwei jeweils eine Wicklung umschließenden Einzel-Vakuumbehältern erzeugt werden, wobei die zwei daraus entstandenen Vakuumbehälterteile vakuumdicht miteinander verbunden wurden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Gesamt-Vakuumbehälter in Form eines eine äußere Wand und eine innere Wand aufweisenden Hohlzylinders ausgebildet sein, der im Bereich dessen Grundflächen mittels ringförmiger Deckel verschlossen sein kann.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Radius der äußeren Wand des Hohlzylinders einem Außenradius der Paar-Vakuumbehälter gleichen oder entsprechen. Der Radius der äußeren Wand kann dabei derart angepasst sein, dass äußere Bereiche von Polkörpern, insbesondere Polkappen oder Polschuhe, nicht im Gesamt-Vakuumbehälter enthalten sind.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Radius der äußeren Wand des Hohlzylinders einen Außenradius von Polkörpern des Rotorkörpers gleichen oder entsprechen. Die äußere Wand des Hohlzylinders ist dabei derart bereitgestellt, dass äußere Bereiche von Polkörpern, insbesondere Polkappen oder Polschuhe, in dem Gesamt-Vakuumbehälter enthalten sind.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Radius der inneren Wand des Hohlzylinders einen Innenradius der Paar-Vakuumbehälter entsprechen oder gleichen. Gemäß dieser Ausführungsform ist ein Joch aus weichmagnetischem Material beziehungsweise ein weichmagnetischer Tragekörper nicht in dem Gesamt-Vakuumbehälter enthalten.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Radius der inneren Wand des Hohlzylinders einem Innenradius eines weichmagnetischen Tragekörpers des Rotorkörpers entsprechen oder gleichen. Gemäß dieser Ausführung ist ein Joch aus weichmagnetischem Material beziehungsweise ein entsprechender Tragekörper des Rotorkörpers in dem Gesamt-Vakuumbehälter, das ebenso als Gesamt-Vakuumgefäß bezeichnet werden kann, enthalten.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann die von den im Gesamt-Vakuumbehälter eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers erzeugte Wärme mittels Luftkühlung von der äußeren Wand des Hohlzylinders abgeleitet werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann die von den im Gesamt-Vakuumbehälter eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers erzeugte Wärme mittels einer auf dem Rotorkörper angeordneten Umlaufkühlung mit Kühlmitteln in an die Bereiche heranreichenden Rohren abgeleitet werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Material des Gesamt-Vakuumbehälters angrenzend an den Bereich des weichmagnetischen Rotorkörpers magnetisch sein. Die Bereiche des weichmagnetischen Rotorköpers können ebenso als "geschnitten" bezeichnet werden.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel einer herkömmlichen rotierenden Maschine, wobei 1b eine vergrößerte Darstellung zweier Einzel-Vakuumbehälter eines Querschnitts gemäß Figur 1a darstellt;

Figur 2a ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen rotierenden Maschine im Querschnitt;

Figur 2b eine Vergrößerung zur Figur 2a;

Figur 3 ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen rotierenden Maschine;

Figur 4 eine Darstellung zu einem erfindungsgemäßen Gesamt-Vakuumbehälter;

Figur 5 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren;

Figur 6 eine Darstellung zu einem erfindungsgemäßen Kühlverfahren.

Figur 1a zeigt ein Ausführungsbeispiel einer herkömmlichen rotierenden Maschine 1. Die dargestellte rotierende Maschine 1 weist einen warmen, weichmagnetischen Rotorkörper 3 auf, in dem zur thermischen Isolierung jeweils in einem getrennten Einzel-Vakuumbehälter 5 mittels Stützelementen 7 (siehe Figur 1b) kalte supraleitende Wicklungen 9 positioniert sind. Der weichmagnetische Rotorkörper 3 besteht aus einem weichmagnetischen Tragkörper 21, der ebenso als Joch bezeichnet werden kann, und aus Polkörpern 11, die ebenso aus dem weichmagnetischen Material erzeugt sein können. Der Stator der rotierenden Maschine 1 ist mit dem Bezugszeichen 2 gekennzeichnet.

