



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 316 427**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01811059 .3**

96 Fecha de presentación : **31.10.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1309014**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.05.2003**

54 Título: **Limitador de corriente superconductor resistivo.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2009

73 Titular/es: **ABB Research Ltd.**
Affolternstrasse 52
8050 Zürich, CH

72 Inventor/es: **Chen, Makan;**
Paul, Willi;
Lakner, Martin y
Rhyner, Jakob

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 316 427 T3

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

Limitador de corriente superconductor resistivo.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al ámbito de la superconducción aplicada a alta temperatura. Se refiere a un limitador de corriente superconductor resistivo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 **Estado de la técnica**

Los superconductores de alta temperatura se usan, a modo de ejemplo, en limitadores de corriente de cortocircuito superconductores para redes de distribución o transmisión eléctricas. En un limitador de corriente de este tipo se aprovecha que un superconductor, con una temperatura de funcionamiento correspondientemente baja, solamente mantiene su superconductividad si la densidad de corriente de una corriente que lo atraviesa permanece por debajo de un determinado valor umbral denominado densidad de corriente crítica. Si se presenta, en la correspondiente red de suministro de corriente, un cortocircuito, la corriente aumenta en el limitador de corriente hasta una corriente de error que supera el valor crítico. Como consecuencia, el superconductor pasa al estado resistivo, es decir, la tensión aplicada en la sección correspondiente de la red de suministro de corriente cae al menos brevemente totalmente (en el caso de cortocircuito) o parcialmente en el superconductor.

En la Solicitud Publicada de Patente Alemana DE-A 197 46 976 se representa una disposición de superconductor de alta temperatura para el uso en un limitador de corriente. El dispositivo comprende una capa superconductora y una placa de acero configurada como derivación eléctrica, perforada, que forma una unión de conductor con la capa superconductora. El dispositivo superconductor se puede estabilizar mecánicamente y aislar eléctricamente de forma adicional por materias primas de unión reforzadas con fibra y se sumerge en un refrigerante líquido, por simplicidad, preferiblemente nitrógeno líquido (LN_2), que está aislado térmicamente del entorno por un recipiente denominado criostato.

En el documento DE-A 198 32 274 se representa un limitador de corriente resistivo con una estructura de circuitos impresos de material superconductor T_c alta sobre un cuerpo de soporte eléctricamente aislante. Las secciones de circuitos impresos rectas están unidas por secciones con forma de anillo circular, dobladas. Para las últimas se debe mantener una proporción de radios máxima de $r_a/r_i = 7$, donde r_i es el radio interno y r_a el externo de la sección. De este modo se evita que en los sitios de pliegue del circuito impreso con radios internos demasiados pequeños, la distribución de corriente y, por tanto, la carga térmica se conviertan en heterogéneas en el caso de limitación. Por el radio interno mínimo, la carga local heterogénea se disminuye hasta una medida tolerable. Sin embargo, al mismo tiempo empeora la utilización de la superficie, es decir, la cantidad porcentual de la superficie del cuerpo de soporte cubierta por la estructura de circuitos impresos, ya que con una anchura de circuitos impresos constante en los puntos de inversión entre secciones sucesivas, aproximadamente paralelas, rectas, los mismos tienen que mantener una separación mínima lateral determinada entre sí. El resumen del documento JP-A-05 251 757 muestra una película superconductora con forma de meandro, en el que por un ensanchamiento del circuito impreso en la zona de los recodos disminuye la densidad de corriente en la zona interna de los recodos. El resumen del documento JP-A-05 226 707 muestra cortes transversales de conductor de un circuito impreso superconductor, que no son rectangulares. La Patente US 6.344.956 muestra un limitador de corriente superconductor, en el que en la zona de los recodos, la superficie de corte transversal superconductora se ensancha y se suelda una resistencia de derivación.

