

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 083**

51 Int. Cl.:

H01L 39/24 (2006.01)

H01L 39/14 (2006.01)

H01L 39/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2012 PCT/US2012/025693**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12112923**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2012 E 12746871 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 2676279**

54 Título: **Método de fabricación de cables superconductores**

30 Prioridad:

18.02.2011 US 201161444673 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

21.04.2020

73 Titular/es:

**ADVANCED CONDUCTOR TECHNOLOGIES LLC
(100.0%)
3082 Sterling Circle, Unit B
Boulder, CO 80301, US**

72 Inventor/es:

VAN DER LAAN, DANIEL, CORNELIS

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 755 083 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

Método de fabricación de cables superconductores

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

Formas de realización de la presente invención se refiere a cables superconductores y, en formas de realización particulares, a cables superconductores que tiene uno o más conductores de cintas superconductoras enrollados alrededor de un formador generalmente flexible.

10

ANTECEDENTES

Se han realizado avances significativos en el desarrollo y uso de materiales superconductores durante la última década. Los materiales superconductores de alta temperatura se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones, que incluyen bobinas eléctricas superconductoras, cables superconductores y cintas superconductoras flexibles. Las cintas superconductoras pueden incluir una o más capas de material superconductor soportado sobre una superficie plana de un sustrato de cinta flexible.

15

A medida que se mejora la tecnología de materiales superconductores, se incrementan las aplicaciones útiles para tales materiales. Por ejemplo, tales materiales pueden emplearse para formar cables superconductores de transmisión de potencia, cables de imanes superconductores y otros dispositivos eléctricos superconductores.

20

Un método de fabricación de un cable superconductor de acuerdo con la parte de pre-caracterización de la reivindicación 1 se conoce a partir de la Solicitud de Patente Internacional publicada bajo el número de publicación WO 2010/042259 A1. Técnica anterior adicional relacionada con tales cables se conoce a partir de las solicitudes de patentes japonesas publicadas bajo los números de publicación JP 6-44834 A, JP 2008-124042 A y JP 2002-8459 A.

25

Un objeto de la invención es mejorar el método de fabricación de un cable superconductor de acuerdo con la parte de caracterización de la reivindicación 1, con tal que el cable sea flexible para montaje y posteriormente se pueda hacer más estable, de tal manera que resulta una estructura rígida de la forma deseada.

30

Éste y otros objetos se consiguen por las características en la parte de caracterización de la reivindicación 1. Otras formas de realización ventajosas se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

35

SUMARIO

Formas de realización de la presente invención se refieren a métodos de fabricación de un cable superconductor como se define por la reivindicación 1. Otras formas de realización se definen por las reivindicaciones dependientes.

40

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las anteriores y otras características y otras ventajas de la presente invención se comprenderán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada tomada en combinación con los dibujos que se acompañan, en los que:

45

La figura 1 es una vista parcial en sección de un cable superconductor fabricado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

La figura 2 es una vista de la sección transversal de un cable superconductor de conductores múltiples o de fases múltiples fabricado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

50

La figura 3 es una vista de la sección transversal de un cable superconductor de conductores múltiples o de fases múltiples fabricado también de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

La figura 4 es una vista de la sección transversal de un mazo de cables compuesto de una pluralidad de cables superconductores, fabricados de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

55

La figura 5 es una vista de la sección transversal de un cable superconductor de conductores múltiples o de fases múltiples fabricado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

60

Las figuras 6a-c son vistas de la sección transversal de cables individuales y de núcleos múltiples fabricados de acuerdo con formas de realización de la presente invención.

La figura 7 es una vista de la sección transversal de un cable que tiene una matriz de conducción normal.

La figura 8 es una vista de la sección transversal de un cable que tiene capas conductoras normales adicionales para protección contra sobrecorriente.

5 Las figuras 9a-c son vistas de la sección transversal de ejemplos de extremos de cintas empalmados fabricados de acuerdo con formas de realización de la presente invención.

Las figuras 10a-c son vistas de la sección transversal de ejemplos de extremos de cintas empalmados fabricados de acuerdo con otras formas de realización de la presente invención.