Figur 1b zeigt einen vergrößerten Abschnitt aus Figur 1a mit Bezug auf zwei getrennte Einzel-Vakuumbehälter 5, die in dem Rotorkörper 3 positioniert sind und mittels Stützelementen 7 beziehungsweise Stütz- und/oder Zugelementen 7 Kräfte der Wicklungen 9 auf den Rotorkörper 3 übertragen.

Figur 2a zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer rotierenden Maschine 1. Gleiche Elemente zu den Figuren 1a bezeichnen gleiche Elemente einer rotierenden Maschine 1. Im Unterschied zum Stand der Technik gemäß Figur 1a und 1b wird nun für jeweils zwei zwischen zwei weichmagnetischen Polkörpern 11 zueinander benachbart positionierte Wicklungen 9 ein gemeinsamer Paar-Vakuumbehälter 13 erzeugt. Zusätzlich sind die zwei Wicklungen 9 an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelementes 7a miteinander isotherm verbunden. Dies zeigt insbesondere Figur 2b, in der Stützelemente 7 und 7a dargestellt sind.

Figur 2a zeigt insbesondere, dass bei Synchronmaschinen 1 mit einer hohen Polzahl die magnetischen Kräfte einer Einzelwicklung 9 im Normalbetrieb im Wesentlichen hin zum weichmagnetischen Material gerichtet sind. Ein in einer gemeinsamen Nut zwischen zwei Polkörpern 11 befindlicher Teil der unmittelbar in Umfangsrichtung benachbarten Wicklung 9 erfährt dabei magnetische Kräfte in fast genau der entgegensetzten Richtung.

Erfindungsgemäß ist nun folgendes erkannt worden: Anstatt lediglich die Kräfte jeweils an der warmen Wand eines Einzel-Vakuumbehälters 5 gemäß Figur 1b abzustützen, wird nun vorgeschlagen, die beiden tiefkalten Wicklungen 9 in diesem Bereich isotherm mit einem gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelement 7a miteinander zu verbinden und auf diese Weise die vorher anfallende Wärmeeinleitung vollständig einzusparen. Hierfür ist es lediglich erforderlich, die bisher für jede Einzelwicklung 9 separaten Einzel-Vakuumbehälter 5 entsprechend zu verbinden.

Je nach Größe der zu übertragenden Kräfte und dem sich daraus ergebenden System der isothermen Verbindungen können beispielsweise einzelne Verbindungen durch entsprechende Öffnungen in den beiden warmen Wänden von ursprünglichen Einzel-Vakuumbehältern 5 erzeugt werden, die mit beispielsweise einem Verbindungsrohr wieder vakuumdicht verbunden werden können.

Figur 2b zeigt eine weitere Alternative, bei der eine Abstützung zweier benachbarter Wicklungsteile 9 verschiedener Wicklungen 9 von Vorteil ist, wobei die doppelte warme Wand zwischen den ursprünglichen Einzel-Vakuumbehältern 5 komplett weggelassen wird, wobei an geeigneter Stelle die entstandenen Vakuumgefäßteile beziehungsweise Vakuumbehälterteile wieder entsprechend vakuumdicht verbunden werden müssen. Letzteres kann insbesondere mittels passender Einschweißteile ausgeführt werden.

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen rotierenden Maschine 1. Figur 3 zeigt, dass alle Paar-Vakuumbehälter 13, beispielsweise gemäß Figur 2a, von einem gemeinsamen Gesamt-Vakuumbehälter 15 ersetzt werden können. Dies kann dadurch erfolgen, dass der auszubildende gemeinsame Gesamt-Vakuumbehälter 15 alle Paar-Vakuumbehältervolumen 13 und darüber hinaus zumindest Teile des weichmagnetischen Rotorkörpers 3 einschließt.

