(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
10. August 2006 (10.08.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/082194 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 55/04 (2006.01) *F28D 17/02* (2006.01)
H02K 9/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/050575

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Februar 2006 (01.02.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 005 283.5 4. Februar 2005 (04.02.2005) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **GROMOLL, Bernd** [DE/DE]; Egerlandstrasse 34k, 91083 Baiersdorf (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

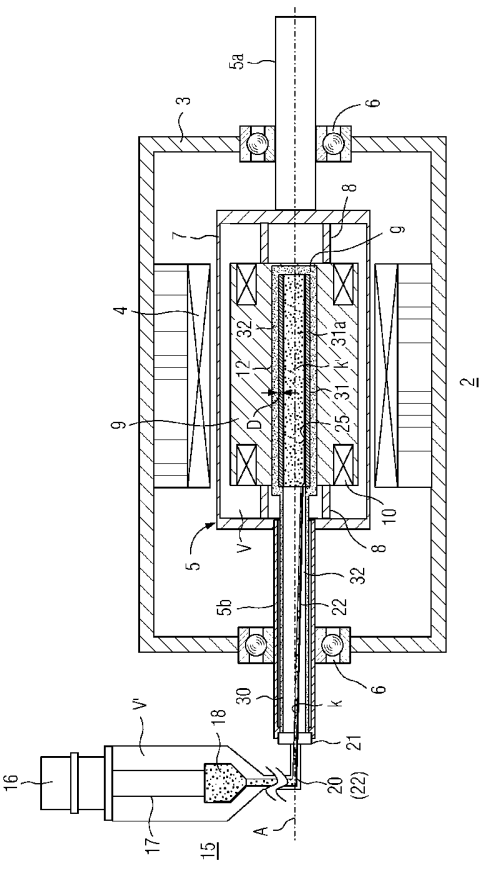
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** MACHINE SYSTEM WITH A THERMO-SYPHON COOLED SUPERCONDUCTOR ROTOR WINDING

(54) **Bezeichnung:** MASCHINENANLAGE MIT THERMOSYPHON-KÜHLUNG IHRER SUPRALEITENDEN ROTOR-WICKLUNG



(57) Abstract: The machine system comprises a machine (2) provided with a rotor that can be rotated about an axis (A), with a superconductor winding (10) that is coupled in a heat-conducting manner to a central coolant area (31) of a fixed heat conducting body (30) protruding into a hollow (12) of the rotor by means of a winding carrier (9) and a heat contact gas (g). The coolant area (31a) forms a line system with the line parts (22) thereof, that are laterally connected thereto, and a condenser area (18) of a cold unit (13), wherein a coolant (k,k') circulates in said line system on the basis of a thermo syphon effect. In order to maintain the supply of coolant to the central coolant area (31), even when the rotor (5) encounters difficulties, the coolant area is provided with a lining (25) that is made of a porous material, preferably a sinter material, having higher thermal conductivity.

(57) Zusammenfassung: Die Maschinenanlage umfasst eine Maschine (2) mit einem um eine Achse (A) drehbaren Rotor (5), dessen supraleitende Wicklung (10) an einen zentralen Kältemittelraum (31) eines feststehend in einen Rotorhohlraum (12) hineinragenden Wärmeleitkörpers (30) über einen Wicklungsträger (9) und ein Wärmekontaktgas (g) wärmeleitend angekoppelt ist. Der Kältemittelraum (31a) bildet mit an ihn seitlich angeschlossenen Leitungsteilen (22) und einem außerhalb der Maschine (2) befindlichen Kondensorraum (18) einer Kälteeinheit (15) ein Leitungssystem, in dem ein Kältemittel (k, k') auf Grund eines Thermosyphon-Effektes zirkuliert. Zur Aufrechterhaltung der Kühlmittelzufuhr in den zentralen Kältemittelraum (31) auch bei Schieflagen des Rotors (5) ist der Kältemittelraum mit einer Auskleidung (25) aus einem porösen Material, vorzugsweise einem Sintermaterial, hoher thermischer Leitfähigkeit versehen.

WO 2006/082194 A1

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Maschinenanlage mit Thermosyphon-Kühlung ihrer supraleitenden Rotorwicklung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Maschinenanlage

a) mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten, von einem Stator umgebenen Rotor, der mindestens eine Rotorwicklung aufweist, deren supraleitfähige Leiter wärmeleitend an einen zentralen, sich in Achsrichtung erstreckenden zylindrischen Rotorhohlraum angekoppelt sind,
b) mit einem feststehend in den Rotorhohlraum unter Einhaltung eines Ringspaltes hineinragenden Wärmeleitkörper, der einen zentralen Kältemittelraum aufweist,
c) mit einem sich in dem Ringspalt befindenden Wärmekontaktgas,
d) mit einer außerhalb des Rotors befindlichen, ortsfesten Kälteeinheit mit einem Kondensorraum

und

e) mit zwischen dem zentralen Kältemittelraum und dem Kondensorraum der Kälteeinheit verlaufenden, rohrförmigen Leitungsteilen.

Dabei bilden der zentrale Kältemittelraum, die rohrförmigen Leitungsteile und der Kondensorraum ein geschlossenes Leitungssystem, in dem ein Kältemittel unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zirkuliert oder zirkulieren kann.
Eine entsprechende Maschinenanlage geht aus der WO 02/15370 A1 hervor.