Representación de la invención

Es objetivo de la presente invención disminuir en un limitador de corriente superconductor resistivo en el caso de limitación aumentos de densidad de corriente en un elemento de esquina entre dos secciones de circuito impreso rectas. Este objetivo se resuelve por un limitador de corriente superconductor resistivo con las características de la reivindicación 1. Es la base de la invención configurar la sección transversal conductora atravesada en el elemento de esquina en el caso de limitación por una corriente de error verticalmente con respecto al sentido de corriente principal en relación al corte transversal conductor correspondiente de las piezas conductoras rectas con respecto a la conductividad y/o geometría de forma diferente. El corte transversal conductor indicado comprende tanto el superconductor de temperatura alta de conducción normal en el caso de limitación como la derivación eléctrica. La modificación de este corte transversal conductor se realiza al menos de forma local y no tiene que ser uniforme sobre toda la zona de esquina.

Con propósitos comparativos, las dos secciones de circuito impreso rectas se unen de forma imaginaria siempre de manera diferenciable por una "unión canónica" con forma de arco circular. Esta última debe presentar un corte transversal conductor constante y, en la medida de lo posible, un radio interno mínimo y representa en determinado sentido la unión más próxima o más preferida de las dos secciones de circuito impreso rectas. Las partes de circuito impreso del propio elemento de esquina, que no se sitúan en la zona de solapamiento con esta unión canónica, contribuyen poco a la conducción de la corriente de error, solamente se considera la parte del circuito impreso limitada por el radio interno y externo de la unión canónica del elemento de esquina. Su corte transversal conductor que conduce corriente en el caso de limitación se desvía de acuerdo con la invención con respecto al de las secciones de circuito impreso rectas con respecto a la geometría y/o conductividad eléctrica, de tal forma, sin merma en la utilización de la

superficie, la corriente de error experimenta una modificación de sentido menos brusca. De acuerdo con una primera realización, la capa superconductora no se modifica en la zona de solapamiento, la modificación de acuerdo con la invención del corte transversal conductor se realiza solamente por la derivación. De este modo se evita que por un procesamiento mecánico, posterior a la configuración de la capa superconductora de la misma se generen grietas en el superconductor de alta temperatura. Ventajosamente, un punto central promediado en cuanto a la conductividad del corte transversal conductor modificado se sitúa más próximo en el canto externo de la unión canónica, de tal forma que, a su vez, el radio medio eficaz del elemento de esquina aumenta y, por tanto, la corriente de error experimenta una modificación de sentido menos brusca. Una influencia en el punto central promediado en cuanto a la conductividad se produce, a modo de ejemplo, porque la derivación se adelgaza o retira completamente en la zona del canto interno. También es posible aumentar el grosor de la derivación a lo largo del canto externo por aplicación de una capa de derivación adicional. Una alternativa adicional, sin influir en el punto central geométrico, se basa en una adición por aleación de contaminaciones a la derivación en la zona del canto interno, por lo que en ese lugar se aumenta su resistencia eléctrica. Se obtienen realizaciones ventajosas adicionales de las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de las figuras

A continuación se explica con más detalle la invención mediante ejemplos de realización junto con los dibujos. Se muestra

En la Figura 1, una unión con 90° (a) y 180° (b) de dos secciones rectas de circuito impreso en una vista en alzado y

En la Figura 2, un corte por la unión de acuerdo con la Figura 1b) a lo largo de la línea AA, con tres configuraciones de acuerdo con la invención de la derivación eléctrica.

Las referencias usadas en los dibujos se resumen en la lista de referencias. Básicamente, a las mismas partes se proporcionan las mismas referencias.

Modos de realizar la invención

Los limitadores de corriente resistivos basados en superconductores de alta temperatura se producen preferiblemente como módulos planos con un soporte o sustrato eléctricamente aislante y circuitos impresos aplicados sobre los mismos por ambos lados. Estos últimos comprenden una unión de conductor del superconductor de alta temperatura y una derivación eléctrica metálica de Ag y/o acero. Durante el funcionamiento nominal fluye una corriente nominal I_N por el superconductor. En el caso de limitación, es decir, cuando la corriente nominal ha aumentado por encima de la corriente crítica I_c del superconductor y se presenta en el superconductor una caída de tensión, la derivación asume una cantidad predominante de la corriente de error y, de este modo, descarga el superconductor. Para las siguientes consideraciones se parte del hecho de que el superconductor forma una primera capa y la derivación, una segunda capa aplicada sobre el superconductor.