Eine besondere Ausgestaltung ist ein Gesamt-Vakuumbehälter 15 in Figur 4 dargestellter Form eines eine äußere Wand 17 und eine innere Wand 19 aufweisenden Hohlzylinders, der im Bereich dessen Grundflächen mittels ringförmiger Deckel 20 verschlossen werden kann. Der Radius Ra1 der äußeren Wand 17 des Hohlzylinders ist einem Außenradius der Paar-Vakuumbehälter 13 angepasst. Gemäß Figur 4 entspricht der Radius Ri1 der inneren Wand 19 des Hohlzylinders einem Innenradius der Paar-Vakuumbehälter 13. Gemäß Figur 4 ist ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines Gesamt-Vakuumbehälters 15 dargestellt, bei dem ein Tragekörper 21 oder Joch sowie äußere Bereiche von Polkörpern 11, insbesondere Polkappen oder Polschuhe, nicht im Gesamt-Vakuumbehälter 15 enthalten sind.

Figur 3 stellt zusätzlich ein weiteres Ausführungsbeispiel dar, bei der zusätzlich ein Radius Ra2 der äußeren Wand 17 des Hohlzylinders gemäß Figur 4 dargestellt ist, der einem Außenradius von Polkörpern 11 des Rotorkörpers 3 gleicht. Figur 3 stellt ebenso die Ausführungsform dar, bei der der Radius Ri2 der inneren Wand 19 des Hohlzylinders gemäß Figur 4 einem Innenradius eines Tragekörpers 21 des Rotorkörpers 3 entspricht. Gemäß dieser Ausführungsform sind äußere Bereiche der Polkörper 11 und der Tragkörper 21 in dem Gesamt-Vakuumbehälter 15 enthalten. In Figur 3 sind der Radius Ra1 und der Radius Ra2 als gestrichelte Linien dargestellt.

Figur 4 stellt eine graphische Vereinfachung der Darstellung gemäß Figur 3 dar. Zusätzlich zeigt Figur 4, dass ein Gesamt-Vakuumbehälter 15 im Bereich dessen Grundfläche mittels ringförmiger Deckel 20 verschließbar ist.

Figur 4 zeigt, dass, wenn das warme weichmagnetische Material zumindest teilweise innerhalb des Vakuumbehälters platziert wird, eine erhebliche Vereinfachung in der Bauform des Vakuumbehälters möglich ist. Beispielsweise kann sich topologisch ein doppelwandiger Hohlzylinder ergeben, der an beiden Enden mit ringförmigen Deckeln entweder geflanscht oder mit vergleichsweise kurzen Schweißnähten verschlossen worden ist.

Vorteilhaft kann das Material für die Vakuumwand in den Bereichen, in denen das weichmagnetische Rotormaterial "geschnitten" wurde, aus einem magnetischen Material gefertigt werden, um die Länge des magnetischen Luftspalts möglichst klein zu halten.

Figur 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer rotierenden Maschine 1. Es sollen in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper 3 kalte supraleitende Wicklungen 9 mittels Stützelementen 7 positioniert werden. Dazu können aus ursprünglich bereits ausgebildeten Einzel-Vakuumbehältern 5 jeweilige Paar-Vakuumbehälter 13 erzeugt werden (Schritt S1). Mit einem zweiten Schritt S2 können jeweils zwei zwischen zwei weichmagnetischen Polkörpern 11 zueinander benachbart positionierte Wicklungen 9 in einem jeweiligen gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter 13 mittels Stützelementen 7 fixiert werden. Mit einem dritten Schritt S3 können die zwei Wicklungen 9 an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelementes 7a miteinander isotherm verbunden werden.

Figur 6 ist eine Darstellung zum Kühlen einer rotierenden Maschine 1 während ihres Betriebes. T1 stellt dar, dass die von in einem Gesamt-Vakuumbehälter 15 eingeschlossenen Bereiche eines weichmagnetischen Rotorkörpers 3 erzeugte Wärme mittels Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung an eine innere Wand 19 eines Hohlzylinders abgeleitet wird.

T2 stellt dar, dass die von den im Gesamt-Vakuumbehälter 15 eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers 3 erzeugte Wärme mittels Luftkühlung von einer äußeren Wand 17 des Hohlzylinders abgeleitet wird. Eine Kühlung kann ebenso mittels einer nicht dargestellten auf dem Rotorkörper 3 angeordneten Umlaufkühlung mit Kühlmitteln in an die Bereiche heranreichenden Rohren abgeleitet werden.