Seit 1987 kennt man metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen T_c von über 77 K. Diese Materialien werden deshalb auch als Hoch(High)-T_c-Supraleitermaterialien oder HTS-Materialien bezeichnet und ermöglichen prinzipiell eine Kühltechnik mit flüssigem Stickstoff (LN_2).

Mit Leitern unter Verwendung solcher HTS-Materialien versucht man, auch supraleitende Wicklungen von Maschinen zu erstel-

len. Es zeigt sich jedoch, dass bisher bekannte HTS-Leiter eine verhältnismäßig geringe Stromtragfähigkeit in Magnetfeldern mit Induktionen im Tesla-Bereich besitzen. Dies macht es vielfach erforderlich, dass die Leiter solcher Wicklungen trotz der an sich hohen Sprungtemperatur T_c der verwendeten Materialien dennoch auf einem unterhalb von 77 K liegenden Temperaturniveau, beispielsweise zwischen 10 und 50 K gehalten werden müssen, um so bei auftretenden hohen Feldstärken nennenswerte Ströme tragen zu können. Ein solches Temperaturniveau liegt deutlich höher als 4,2 K, der Siedetemperatur des flüssigen Heliums (LHe), mit dem bekannte metallische Supraleitermaterialien mit vergleichsweise niedriger Sprungtemperatur T_c, sogenannte Niedrig(Low)-T_c-Materialien oder LTS-Materialien gekühlt werden.

Zur Kühlung von Wicklungen mit HTS-Leitern in dem genannten Temperaturbereich unter 77 K kommen bevorzugt Kälteanlagen in Form von sogenannten Kryokühlern mit geschlossenem He-Druckgaskreislauf zum Einsatz. Solche Kryokühler sind insbesondere vom Typ Gifford McMahon oder Stirling oder sind als sogenannte Pulsröhrenkühler ausgebildet. Sie haben zudem den Vorteil, dass ihre Kälteleistung quasi auf Knopfdruck zur Verfügung steht und die Handhabung von tiefkalten Flüssigkeiten vermieden wird. Bei Verwendung solcher Kälteanlagen wird die supraleitende Wicklung lediglich durch Wärmeleitung zu einem Kaltkopf eines entsprechenden Refrigerators indirekt gekühlt (vgl. z.B. auch „Proc. 16th Int. Cryog. Engig. Conf. (ICEC 16)", Kitakyushu, JP, 20.-24.05.1996, Verlag Elsevier Science, 1997, Seiten 1109 bis 1129).

Eine entsprechende Kühltechnik ist auch für den aus der eingangs genannten WO 02/15370 A1 entnehmbaren Rotor einer elektrischen Maschine vorgesehen. Der Rotor enthält eine rotierende Wicklung aus HTS-Leitern, die sich in einem wärmeleitend ausgebildeten Wicklungsträger befinden. Dieser Wicklungsträger ist mit einem sich in Achsrichtung erstreckenden, zylindrischen Rotorhohlraum ausgestattet. In diesen Rotor-

hohlraum ragt feststehend ein zentraler Wärmeleitkörper, der einen zentralen zylindrischen Kältemittelraum umschließt. In dem sich zwischen der mitrotierenden Außenwand des Rotorhohlraums und der feststehenden Außenwand des Wärmeleitkörpers ausgebildeten, hohlzylindrischen Ringspaltes befindet sich ein Wärmekontaktgas zur Wärmeübertragung zwischen dem Wicklungsträger und dem Wärmeleitkörper. An dessen zentralen Kältemittelraum schließen sich seitlich aus dem Rotor herausführende, feststehende rohrförmige Leitungsteile an. Diese Leitungsteile führen in einen geodätisch höher liegenden Kondensorraum einer Kälteeinheit und bilden zusammen mit diesem Kondensorraum und dem zentralen Kältemittelraum ein geschlossenes Ein-Rohr-Leitungssystem. In diesem Leitungssystem befindet sich ein Kältemittel, das unter Ausnutzung eines sogenannten Thermosyphon-Effektes zirkuliert. Hierbei wird in dem Kondensorraum kondensiertes Kältemittel über die rohrförmigen Leitungsteile in den zentralen Kältemittelraum geleitet, wo es wegen der thermischen Ankopplung an den Wicklungsträger über das Wärmekontaktgas und damit an die zu kühlende HTS-Wicklung Wärme aufnimmt und zumindest teilweise verdampft. Der verdampfte Kältemittelteil gelangt dann zurück über dieselben Leitungsteile in den Kondensorraum, wo er zurückkondensiert wird. Die hierfür erforderliche Kälteleistung wird von einer Kältemaschine erbracht, deren Kaltkopf an den Kondensorraum thermisch angekoppelt ist. Der Rückstrom des Kältemittels hin zu dem als Kondensator wirkenden Teilen der Kältemaschine wird dabei getrieben durch einen leichten Überdruck, welcher sich in dem als Verdampferteil wirkenden zentralen Kältemittelraum ausbildet. Dieser durch das Entstehen von Gas im Verdampferteil und das Verflüssigen im Kondensorraum erzeugte Überdruck führt zu dem gewünschten Kältemittelrückstrom. Die entsprechende Zirkulation wird auch als natürliche Konvektion bezeichnet.

