

(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
24. Januar 2008 (24.01.2008)

PCT

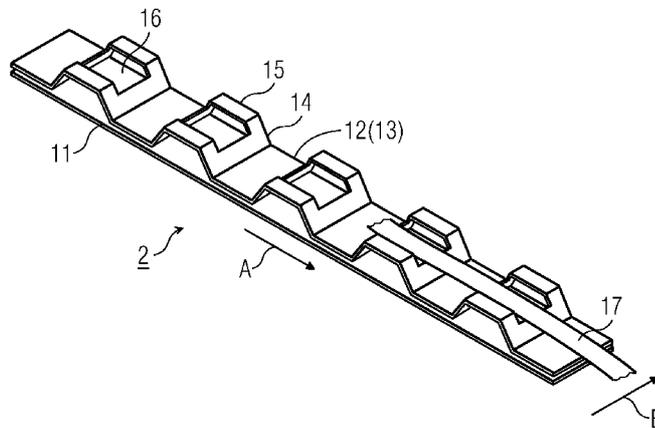
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/009537 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 39/16 (2006.01) *H02H 9/02* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/056217
- (22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2007 (21.06.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2006 032 973.2 17. Juli 2006 (17.07.2006) 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): KRÄMER, Hans-Peter [DE/DE]; Regnitzweg 4, 91058 Erlangen (DE). WOHLFART, Manfred [DE/DE]; Schlaifhausen 58, 91369 Wiesenthau (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, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SUPERCONDUCTING CURRENT-LIMITING DEVICE OF THE RESISTIVE TYPE WITH HOLDING ELEMENT

(54) Bezeichnung: SUPRALEITENDE STROMBEGRENZEREINRICHTUNG VOM RESISTIVEN TYP MIT HALTEELEMENT



(57) Abstract: The superconducting current-limiting device contains at least one coil (61), the conductive track of which is formed from at least one band-shaped superconductor (17), wherein a holding element (2, 41, 51, 62) is located between adjacent coil windings. The holding element (2, 41, 51, 62) is constructed wider than the superconductor (17) in the axial direction of the coil (61). The holding element (2, 41, 51, 62) further consists of a flat strip (11) and an undulating strip (12, 42, 52). The flat strip (11) extends essentially parallel to the band-shaped superconductor (17) at an essentially constant distance (22) therefrom. The undulating strip (12, 42, 52) extends essentially parallel to the flat strip (11), and in the longitudinal direction periodically has regions (15, 43, 53) distant from and regions (13) close to the flat strip (11). The regions (13) of the undulating strip (12, 42, 52) near to the flat strip (11) have a mechanical connection (21) to the flat strip (11). The regions (15, 43, 53) of the undulating strip far from the flat strip (11) have recesses (16) of such a kind that an at least approximately close-fitting mounting of the band-shaped superconductor (17) relative to the flat strip (11) is facilitated.

(57) Zusammenfassung: Die supraleitende Strombegrenzereinrichtung enthält mindestens eine Spule (61), deren Leiterbahn mit mindestens einem bandförmigen Supraleiter (17) gebildet ist, wobei sich zwischen benachbarten Spulenwindungen ein Halteelement (2, 41, 51, 62) befindet. Das

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/009537 A1



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

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

(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, 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, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

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.

Halteelement (2, 41, 51, 62) ist in axialer Richtung der Spule (61) breiter als der Supraleiter (17) ausgebildet. Das Halteelement (2, 41, 51, 62) besteht ferner aus einem Flachband (11) und einem gewellten Band (12, 42, 52). Das Flachband (11) erstreckt sich im Wesentlichen parallel zu dem bandförmigen Supraleiter (17) unter einem im Wesentlichen konstanten Abstand (22). Das gewellte Band (12, 42, 52) erstreckt sich im Wesentlichen parallel zu dem Flachband (11) und weist in seiner Längsrichtung periodisch von dem Flachband entfernte Bereiche (15, 43, 53) und dem Flachband nahe Bereiche (13) auf. Die dem Flachband nahen Bereiche (13) des gewellten Bandes (12, 42, 52) weisen eine mechanische Verbindung (21) mit dem Flachband (11) auf. Die dem Flachband fernen Bereiche (15, 43, 53) des gewellten Bandes weisen derartige Aussparungen (16) auf, dass eine zumindest näherungsweise passgenaue gegenüber dem Flachband (11) beabstandete Aufnahme des bandförmigen Supraleiters (17) ermöglicht ist.

Beschreibung

Supraleitende Strombegrenzereinrichtung vom resistiven Typ mit Halteelement

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine supraleitende Strombegrenzereinrichtung vom resistiven Typ, deren Leiterbahn mit mindestens einem bandförmigen Supraleiter gebildet ist, wobei zwischen benachbarten Spulenwindungen ein Halteelement angeordnet ist.

10

Zum Schutz elektrischer Bauteile lässt sich unter Verwendung eines Supraleiters eine Strombegrenzereinrichtung aufbauen. Charakteristisch für Supraleiter ist die Eigenschaft, dass sie unterhalb einer materialspezifischen kritischen Temperatur Ströme praktisch ohne Widerstand tragen können, solange die Stromdichte kleiner ist als die von der Betriebstemperatur abhängige kritische Stromdichte. Diese kritische Stromdichte nimmt mit zunehmender Betriebstemperatur ab und wird zu null, wenn die Betriebstemperatur die erwähnte kritische Temperatur erreicht.