10 Las figuras 11a-b son ejemplos de terminales de cables.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

15 En lo que sigue, el término "forma de realización", cuando se utiliza con relación a un cable superconductor, significa la fabricación del cable superconductor de acuerdo con la invención como se define por la reivindicación 1. Un cable superconductor, como se muestra en la figura 1, se compone de uno o más conductores de cintas superconductoras 12 que están enrollados alrededor de un formador 14. Formas de realización de la invención se refieren a cables y procesos como se describen en el artículo titulado: "YBa₂Cu₃O_{7-δ} coated conductor cabling for low ac-loss and high-field magnet applications" por D C van der Lan, et al. (publicado en Superconductor Science and Technology, en 2009), el artículo titulado: "Compact GdBa₂Cu₃O_{7-δ} coated conductor cables for electrical power transmission and magnet applications" por D C van der Lan (publicado en Superconductor Science and Technology, en 2011), y el artículo titulado: "High-current dc power transmission in flexible RE-Ba₂Cu₃O_{7-δ} coated conductor cables" por D C van der Lan (publicado en Superconductor Science and Technology, en 2012).

25 En formas de realización ejemplares descritas aquí, un formador 14 de diámetro relativamente pequeño (por ejemplo inferior a aproximadamente 10 mm) permite fabricar el cable 10 relativamente compacto. Enrollando uno o más conductores de cintas superconductoras 12 con la capa superconductora en un estado compresivo axial, se puede prevenir un daño irreversible en el superconductor. Un formador flexible 14 permite fabricar el cable relativamente flexible.

30 De acuerdo con ello, en formas de realización particulares, el cable 10 está configurado para que sea flexible, a partir de un material flexible y/o una estructura flexible, para permitir que el cable se doble o flexione hasta una extensión predefinida sin que se dañe. En otras formas de realización, el cable 10 puede formarse para que sea rígido o relativamente rígido, lo que puede ser beneficioso para ciertos entornos de uso.

35 En formas de realización ejemplares, cada conductor de cinta 12 es un conductor de cinta superconductora, que incluye una o más capas superconductoras fabricadas de un material superconductor y/o de una configuración que proporciona superconductividad en el entorno operativo esperado del cable superconductor 10. Los conductores de cintas superconductoras 12 pueden componerse de cualquier cinta superconductora adecuada, que incluye, pero no está limitada a conductores de cintas de YBa₂Cu₃O_{7-δ} (YBCO), conductores de cintas de Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x (Bi-2223) conductores de cintas de GdBa₂Cu₃O_{7-δ} (GBCO), conductores de cintas de YBCO o conductores de cintas revestidas de GBCO fabricados por SuperPower Inc. (Schenectady, New York), u otro conductor de cinta superconductora adecuado. Cada conductor de cinta superconductora 12 está enrollado alrededor de un formador 14, en una forma helicoidal.

45 En formas de realización ejemplares, el formador 14 está enrollado también con uno u otros más conductores (o conductores de cintas) que no son superconductores (sino que son conductores eléctricos normales), además de uno o más conductores de cintas superconductoras 12. Una capa de aislamiento eléctrico puede preverse sobre los conductores de cintas y puede fabricarse se cualquier material aislante eléctrico adecuado, tal como, pero no limitado a polímeros aislantes eléctricos, cauchos, cerámicas, nylons o similares.

50 El formador 14 está compuesto de cualquier material adecuado y, en formas de realización particulares, está compuesto de un material flexible que permite que el cable 10 sea flexible, donde tal material flexible puede incluir, por ejemplo, pero no está limitado a cobre u otros metales, polímeros, cauchos, cerámica o similares. En formas de realización ejemplares, el formador tiene una forma hueca (tal como una forma de tubo hueco). En otras formas de realización, el formador tiene una forma trenzada sólida (tal como un alambre o cable trenzado). Todavía en formas de realización ejemplares, el formador puede tener una forma sólida a lo largo de una o más partes de su longitud y una forma hueca a lo largo de una u otras más partes de su longitud.

60 El formador puede estar configurado para tener cualquier forma y diámetro exterior adecuados. Por ejemplo, el formador puede tener una dimensión longitudinal con una forma de la sección transversal (tomada perpendicular a la dimensión longitudinal del formador) que es circular, ovalada, rectangular o de otros polígonos o curvas cerradas adecuados. Un cable que tiene una forma más rectangular comparada con la forma redonda puede ser favorable para algunas aplicaciones, por ejemplo para simplificar el enrollamiento de ciertos imanes y otros dispositivos.