Statt dieses bekannten Ein-Rohr-Thermosyphon-Leitungssystems, bei dem das flüssige und das gasförmige Kältemittel durch gleiche Rohrteile strömen, sind auch Zwei-Rohr-

Leitungssysteme für eine Kältemittelzirkulation unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes bekannt (vgl. z.B. WO 00/13296 A). Hierbei muss im Bereich der Hohlwelle des Rotors ein zusätzliches Rohr für das gasförmige Kältemittel vorgesehen werden.

Bei den bekannten Maschinen mit Thermosyphon-Kühlung erfolgt also der Transport des Kältemittels allein unter Ausnutzung der natürlichen Konvektion, so dass keine weiteren Pumpsysteme erforderlich sind. Will man eine derartige Maschinenanlage auf Schiffen oder Off-Shore-Einrichtungen einsetzen, so muss vielfach mit statischen Schieflagen, einem sogenannten „Trim", von bis zu ± 5° und/oder mit dynamischen Schifflagen von bis zu ± 7,5° in Längsrichtung gerechnet werden. Um eine Zulassung einer Klassifizierungsgesellschaft für einen Schiffseinsatz zu erhalten, muss folglich das Kühlsystem einer solchen Maschinenanlage eine sichere Kühlung gewährleisten. Will man die genannten Schieflagen der Maschine zulassen, so besteht jedoch die Gefahr, dass ein Bereich der rohrförmigen Leitungsteile zwischen dem zentralen Kältemittelraum und der Kälteeinheit geodätisch tiefer zu liegen kommt als der zentrale Kältemittelraum selbst. Die Folge davon ist, dass das Kältemittel unter Einfluss der Schwerkraft den Kältemittelraum nicht mehr erreichen kann. Eine Kühlung der Maschine und somit deren Betrieb wären damit nicht mehr sichergestellt.

Um dieser Gefahr zu begegnen, sind unter anderem die folgenden Vorschläge bekannt:

- Eine einfache Lösung bestünde darin, die Maschine gegenüber der Horizontalen so geneigt anzuordnen, dass auch bei größter anzunehmender Trimlage oder Oszillationsamplitude in dem Thermosyphon-Leitungssystem immer noch ein Gefälle in Richtung auf den zentralen Kältemittelraum vorhanden ist. Eine entsprechend geneigte Anordnung ist gerade im Schiffsbau insbesondere bei größerer Maschinenlänge aus

Gründen eines dann erforderlichen großen Platzbedarfs unerwünscht.

- Prinzipiell kann das Kältemittel auch durch eine Pumpanlage zwangsumgewälzt werden. Hierfür ist jedoch ein erheblicher apparativer Aufwand erforderlich, insbesondere wenn sich das Kältemittel auf einem Temperaturniveau von beispielsweise 25 bis 30 K befinden soll. Derartige Umwälzanlagen bedingen zudem erhebliche Verluste und können die Lebensdaueranforderungen des Schiffsbaus mit seinen langen Wartungsintervallen kaum erfüllen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, die eine Maschine mit zugehörender Kälteeinheit umfassende Maschinenanlage mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, dass auch bei realistisch anzunehmenden Schräg-/bzw. Schieflagen ihres Rotors, wie sie bei einem Einsatz auf Schiffen oder Off-Shore-Einrichtungen auftreten können, dennoch in dem zentralen Kältemittelraum eine hinreichende Kühlwirkung durch das Kältemittel zu erreichen ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Dementsprechend soll bei der Maschinenanlage mit den eingangs genannten Merkmalen der zentrale Kältemittelraum zumindest teilweise mit einer Auskleidung aus einem porösen Material hoher thermischer Leitfähigkeit versehen sein, das für das Kältemittel zugängliche, kapillarähnliche Strukturen oder Hohlräume bildet.

Mit der erfindungsgemäßen Auskleidung der Innenwand eines in den Rotorhohlraum quasi als feststehender Kühlfinger hineinragenden, innen hohlen Wärmeleitkörpers ist dann insbesondere der Vorteil verbunden, dass auch bei geneigter Achse auf Grund der Kapillarwirkung eine hinreichend gleichmäßige Verteilung des Kältemittels erreicht wird. Auf diese Weise ist eine gute Benetzung des porösen Materials zu gewährleisten. Da dieses Material eine hinreichend hohe thermische Leitfähigkeit besitzen soll, lässt sich dann eine gute thermische

Ankopplung der zu kühlenden Leiter an das Kältemittel über den den Rotorhohlraum umschließenden Wicklungsträger, über das in dem Ringspalt vorhandene Wärmekontaktgas und die Wand des Wärmeleitkörpers mit seiner besonderen Auskleidung gewährleisten.

Vorteilhafte Weiterbildungen der aus Anspruch 1 entnehmbaren Maschinenanlage sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

So kann es sich bei dem porösen Material bevorzugt um ein Sintermaterial, insbesondere aus oder mit Kupfer (Cu), handeln. Unter einem Sintermaterial sei in diesem Zusammenhang jeder Werkstoff hoher thermischer Leitfähigkeit verstanden, der auf pulvermetallurgischem Wege durch Pressen und Erhitzen ausgebildet ist und dabei noch eine für die geforderte Kapillarität hinreichende Porosität aufweist.

Die Auskleidung des Kältemittelraums aus dem Sintermaterial kann insbesondere in diesen eingepresst oder eingeschrumpft sein. Mit entsprechenden Verfahren lässt sich auf einfache Weise die gewünschte Auskleidung realisieren.

