



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 294 724**

(51) Int. Cl.:
H01L 39/16 (2006.01)
H02H 9/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **05760044 .7**
(86) Fecha de presentación : **13.06.2005**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1759426**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **07.03.2007**

(54) Título: **Instalación limitadora de corriente con elemento de conmutación supraconductor.**

(30) Prioridad: **24.06.2004 DE 10 2004 031 908**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2008

(73) Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

(72) Inventor/es: **Krüger, Ursus y**
Volkmar, Ralf-Reiner

(74) Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Instalación limitadora de corriente con elemento de conmutación supraconductor.

5 La invención se refiere a una instalación limitadora de corriente eléctrica con un elemento de conmutación supraconductor dispuesto con un criostato.

Se conoce, por ejemplo, a partir del documento DE 102 30 084 A1 una instalación limitadora de corriente del tipo mencionado al principio. Esta instalación limitadora de corriente es accionada con una red eléctrica. La corriente es
 10 conducida a través del elemento de conmutación supraconductor, que presenta, a la temperatura de funcionamiento mantenida a través de refrigeración continua, una resistencia eléctrica reducida en una medida insignificante. Si se produce un fallo de la red (por ejemplo, un cortocircuito), entonces la corriente de cortocircuito inadmisiblemente alta provoca en el elemento de conmutación supraconductor un comportamiento que se designa como superconducción. El alto flujo de corriente genera en el supraconductor una inducción, que eleva en primer lugar en una medida insignificante su resistencia eléctrica. De esta manera, el supraconductor pasa a la llamada zona de flujo de fluido, en la
 15 que el material supraconductor se encuentra en la fase Shubnikov. Este comportamiento se describe, por ejemplo, en W. Buckel, Supraleitung: Grundlagen und Anwendungen, Weinheim 1990. De acuerdo con ello, en la fase Shubnikov se configura en el material supraconductor al mismo tiempo zonas conductoras normales y zonas supraconductoras, que se forman a través de mangueras de flujo conductoras normales, migradoras, en el supraconductor. La elevación de la resistencia implicada con ello del elemento de conmutación supraconductor conduce a un calentamiento del supraconductor. Éste se puede acelerar todavía cuando, como es habitual generalmente, se aplica un conductor de conmutación como capa sobre el supraconductor, que asume una parte de la corriente de cortocircuito durante la entrada del supraconductor en la zona de flujo de fluido y genera calor adicional en virtud de su resistencia esencialmente más alta. El calentamiento del elemento de conmutación conduce en muy corto espacio de tiempo a que se exceda una
 20 temperatura crítica, por encima de la cual el supraconductor es normalmente conductor, es decir, que condicionado por la temperatura abandona la zona de flujo de fluido y en virtud de su resistencia ahora óhmica, que se eleva de forma repentina, limita la corriente de cortocircuito a una corriente residual de cortocircuito.

Para evitar un daño del elemento de conmutación supraconductor en el caso de limitación de la corriente, debe
 30 descargarse de nuevo el elemento de conmutación lo más tarde 50 ms después de la reacción, lo que se lleva a cabo, por ejemplo, por medio de un elemento de desviación eléctrica, que provoca la limitación de la corriente en virtud de su resistencia. El elemento de conmutación supraconductor se separa de la red y solamente se puede emplear de nuevo cuando se ha refrigerado a la temperatura de funcionamiento original.

Se conoce a partir del documento DE 102 30 618 A1 una estructura para un limitador de corriente supraconductor, que se consigue por medio de una estructura en forma de banda del supraconductor. El supraconductor en forma de banda está dispuesto en forma de espiral en el medio de refrigeración, de tal manera que entre los arrollamientos en espiral, el medio de refrigeración puede alcanzar la superficie del supraconductor. De esta manera se puede acortar el tiempo de refrigeración después de un caso de limitación de la corriente, de manera que la instalación limitadora de
 40 la corriente se puede emplear de nuevo de una manera relativamente rápida. No obstante, en virtud del principio de funcionamiento descrito se requiere una refrigeración antes de una nueva aplicación del limitador de corriente.