Los circuitos impresos se configuran generalmente como meandros continuos o con forma de espiral rectangular y comprenden secciones rectas de circuitos impresos, que están unidas entre sí por esquinas o recodos de 90° o 180°. Mientras que por debajo de la temperatura crítica T_c , la no linealidad de la característica corriente-tensión sirve para que la corriente nominal se distribuya en cualquier momento y en todos los lugares aproximadamente de manera uniforme por el corte transversal conductor, en el caso de limitación, en las esquinas o los recodos mencionados se tiene que esperar una distribución heterogénea de corriente. Un aumento de la densidad de corriente en sitios expuestos tiene como consecuencia en ese lugar un calentamiento local intenso del circuito impreso, por el esfuerzo termomecánico se puede dañar el superconductor.

En la Figura 1 se muestran los extremos de dos secciones rectas de circuito impreso 10, 11 con la anchura de circuito impreso b, que incluyen entre sí un ángulo de 90° (Figura 1a) o 180° (Figura 1b) y que son atravesados por una corriente I en el sentido de flujo de corriente principal. Para la mejor comprensión de la invención, además, se dibuja la denominada unión canónica 12 entre las dos secciones rectas de circuitos impresos 10, 11 de forma sombreada. La misma forma una sección de circuito impreso hipotética, con forma perfecta de arco circular, con la anchura de circuito impreso b. En el caso de que los extremos afectados de las dos secciones rectas de circuito impreso 10, 11 no estén determinados de antemano, el radio canónico interno 13 de la unión canónica 12 se puede seleccionar lo menor posible.

La extensión de un elemento de esquina 15 en el plano de los circuitos impresos, es decir, la extensión lateral de la propia unión de las dos secciones rectas de circuitos impresos 10, 11, no se limita de ningún modo a la zona de la unión canónica 12. Sin embargo, la invención solamente considera la zona de solapamiento, que recorta la unión canónica 12 del elemento de esquina 15 y no considera el resto de las zonas, a modo de ejemplo, el semicírculo interno en la Figura 1b. De hecho, por motivos de técnica de fabricación, no es necesariamente deseable configurar la propia zona de esquina con forma de arco circular, de tal forma que las demás zonas no se retiran y todavía prestan servicios valiosos, al menos como disipadores de calor.

De acuerdo con una primera realización, la propia zona de esquina 15 está configurada de tal forma que un radio interno eficaz 16 de la unión de conductor es mayor en la zona de solapamiento que el radio interno 13 de la unión

canónica 12. En la vista en alzado en la Figura 1b), este radio interno eficaz 16 se representa de forma exagerada, ya que la anchura de circuito impreso remanente en la zona de solapamiento debe comprender de forma local generalmente todavía al menos el 90% de la anchura de circuito impreso b. Sin embargo, si la disminución de la anchura de circuito impreso comprende más del 10%, es adecuado aumentar el grosor de la capa superconductora para evitar una merma significativa en la intensidad de corriente nominal I_N . Ventajosamente, en la transición entre las secciones rectilíneas de circuitos impresos 10, 11 y el elemento de esquina 15, los cantos internos están ligeramente redondeados de forma correspondiente.

El aumento del radio interno en la zona de esquina se realiza de forma adecuada al mismo tiempo que la configuración de la estructura de circuitos impresos, es decir, del meandro. De una capa continua de un superconductor preparado terminado se retira el material sobrante mediante corte con chorro de agua o láser. Alternativamente se generan las estructuras deseadas por técnicas de recubrimiento adecuadas durante la aplicación o depósito de capas superconductoras delgadas sobre un sustrato o cuerpo de soporte.

La Figura 2 muestra un corte transversal que no está a escala a lo largo de la línea AA del elemento de esquina 15 de la Figura 1b. Sobre una capa superconductora 20 se aplica una capa de derivación 21, donde el cuerpo de soporte que soporta las dos capas no está representado. La parte del elemento de esquina 15, que no entra dentro de la zona de solapamiento con la unión canónica 12, se representa con una raya discontinua. La superficie indicada con Q1, rodeada con un trazo de rayas y puntos, se corresponde al corte transversal conductor Q1 que conduce corriente en el caso de limitación de las secciones rectas de circuito impreso. De forma general, los cortes transversales conductores que se han mencionado siempre están orientados verticalmente con respecto al sentido de flujo de corriente principal, es decir, transversalmente en las secciones conductoras rectas 10, 11 y radialmente en la unión canónica 12, es decir, en el plano de corte de la Figura 2.