So kann die Auskleidung aus dem porösen Material insbesondere eine Porosität von mindestens 3 %, vorzugsweise mindestens 10 % aufweisen, um so für die geforderte Kapillarwirkung eine hinreichend große mit dem Kältemittel benetzbare Oberfläche anzubieten.

Zu bevorzugen sind insbesondere solche Materialien für die Auskleidung, deren thermische Leitfähigkeit mindestens 100 W·pro (m·K·) bei der Betriebstemperatur des supraleitenden Materials beträgt. Insbesondere Kupfer(Cu)-Material erfüllt ohne weiteres diese Bedingung, da dessen thermische Leitfähigkeit einen Wert hat, der über dem beanspruchten Mindestwert liegt.

Statt einer Auskleidung mit einem Sintermaterial ist auch eine entsprechend poröse Beschichtung möglich.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschinenanlage gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen abhängigen Ansprüchen hervor.

Zu einer ergänzenden Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen, an Hand derer ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Maschinenanlage noch weiter beschrieben ist. Dabei zeigt in schematisierter Darstellung
deren einzige Figur einen Längsschnitt durch eine erfindungsgemäß ausgestaltete Maschinenanlage.

Erfindungsgemäße Maschinenanlagen umfassen jeweils eine Maschine bzw. einen Motor sowie eine zugeordnete Kälteeinheit. Bei der nachfolgend an Hand der Figuren angedeuteten Ausführungsform einer solchen Maschine kann es sich insbesondere um einen Synchron-Motor oder einen Generator handeln. Die Maschine umfasst eine rotierende, supraleitende Wicklung, die prinzipiell eine Verwendung von metallischem LTS-Material oder oxidischem HTS-Material gestattet. Letzteres Material sei bevorzugt für das nachfolgende Ausführungsbeispiel zugrunde gelegt. Mit entsprechenden Leitern kann die Wicklung aus einer Spule oder aus einem System von Spulen in einer 2-, 4- oder sonstigen mehrpoligen Anordnung bestehen. Der prinzipielle Aufbau eines entsprechenden Synchron-Motors geht aus der Figur hervor, wobei von der aus der eingangs genannten WO 02/15370 A1 (Figur 5 in Verbindung mit den Figuren 2 und 3) bekannten Ausführungsform einer Maschinenanlage ausgegangen wird.

Die mit 2 bezeichnete Maschine umfasst ein feststehendes, auf Raumtemperatur befindliches Außengehäuse 3 mit einer Ständerwicklung 4. Innerhalb des Außengehäuses und von der Ständerwicklung 4 umschlossen ist ein Rotor 5 drehbar um eine Rota-

tionsachse A in Lagern 6 gelagert. Bei diesen Lagern kann es sich um konventionelle mechanische Lager oder auch um Magnetlager handeln. Der Rotor weist ferner ein Vakuumgefäß 7 auf, in dem an z.B. hohlzylindrischen, drehmomentübertragenden Aufhängeelementen 8 ein Wicklungsträger 9 mit einer HTS-Wicklung 10 gehaltert ist. In diesem Wicklungsträger ist konzentrisch zur Rotationsachse A ein sich in Achsrichtung erstreckender zentraler Rotorhohlraum 12 vorhanden, der beispielsweise eine Zylinderform hat. Der Wicklungsträger ist dabei vakuumdicht gegenüber diesem Hohlraum ausgeführt. Er schließt diesen auf einer Seite des Rotors ab, der auf dieser Seite mittels eines massiven axialen Rotorwellenteils 5a gelagert ist.

Auf der gegenüberliegenden Rotorseite ist ein rohrförmiger Rotorwellenteil 5b vorhanden, in den seitlich ein ortsfestes Halsrohr 30 hineinragt, das im Bereich des zentralen Rotorhohlraums an einen zentralen Wärmeleitkörper 31 angeschlossen ist. Dabei ist gegenüber der mitrotierenden Wand des Rotorwellenteils 5b und des zentralen Rotorhohlraums 12 ein hohlzylindrischer Ringspalt 32 eingehalten. Zu einer gasdichten Abdichtung dieses Ringspaltes ist der Rotorhohlraum 12 des Wicklungsträgers auf der dem Rotorwellenteil 5a zugewandten Seite abgeschlossen. Auf der gegenüberliegenden Seite an dem rohrförmigen Rotorwellenteil 5b ist der Ringspalt 32 über eine nicht näher ausgeführte Dichtungseinrichtung 21 mit mindestens einer Dichtung abgedichtet. Der Ringspalt ist mit einem Wärmekontaktgas g, vorzugsweise Helium oder für Temperaturen über 30 K Betriebstemperatur Neon, befüllt. Über dieses Kontaktgas wird ein Wärmekontakt zwischen dem Wärmeleitkörper 31 und der den Rotorhohlraum 12 begrenzenden Wand des Wicklungskörpers 9 geschaffen. Der Wicklungskörper soll hinreichend wärmeleitend ausgeführt sein, d.h., er weist gutwärmeleitende Teile zwischen der Wand des Rotorhohlraums 12 und der Wicklung 10 auf. Auf diese Weise ist die Wicklung über den Wicklungskörper 9, das Wärmekontaktgas g und die Wand des Wärmeleitkörpers 31 auf einfache Weise thermisch an

den Innenraum 31a dieses Wärmeleitkörpers angekoppelt. Als Material für den zylinderförmigen Wärmeleitkörper kommen deshalb thermisch gut-leitende Metalle wie Al oder Cu in Frage.

