



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 168 969**

⑫ Número de solicitud: 200001697

⑮ Int. Cl.⁷: H02H 9/02

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **07.07.2000**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.06.2002**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
16.06.2002

⑰ Solicitante/s:
**Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Serrano, 117
28006 Madrid, ES
Centro Invet. Energ. Medioambientales y
Tec. (CIEMAT)**

⑱ Inventor/es: **Granados García, Xavier;
Obradors Berenguer, Francisco Xavier;
Puig Molina, María Teresa y
García-Tabares Rodríguez, Luis**

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Limitador de corriente inductivo con secundario híbrido de metal normal y superconductor de alta temperatura como interruptor controlado por corriente.**

㉓ Resumen:

Limitador de corriente inductivo con secundario híbrido de metal normal y superconductor de alta temperatura como interruptor controlado por corriente. Dispositivo de conmutación basado en un superconductor de alta temperatura crítica que actúa como interruptor activado por corriente y que utiliza la transición entre los estados superconductor y normal de un óxido superconductor de alta temperatura. En él se utilizan barras superconductoras de YBCO texturado conectadas a sendos terminales metálicos mediante soldadura sobre el área lateral de la barra, sobre la que previamente se ha depositado plata. Los terminales conectan con la superficie cilíndrica de la barra de forma que la distribución de corriente eléctrica se optimiza, permitiendo un área efectiva de contacto superior. El conjunto queda estabilizado mecánicamente mediante el uso de un soporte de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio. El dispositivo se conecta al exterior mediante terminales que pueden ser sujetos mediante tornillos a los conductores habituales.

ES 2 168 969 A1

DESCRIPCION

Limitador de corriente inductivo con secundario híbrido de metal normal y superconductor de alta temperatura como interruptor controlado por corriente.

Objeto de la invención

La invención que se presenta se enmarca en el campo técnico de los dispositivos de protección de las redes eléctricas, tanto de transporte como de distribución o en los mismos centros de consumo, complementando los sistemas convencionales utilizados en Ingeniería Eléctrica.

La utilización de superconductores al objeto de apantallar electromagnéticamente una autoinducción que se coloca en serie en el circuito a proteger mediante un circuito secundario cerrado por un elemento superconductor, de acuerdo con la topología de un transformador clásico, ha sido recientemente propuesta para su estudio y desarrollo y a ello se han dedicado numerosos grupos. Un dispositivo que actúa de esta forma es conocido como limitador inductivo. La función básica de limitación se debe a la transición desde el estado superconductor al estado disipativo de un material superconductor del que está confeccionado todo el secundario del dispositivo limitador. La transición se produce cuando la intensidad de la corriente que transporta excede un determinado umbral, habitualmente conocido como corriente de disparo, característico del elemento superconductor con que se trabaje, de la temperatura a la cual está y del entorno magnético en que se encuentre. Este aumento brusco de resistencia es el que da lugar a la limitación de corriente cerca el valor de disparo.

La utilización de un superconductor en circuito cerrado como secundario de un transformador tiene el efecto de no permitir que pase flujo magnético a través del área encerrada por el circuito superconductor por lo que si éste envuelve al primario, la autoinducción de éste se atenúa al quedar bloqueado el flujo magnético.

El efecto de apantallamiento de flujo magnético desaparece en el momento que el superconductor, por excederse el valor crítico de la corriente, disipa energía. En ese momento la impedancia del primario crece limitando la corriente que puede circular por el circuito a proteger cuando el primario se intercala en el circuito.

De hecho, el dispositivo actúa de forma similar a la de un transformador cuyo secundario pudiera estar o bien en cortocircuito o bien en circuito abierto.

La invención a la que se refiere la presente Solicitud de Patente consiste en utilizar un secundario híbrido metal-superconductor en el que el elemento superconductor actúa solamente como elemento conmutador en el que la transición del régimen no disipativo al régimen disipativo se realiza por superarse la corriente crítica. La efectividad del conjunto se mantiene, a pesar de no tener resistencia nula, siempre que el valor mínimo de la autoinducción remanente en el primario sea comparable a la inductancia de las fugas de flujo existentes en cualquier circuito magnético y siempre que las pérdidas que se ocasionen por efecto de calentamiento sean comparables a las

que ocasione la conductividad térmica del aislamiento térmico en el secundario que debe estar frío para que el material superconductor pueda alcanzar ese estado. De hecho, el límite inferior de la resistencia del secundario viene determinado por la resistencia de los contactos entre material superconductor y el metal que cierra el circuito puesto que, en los metales utilizados habitualmente como conductores, la resistividad disminuye extraordinariamente con la temperatura. La utilización conjunta de un metal y un superconductor como secundario permite la adopción de geometrías óptimas incluso en el caso de utilizar superconductores cerámicos en los que es muy difícil adoptar formas en las que las inductancias de fugas estén minimizadas.

En el dispositivo a que se refiere esta Solicitud de Patente se solicita la protección de las siguientes invenciones:

La soldadura lateral entre los elementos superconductores y el metal de los anillos de forma que el drenaje de corriente no esté limitado por la concentración de corriente en el extremo del elemento superconductor.