Se conoce a partir de H. Shimizu y col., IEEE Trans. Appl. Supercond. 13 (2003), 2052-5, una instalación limitadora de la corriente con un elemento supraconductor, estando el elemento de conmutación en la fase de Shubnikov cuando se alcanza la corriente residual de cortocircuito requerida.
 45

El cometido de la invención consiste en indicar una instalación limitadora de la corriente eléctrica con un elemento de conmutación supraconductor, que está disponible en el caso de limitación de la corriente de una manera ilimitada para la limitación de la corriente y está preparado de nuevo de forma inmediata después de un caso de limitación de la corriente.
 50

Este cometido se soluciona de acuerdo con la invención porque el elemento de conmutación está dimensionado de tal forma que, en el caso de limitación de la corriente, se encuentra en la fase de Shubnikov cuando se alcanza la corriente de cortocircuito requerida de la instalación limitadora de la corriente. Por lo tanto, de acuerdo con la invención, debe diseñarse el elemento de conmutación supraconductor de tal forma que la elevación de la resistencia eléctrica, solamente en una medida insignificante en comparación con la superconducción del supraconductor, en funcionamiento en la zona de flujo de fluido (es decir, presencia del supraconductor en la fase de Shubnikov) es suficiente para llevar a cabo una limitación de la corriente de cortocircuito a la corriente residual de cortocircuito. Esto se consigue porque el elemento de conmutación supraconductor presenta una longitud del conductor suficiente para alcanzar la resistencia necesaria para la corriente residual de cortocircuito requerida ya cuando se encuentra en la fase de Shubnikov a una temperatura que presenta una distancia de seguridad suficiente de la temperatura crítica (transición al estado conductor normal). El elemento de conmutación supraconductor se puede realizar especialmente como conductor de cinta, puesto que de esta manera se puede fabricar la longitud requerida del conductor con un coste favorable.
 65

Durante el funcionamiento del elemento de conmutación supraconductor en la zona de flujo de fluido se calienta el elemento de conmutación supraconductor, a diferencia de la superconducción, solamente en un valor absoluto relativamente reducido de algunos Kelvin. Por lo tanto, el calor resultante se puede disipar de una manera fiable a través

del criostato previsto para la refrigeración del elemento de conmutación, lo que se favorece adicionalmente porque el conductor de cinta pone a disposición una superficie comparativamente grande para la transmisión de calor. Por lo tanto, es posible garantizar a través de un dimensionado adecuado de la instalación de limitación de la corriente en el caso de limitación de la corriente un equilibrio térmico entre el calor generado por la corriente residual de cortocircuito y el calor disipado a través del medio de refrigeración, de manera que se acciona el elemento de conmutación supraconductor en un estado estable. De esta manera, el elemento de conmutación supraconductor puede limitar también la corriente durante un periodo de tiempo más largo, sin que sea necesaria su descarga, por ejemplo a través de un elemento de derivación. Además, adicionalmente de una manera ventajosa la refrigeración de retorno se puede realizar en algunos Kelvin en el tiempo más corto posible, de manera que el elemento de conmutación supraconductor está preparado de nuevo para el funcionamiento de forma inmediata después de un caso de limitación de la corriente.

De acuerdo con una configuración de la invención, está previsto que la potencia de refrigeración del criostato esté dimensionada de tal forma que el elemento de conmutación se puede mantener en una zona de temperatura durante todo el tiempo de limitación de la corriente, en la que éste se encuentra en la fase de Shubnikov. De esta manera se puede realizar con la instalación limitadora de la corriente un régimen de funcionamiento, en el que el elemento de conmutación supraconductor está siempre en la red y de esta manera está disponible de una forma ilimitada. Esto significa de una manera ventajosa una ganancia de seguridad, porque, por ejemplo, también los errores de la red que aparecen unos detrás de otros en una secuencia de tiempo corta pueden activar, respectivamente, un caso de limitación de la corriente en la instalación limitadora de la corriente. Otra ventaja reside en que el elemento de conmutación supraconductor puede conmutar de una manera totalmente reversible, en el funcionamiento durante el caso de limitación de la corriente en la zona de flujo de fluido entre la fase supraconductora y la fase de Shubnikov, estando excluido un daño del material supraconductor.

De acuerdo con una variante de la invención, está previsto que el elemento de conmutación esté provisto con una capa de aislamiento térmico. De esta manera, se puede influir directamente de una manera ventajosa sobre la transmisión de calor entre el elemento de conmutación supraconductor y el medio de refrigeración del criostato, de modo que es posible un diseño adecuado de la instalación limitadora de la corriente con respecto a la configuración del equilibrio térmico en el caso de limitación de la corriente. En efecto, un aislamiento térmico del elemento de conmutación supraconductor provoca que se retarde una cesión de calor al medio de refrigeración del criostato, de manera que el elemento de conmutación supraconductor se calienta más fuertemente, con lo que se eleva también la resistencia. Evidentemente, a pesar del aislamiento térmico, no se puede realizar un calentamiento hasta la temperatura crítica.