Zu einer indirekten Kühlung der HTS-Wicklung 10 über die wärmeleitenden Teile des Wicklungsträgers 9 ist eine allgemein mit 15 bezeichnete Kälteeinheit vorgesehen, von der lediglich ein Kaltkopf 16 näher angedeutet ist. Bei dieser an sich bekannten Kälteeinheit kann es sich um einen Kryokühler vom Typ Gifford-McMahon oder insbesondere um einen regenerativen Kryokühler wie z.B. einen Pulsröhrenkühler oder einer Split-Stirling-Kühler handeln. Dabei befinden sich der Kaltkopf 16 und damit alle wesentlichen, weiteren Teile der Kälteeinheit außerhalb des Rotors 5 bzw. dessen Außengehäuses 3.

Das Kaltteil des beispielsweise etliche Meter seitlich von dem Rotor 5 angeordneten Kaltkopfes 16 steht in einem Vakuumgefäß 23 über einen Wärmeübertragungskörper 17 in gutem thermischen Kontakt mit einer Kältemittelkondensationseinheit, die einen Kondensorraum 18 aufweist. An diesem Kondensorraum ist ein vakuumisoliertes, ortsfestes Wärmerohr 20 angeschlossen, das in einem axialen Bereich mitrotierenden Hohlraum 13 oder den zentralen Kältemittelraum 12 hineinragt. Zur Abdichtung des Wärmerohres 20 bzw. des Halsrohres 31 gegenüber dem seitlichen Wellenteil 5b dient die in der Figur nicht näher ausgeführte Dichtungseinrichtung 21 mit mindestens einem Dichtungselement, das als eine Ferrofluiddichtung und/oder eine Labyrinthdichtung und/oder eine Spaltdichtung ausgebildet sein kann. Über das Wärmerohr 20 und das seitliche Halsrohr 30 ist der zentrale Kältemittelraum 31a mit dem Wärmetauschbereich des Kondensorraums 18 nach außen gasdicht abgedichtet verbunden. Die zwischen dem zentralen Kältemittelraum 31a und dem Kondensorraum 18 verlaufenden, rohrförmigen Teile, die zur Aufnahme eines Kältemittels dienen, sind allgemein als Leitungsteile 22 bezeichnet. Diese Leitungsteile werden zusammen mit dem Kondensorraum 18 und dem zentralen Kältemittelraum 31a als ein Leitungssystem betrachtet.

Diese Räume dieses Leitungssystems sind mit einem Kältemittel gefüllt, das je nach gewünschter Betriebstemperatur der HTS-Wicklung 10 ausgewählt wird. So kommen beispielsweise Wasserstoff (Kondensationstemperatur 20,4 K bei Normaldruck), Neon (Kondensationstemperatur 27,1 K bei Normaldruck), Stickstoff (Kondensationstemperatur 77,4 K bei Normaldruck) oder Argon (Kondensationstemperatur 87,3 K bei Normaldruck) in Frage. Auch können Gemische aus diesen Gasen vorgesehen werden. Die Zirkulation des Kältemittels erfolgt dabei unter Ausnutzungen eines sogenannten Thermosyphon-Effektes. Hierzu wird an einer Kaltfläche des Kaltkopfes 16 im Bereich des Kondensorraums 18 das Kältemittel kondensiert. Anschließend fließt das so verflüssigte, mit k bezeichnete Kältemittel durch die Leitungsteile 22 in den zentralen Kältemittelraum 31a. Der Transport des Kondensats geschieht dabei unter Einfluss der Schwerkraft. Im Inneren des Rotors wird dann das flüssige Kältemittel in dem feststehenden Kältemittelraum 31a zumindest teilweise verdampft. Das dampfförmige Kältemittel ist mit k‘ bezeichnet. Dieses unter Aufnahme von Wärme verdampfte Kältemittel strömt dann durch das Innere der Leitungsteile 22 zurück in den Kondensorraum 18. Hierbei wird der Rückstrom durch einen leichten Überdruck im als Verdampfer wirkenden Kältemittelraum 31a in Richtung auf den Kondensorraum 18 hin angefacht, der durch das Entstehen von Gas im Verdampfer und das Verflüssigen in dem Kondensorraum verursacht wird. Da die Zirkulation des verflüssigten Kältemittels von dem Kondensorraum 18 in den zentralen Kältemittelraum 31a und die Rückströmung des verdampften Kältemittels k‘ aus diesem Kältemittelraum zurück zu dem Kondensorraum in dem aus dem Kondensorraum 18, den Leitungsteilen 22 und dem Kältemittelraum 12 gebildeten rohrförmigen Leitungssystem erfolgt, kann von einem Ein-Rohr-System mit einer Zirkulation des Kältemittels k, k‘ unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes gesprochen werden. Selbstverständlich sind für die erfindungsgemäße Maschinenanlage auch bekannte Mehrrohr-Leitungssysteme einsetzbar, die eine Thermosyphon-Zirkulation ermöglichen.