El uso de uno o más secundarios híbridos metal-superconductor.

La disposición separada en cámaras independientes y aisladas térmicamente del circuito primario, que se conecta directamente a la red, y del circuito o los circuitos secundarios híbridos refrigerados.

El sistema de sujeción del núcleo magnético y el primario mediante aros que permiten el paso de refrigerante para la evacuación del calor que se genera en ellos.

El sistema de suspensión de los conjuntos en el baño de nitrógeno a través de los tubos de aislamiento y transferencia de refrigerante.

La utilización de una resistencia en paralelo con el sistema limitador, llamada shunt, que permite ajustar el valor de la impedancia del limitador cuando éste actúa.

La utilización de una resistencia en paralelo con el sistema limitador, o shunt, que permite la descarga del circuito magnético cuando las protecciones convencionales de la línea abren el circuito.

Antecedentes

El hecho de que los materiales superconductores puedan transitar con rapidez al estado disipativo normal en el que desarrollan resistencia eléctrica simplemente por que la corriente eléctrica que por ellos circula supere un valor umbral o corriente de disparo (también llamada corriente de "quench" o de avalancha térmica) ha supuesto que una de las primeras aplicaciones sugeridas haya sido su uso como limitador de corriente. Muchas han sido las propuestas entre las que cabe destacar el limitador desarrollado por Alstom en Francia o Tokyo Electric Power Co. (E. Thorier et al. "Towards the Superconducting Fault Current Limiter" IEEE Trans on Power Delivery, vol. 6, 2. 1991 y M. Nakade, ISTEJ journal Vol. 7 No. 1 1994) realizado con cable superconductor de baja temperatura (NbTi). Pese a la variedad de propuestas el conjunto puede ser clasificado en dos grandes categorías que responden a las denominaciones de limitadores inductivos y

limitadores resistivos (L. S. Fleishman, "Design considerations for an inductive High Tc Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Appl. Supercond., vol. 3, no 1, p 570, 1993.). En el primer caso la impedancia que limita la corriente es inductiva y en el segundo caso quien limita la corriente es una resistencia.

Los limitadores inductivos basan su funcionamiento en el uso de una bobina cuyo flujo magnético es apantallado por un superconductor, de forma que mientras el superconductor no transite al estado normal la impedancia de la bobina es muy pequeña. Las corrientes inducidas en el superconductor, que son las responsables del apantallamiento del flujo (M. Ichikawa, "A Magnetic Shielding Type Superconducting Fault Current Limiter using Bi2212 Thick Film Cylinder" IEEE Appl. Supercond., vol. 5, n° 2, p. 1067, 1995), pueden llegar a exceder el valor crítico a partir del cual comienza la disipación en el superconductor llegando incluso a inducir una transición al estado normal del material ("quenching").

En este punto el material deja de apantallar el flujo magnético de la bobina y esta adquiere una autoinducción que puede limitar la corriente de cortocircuito en una línea eléctrica.

Los limitadores resistivos son simplemente un superconductor en serie en la línea eléctrica. Si la corriente que circula es inferior a la corriente crítica, la línea no nota la presencia del limitador puesto que su resistencia es nula pero cuando se produce un cortocircuito la corriente supera el valor crítico y la resistencia generada en el superconductor, en serie en la línea, limita el valor de la corriente que circula durante el cortocircuito.

Debido a la potencia que se ha de disipar en el superconductor durante el proceso de limitación, ambos limitadores deberían actuar durante un lapso de tiempo corto, unos dos ciclos de red, justo el necesario para que puedan actuar los interruptores convencionales que protegen la línea.

La aparición de los superconductores de alta temperatura ha supuesto una enorme disminución de costos en la refrigeración de los sistemas basados en superconductores no solo por el mantenimiento sino también por que la dificultad tecnológica es menor. Con ello, las perspectivas de uso de los dispositivos basados en superconductores han crecido.

Los limitadores de corriente basados en superconductores de alta temperatura crítica han seguido la ruta trazada por la experiencia previa, se han realizado numerosos prototipos de baja potencia (P.Tixador, "Experimental results on an hybrid superconducting current limiter", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol 5, no 2, p, 1055, 1995. J. Acero et al. "Current Limiter Based on Melt Preprocessed YBCO Bulk Superconductors", IEEE Trans. Appl. Supercond. vol 5, no 2, p. 1071 1995) y algunos con potencias que permiten su aplicación, entre ellos cabe destacar el limitador resistivo desarrollado por Siemens (B.Gromoll et al, "Resistive Cuffent Limiters with YBCO Films", IEEE Trans. Appl. Supercond. vol 7, no 2, p. 1051, 1997) y el limitador inductivo desarrollado por ABB (W.Paul et al "Test of 100kW High Tc Superconducting Fault Current

Limiter", IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol 5, no 2, p. 1059, 1995).

Descripción de la invención

Esta invención consiste en un dispositivo que permite intercalar en una línea de conexión eléctrica una impedancia en serie cuando por la línea de conexión circula una corriente cuya intensidad supera cierto valor, definido por el diseño. De esta forma, el dispositivo limita, la máxima corriente que ha de circular por la línea en caso de falta.