15

20

Dieses Phänomen lässt sich zum Aufbau einer Strombegrenzeinrichtung ausnutzen, welche in dem Fall, dass die zuvor erwähnte kritische Stromdichte überschritten wird, ihren elektrischen Widerstand sprunghaft erhöht und sich durch die dann auftretenden Ohmschen Verluste bis über die kritische Temperatur erwärmt.

25

Um eine Zerstörung durch Überhitzen zu vermeiden, muss nach einem Ansprechen des Strombegrenzers der Strom abgeschaltet werden. Für die Wiederinbetriebnahme muss gewartet werden, bis der gesamte Begrenzer wieder auf die Betriebstemperatur abgekühlt ist. Diese Rückkühlzeit hat wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit des Strombegrenzers.

30

35

Unter Ausnutzung dieses Phänomens lässt sich ein Überstromschutzschalter (Strombegrenzer) realisieren, welcher sich

durch schnelle Schaltzeiten und einen für die Schutzeinrichtung selbst nicht destruktiven Schaltvorgang auszeichnet. Entsprechende Strombegrenzereinrichtungen ist z.B. aus DE 10 2004 048 646 A1 bekannt.

5

Als Leiterbahn in einem solchen Strombegrenzer werden insbesondere supraleitende Bandleiter (coated conductors) verwendet. Unter einem supraleitenden Bandleiter ist in diesem Zusammenhang ein Aufbau zu verstehen, bei dem auf ein normalleitendes Substratmetall in Bandform eine supraleitende Schicht, typischerweise ein oxidischer Hochtemperatur-Supraleiter, aufgebracht wird. Zur Vermeidung von Induktivitäten wird der supraleitende Bandleiter in eine flache, bifilar gewickelte Spule eingebracht. Zwischen benachbarten Spulenwindungen ist ein Mindestabstand einzuhalten, so dass die Spule von einem Kühlmittel durchströmbar ist. Wird für den supraleitenden Bandleiter ein Hochtemperatur-Supraleiter verwendet (z.B. YBCO), so ist flüssiger Stickstoff als Kühlmittel für die Strombegrenzereinrichtung geeignet.

20

Bei bifilar gewickelten Spulen aus Bandleitermaterial liegt nun im Bereich des äußeren Radius zwischen benachbarten Leiterbahnen die gesamte an der Spule abfallende Spannung an. Um eine möglichst kompakte Bauform der supraleitenden Strombegrenzereinrichtung zu ermöglichen, ist es wünschenswert, benachbarte Leiterwindungen auf möglichst geringem Raum unterzubringen. Folglich ist zum Schutz vor elektrischen Überschlüssen eine möglichst gute Isolation zwischen benachbarten Windungen erforderlich. Gleichzeitig wird die Verfügbarkeit der supraleitenden Strombegrenzereinrichtung maßgeblich von der Rückkühlzeit des Supraleiters nach dem Schaltvorgang beeinflusst. Folglich ist eine gute Zugänglichkeit des Kühlmittels zu der Leiterbahn des Strombegrenzers wünschenswert. Eine supraleitende Strombegrenzereinrichtung sollte sich weiterhin durch eine möglichst geringe Induktivität auszeichnen. Zu diesem Zweck ist es vorteilhaft, wenn benachbarte Windungen in axialer Richtung der Spule möglichst ideal auf einer gemeinsamen planen Fläche zu liegen kommen. Zu diesem Zweck

ist eine exakte Positionierung der Windungen des supraleitenden Strombegrenzers wünschenswert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, eine supraleitende Strombegrenzereinrichtung vom resistiven Typ anzugeben, welche eine Verbesserung im Hinblick auf die zuvor genannten technischen Probleme darstellt.

Die vorgenannte Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß soll eine besondere supraleitende Strombegrenzereinrichtung vom resistiven Typ angegeben werden deren Leiterbahn mit einem bandförmigen Supraleiter gebildet ist. Zwischen benachbarten Spulenwindungen soll ein Halteelement angeordnet sein. Dieses Halteelement soll in axialer Richtung der Spule breiter als der bandförmige Supraleiter ausgebildet sein und aus einem Flachband und einem gewellten Band bestehen. Das Flachband soll sich im Wesentlichen parallel zu dem bandförmigen Supraleiter unter einem im Wesentlichen konstanten Abstand erstrecken. Das Flachband ist zumindest weitgehend nicht gewellt. Das gewellte Band soll sich im Wesentlichen parallel zu dem Flachband erstrecken, wobei das gewellte Band in seiner Längsrichtung periodisch radial von dem Flachband entfernte und dem Flachband nahe Bereiche aufweist. Die dem Flachband nahen Bereiche des gewellten Bandes sollen eine mechanische Verbindung mit dem Flachband aufweisen. Die dem Flachband fernen Bereiche des gewellten Bandes sollen Aussparungen aufweisen, so dass eine zumindest näherungsweise passgenaue, gegenüber dem Flachband beabstandete Aufnahme des bandförmigen Supraleiters ermöglicht ist.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen sind die folgenden Vorteile verbunden: Das Halteelement, bestehend aus dem Flachband und dem gewellten Band, ist in axialer Richtung breiter ausgebildet als der bandförmige Supraleiter. Auf diese Weise kann die elektrische Durchschlagstrecke von einer Spulenwindung zur nächsten gegenüber einer Ausführung, bei der das Halteelement die gleiche Breite wie der bandförmige Supralei-