Bei einem Einsatz der Maschine 2 auf Schiffen oder Off-Shore-Einrichtungen können Schieflagen auftreten, bei denen die Rotationsachse A gegenüber der Horizontalen H um einen Winkel von einigen Grad geneigt ist. Dann erfolgt zwar nach wie vor eine Kondensation des Kältemittels in dem Kondensorraum 18; aber das Kältemittel kann nicht mehr den zentralen Kältemittelraum 31a erreichen, so dass dann die Leitungsteile 22 insbesondere im achsnahen Bereich allmählich mit flüssigem Kältemittel k volllaufen. Bei einer verhältnismäßig geringen Füllmenge des Leitungssystems mit Kältemittel kann dann der Läuferinnenraum bzw. der Kältemittelraum 31a trocken laufen und wird somit nicht mehr gekühlt. Bei einer größeren Füllmenge des Leitungssystems wird der Rückstrom des gasförmigen Kältemittels k‘ in den Leitungsteilen 22 hin zum Kondensorraum 18 nach einer gewissen Zeit durch angesammeltes flüssiges Kältemittel blockiert. Eine sichere Kühlung des Rotors bzw. seiner supraleitenden Wicklung ist in diesem Fall ebenfalls nicht mehr gewährleistet.

Aus diesem Grunde ist, wie aus der Figur hervorgeht, gemäß der Erfindung an der Innenseite des Wärmeleitkörpers 31 eine besondere Auskleidung 25 aus einem hinreichend porösen Material, vorzugsweise aus einem Sintermaterial vorgesehen. Seine Dicke D liegt dabei im Allgemeinen zwischen 0,1 und 2 mm. Ein solches Sintermaterial sei für das Ausführungsbeispiel ausgewählt. Es ist damit zu gewährleisten, dass sich auch bei Schieflagen auf Grund von Kapillarkräften in dem Sintermaterial das Kältemittel k gleichmäßig auf der Innenfläche verteilt, so dass damit eine gleichmäßige Verdampfung und damit Kühlung sicherzustellen ist. Die Auskleidung 25 soll zudem aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit wie z.B. der von Kupfer bestehen Sie sollte mindestens 100 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ bei einer gewählten Betriebstemperatur des verwendeten supraleitenden Materials betragen. Bevorzugt sollte der Mindestwert bei 400 $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ liegen. So hat zum Beispiel Cu-Sintermaterial einen Wert der thermischen Leitfähigkeit bei einer

Temperatur von 30 K von etwa 30 $W \cdot cm^{-1} \cdot grad^{-1}$ bzw. 3000 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ (vgl. „Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie: Kupfer, Teil A", 8.Aufl. 1955, Seite 957).

Die Auskleidung 25 weist dabei einen guten thermischen Kontakt mit dem Wärmeleitkörper 31 auf, der z.B. durch eine Schrumpfverbindung oder durch ein Einpressen zu erreichen ist.

Eine entsprechende Auskleidung kann auch in Form einer Schicht vorliegen, die durch Beschichtung der Innenfläche des Wärmeleitkörpers 31 mit einem Material erreicht wird. Dabei ist eine hinreichend poröse Struktur zu gewährleisten, damit die geforderten Kapillarkräfte wirksam werden können.

Die Porosität der Auskleidung 25 bzw. ihres Materials sollte hierfür mindestens 3 %, vorzugsweise mindestens 10 % betragen. Im Betrieb bei Rotation mit geneigter Achse bewirkt dann die Auskleidung eine gleichmäßige Verteilung des flüssigen Kältemittels k, wobei die Verteilung des Kältemittels an den Wänden oder Flächen der mit den Strukturen oder Hohlräumen geschaffenen Kältemittelwege durch die auftretenden Fliehkräfte noch zusätzlich unterstützt wird.

Mit der erfindungsgemäßen Auskleidung lässt sich also eine gleichmäßige Verlustwärmeabfuhr über die gesamte Hohlzylinder-Innenfläche des Wärmeleitkörpers 31 sowohl im Betriebszustand als auch bei Rotation im Betrieb unabhängig von der Neigung der Motorachse A gewährleisten.

Selbstverständlich müssen die das Kältemittel k bzw. k' umschließenden Teile oder Behältnisse gegen Wärmeeinleitung geschützt sein. Zu ihrer thermischen Isolation wird deshalb zweckmäßig eine Vakuumumgebung vorgesehen, wobei gegebenenfalls in den entsprechenden Vakuumräumen zusätzlich noch Isolationsmittel wie z.B. Superisolation oder Isolationsschaum vorgesehen werden können. In der Figur ist das von dem Vaku-

umgefäß 7 eingeschlossene Vakuum mit V bezeichnet. Es umgibt außerdem das sich bis zu der Dichtung 21 erstreckende Halsrohr 30. Das Wärmerohr 20 sowie den Kondensorraum 18 und den Wärmeübertragungskörper 17 umschließende Vakuum ist mit V' bezeichnet. Gegebenenfalls kann auch in dem den Rotor 5 umgebenden, von dem Außengehäuse 3 umschlossenen Innenraum 27 ein Unterdruck erzeugt werden.