El limitador, tal como se muestra en las figuras 5 y 6, está constituido por un circuito primario que consiste en una bobina de cobre, devanada sobre un núcleo tal y como se describirá más adelante. Este circuito primario se conecta a la red intercalándolo en la línea que se debe proteger. Este circuito primario se aísla térmicamente del recinto donde se ubicará el devanado secundario, refrigerado con nitrógeno líquido, mediante las capas de aislamiento que se describirán. Entorno al conjunto, en el espacio donde se ubicará el nitrógeno líquido refrigerante, se disponen anillos formando espiras dispuestas de forma toroidal, que pueden estar unidas si ello facilita la construcción en dispositivos de mayor tamaño y que están cortocircuitadas por los elementos superconductores y que constituyen los elementos activos. Estos anillos actúan como el secundario de un transformador en cortocircuito, apantallando el flujo magnético que circula por el circuito primario disminuyendo con ello la impedancia. Como ya ha sido descrito, un aumento de corriente por encima del umbral que se haya establecido de acuerdo con el diseño, supone la transición o "quench" de los elementos superconductores permitiendo con ello que aumente bruscamente la impedancia del primario. Para la descarga del sistema, si se corta la corriente de la línea mediante los interruptores de protección convencionales, y para ajustar el valor de la impedancia adecuada para la línea a proteger, el sistema se instala en paralelo con una resistencia o "shunt". Su diseño dependerá de la potencia que haya de disipar en el momento que actúe el limitador y de la impedancia que sea adecuada para la protección de la red.

Tal y como se detalla a continuación, circuito primario y el núcleo, que trabajan a temperatura ambiental, se refrigeran haciendo circular gas o líquido adecuados para esta función. Pueden utilizarse aceite aislante, SF₆ o cualesquiera otros que tengan la rigidez dieléctrica adecuada.

El conjunto se introduce en una cuba térmicamente aislada, figura 6, en la que se practican los pasos adecuados para los terminales eléctricos y fluidos de refrigeración.

A continuación se detalla cada una de las partes: Elemento activo, circuito primario, capas de aislamiento y recinto del secundario, secundario y shunt externo.

Explicación de las figuras

Figura 1a.- Barra superconductora

Figura 1b.- Oblea superconductora cortada formando meandros

Figura 2.- Barra superconductora con depósitos metálicos para su soldadura

A - contactos metálicos

Figura 3.- contactos laterales

B - Soldadura entre el superconductor y el terminal de cobre

C - Terminal de cobre

Figura 4.- Barra superconductora sobre soporte

Figura 5.- Detalle del núcleo con el devanado primario v una arandela de centrado

Figura 6.- Sección transversal del conjunto

D - Superconductor

E - Nitrógeno Líquido

F - Anilla de cobre

G - Vacío de aislamiento

Figura 7. - Disposición del shunt externo

H - Línea

I - Limitador

J - Shunt

K - Interruptor convencional

Elemento activo

El elemento activo de este dispositivo consiste en uno o varios sectores de anillos de cobre cerrados por una barra superconductora soldada mediante el procedimiento anteriormente descrito. Dependiendo de la temperatura a la que se trabaje se puede utilizar superconductores de baja temperatura como NbSn o NbTi o superconductores cerámicos de alta temperatura como $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ o BSSCO o cualquier otro cuya corriente crítica sea suficientemente elevada como para constituir un bloqueo efectivo del flujo magnético que pueda atravesar la superficie que encierra el anillo. En el caso de utilizar materiales cerámicos superconductores de alta temperatura crítica, pueden ser utilizados estos en forma de barras, fibras o de otras formas como meandros obtenidos mediante corte a partir de obleas de cerámica o mediante cualquier procedimiento de obtención de capas sobre sustratos no activos. (Fig. 1a y 1b). En el caso que se utiliza como ejemplo, se ha utilizado una barra del superconductor conocido como YBaCuO , texturada mediante solidificación en gradiente térmico de acuerdo con el procedimiento descrito en la patente 9400854 de S. Piñol et al. "Procedimiento para la obtención de cerámicas Superconductoras Texturadas de $\text{TrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, donde Tr significa Tierra Para o Ytrio, mediante solidificación direccional. En ella se han depositado contactos metálicos sobre los que, mediante soldadura, se ha realizado la unión al anillo metálico que cierra el circuito (Fig. 2).

Los contactos metálicos se han depositado utilizando pastas conductoras de plata, existentes en el mercado, que permiten un pintado inicial de la barra previo al proceso de oxigenación que se requiere para la fabricación del superconductor. El tratamiento térmico a 920°C , en atmósfera de O_2 , seguido de un enfriamiento hasta 600°C en 6 horas y un enfriamiento posterior hasta 400°C en

4 días, permite obtener una capa de plata, bien adherida y con una resistencia específica inferior a $1\mu\Omega\text{cm}^2$ sobre la que es posible la soldadura con aleación de estaño plata (98 %-2 %) a los conductores de cobre (anillos) que cierran el circuito secundario. La utilización de otros materiales de aporte como aleaciones de indio-plata permiten reducir la resistencia específica del material entorno al superconductor.