De acuerdo con otra variante de la invención, el elemento de conmutación lleva un conductor de conmutación, que se extiende paralelo al elemento de conmutación. El conductor de conmutación y el elemento de conmutación pueden formar, por ejemplo, un compuesto de capas, en el que las capas del elemento de conmutación y del conductor de conmutación se suceden entre sí, es decir, que están conectadas íntimamente entre sí. El conductor de conmutación incrementa de una manera ventajosa la seguridad contra una superconducción local del elemento de conmutación y absorbe, además, en el caso de limitación de la corriente, una cierta porción de la corriente residual de cortocircuito, que depende de la relación de las resistencias eléctricas del elemento de conmutación, que se forma en la fase de Shubnikov y del conductor de conmutación.

Es ventajoso que el conductor de conmutación esté formado de un metal o de una aleación de metal con susceptibilidad magnética positiva. De esta manera se eleva la inducción magnética (B) en el compuesto de capas que está formado por el elemento de conmutación y el conductor de conmutación, tan pronto como el conductor de conmutación es atravesado por el campo magnético. Éste es el caso, por ejemplo cuando el conductor de conmutación está implicado en el caso de limitación de la corriente en la conducción de la corriente.

Además, es ventajoso que el elemento de conmutación se extienda en forma de espiral en el criostato. De esta manera, se puede alojar de una forma ventajosa la longitud necesaria del elemento de conmutación de una manera economizadora de espacio, dejando el desarrollo en forma de espiral espacio suficiente al medio de refrigeración del criostato entre espiras adyacentes respectivas para garantizar una transmisión de calor directa desde el elemento de conmutación hacia el medio de refrigeración.

De acuerdo con una variante adicional de la invención, se puede prever que en circuito en paralelo al elemento de conmutación esté dispuesto un elemento de desviación. Éste está dimensionado en su resistencia eléctrica de tal forma que una parte determinada de la corriente de cortocircuito fluye sobre el elemento de desviación, con lo que se descargan el elemento de conmutación y eventualmente en conductor de conmutación.

Es ventajoso que el elemento de desviación se encuentre fuera del criostato. De esta manera, una parte del calor generado a través del proceso de limitación de la corriente aparece en el elemento de desviación y, por lo tanto, fuera del criostato, de manera que su capacidad de refrigeración es suficiente en cualquier caso para el elemento de conmutación supraconductor. A diferencia de las instalaciones limitadoras de corriente conocida, en cambio, se acciona el elemento de derivación durante todo el caso de limitación de la corriente en paralelo al elemento de conmutación, es decir, que el elemento de conmutación permanece en la red.

Otros detalles de la invención se describen a continuación con la ayuda del dibujo. En este caso:

ES 2 294 724 T3

La figura 1 muestra la estructura muy esquemática de un ejemplo de realización de la instalación de limitación de la corriente de acuerdo con la invención.

La figura 2 muestra la sección transversal a través de un ejemplo de realización del elemento de conmutación supraconductor, y

La figura 3 muestra la resistencia y la intensidad del campo magnético de los componentes de un ejemplo de realización de la instalación limitadora de la corriente según la invención, en función de la temperatura.

Una instalación limitadora de la corriente 11 presenta dos elementos de conexión 12, con los que ésta se puede incorporar a la red eléctrica. La instalación limitadora de la corriente 11 está constituida esencialmente por un elemento de conmutación supraconductor 13 y por un elemento de derivación 14, que está dispuesto en paralelo al elemento de conmutación 13. El elemento de conmutación 13 está alojado en un criostato 15, que presenta una finalidad un depósito aislado 17 relleno con nitrógeno líquido como medio de refrigeración 16. Una cabeza de refrigeración 18 disipa el calor desde el depósito aislado. Además, en el depósito aislante 17 están previstas líneas de alimentación 19, que permiten un contacto eléctrico 11 del elemento de conmutación 13 con los elementos de conexión 12 que se encuentran fuera del depósito aislante 17.

El elemento de conmutación supraconductor 13 se representa en sección en la figura 2. Está constituido por un compuesto de capas, en el que una capa supraconductora 20 (por ejemplo YBCO) se fabrica sobre un conductor de conmutación 21 a través de estratificación.

Sobre la capa supraconductora 20 está aplicada, además, una capa de aislamiento térmico 22, por ejemplo de plástico. Entre la capa supraconductora 20 y la capa de conmutación 21 se pueden prever, además, para la fabricación de la capa supraconductora 20 unas capas importantes, por ejemplo una tapa tampón (no se representa en detalle).