Patentansprüche

1. Maschinenanlage
a) mit einem um eine Rotationsachse (A) drehbar gelagerten, von einem Stator umgebenen Rotor (5), der mindestens eine Rotorwicklung (10) aufweist, deren supraleitfähige Leiter wärmeleitend an einen zentralen, sich in Achsrichtung erstreckenden zylindrischen Rotorhohlraum (12) angekoppelt sind,
b) mit einem feststehend in den Rotorhohlraum unter Einhaltung eines Ringspaltes hineinragenden Wärmeleitkörpers, der einen zentralen Kältemittelraum aufweist,
c) mit einem sich in dem Ringspalt befindenden Wärmekontaktgas,
d) mit einer außerhalb des Rotors (5) befindlichen, ortsfesten Kälteeinheit (15) mit einem Kondensorraum (18)
und
e) mit zwischen dem zentralen Kältemittelraum (31a) des Wärmeleitkörpers (31) und dem Kondensorraum (18) der Kälteeinheit (15) verlaufenden, rohrförmigen Leitungsteilen (22)
wobei der Kältemittelraum (31a), die rohrförmigen Leitungsteile (22) und der Kondensorraum (18) ein geschlossenes Leitungssystem bilden, in dem ein Kältemittel (k, k') unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zirkuliert oder zirkulieren kann, dadurch gekennzeichnet, dass der zentrale Kältemittelraum (31a) zumindest teilweise mit einer Auskleidung (25) aus einem porösen Material hoher thermischer Leitfähigkeit versehen ist, das für das Kältemittel (k, k') zugängliche, kapillarähnliche Strukturen oder Hohlräume bildet.

2. Maschinenanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Material ein Sintermaterial ist.

3. Maschinenanlage nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch ein Kupfer-Sintermaterial.

4. Maschinenanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine eingepresste oder eingeschrumpfte Auskleidung (25).

5. Maschinenanlage nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine poröse Beschichtung als Auskleidung (25).

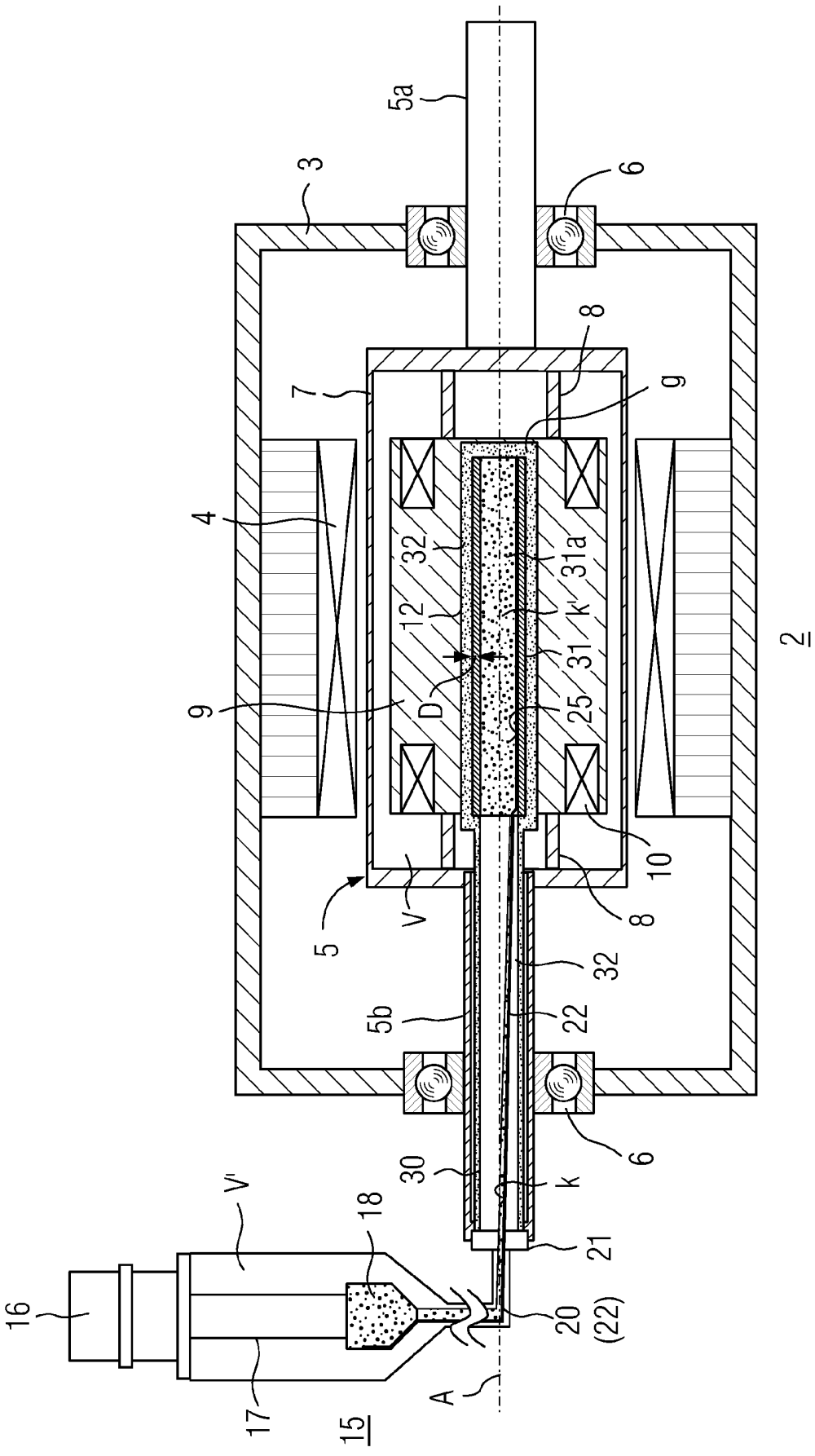
6. Maschinenanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Porosität der Auskleidung (25) von mindestens 3 %, vorzugsweise mindestens 10 %.

7. Maschinenanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Material eine thermische Leitfähigkeit bei der Betriebstemperatur der supraleitfähigen Leiter von mindestens 100 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ aufweist.

8. Maschinenanlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert der thermische Leitfähigkeit des porösen Materials bei der Betriebstemperatur der supraleitfähigen Leiter zumindest dem des Kupfers entspricht.

9. Maschinenanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch supraleitfähige Leiter der Rotorwicklung (10) mit Hoch-T_c-Supraleitermaterial.

1/1


5a
3
6
8
7
g
4
32
31a
12
k'
31
D
25
9
2
10
V
5
8
32
5b
22
6
30
k
V'
18
21
16
20
(22)
A
17
15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/050575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02K55/04 H02K9/20 F28D17/02

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 F28D

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 practical, 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 Y	DE 100 39 964 A1 (SIEMENS AG) 7 March 2002 (2002-03-07) paragraphs [006M], [0019], [0020], [0022], [0024] - [0026]; figures 1,4,5	1,4,6,9 2,3,5,7, 8
Y	BENTLEY P D ET AL: "A rotatable cryogenic target for use with molecular beams" JOURNAL OF PHYSICS E. SCIENTIFIC INSTRUMENTS, IOP PUBLISHING, BRISTOL, GB, vol. 6, 1973, pages 833-836, XP002374513 ISSN: 0022-3735 page 833, paragraph 2; figure 1	2,3,7,8

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 document 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	Date of mailing of the international search report
14 June 2006	26/06/2006

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Strasser, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/050575

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 821 018 A (GRANT A,US) 28 June 1974 (1974-06-28)	5
A	column 4, lines 1-21 column 4, lines 38-43 column 4, line 67 column 9, lines 18-22 column 9, lines 33-36 column 9, line 40 column 9, lines 43-67 column 10, line 1 column 10, lines 28-31	7,8
A	US 2001/030040 A1 (XIAO JIA HUA) 18 October 2001 (2001-10-18) paragraphs [0002], [0005], [0012] - [0015], [0031]; figure 1	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2006/050575

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10039964 A1	07-03-2002	WO 0215370 A1	21-02-2002
		EP 1310035 A1	14-05-2003
		JP 2004507200 T	04-03-2004
US 3821018 A	28-06-1974	AT 309943 B	10-09-1973
		BE 757262 A1	08-04-1971
		CH 523337 A	31-05-1972
		DE 2049499 A1	22-04-1971
		FR 2065223 A5	23-07-1971
		GB 1331780 A	26-09-1973
		HU 162686 B	28-03-1973
		JP 50006162 B	11-03-1975
		NL 7014796 A	14-04-1971
		SE 355310 B	16-04-1973
US 2001030040 A1	18-10-2001	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/050575

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02K55/04 H02K9/20 F28D17/02

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02K F28D

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 Y	DE 100 39 964 A1 (SIEMENS AG) 7. März 2002 (2002-03-07) Absätze [006M], [0019], [0020], [0022], [0024] - [0026]; Abbildungen 1,4,5	1,4,6,9 2,3,5,7, 8
Y	BENTLEY P D ET AL: "A rotatable cryogenic target for use with molecular beams" JOURNAL OF PHYSICS E. SCIENTIFIC INSTRUMENTS, IOP PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 6, 1973, Seiten 833-836, XP002374513 ISSN: 0022-3735 Seite 833, Absatz 2; Abbildung 1	2,3,7,8
	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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" älteres Dokument, 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 anderen 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. Juni 2006	26/06/2006
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Bevollmächtigter Bediensteter Strasser, T

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/050575

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 3 821 018 A (GRANT A,US) 28. Juni 1974 (1974-06-28)	5
A	Spalte 4, Zeilen 1-21 Spalte 4, Zeilen 38-43 Spalte 4, Zeile 67 Spalte 9, Zeilen 18-22 Spalte 9, Zeilen 33-36 Spalte 9, Zeile 40 Spalte 9, Zeilen 43-67 Spalte 10, Zeile 1 Spalte 10, Zeilen 28-31	7,8
A	US 2001/030040 A1 (XIAO JIA HUA) 18. Oktober 2001 (2001-10-18) Absätze [0002], [0005], [0012] - [0015], [0031]; Abbildung 1	6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2006/050575

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10039964 A1	07-03-2002	WO 0215370 A1	21-02-2002
		EP 1310035 A1	14-05-2003
		JP 2004507200 T	04-03-2004
US 3821018 A	28-06-1974	AT 309943 B	10-09-1973
		BE 757262 A1	08-04-1971
		CH 523337 A	31-05-1972
		DE 2049499 A1	22-04-1971
		FR 2065223 A5	23-07-1971
		GB 1331780 A	26-09-1973
		HU 162686 B	28-03-1973
		JP 50006162 B	11-03-1975
		NL 7014796 A	14-04-1971
		SE 355310 B	16-04-1973
US 2001030040 A1	18-10-2001	KEINE	