Al objeto de optimizar la distribución de corriente en el contacto, la conexión al cobre ha sido realizada de forma que la inyección o drenaje de la corriente eléctrica se lleve a cabo lateralmente (Fig. 3) evitando con ello la saturación de corriente en el cuello del contacto.

Al objeto de dar rigidez al contacto y aliviar cualquier tensión mecánica que pudiera concentrarse en la barra generando fatigas o rotura de la misma, el conjunto ha sido colocado sobre una placa de plástico, de tipo epoxídico, reforzado con tejido de fibra de vidrio (Fig. 4). Puede utilizarse con este propósito cualquier material que tenga un coeficiente de dilatación compatible y que resista el enfriamiento sin fractura.

En el sistema son claves la disposición mecánica, la distribución de corriente y la soldadura entre el metal y el material superconductor. Con este último fin, se pueden utilizar aleaciones como metal de Woods, aleación SnPbAg, Sn-Ag para soldadura o aleación de InASg o cualquier otra aleación para soldadura a temperatura inferior a los 400°C en que finaliza el tratamiento térmico previo. La utilización de una u otra soldadura depende de la máxima temperatura que pueda resistir el material superconductor sin degradarse, la estabilidad mecánica en el enfriamiento y procurando la mejor conductividad eléctrica y térmica.

Circuito primario

El dispositivo cuya patente se solicita, que se muestra en las figuras anejas (Fig. 5 y 6), consta de un núcleo magnético (N) de forma toroidal confeccionado con chapa magnética, junto con un arrollamiento primario (P) que se conecta a través de los correspondientes terminales (Te_1 y Te_2) a la red. Los terminales y el devanado primario están preparados para resistir la tensión de la red ya que en caso de fallo el dispositivo soporta toda la caída de tensión de la red.

El conjunto queda encerrado en un contenedor C_1 de forma toroidal, que le recubre, confeccionado con resina epoxídica reforzada con fibra de vidrio, y centrado mediante las anillas de centrado (AC) que en número suficiente sujetan el conjunto al contenedor C_1 por la parte interior dejando espacio suficiente para la circulación del refrigerante a temperatura ambiente, la forma de estas anillas solo debe ser resultado de considerar la necesidad de permitir la circulación de refrigerante (aceite o cualquier líquido dieléctrico ordinario adecuado para esta función) y sostener de forma sólida y eficiente el núcleo y el devanado primario. El contenedor se sujeta mediante tubos (T_1 y T_2) por los que se pasan los conductores del primario hacia los terminales (Te) exteriores y el refrigerante. El conjunto así formado es el conjunto primario.

Capas de aislamiento y recinto del secundario

Un segundo toroide (C_2) que recubre al con-

junto primario deja un espacio de aislamiento en el que se practicará vacío, que conectado a través de tubos coaxiales (T_2) comunica con la parte exterior (C_3) del recipiente que contiene los secundarios de apantallamiento debidamente refrigerados por el nitrógeno líquido.

La cobertura externa (C_4) (Fig. 6) cubre el conjunto y cierra la cámara de vacío de aislamiento. En ella se fijan los terminales de conexión (TR) y el sistema exterior de intercambio de calor del circuito del refrigerante del primario. Válvula de seguridad y conexión al circuito de expansión del nitrógeno constituyen el circuito de refrigeración de baja temperatura del secundario híbrido.

Secundario

Los anillos híbridos del secundario se disponen abrazando las capas toroidales del aislamiento del primario (Figura 6). La corriente de cortocircuito que se genera en cada anillo bloquea el flujo magnético que podría circular por el núcleo.

Los anillos híbridos metal-superconductor que bloquean el flujo magnético del primario deben quedar colocados de forma que el nitrógeno líquido que actúe como refrigerante circule libremente, evitando la formación de puntos calientes donde la elevada corriente eléctrica que circula por los anillos pudiera generar un calentamiento excesivo y la destrucción del anillo o la atenuación del efecto de limitación. Para ello, los anillos se colocan según un plano vertical, con el dispositivo superconductor en la parte exterior o interior de forma que quede éste en posición vertical, siendo bañado por la corriente de convección que se crea en el baño de nitrógeno líquido.

Dependiendo de la intensidad de la corriente que debe circular por el secundario para apantallar suficientemente el flujo magnético que circula por el núcleo magnético se necesita un número adecuado de elementos superconductores. Este número es el resultado de dividir la corriente de apantallamiento por la corriente de disparo de los elementos superconductores. Esta corriente de disparo es la corriente que debe circular por el superconductor para que pase del régimen no disipativo (estado superconductor, sin resistencia eléctrica) a un régimen disipativo en el que la resistencia eléctrica desarrollada sea suficiente como para que las corrientes de cortocircuito no produzcan un apantallamiento eficaz del núcleo. El flujo magnético que circulará por el núcleo dará lugar, en el primario, a la inductancia precisa para el efecto de limitación. La transición del estado superconductor al estado no superconductor, debida a superar la corriente de disparo, es quien llevará el dispositivo de un régimen de baja impedancia a otro de mayor impedancia (régimen de limitación).