ter aufweist, verlängert werden. Vorteilhaft wird auf diese Weise eine kompakte Bauform der Strombegrenzereinrichtung bei gleichzeitiger Verbesserung des Schutzes vor Spannungsüberschlägen realisiert. Durch eine Ausgestaltung des Halteelements, bestehend aus einem Flachband und einem gewellten Band, kann weiterhin eine hohe Permeabilität der Spule für ein den bandförmigen Supraleiter kühlendes Kältemedium erreicht werden. Auf diese Weise kann die Rückkühlzeit des supraleitenden Bandleiters minimiert werden. Der supraleitende Bandleiter soll von Aussparungen des gewellten Bandes zumindest näherungsweise passgenau aufgenommen werden. Auf diese Weise wird eine Fixierung des supraleitenden Bandleiters in axialer Richtung der Spule ermöglicht. Diese Fixierung trägt zur Minimierung der Induktivität der Spule bei. Durch die exakte axiale Positionierung der Windungen der Spule werden sowohl die Induktivität der Spule als auch die zwischen benachbarten Windungen wirkenden Lorentzkräfte minimiert. Vorteilhaft können auf diese Weise sowohl mechanische Belastungen, welche auf die eventuell vorhandenen Tragelemente der Wicklung wirken, als auch die Gesamtinduktivität der supraleitenden Strombegrenzereinrichtungen minimiert werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Strombegrenzereinrichtung gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor. Dabei kann die Ausführungsform nach Anspruch 1 mit den Merkmalen eines Unteranspruches oder auch vorzugsweise mit denen aus mehreren Unteransprüchen kombiniert werden. Demgemäß kann die supraleitende Strombegrenzereinrichtung zusätzlich noch folgende Merkmale aufweisen:

- Die Spule der Strombegrenzereinrichtung soll als bifilar gewickelte Spule ausgestaltet sein. Bei einer bifilar gewickelten Spule kompensieren sich die Induktivitäten der beiden Hälften der bifilaren Wicklung. Auf diese Weise kann für einen Strombegrenzer vorteilhaft eine kompakte Bauform bei minimierter Induktivität erreicht werden.
- Für das Flachband und/oder das gewellte Band des Halteelementes ist ein elektrischer Isolator als Material vorgesehen. Vorteilhaft kann durch die Verwendung eines elek-

trisch isolierenden Materials für zumindest Teile der Haltevorrichtung die Gefahr von elektrischen Überschlägen zwischen den einzelnen Windungen der Spule minimiert werden.

- 5 - Als elektrischer Isolator ist ein Kunststoff vorgesehen. Vorteilhaft wirkt ein Kunststoff als elektrischer Isolator, und stellt zusätzlich aufgrund seiner verhältnismäßig geringen Wärmekapazität eine geringe thermische Last beim Einkühlvorgang der Strombegrenzereinrichtung dar.
- 10 - Das gewellte Band kann im Wesentlichen trapezförmig, sägezahnförmig oder sinusförmig ausgebildet sein. Vorteilhaft weist eine trapezförmige Ausgestaltung des gewellten Bandes eine mechanisch stabile Führung des supraleitenden Bandleiters in radialer Richtung auf. Eine sägezahnförmige oder sinusförmige Ausgestaltung des gewellten Bandes ist insbesondere in Bezug auf dessen Herstellung einfach und daher vorteilhaft.
- 15 - Als supraleitendes Material des bandförmigen Supraleiters ist HTS-Material (oxidisches Hochtemperatur-Supraleitermaterial) oder LTS-Material (metallisches Tieftemperatur-Supraleitermaterial) vorgesehen. Durch die Verwendung von oxidischem Hochtemperatur-Supraleitermaterial kann für die Kühlung der supraleitenden Strombegrenzereinrichtung vorteilhaft flüssiger Stickstoff als Kältemedium verwendet werden. Metallisches Tieftemperatur-Supraleitermaterial weist eine hohe mechanische Belastbarkeit auf und ist infolge dessen gut zu verarbeiten. Eine hohe mechanische Widerstandsfähigkeit führt weiterhin zu einer geringen Störanfälligkeit der supraleitenden Strombegrenzereinrichtung.
- 20 - Der bandförmige Supraleiter soll durch eine auf eine Puffer- oder Zwischenschicht, welche selbst auf einem normalleitenden metallischen Substratband aufgebracht ist, aufgebrachte Schicht von oxidischem Supraleitermaterial vom Typ $AB_2Cu_3O_x$ gebildet sein, wobei A mindestens ein Seltenes Erdmetall einschließlich Yttrium und B mindestens ein Erdalkalimetall ist. Die Verwendung eines supraleitenden Bandleiters der zweiten Generation auf der Basis von Yttrium-Barium-Kupferoxid in einer supraleitenden Strombe-
- 25
- 30
- 35

grenzereinrichtung ist sowohl im Hinblick auf die Verarbeitung des weiterhin kommerziell gut verfügbaren bandförmigen Supraleiters der zweiten Generation wie auch im Hinblick auf den Schaltvorgang der supraleitenden Strombegrenze-

5 grenzereinrichtung vorteilhaft.