5 En formas de realización ejemplares, los bordes o esquinas de una forma de la sección transversal poligonal de un formador puede estar redondeada. En un ejemplo, el radio mínimo del borde o esquina redondeados es inferior a aproximadamente cinco milímetros (5 mm). El diámetro exterior del formados puede ser de cualquier tamaño adecuado y, en formas de realización particulares, es inferior a aproximadamente diez milímetros (10 mm). En formas de realización ejemplares no-limitativas, el formador tiene un diámetro exterior que está en el rango desde aproximadamente 1 mm hasta aproximadamente 10 mm y, en formas de realización particulares, es aproximadamente 3,2 mm o aproximadamente 5,5 mm.

10 El (los) conductor(es) de cinta superconductora 12 están enrollados alrededor del formador 14 de una manera helicoidal, en una o más capas. En formas de realización ejemplares, algunos o todos los conductores de cintas superconductoras 12 están enrollados con tensión previa. En otras formas de realización, los conductores de cintas superconductoras 12 están enrollados sin tensión previa.

15 En formas de realización ejemplares, uno o más (o todos) los conductores de cintas superconductoras 12 enrollados alrededor del formador 14 están orientados con sus capas superconductoras sobre el lado interior de las vueltas del enrollamiento. De esta manera, el (los) conductor(es) de cintas superconductoras 12 pueden estar enrollados con sus capas superconductoras bajo compresión. En otras formas de realización, uno o más (o todos) los conductores de cintas superconductoras 12 enrollados alrededor del formador 14 están orientados con sus capas superconductoras sobre el lado exterior de las vueltas del enrollamiento. De esta manera, el (los) conductor(es) de cintas superconductoras 12 pueden estar enrollados con sus capas superconductoras bajo tensión. Todavía en otras formas de realización, el (los) conductor(es) de cintas superconductoras 12 pueden estar enrollados con sus capas superconductoras localizadas en una capa central de las cintas, de tal manera que las capas superconductoras son neutrales con respecto a estados de compresión o de tensión. Todavía en otras formas de realización, el formador 14 puede estar enrollado con múltiples conductores de cintas superconductoras 12 en una combinación de cualquiera de dos o todas las tres orientaciones de compresión, tensión y/o neutral descritas anteriormente.

30 Uno o más conductores de cintas superconductoras 12 pueden estar incluidos en cada capa de conductores de cintas enrollados alrededor del formador 14. Por ejemplo, cada capa puede incluir uno, dos, tres o más conductores de cintas superconductoras 121, 122, 12n separados enrollados, adyacentes entre sí, sobre el formador 14. Cada conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n en una capa puede estar enrollado en estrecha proximidad de (o en contacto con) un conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n adyacente en la misma capa. Alternativamente, cada conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n en una capa puede estar espaciado parte de un conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n adyacente en la misma capa por un intersticio. Todavía en formas de realización alternativas, uno o más de los conductores de cintas superconductoras 121, 122, 12n en una capa dada están enrollados en estrecha proximidad con (o en contacto con) un conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n adyacente en la misma capa, mientras que uno u otros más conductores de cintas superconductora 121, 122, 12n en la misma capa están espaciados aparte de un conductor de cinta superconductora 121, 122, 12n adyacente en la misma capa por un intersticio. Un intersticio entre cintas en cada capa puede ayudar a incrementar la flexibilidad del cable y permitir que el cable tenga un radio de flexión más pequeño, si se desea.

45 En otras formas de realización, algunas o todas las capas de conductores de cinta sobre el formador 14 se pueden separar de una capa adyacente por un intersticio. Un intersticio entre capas puede ayudar a incrementar la flexibilidad del cable y permitir que el cable tenga un radio de flexión más pequeño, si se desea.

50 Además, uno o más conductores de cintas superconductoras 12 en cada capa sobre el formador 14 se pueden enrollar con un ángulo de paso constante a través de la capa. De manera alternativa, uno o más conductores de cintas superconductoras 12 en cada capa pueden estar enrollados con un ángulo de paso variable a través de la capa. Además, los conductores de cintas superconductoras 121 pueden estar enrollados en un paso que es el mismo o, de manera alternativa, varía con relación al paso del conductor de cinta superconductora 122. De manera alternativa, los conductores de cintas superconductoras 12 en una pluralidad de capas sobre el formador 14 pueden estar enrollados con un ángulo de paso constante a través de cada capa y/o con el mismo ángulo de paso en una pluralidad de capas. De manera alternativa, los conductores de cintas superconductoras 12 en una pluralidad de capas sobre el formador 14 pueden estar enrollados con uno o más ángulos de paso diferentes en cada capa. En una forma de realización ejemplar, los conductores de cintas superconductoras 12 están enrollados en una pluralidad de capas sobre el formador 14, siendo constante el ángulo de paso de cada capa a través de la capa, pero diferente del ángulo de paso de una capa inmediatamente adyacente