Por cada uno de los elementos superconductores que se requiera, se construye un sector de toroide o un anillo como se ha descrito anteriormente.

Todo el conjunto formado se coloca en un recinto debidamente aislado térmica y eléctricamente.

Shunt externo

Al objeto de disminuir la carga de potencia eléctrica sobre el dispositivo limitador éste

puede completarse con una resistencia en paralelo o shunt externo (Figura 7) encargado de soportar la disipación de energía que se produce durante el período de falta. Para ello basta con dimensionar la impedancia del limitador en régimen de limitación de forma que sea superior a la del shunt.

La necesidad de compatibilizar el limitador superconductor con los sistemas de protección ordinarios requiere que la inductancia del conjunto pueda ser descargada cuando actúen los interruptores. La utilización del shunt externo es, en ese caso, un mecanismo de descarga adecuado que limita la sobretenensión que se genera en el interruptor clásico.

Así, en el caso de que el interruptor clásico no pueda soportar la descarga de la autoinducción del limitador o que sea recomendable disminuir la carga sobre el limitador superconductor, éste debe dimensionarse para actuar en paralelo con una resistencia o shunt.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento se basa, como ya ha sido sugerido en los apartados anteriores, en el hecho de que un material superconductor puede generar pérdidas de energía si la corriente eléctrica que circula excede un valor conocido como corriente crítica. Si el calor generado en el superconductor es suficiente, la temperatura del mismo o de parte de él aumenta produciéndose la transición al estado normal o no superconductor. La resistencia que se genera en el superconductor en este proceso (R_{sc}) supone un importante incremento de la resistencia de todo el secundario y ello redundará en una impedancia en el primario que puede tener carácter inductivo o resistivo dependiendo del diseño del transformador, que es, en esencia, el limitador, y que se adecuará a las circunstancias de la red en la que deba intercarse. La división del limitador en un primario y un secundario, de acuerdo con la disposición de un transformador, permite adaptar la variación de impedancia que se produce en el superconductor a la variación de impedancia requerida para una limitación eficaz de la corriente máxima que debe circular por la línea a proteger incluso en caso de falta. Así, el limitador puede situarse en tres estados.

Estado de no limitación en el que el secundario mantiene el dispositivo conmutador en régimen superconductor. La disipación en los anillos secundarios ha de mantenerse en límites tolerables por lo que se debe tener en cuenta en el diseño del diámetro efectivo de cobre y en la máxima resistencia de los contactos con el material superconductor.

Régimen de transición en el que la disipación de energía en el dispositivo superconductor es suficiente como para inducir la transición al estado resistivo (no superconductor) en todo o en parte del material. Esta transición es irreversible y transcurre en un tiempo aproximado de 1 ms.

Régimen de limitación en el que el secundario ha adquirido suficiente resistencia como para desbloquear el flujo magnético del primario. El dispositivo ofrece una impedancia adecuada en la línea de manera que la corriente quede limitada. Si el dispositivo trabaja junto con un shunt, la energía que se debe disipar se distribuye entre los

dos dispositivos de manera que la potencia que debe disipar el dispositivo en régimen de limitación queda reducida de forma sustancial puesto que la impedancia del dispositivo limitador puede ser ajustada por diseño de forma que su módulo sea mayor que la resistencia del shunt cayendo sobre este la carga de falta de la línea a proteger. El shunt no afecta a la transición irreversible del superconductor ya que la impedancia del limitador en el inicio de la transición es mucho menor que la del shunt y en este primer paso toda la energía se disipa en el superconductor que actúa como interruptor causando su transición irreversible también conocida como "quench". Un segundo efecto favorable del shunt es que actúa como vía de descarga de la energía magnética almacenada en el limitador en el momento que actúen los otros elementos convencionales de protección de la línea tales como interruptores.

La impedancia del limitador, en este último estado, puede ajustarse al valor requerido por las circunstancias de la red eligiendo el valor adecuado del shunt.

5 *Ensayo del prototipo*

Del prototipo realizado, se ha analizado el comportamiento en régimen nominal y en régimen de limitación habiéndose observado que con una corriente de 2 A eficaces transita al régimen de limitación en un tiempo inferior a 1 ms pasando a limitar la corriente a un valor de 0,6 A eficaces (figura 7).

El sistema ha sido probado reiteradamente sin observarse variación en su comportamiento.