En esta realización, el camino central de la corriente de error en el caso de limitación solamente se aumenta por una modificación correspondiente de la derivación en la zona de esquina. Las configuraciones alternativas correspondientes de la derivación 21 se representan en la Figura 2 con líneas continuas por encima del corte transversal conductor Q1 que conduce corriente en el caso de limitación. El superconductor 20 es idéntico para todos los casos indicados y es igual al del corte transversal conductor Q1 no modificado. En la versión superior, la derivación 21a se realiza más delgada en el interior que en el exterior, donde la disminución del grosor de la capa de derivación puede llegar hasta una retirada completa del material de derivación. En la versión central se aplica una segunda capa de derivación 22 con un mayor radio interno sobre la primera derivación 21b. La tercera versión se caracteriza por una zona de aleación 23 con una resistencia específica mayor a lo largo del canto interno de la derivación 21c. Por las tres medidas que se han mencionado, el radio mínimo eficaz del elemento de esquina 15 aumenta, dependiendo de la geometría de circuito impreso, hasta un factor 2 con respecto al radio interno canónico 13. Como consecuencia de la ausencia de la no linealidad que se ha mencionado de la característica corriente-tensión en el caso de limitación, este radio mínimo eficaz del elemento de esquina 15 también es más o menos idéntico con un radio medio eficaz en la zona de esquina.

La segunda capa de derivación 22 se aplica sobre la primera capa de derivación 21b mediante proyección a la llama, depósito electroquímico (Ag plating), aplicación por vaporización o soldadura. Alternativamente se proporciona la primera por retirada selectiva de una lámina de metal necesaria en el proceso de producción. Particularmente, una segunda derivación 22 de este tipo también se puede colocar sobre el otro lado del superconductor 20. Los grosores de capa típicos para las segundas capas de derivación de plata o cobre comprenden $100\text{ }\mu\text{m}$. De este modo se disminuye por un lado la resistencia eléctrica en la zona de recodo externa, de tal forma que se tiene que esperar en ese lugar un calor Joule menor, por otro lado, se mejora la conducción de este calor a un depósito de frío o a otras zonas de la disposición.

Particularmente en el caso de material superconductor de alta temperatura $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ procesado por fusión, en los casos que se han indicado anteriormente, la derivación 21a, b, c se estructura en primer lugar ventajosamente y a continuación se une con el superconductor procesado terminado. Esto último tiene lugar con adhesión o soldadura sin esfuerzo mecánico para el superconductor. Las anchuras de circuito impreso típicas b comprenden 20 mm, la separación lateral ($= 2 \cdot r_i$) de dos secciones rectas de circuito impreso paralelas de un meandro continuo comprende menos de 3 mm.

Las consideraciones indicadas no solamente se aplican para BSCCO, procesado por fusión, sino también para estructuras de capas YBCO epitácticas e incluso para hilos. Realmente, de hecho, también son posibles otras geometrías, a modo de ejemplo, el superconductor puede estar rodeado por todos los lados por la derivación o descomponerse en filamentos individuales, incluidos en la derivación. Además, el problema del aumento de la densidad de corriente, aunque en menor medida, también se presenta con modificaciones de sentido aleatoriamente pequeñas entre dos secciones rectas de circuitos impresos sucesivos, de tal forma que las soluciones propuestas en este documento no se limitan de ningún modo a recodos de 90° o 180° .