Figur 6 zeigt, dass das in den Vakuumraum verlagerte warme weichmagnetische Material die dort entstehende Wärme, die

sich beispielsweise aus den Eisenverlusten oder eventuellen Dämpferstäben und dergleichen ergibt, geeignet abführen können sollte. Abhängig von der Höhe dieser Verluste kann diese Wärmeabfuhr realisiert werden, beispielsweise mittels Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung an die innere Vakuumwand 19, gefolgt von beispielsweise Luftkühlung an der Außenseite des Vakuumgefäßes. Eine weitere Ausführung ist eine auf dem Rotorkörper 3 angeordnete aktive oder passive Umlaufkühlung mit Kühlmittel in Rohren, die in oder an den Vakuumraum und somit an das zu kühlende weiche magnetische Material heranreichen, und die dort entstehende Wärme aus dem isolierten Bereich heraus transportieren und an anderer Stelle abgeben.

Patentansprüche

1. Rotierende Maschine (1), insbesondere eine Synchronmaschine, mit in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper (3) positionierten kalten supraleitenden Wicklungen (9), dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei zwischen zwei benachbarten weichmagnetischen Polkörpern (11) zueinander benachbart positionierte Wicklungen (9) zur thermischen Isolierung in einem gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Stützelementen (7) fixiert sind und die zwei Wicklungen (9) an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels mindestens eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelements (7a) miteinander isotherm verbunden sind.

2. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle Paar-Vakuumbehälter (13) von einem gemeinsamen Gesamt-Vakuumbehälter (15) ersetzt wurden, indem dieser alle Paar-Vakuumbehältervolumen (13) und zusätzlich zumindest Teile des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) einschließt.

3. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Ausbilden mindestens eines vakuumdichten Verbindungskanals zwischen ursprünglich zwei jeweils eine Wicklung (9) umschließenden Einzel-Vakuumbehältern (5) erzeugt wurde, wobei jeweils ein Verbindungskanal mindestens ein gemeinsames Stütz- und/oder Zugelement (7a) aufnimmt.

4. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Entfernen von zwei Zwischenwänden zwischen ursprünglich zwei jeweils eine Wicklung umschließenden Einzel-Vakuumbehältern (5) erzeugt wurde, wobei die zwei daraus entstandenen Vakuumbehälterteile vakuumdicht miteinander verbunden wurden.

5. Rotierende Maschine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Gesamt-Vakuumbehälter (15) in Form eines eine äußere Wand (17) und eine innere Wand (19) aufweisenden Hohlzylinders ausgebildet ist, der im Bereich dessen Grundflächen mittels ringförmiger Deckel (20) verschlossen ist.

6. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Radius (Ra1) der äußeren Wand (17) des Hohlzylinders einem Außenradius der Paar-Vakuumbehälter (13) entspricht.

7. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Radius (Ra2) der äußeren Wand (17) des Hohlzylinders einem Außenradius der Polkörper (11) des Rotorkörpers (3) entspricht.

8. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 5, 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Radius (Ri1) der inneren Wand (19) des Hohlzylinders einem Innenradius der Paar-Vakuumbehälter (13) entspricht.

9. Rotierende Maschine gemäß Anspruch 5, 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Radius (Ri2) der inneren Wand (19) des Hohlzylinders einem Innenradius eines Tragekörpers (21) des Rotorkörpers (3) entspricht.

10. Rotierende Maschine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von den im Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung an die innere Wand (19) des Hohlzylinders abgeleitet wird.

11. Rotierende Maschine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von den im Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels Luftkühlung von der äußeren Wand (17) des Hohlzylinders abgeleitet wird.

12. Rotierende Maschine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von den im Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels einer auf dem Rotorkörper (3) angeordneten Umlaufkühlung mit Kühlmitteln in an die Bereiche heranreichenden Rohren abgeleitet wird.

13. Rotierende Maschine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Material des Gesamt-Vakuumbehälters (15) angrenzend an den Bereich (23) des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) magnetisch ist.