Así mismo ha sido determinada la corriente circulante por el secundario obteniéndose la transición de la barra superconductora a 1200 A eficaces.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo limitador de corriente de acción rápida **caracterizado** por que consta de un transformador con núcleo, de baja fuga de flujo magnético, con un devanado primario que trabaja a temperatura ambiente o superior con la refrigeración adecuada que se intercala en serie en la línea por la que circula la corriente a limitar, y un secundario híbrido formado por uno o varios secundarios, refrigerados a la temperatura de trabajo del material superconductor, híbridos de material conductor convencional y material superconductor que cortocircuita el secundario, reservando al superconductor la función de conmutación y al transformador la adaptación de impedancias apropiada para ser incluido en el circuito cuya corriente se desea limitar. Los devanados primario y secundario están adecuadamente aislados térmicamente en cavidades independientes incluyendo los pasos de conexión del primario a la línea así como los pasos del refrigerante en la cavidad del primario y los sistemas de refrigeración y seguridad adecuados en la cavidad criogénica que aloja el secundario.

2. Dispositivo limitador de corriente de acción rápida tal y como se describe en la reivindicación 1 **caracterizado** por que el cuyo secundario o secundarios están cortocircuitados mediante uno o varios superconductores en paralelo formados por barras superconductoras de YBCO texturado conectadas a sendos terminales metálicos, que a su vez se conectan al o los secundarios mediante tornillos o cualquier otro sistema que permita su fácil reemplazo, mediante soldadura sobre el área lateral de la barra, sobre la que previamente se ha depositado plata. Los terminales conectan con la superficie cilíndrica de la barra de forma que la distribución de corriente eléctrica se optimiza permitiendo un área efectiva de contacto superior. El conjunto queda estabilizado mecánicamente mediante el uso de un soporte de resina epoxídica reforzada con fibra de vidrio o cualquier otro material aislante con coeficiente de dilatación similar al del material superconductor.

3. Dispositivo limitador de corriente según la reivindicación 1 **caracterizado** porque utiliza un

núcleo férreo toroidal sobre el que se devana un primario, que funciona a temperatura ambiental o superior, refrigerando el conjunto con aceite o cualquier otro líquido o gas que es inyectado y extraído por los tubos que llevan los terminales del primario hacia el exterior. El conjunto está soportado por discos de material aislante adecuadamente perforados para permitir el paso del aceite refrigerante y por una capa toroidal de fibra de vidrio.

El o los secundarios, en cada uno de los cuales actúa el dispositivo activo, formado por uno o varios elementos superconductores conectados mediante soldadura o mediante cualquier otro procedimiento, se halla en una segunda cavidad concéntrica que rodea al núcleo, al primario y a una cámara de aislamiento térmico. Esta cavidad está bañada en nitrógeno líquido o cualquier otro refrigerante capaz de mantener el conjunto a temperaturas adecuadas al superconductor elegido. La segunda cavidad queda aislada de la primera mediante un espacio vacío sujetándose el conjunto formado por el núcleo y el primario de la primera cavidad mediante los tubos por los que circula en aceite de refrigeración. Los anillos que configuran el o los secundarios se sujetan a la pared interior de la segunda cavidad. La segunda cavidad se cierra por una segunda doble capa formada de material aislante o de elevada resistividad eléctrica, mecánicamente resistente, separándose mediante un segundo espacio vacío que comunica con el primero mediante tubos coaxiales a los descritos anteriormente para la circulación del aceite y comunicación con el primario. La pared exterior es a su vez la carcasa exterior de todo el sistema.

4. Dispositivo limitador de corriente que utiliza una resistencia en paralelo (shunt) con el primario del sistema descrito en las reivindicaciones 1, 2 y 3 **caracterizado** por que limita la potencia absorbida por el superconductor durante la falta en la línea que protege y para permitir la descarga de la energía magnética almacenada en el sistema cuando actúen los circuitos habituales de protección de que disponga la línea que debe proteger el limitador al que se refiere esta solicitud de patente.