Lista de referencias

- 10 primera sección recta de circuito impreso
- 11 segunda sección recta de circuito impreso

ES 2 316 427 T3

	12	unión canónica
	13	radio interno canónico
5	14	radio externo canónico
	15	elemento de esquina
	16	ro interno eficaz
10	20	capa superconductora
	21	capa de derivación
15	22	segunda capa de derivación
	23	zona de aleación
	b	anchura de circuito impreso
20	Q1	primer corte transversal conductor
	Q2	segundo corte transversal conductor
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		

REIVINDICACIONES

5 1. Limitador de corriente superconductor resistivo con un circuito impreso aplicado sobre un soporte de un com-
puesto conductor que comprende un superconductor de alta temperatura y una derivación eléctrica, donde el circuito
impreso comprende dos secciones rectilíneas de circuito impreso (10, 11) con la anchura de circuito impreso b y un
elemento de esquina (15) dispuesto entre las dos secciones rectilíneas de circuito impreso (10, 11), las dos secciones
rectilíneas de circuito impreso (10, 11) presentan un primer corte transversal conductor transversal Q1, el elemento
de esquina (15) comprende una sección de anillo circular (12) con una capa superconductora (20) no modificada en
10 cuanto al grosor con respecto a las secciones rectilíneas de circuito impreso (10, 11) con la anchura b, que une las dos
secciones rectilíneas de circuito impreso (10, 11),

caracterizado porque la sección de anillo circular (12) presenta localmente un segundo corte transversal conductor
radial, que es diferente del primer corte transversal conductor Q1 con respecto a geometría y/o conductividad.

15 2. Limitador de corriente de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque un punto central promediado
en conductividad del segundo corte transversal conductor se sitúa localmente más próximo en un radio externo (14)
que en un radio interno (13) de la sección de anillo circular (12).

20 3. Limitador de corriente de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque la derivación (21) se configura
más delgada a lo largo del radio interno (13) que a lo largo del radio externo (14).

4. Limitador de corriente de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque sobre la derivación (21) se
aplica a lo largo del radio externo (14) una segunda capa de derivación (22).

25 5. Limitador de corriente de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque la derivación (21) se añade por
aleación a lo largo del radio interno (13).

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1a

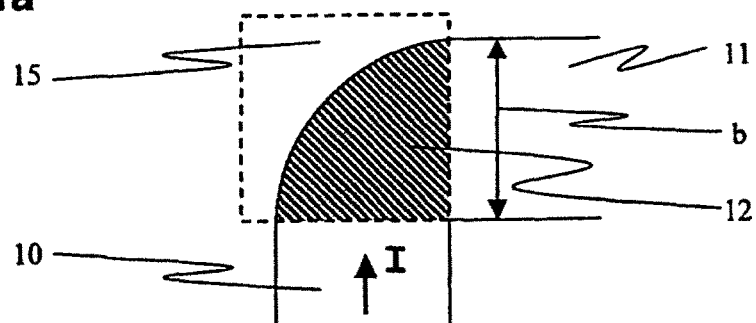


Fig. 1b

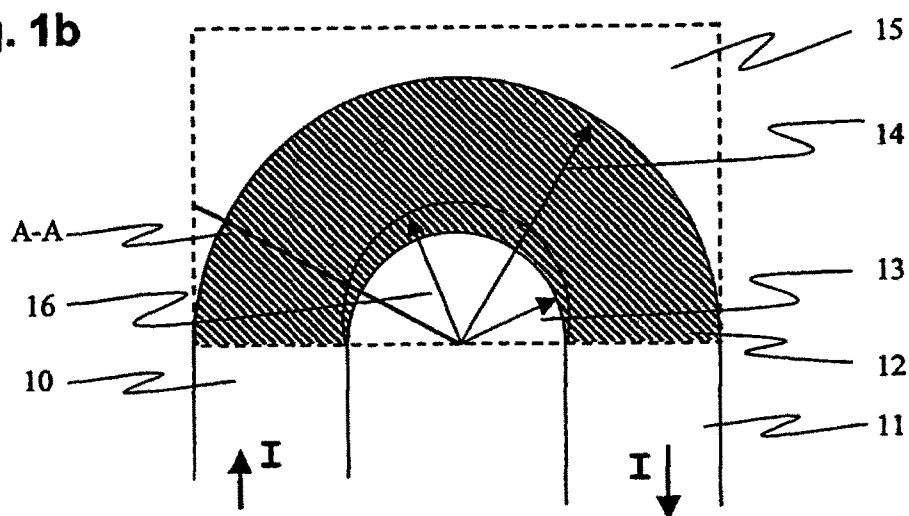


Fig. 2