- In der Spule wird der bandförmige Supraleiter zweckmäßig mit seiner Substratseite nach außen angeordnet. Eine auf einem metallischen Substratband aufgebrachte supraleitende Schicht weist typischerweise eine höhere mechanische Belastbarkeit für Druckspannungen als für Zugspannungen auf. Indem der supraleitende Bandleiter mit der Substratseite nach außen, also mit der beschichteten Seite nach innen, gewickelt wird ist die supraleitende Schicht vorzugsweise Druckspannungen ausgesetzt. Auf diese Weise kann vorteilhaft eine die supraleitenden Eigenschaften zerstörende Rissbildung innerhalb der supraleitenden Schicht verringert werden. Dies führt zu einer verbesserten Zuverlässigkeit der Strombegrenze-

10

15

20

25

- Der bandförmige Supraleiter und das Halteelement können mittels eines Kunstharzes unter Freihaltung von Kühlmittelwegen miteinander verklebt werden. Vorteilhaft wird durch eine Verklebung des supraleitenden Bandleiters mit dem Halteelement eine verbesserte Fixierung des Bandleiters am Halteelement erreicht. Auf diese Weise kann die Induktivität der Gesamtpule bzw. die zwischen benachbarten Windungen der Spule wirkenden Lorentzkräfte minimiert werden.

30

- Das Halteelement soll derart ausgestaltet sein, dass der gegenseitige Abstand zwischen den Spulenwindungen mindestens 1 mm beträgt. Vorteilhaft kann durch die Einhaltung dieses Mindestabstandes im Falle eines Schaltvorganges siedendes Kältemittel zwischen den einzelnen Windungen der Spule entweichen, ohne eine unnötig große mechanische Belastung auf die tragende Struktur der Spule auszuüben.

35

Ferner wird durch Einhaltung dieses Mindestabstandes eine hinreichende Kühlmittelversorgung des supraleitenden Bandleiters gewährleistet.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen supraleitenden Strombegrenzereinrichtungen gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen sowie insbesondere aus der Zeichnung hervor.

5

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung weiter erläutert, aus der bevorzugt Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen supraleitenden Strombegrenzereinrichtung ohne eine Einschränkung auf die konkret veranschaulichten Ausführungsformen hervorgehen. Dabei zeigen deren

10

Figur 1 in Schrägsicht ein Halteelement und den darin angebrachten supraleitenden Bandleiter, wobei das Halteelement trapezförmig ausgestaltet ist,

15

Figur 2 einen Längsschnitt durch das trapezförmig ausgeformte Halteelement nach Figur 1,

Figur 3 einen Querschnitt durch das trapezförmig ausgeformte Halteelement nach Figur 1,

20

Figur 4 einen Längsschnitt durch ein sinusförmig ausgeformtes Halteelement,

Figur 5 einen Längsschnitt durch ein Halteelement, bei dem das gewellte Band sägezahnförmig ausgestaltet ist,

Figur 6 in Aufsicht eine bifilar gewickelte Scheibenspule einer Strombegrenzereinrichtung.

25

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt ein allgemein mit 2 bezeichnetes Halteelement, bestehend aus einem nicht gewellten Flachband 11 und einem trapezförmig ausgestalteten gewellten Band 12. Das trapezförmig ausgestaltete, somit gewellte Band weist hierbei dem Flachband 11 nahe Bereiche 13 und dem Flachband 11 entfernte Bereiche 15 auf. Die dem Flachband nahen und fernen Bereiche (13 bzw. 15) sind durch Verbindungs- oder Übergangsstücke 14 miteinander verbunden. Als dem Flachband 11 nahe bzw. ferne Bereiche (13 bzw. 15) des gewellten Bandes 12, des in Figur 1 dargestellten Halteelementes 2, sind nicht nur die mit 13 bzw. 15 bezeichneten Flächen der Trapeze zu verstehen, son-

35

5 dern auch entsprechende an diese Flächen anschließende Teile der Verbindungselemente 14. Die dem Flachband 11 entfernten Teile 15 des gewellten Bandes 12 weisen in Längsrichtung des gewellten Bandes 12 Aussparungen 16 auf. Diese sind derart ausgestaltet, dass in ihnen ein supraleitender Bandleiter 17

10 In Bezug auf die Verwendung eines in Figur 1 dargestellten und allgemein mit 2 bezeichneten Halteelements in einer Spule einer supraleitenden Strombegrenzereinrichtung, ist die in Figur 1 mit B bezeichnete Richtung die axiale Richtung der Spule und die mit A bezeichnete Richtung eine tangentielle Richtung der Spule. Die Strombegrenzereinrichtung kann aus einer oder mehreren Spulen bestehen, die in axialer Richtung B hintereinander angeordnet sind. Die einzelnen Spulen einer solchen Strombegrenzereinrichtung können als einfach oder bevorzugt als bifilar gewickelte Spulen ausgeführt sein.