14. Verfahren zur Herstellung einer rotierenden Maschine (1), insbesondere einer Synchronmaschine, mit in einem warmen weichmagnetischen Rotorkörper (3) positionierten kalten supraleitenden Wicklungen (9),
dadurch gekennzeichnet, dass
jeweils zwei zwischen zwei benachbarten weichmagnetischen Polkörpern (11) zueinander benachbart positionierte Wicklungen (9) zur thermischen Isolierung in einem gemeinsamen Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Stützelementen (7) fixiert werden (S1, S2) und die zwei Wicklungen (9) an deren beiden zueinander zugewandten Seiten mittels mindestens eines gemeinsamen Stütz- und/oder Zugelements (7a) miteinander isotherm verbunden werden (S3).

15. Verfahren gemäß Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
alle Paar-Vakuumbehälter (13) von einem gemeinsamen Gesamt-Vakuumbehälter (15) ersetzt werden, indem dieser alle Paar-Vakuumbehältervolumen (13) und zusätzlich zumindest Teile des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) einschließt.

16. Verfahren gemäß Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass
der jeweilige Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Ausbilden mindestens eines vakuumdichten Verbindungskanals zwischen ursprünglich zwei jeweils eine Wicklung (9) umschließenden Einzel-Vakuumbehältern (5) erzeugt wird, wobei jeweils ein Verbindungskanal mindestens ein gemeinsames Stütz- und/oder Zugelement (7a) aufnimmt.

17. Verfahren gemäß Anspruch 14, 15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet, dass
der jeweilige Paar-Vakuumbehälter (13) mittels Entfernen von zwei Zwischenwänden zwischen ursprünglich zwei jeweils eine Wicklung umschließenden Einzel-Vakuumbehältern (5) erzeugt wird, wobei die zwei daraus entstehenden Vakuumbehälterteile vakuumdicht miteinander verbunden werden.

18. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 17,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Gesamt-Vakuumbehälter (15) in Form eines eine äußere Wand (17) und eine innere Wand (19) aufweisenden Hohlzylinders ausgebildet wird, der im Bereich dessen Grundflächen mittels ringförmiger Deckel (20) verschlossen wird.

19. Verfahren zum Betrieb einer rotierende Maschine (1),
dadurch gekennzeichnet, dass
die von in einem Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen eines weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung

an eine innere Wand (19) eines Hohlzylinders abgeleitet wird (T1).

20. Verfahren gemäß Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von den im Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels Luftkühlung von einer äußeren Wand (17) des Hohlzylinders abgeleitet wird (T2).

21. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 19 oder 20,
dadurch gekennzeichnet, dass
die von den im Gesamt-Vakuumbehälter (15) eingeschlossenen Bereichen des weichmagnetischen Rotorkörpers (3) erzeugte Wärme mittels einer auf dem Rotorkörper (3) angeordneten Umlaufkühlung mit Kühlmitteln in an die Bereiche heranreichenden Rohren abgeleitet wird.