A partir de la figura 3 se puede deducir en qué estados de fases se puede encontrar el elemento de conmutación supraconductor. La fase de Shubnikov 23, en la que se puede accionar el elemento de conmutación supraconductor en la zona de flujo de fluido, se representa de forma rayada. Respectivamente, a la izquierda de la misma se encuentra la fase supraconductora 24, en la que el elemento de conmutación presenta una resistencia eléctrica reducida insignificante; a la derecha de la misma se encuentra la zona conductora normal 25, en la que el elemento de conmutación se comporta como una resistencia óhmica. En la zona conductora normal 25 no debe accionarse el elemento de conmutación de acuerdo con la invención.

En el diagrama superior se muestra que la presencia de la fase de Shubnikov 23 depende tanto de la temperatura T como también de la intensidad de campo magnético H presente en el elemento de conmutación. Por encima de una intensidad de campo crítica H_C y de una temperatura crítica T_C , el supraconductor se encuentra siempre en la fase conductora normal 25. Por debajo de T_C y de H_C se aplica la relación en el sentido de que a medida que se incrementa la intensidad de campo magnético, se reduce la temperatura crítica $T_{C(H)}$ o bien a medida que se incrementa la temperatura se reduce de una manera correspondiente la intensidad crítica del campo magnético $H_{C(T)}$.

En el diagrama inferior se representa la curva de la resistencia de los componentes de la instalación limitadora de la corriente en función de la temperatura. El funcionamiento nominal de la instalación limitadora de la corriente se realiza en T_N , en la que a esta temperatura no está presente todavía precisamente todavía la fase de Shubnikov, de manera que se acciona el elemento de conmutación en la zona supraconductora. La resistencia eléctrica del elemento de conmutación es insignificamente baja, de manera que la corriente es conducida completamente a través del elemento de conmutación y el conductor de conmutación o bien el elemento de derivación están sin corriente con sus resistencias eléctricas elevadas en unos órdenes de magnitudes.

En el caso de limitación de la corriente (error de la red, como por ejemplo cortocircuito) se incrementa de forma repentina la corriente conducida, con lo que se genera una inducción en el supraconductor. De esta manera, el elemento de conmutación pasa al comienzo de la zona de flujo de fluido y experimenta una elevación repentina de la resistencia. De esta manera, una parte de la corriente de cortocircuito pasa a la derivación y especialmente también al conductor de conmutación, en el que sus valores de resistencia en T_B , la temperatura en el funcionamiento normal, deben ser suficientemente reducidos para que éstos asumen una parte considerable de la corriente de cortocircuito. A través de la corriente en el conductor de conmutación se incrementa también su inducción magnética, que eleva de nuevo la resistencia en el elemento de conmutación, pudiendo abandonarse, sin embargo, la zona de flujo de fluido (ver el gráfico superior).

En el proceso descrito, el elemento de conmutación se calienta, en el que la elevación de la temperatura está unida al mismo tiempo con una cesión intensificada de calor al medio de refrigeración del criostato. La potencia de refrigeración del criostato es suficiente para que se ajuste durante el caso de limitación de la corriente TS un estado estacionario, en el que el calor generado en el elemento de conmutación está en equilibrio con el calor disipado en el medio de refrigeración. De esta manera se impide un calentamiento del elemento de conmutación por encima de TS , de manera que se mantiene una distancia de seguridad suficiente con respecto a la temperatura crítica TC y se impide de una manera efectiva la superconducción del supraconductor implicada con ello.

Además, a partir del gráfico inferior de la figura 3 se puede deducir que la elevación de la resistencia del elemento de conmutación en la zona de flujo de fluido aparece esencialmente más reducida que la elevación de la resistencia conectada con la supraconducción del supraconductor. Además, el elemento de conmutación supraconductor de acuerdo con la invención debe preverse en una longitud correspondiente, que genera la resistencia requerida para la limitación de la corriente. Además, se puede reconocer que la elevación de la resistencia en la zona de flujo de fluido depende también de la densidad de la corriente J en el elemento de conmutación. Así, por ejemplo, la modificación de la resistencia a la densidad de la corriente en el funcionamiento normal J_N es menor que a la densidad de la corriente en el caso de limitación de la corriente J_S , que resulta de la corriente de cortocircuito requerida teniendo en cuenta las porciones de la corriente que se producen en el elemento de derivación (curva 27) y en el conductor de conmutación (curva 28). La distribución depende de la relación de las resistencias de los componentes de la instalación de limitación de la corriente a la temperatura en el caso de limitación de la corriente T_S , que se pueden leer directamente en el gráfico inferior de la figura 3. La resistencia del elemento de derivación (curva 27) no depende de la temperatura en el criostato, puesto que el elemento de derivación está dispuesto fuera del criostato. La resistencia del conductor de conmutación (curva 28) presenta una curva dependiente de la temperatura, típica para conductores normales, en la que para el conductor de conmutación se selecciona un material, que presenta, a T_S , una resistencia relativamente reducida, que se encuentra en la proximidad de la resistencia del elemento de conmutación en T_S . De esta manera se puede conseguir una reducción de la densidad de la corriente en el elemento de conmutación en el caso de limitación de la corriente.