20 Das im Allgemeinen mit 2 bezeichnete Halteelement kann aus verschiedenen geeigneten Materialien gefertigt sein. Vorteilhaft können das Flachband 11 und das gewellte Band 12 aus demselben oder aus unterschiedlichem Material bestehen. Hierbei können beide Bauteile z.B. aus einem Kunststoff gefertigt sein. Der supraleitende Bandleiter 17 kann aus Gründen der mechanischen Stabilisierung mit dem gewellten Band 12 mechanisch verbunden werden. Vorteilhaft ist eine Verklebung des Bandleiters 17 im Bereich der Kontaktflächen mit dem gewellten Band 12 oder auch eine Verbindung mittels Löt- oder Schweißpunkten oder Nähten. Bei einer Ausgestaltung des Halteelementes 2 unter Verwendung zweier verschiedener Materialien kann das Flachband 11 auftretende mechanische Belastungen sowohl in die mit A wie auch in die mit B bezeichnete Richtung aufnehmen. Das gewählte Band 12 wirkt zusätzlich als elektrischer Isolator.

35

Weiterhin vorteilhaft ist die derartige Ausgestaltung des Halteelementes 2, dass dieses in axialer Richtung der Spule (in Figur 1 mit B bezeichnet) eine größere Ausdehnung als der

supraleitende Bandleiter 17 aufweist. Auf diese Weise wird die Strecke für einen möglichen elektrischen Überschlag von einer Spulenwindung zur nächsten, im Vergleich zu einem Halteelement 2, das in Richtung B die gleiche Breite wie der
5 supraleitende Bandleiter 17 aufweist, deutlich verlängert. Auf diese Weise sinkt die Gefahr für unerwünschte elektrische Überschläge zwischen den Windungen der Spule.

Eine exakte Positionierung der Aussparungen 16 in der Richtung B sorgt für eine exakte Positionierung des Bandleiters 17 in diese Richtung. Eine solche Positionierung des Bandleiters 17 erlaubt wiederum eine Minimierung der Induktivität der Spule. Wird die Spule als bifilare Spule ausgeführt, so ermöglicht eine solche exakte Positionierung eine verbesserte
15 Kompensation der magnetischen Induktivitäten zwischen den beiden Teilen der bifilaren Wicklung. Die Lorentzkräfte zwischen benachbarten Windungen können auf diese Weise, als Folge einer exakten Positionierbarkeit in der Richtung B, minimiert werden.

20 Figur 2 zeigt einen Längsschnitt durch das in Figur 1 gezeigte Halteelement 2. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel befindet sich der bandförmige Supraleiter 17, gehalten durch das gewellte Band 12, in einem im Wesentlichen konstanten Abstand
25 22 zum Flachband 11. Das gewellte Band 12 ist über Verbindungselemente 21 mit dem Flachband 11 verbunden. Vorteilhaft können die Verbindungselemente 21 als Stege, Schweißpunkte, Klebepunkte oder ähnliches ausgeführt sein.

30 Figur 3 zeigt einen Querschnitt durch das Halteelement 2 gemäß der in Figur 1 gezeigten bevorzugten Ausführungsform. Dargestellt sind sowohl das Flachband 11 wie auch das gewellte Band 12, welches eine Aussparung 16 aufweist. Das Flachband 11 und das gewellte Band 12 sind über die Verbindungselemente 21 miteinander verbunden. Die Ausführungsform der
35 Verbindungselemente 21 ist hierbei nicht auf eine punktuelle Verbindung von Flachband 11 und gewellten Band 12 beschränkt;

auch eine teilweise flächige Verbindung zwischen den Elementen 11 und 12 ist vorteilhaft realisierbar.

Figur 4 zeigt ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Halteelementes 41 einer supraleitenden Strombegrenze-
5 einrichtung, dargestellt in einem Längsschnitt. Das gewellte Band 42 ist gemäß diesem Ausführungsbeispiel sinusförmig aus-
gestaltet und weist in den dem Flachband 11 entfernten Teil-
bereichen 43 Aussparungen zur Aufnahme des supraleitenden
10 Bandleiters 17 auf.

Gemäß einem weiteren in Figur 5 dargestellten bevorzugten
Ausführungsbeispiel eines Halteelementes 51 kann das gewellte
Band 52 sägezahnförmig, insbesondere in der Form einer perio-
15 dischen Dreiecksstruktur ausgebildet sein. Gemäß diesem Aus-
führungsbeispiel verfügt das gewellte Band 52 in den dem
Flachband 11 entfernten Bereichen 53 Aussparungen zur Aufnah-
me des supraleitenden Bandleiters 17 auf.

20 Ebenfalls vorteilhaft realisierbar sind weitere geometrische
Ausgestaltungsformen des gewellten Bandes 12, 42, 52 welche
nicht explizit in den vorgenannten Figuren dargestellt sind,
sich aber z.B. aus einer Kombination der dargestellten Formen
ergeben.