FIG 1A
Stand der Technik

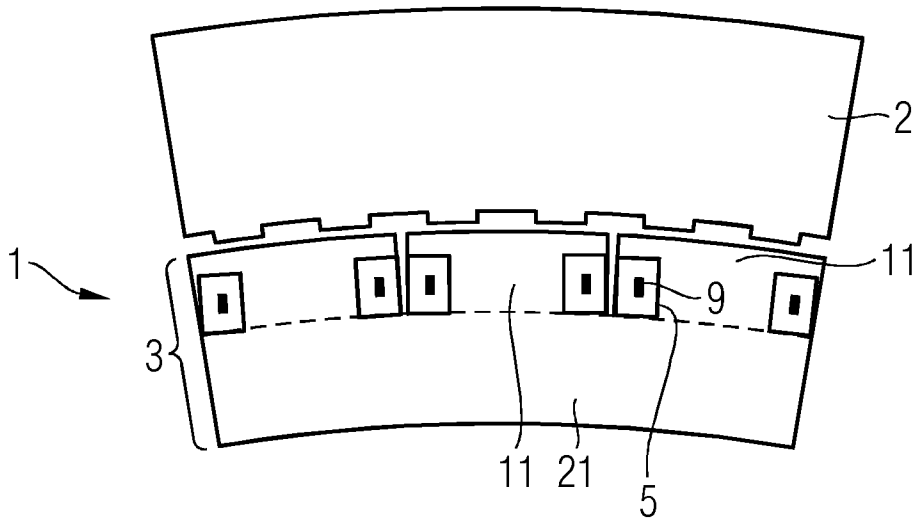


FIG 1B

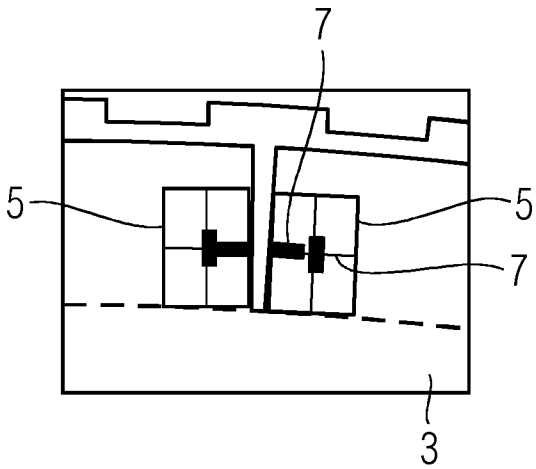


FIG 2A

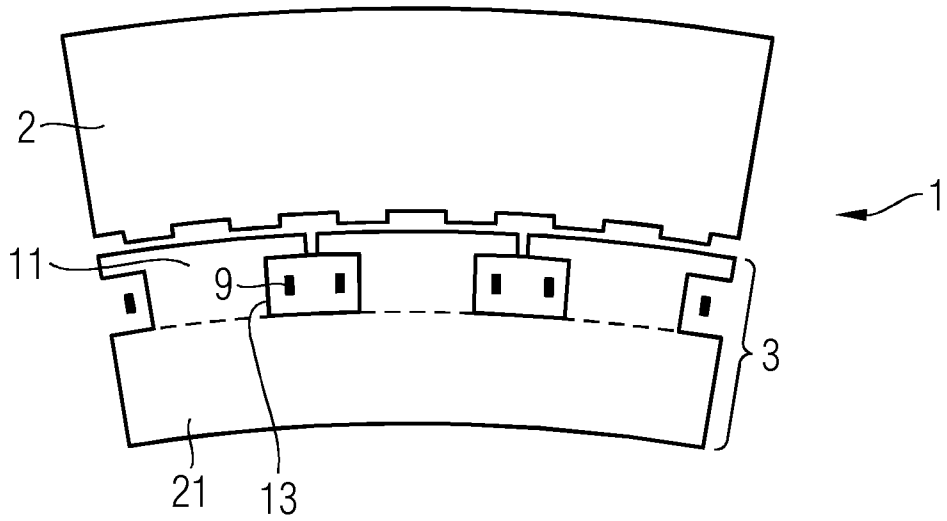


FIG 2B