REIVINDICACIONES

5 1. Instalación limitadora de la corriente eléctrica con un elemento de conmutación supraconductor (13), dispuesto en un criostato (15) con un medio de refrigeración (16), en la que el elemento de conmutación (13) está presente en el caso de limitación de la corriente, cuando se alcanza la corriente residual de cortocircuito requerida de la instalación limitadora de la corriente en la fase de Shubnikov, **caracterizada** porque el elemento de conmutación (13) está dimensionado de tal forma que se ajusta, en el caso de limitación de la corriente, un equilibrio entre el calor generados en el elemento de conmutación (13) a través de la corriente residual de cortocircuito y el calor disipado a través del medio de refrigeración (16).
10

15 2. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque la potencia de refrigeración del criostato está dimensionada de tal forma que el elemento de conmutación se puede mantener durante todo el caso de limitación de la corriente, en un intervalo de temperaturas, en el que éste está presente en la fase de Shubnikov.

3. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** porque el elemento de conmutación está provisto con una capa de aislamiento térmico (22).

20 4. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el elemento de conmutación (13) lleva un conductor de conmutación (21), que se extiende en paralelo al elemento de conmutación (13).

25 5. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el conductor de conmutación (21) está formado por un material o una aleación de metal con susceptibilidad magnética positiva.

30 6. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el elemento de conmutación (13) se extiende en forma de espiral en el criostato (15).

7. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque un elemento de derivación (14) está dispuesto en circuito paralelo al elemento de conmutación.

35 8. Instalación limitadora de la corriente de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada** porque el elemento de derivación (14) se encuentra fuera del criostato (15).

40

45

50

55

60

65

FIG 1

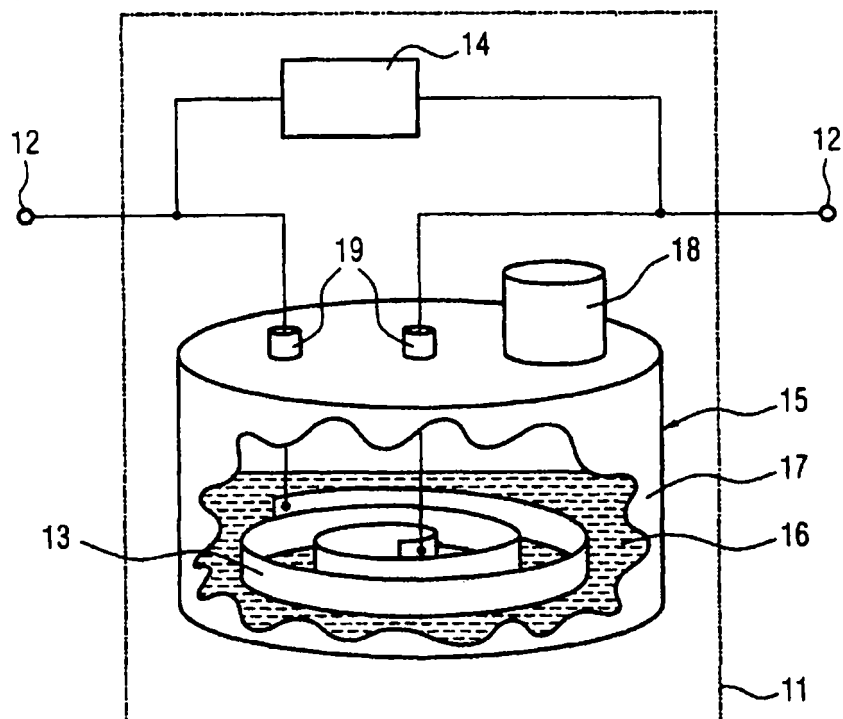


FIG 2

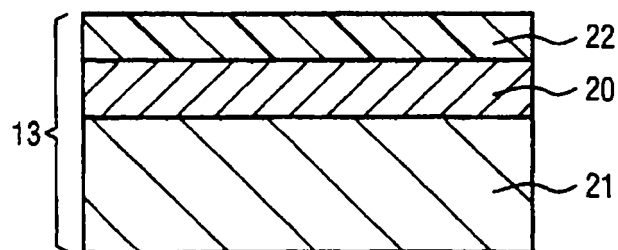


FIG 3