25
Figur 6 zeigt den bifilaren Aufbau einer Scheibenspule 61 ge-
mäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der supraleitenden
Strombegrenzeereinrichtung. Dargestellt sind der bifilar gewi-
ckelte supraleitende Bandleiter 17 sowie ein zwischen den
30 Windungen angeordnetes Halteelement 2. Diese Halteelement 2
kann entsprechend einer der zuvor erwähnten Figuren ausge-
staltet sein.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann der supra-
35 leitende Bandleiter 17 mit der supraleitenden Schicht zur
Spulenninnenseite gewickelt sein, da z.B. oxidische Hochtempe-
ratur-Supraleiterschichten stärker auf Druck als auf Zug be-

lastbar sind. Der supraleitende Bandleiter 17 kann ferner wie folgt aufgebaut sein.

Auf einem metallischen Substratband kann zunächst eine so genannte Pufferschicht aufgebracht sein, auf welcher die
5 eigentlich supraleitende oxidische Hochtemperatur-Supraleiterschicht (z.B. YBCO) aufgebracht ist. Der Aufbau solcher für supraleitende Strombegrenzereinrichtungen geeigneten Bandleiter ist z.B. in DE 10 2004 048 646 A1 vorgeschlagen.
10 Der gesamte mechanische Aufbau der Windungen der Spule muss hinreichend mechanisch stabil sein, d.h. er muss bei der Montage handhabbar sein und muss die beim Sieden des Kühlmittels auftretenden Kräfte ohne weiteres aufnehmen können. Einfluss auf die bei einem Sieden des Kühlmittels auftretenden Kräfte
15 hat der von der Dimensionierung des Halteelementes 62 abhängige Abstand 63 der Leiterwicklungen 17 (vgl. Figur 6). In Bezug auf das in Figur 2 dargestellte Halteelement 2 wird dieser Abstand insbesondere durch den Abstand 22 des supraleitenden Bandleiters 17 zu dem Flachband 11, sowie der Gesamthöhe 23 des Halteelementes vorgegeben.
20

Patentansprüche

1. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung vom resistiven Typ mit mindestens einer Spule, deren Leiterbahn mit mindestens
5 einem bandförmigen Supraleiter (17) gebildet ist, wobei zwischen benachbarten Spulenwindungen ein Halteelement (2, 41, 51, 62) angeordnet ist, welches in axialer Richtung der Spule breiter als der Supraleiter (17) ausgebildet ist und welches aus einem Flachband (11) und einem gewellten Band (12, 42,
10 52) besteht, wobei
- a. sich das Flachband (11) parallel zu dem bandförmigen Supraleiter (17) unter im wesentlichen konstantem Abstand erstreckt, und
 - 15 b. das gewellte Band (12, 42, 52) sich im Wesentlichen parallel zu dem Flachband (11) erstreckt, wobei das gewellte Band (12, 42, 52) in seiner Längsrichtung periodisch von dem Flachband entfernte (15, 43, 53) und dem Flachband nahe (13) Bereiche aufweist, wobei
 - 20 b1. die dem Flachband nahen Bereiche (13) des gewellten Bandes (12, 42, 52) eine mechanische Verbindung (21) mit dem Flachband (11) aufweisen, und
 - b2. die dem Flachband fernen Bereiche (15, 43, 53) des gewellten Bandes solche Aussparungen (16) aufweisen, dass
25 eine zumindest näherungsweise passgenaue, gegenüber dem Flachband (11) beabstandete Aufnahme des bandförmigen Supraleiters (17) ermöglicht ist.
2. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß Anspruch 1,
30 dadurch gekennzeichnet, dass für die Spule (61) eine bifilare Wicklung des Supraleiters (17) vorgesehen ist.
3. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der
vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Material für das Flachband (11) und/oder das gewellte Band (12,
35 42, 52) ein elektrischer Isolator vorgesehen ist.

4. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Isolator ein Kunststoff ist.
- 5 5. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das gewellte Band (12, 42, 52) im Wesentlichen trapezförmig, sägezahnförmig oder sinusförmig ausgebildet ist.
- 10 6. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als supraleitendes Material des bandförmigen Supraleiters (17) ein HTS-Material oder ein LTS-Material vorgesehen ist.
- 15 7. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der bandförmige Supraleiter (17) durch eine auf eine Puffer oder Zwischenschicht, welche selbst auf ein normalleitendes metallisches Substratband aufgebracht ist, aufgebrachte Schicht von oxidischem Supraleitermaterial vom Typ $AB_2Cu_3O_x$ gebildet ist, wobei A mindestens ein seltenes Erdmetall einschließlich Yttrium und B mindestens ein Erdalkalimetall ist.
- 20
8. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Spule (61) der bandförmige Supraleiter (17) mit seiner Substratseite nach außen angeordnet ist.
- 25
9. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der bandförmige Supraleiter (17) und das Halteelement (2, 41, 51, 62) mittels eines Kunstharzes unter Freihaltung von Kühlmittelwegen miteinander verklebt sind.
- 30
- 35 10. Supraleitende Strombegrenzereinrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Halteelement (2, 41, 51, 62) derart ausgestaltet ist, dass der

gegenseitige Abstand (63) zwischen den Spulenwindungen mindestens 1 mm beträgt.