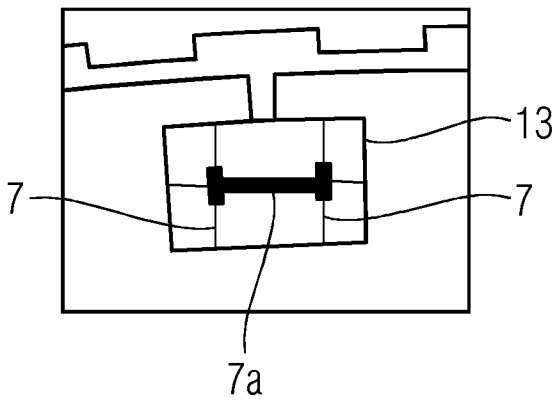


FIG 3

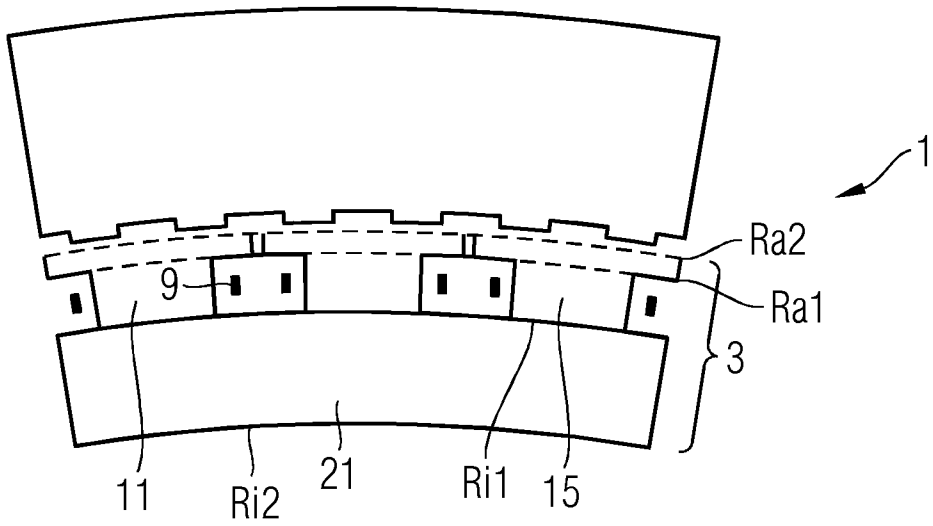


FIG 4

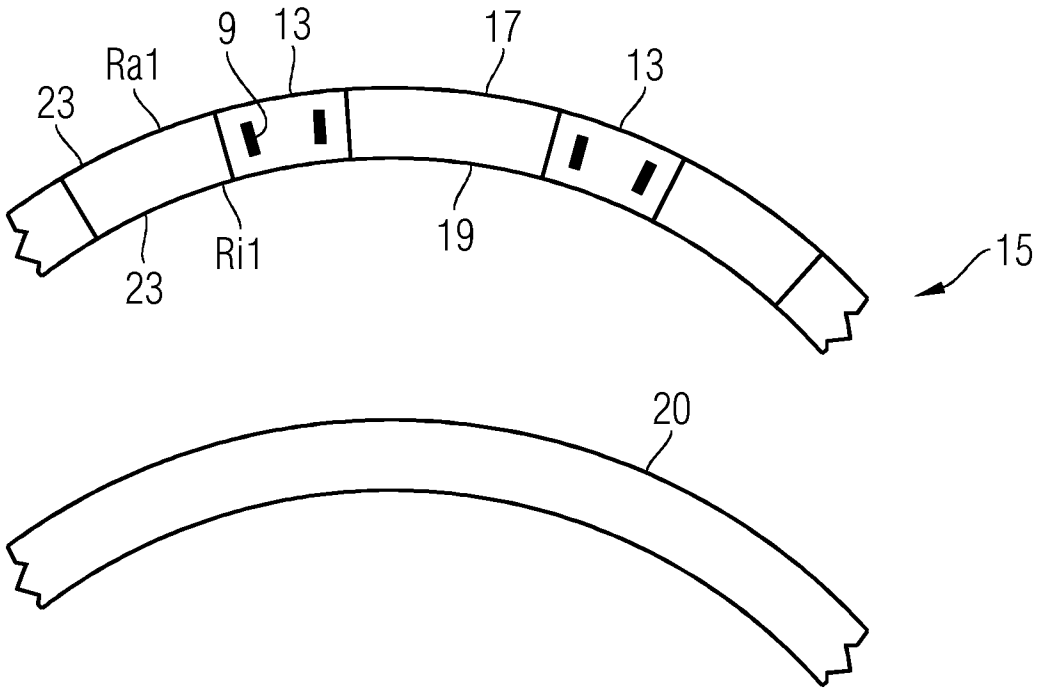


FIG 5

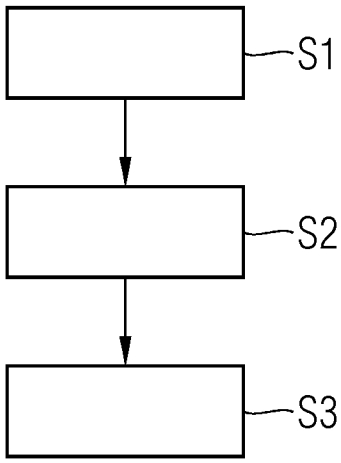


FIG 6