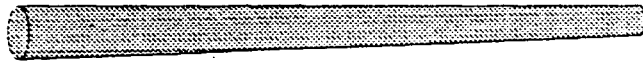


Fig. 1a



Fig. 1b

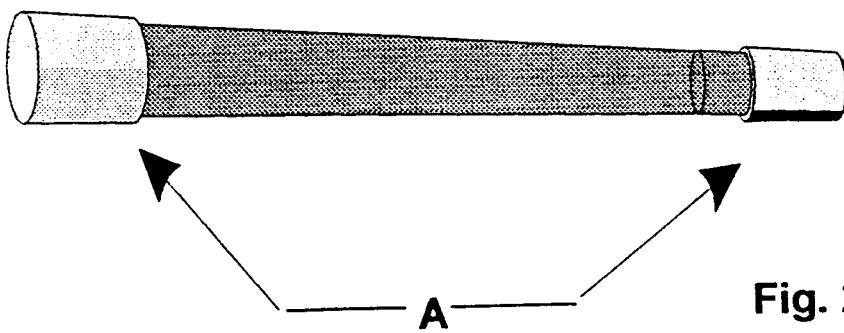
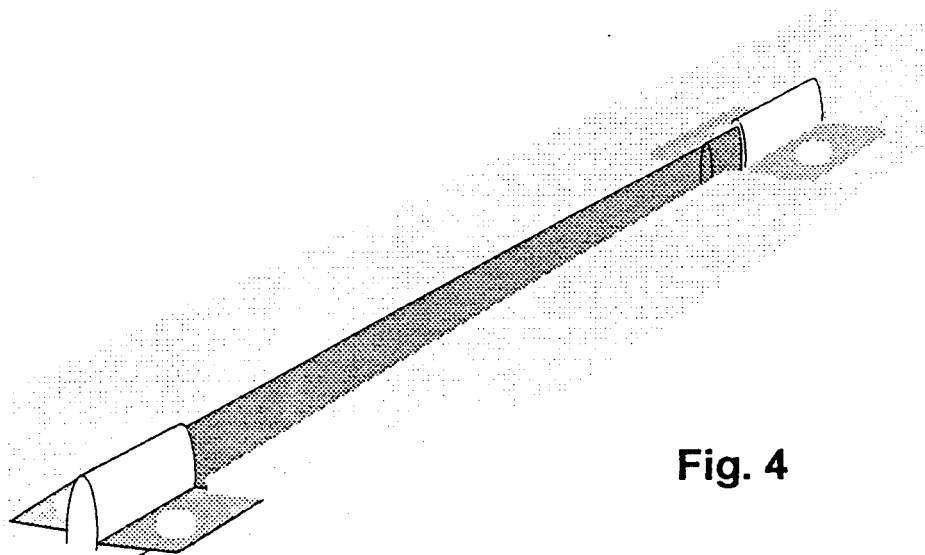
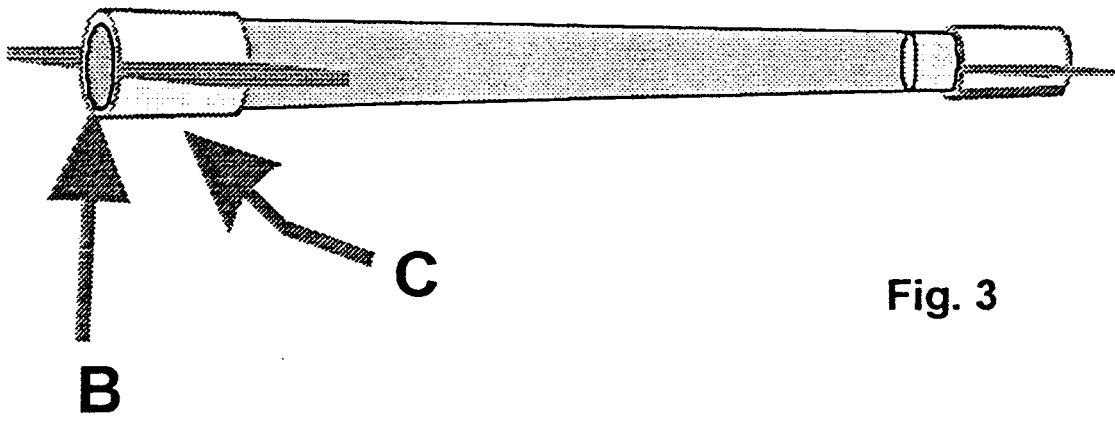