FIG 1

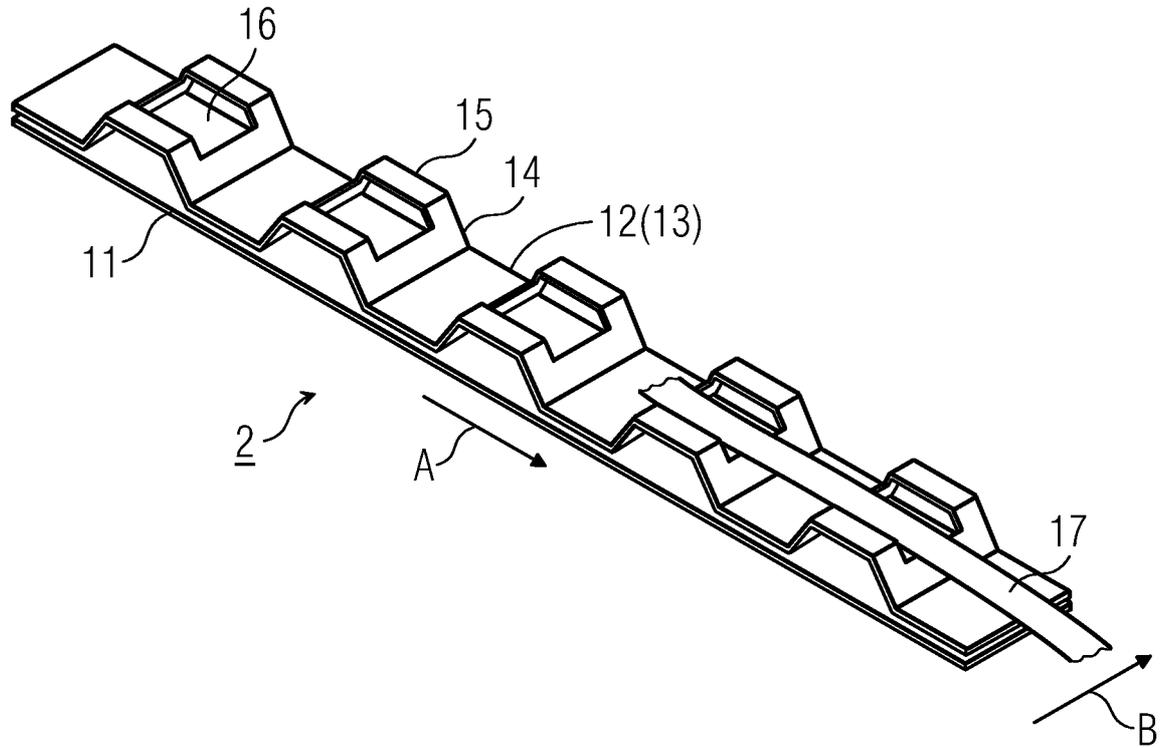


FIG 2

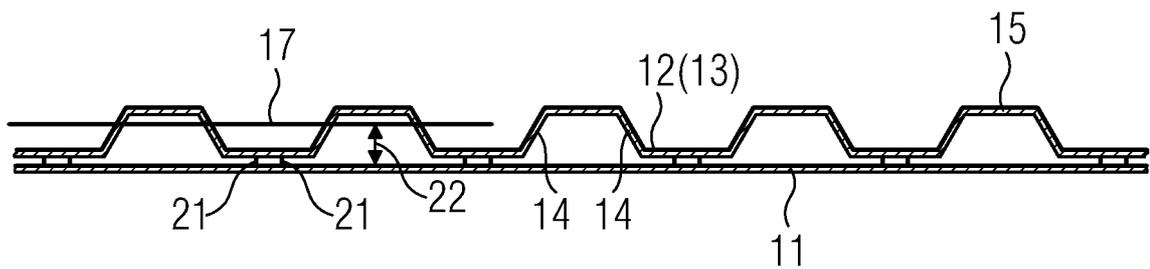


FIG 3

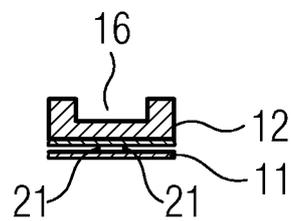


FIG 4

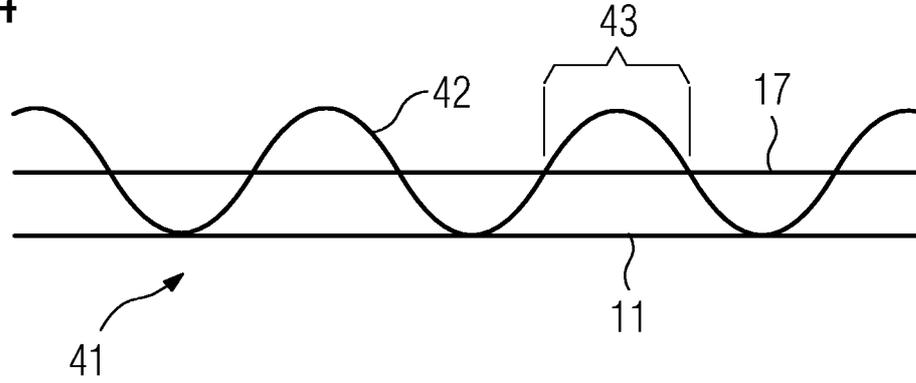


FIG 5

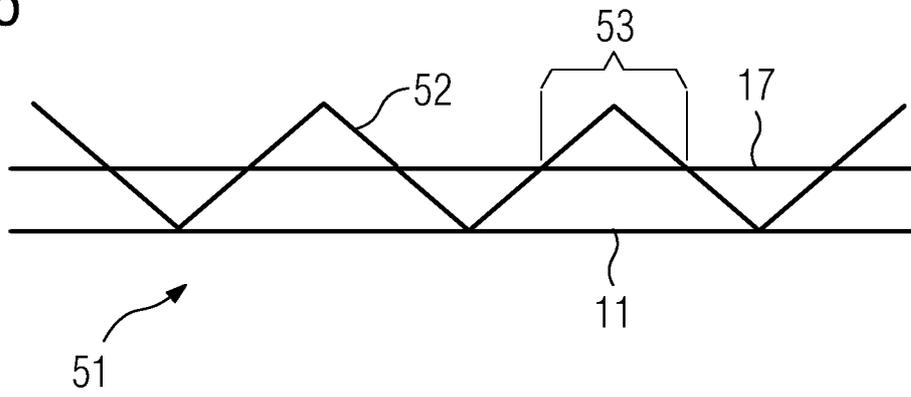
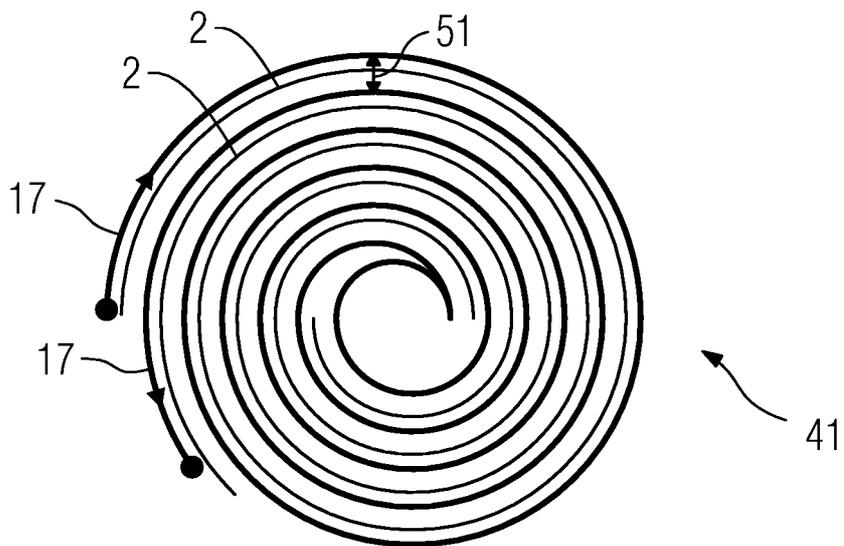


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/056217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L39/16 H02H9/02

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)
H01L H02H

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.
A	WO 2006/037741 A (SIEMENS AG [DE]; KRAEMER HANS-PETER [DE]; SCHMIDT WOLFGANG [DE]) 13 April 2006 (2006-04-13) page 7, line 25 - page 9, line 16 figures 1,2	1
A	WO 2004/006345 A (SIEMENS AG [DE]; KRUEGER URSUS [DE]; VOLKMAR RALF-REINER [DE]) 15 January 2004 (2004-01-15) page 2, line 26 - page 6, line 26 figure 1	1
A	EP 0 503 448 A (ABB PATENT GMBH [DE]) 16 September 1992 (1992-09-16) column 2, line 38 - column 4, line 53 figure 1	1

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 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

2 October 2007

Date of mailing of the international search report

15/10/2007

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Steiner, Markus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/056217

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006037741 A	13-04-2006	DE 102004048646 A1 EP 1797599 A1	06-04-2006 20-06-2007
WO 2004006345 A	15-01-2004	DE 10230618 A1	29-01-2004
EP 0503448 A	16-09-1992	DE 4107686 A1	10-09-1992

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/056217

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L39/16 H02H9/02		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L H02H		
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.
A	WO 2006/037741 A (SIEMENS AG [DE]; KRAEMER HANS-PETER [DE]; SCHMIDT WOLFGANG [DE]) 13. April 2006 (2006-04-13) Seite 7, Zeile 25 - Seite 9, Zeile 16 Abbildungen 1,2	1
A	WO 2004/006345 A (SIEMENS AG [DE]; KRUEGER URSUS [DE]; VOLKMAR RALF-REINER [DE]) 15. Januar 2004 (2004-01-15) Seite 2, Zeile 26 - Seite 6, Zeile 26 Abbildung 1	1
A	EP 0 503 448 A (ABB PATENT GMBH [DE]) 16. September 1992 (1992-09-16) Spalte 2, Zeile 38 - Spalte 4, Zeile 53 Abbildung 1	1
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 2. Oktober 2007		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 15/10/2007
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 Steiner, Markus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/056217

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2006037741 A	13-04-2006	DE 102004048646 A1 EP 1797599 A1	06-04-2006 20-06-2007
WO 2004006345 A	15-01-2004	DE 10230618 A1	29-01-2004
EP 0503448 A	16-09-1992	DE 4107686 A1	10-09-1992