Fig. 2



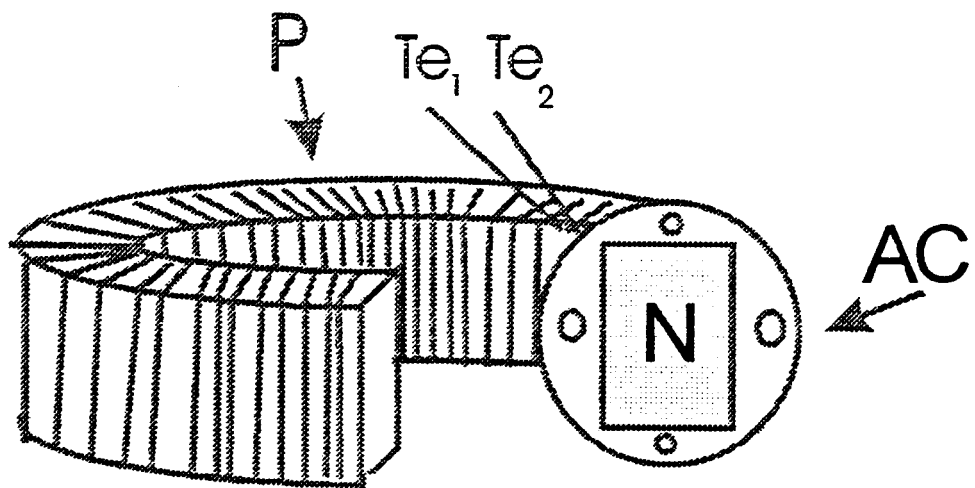


Fig. 5

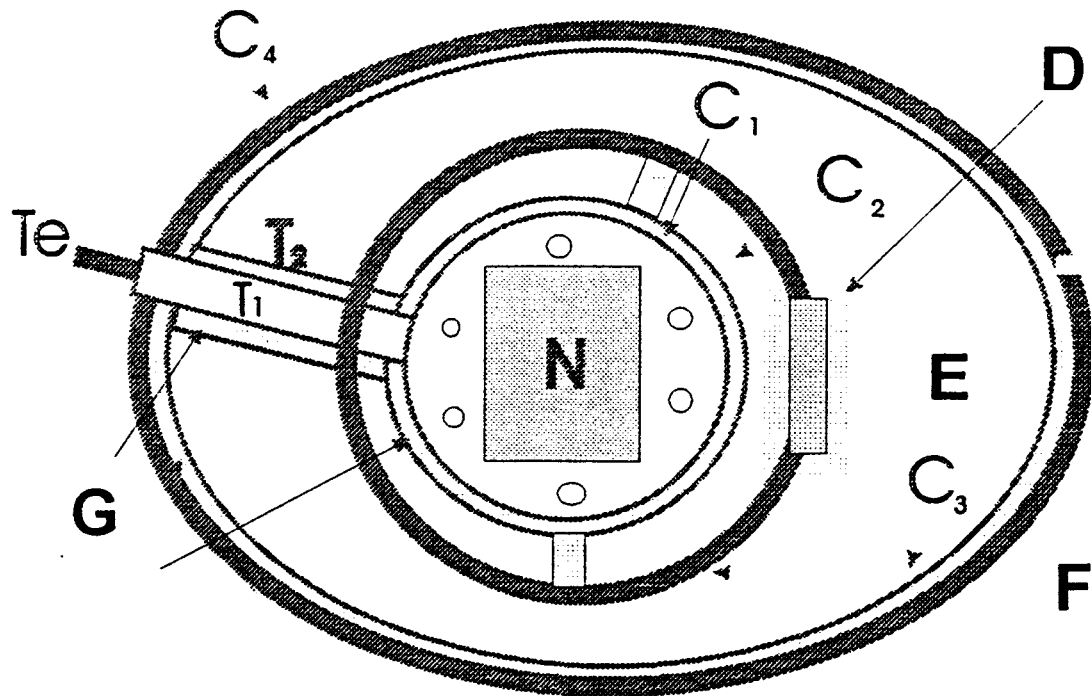


Fig. 6

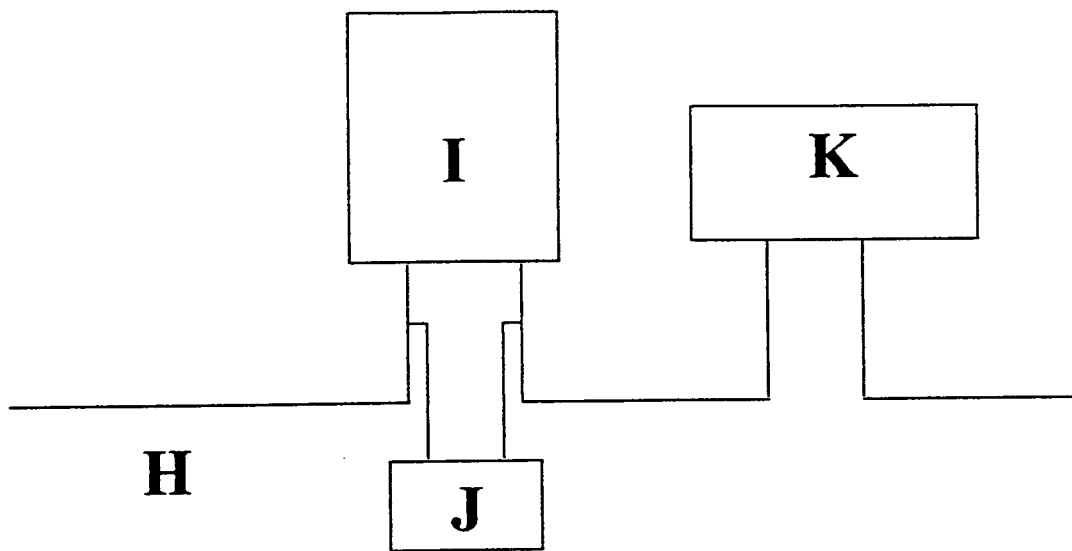


Fig. 7



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 168 969
⑫ N.º solicitud: 200001697
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 07.07.2000
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁷: H02H 9/02

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 9630990 A (OXFORD INSTRUMENTS PLC) 03.10.1996, página 1, línea 1 - página 5, línea 23; página 7, línea 19 - página 8, línea 9; figuras.	1-3
A	EP 866537 A (ROLLS-ROYCE POWER ENGINEERING PLC), columna 3, línea 7 - columna 5, línea 8; resumen; figura.	1-3
A	J. ACERO et al. "Current Limiter Based on Melt Processed YBCO Bulk Superconductors". IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 5, n° 2, Junio 1995, páginas 1071-1074. Todo el documento.	1-4
A	P. TIXADOR "Experimental result on an hybrid superconducting current Limiter". IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 5, n° 2, Junio 1995, páginas 1055-1058. Todo el documento.	1,3
A	B. CROMOLL et al. "Resistive Current Limiters with YBCO Films". IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 7, n° 2, Junio 1997, páginas 828-831. Todo el documento.	2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n°:

Fecha de realización del informe

24.05.2002

Examinador

A. Navarro Farell

Página

1/1