60 Además, uno o más conductores de cintas superconductoras 12 en cada capa están enrollados en la misma dirección alrededor del formador 14. No obstante, en otras formas de realización, dos cualquiera de los conductores de cintas superconductoras 12 en una capa dada pueden estar enrollados en direcciones opuestas. Todavía en otras formas de realización, los conductores de cintas superconductoras 12 en una capa dada pueden estar enrollados en direcciones opuestas. Todavía en otras formas de realización, los conductores de cintas superconductoras 12 en una capa están enrollados en una dirección común a través de esa capa, mientras que los

conductores de cintas en una capa inmediatamente adyacente están enrollados en la dirección opuesta. De acuerdo con ello, uno o más conductores de cintas superconductoras 12 en cada capa del cable están enrollados en el mismo o en diferentes ángulos de paso, y cada capa está enrollada en la misma dirección o en dirección opuesta que su capa precedente.

5 Cada uno de los conductores de cintas superconductoras 12 puede estar cubierto con un material aislante, tal como, pero no limitado a polímeros aislantes de electricidad, cauchos, cerámica, nylons o similares. En otras formas de realización, algunos, pero no todos los conductores de cintas superconductoras 12 están cubiertos con el material aislante. Todavía en otras formas de realización, ninguno de los conductores de cintas superconductoras está cubierto con un material aislante. Todavía en otras formas de realización, algunos o todos los conductores de cintas superconductoras están cubiertos con un material conductor de electricidad, tal como, pero no limitado a un metal conductor de electricidad, cerámica o similar.

15 De esta manera, de acuerdo con formas de realización descritas anteriormente, un cable superconductor comprende una pluralidad de conductores de cintas superconductoras, cada una de las cuales tiene una o más capas superconductoras, en donde los conductores de cintas superconductoras están enrollados de una manera helicoidal en una o más capas alrededor de un formador que tiene un diámetro exterior de menos de 10 mm.

20 En otras formas de realización, el cable superconductor puede estar configurado como un cable superconductor de conductores múltiples para conducir dos o más corrientes aisladas de la misma fase eléctrica sobre diferentes conductores, o un cable superconductor multi-fases para conducir dos o más fases eléctricas diferentes. En tales formas de realización, múltiples capas de conductores de cintas superconductoras 12 se enrollan sobre un formador 14, como se ha descrito anteriormente, en donde cada fase eléctrica está asociada con un conjunto respectivo de una o más de las capas.

25 Por ejemplo, las figuras 2 y 3 muestran un cable superconductor de dos secciones y un cable superconductor de tres secciones 100, 200, respectivamente, de acuerdo con formas de realización de la presente invención. En un ejemplo, los cables superconductores de dos secciones y de tres secciones están conectados (o configurados para ser conectados) como un cable superconductor de dos fases o un cable superconductor de tres fases, respectivamente. En los ejemplos de dos fases y de tres fases, cada cable 100, 200 incluye una o más de las capas de conductores de cintas superconductoras 112 que corresponden a la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritos anteriormente), asociados con (conectados o dispuestos para ser conectados a conducto) una primera fase eléctrica, pero no una segunda o tercera fase eléctrica. Otra u otras capas del conductor de cinta superconductora 112' (que se corresponden también con la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritas anteriormente) se asocian con (se conectan o se disponen para ser conectadas para conducir) una segunda fase eléctrica, pero no con la primer fase.

35 En otro ejemplo, los cables superconductores de dos secciones y de tres secciones 100, 200 de las figuras 2 y 3 se conectan o están dispuestos para ser conectados para conducir la misma fase eléctrica, pero cada una accionada por su propio suministro de corriente respectivo para proporcionar una distribución más homogénea de la corriente en el cambio a altas tasas de rampas. En el ejemplo de la misma fase, una o más de las capas de conductores de cintas superconductoras 112 (que corresponde a la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritas anteriormente), están asociadas con (conectadas para conducción o dispuestas para ser conectadas para conducción) a una primera sección eléctrica, pero no a una segunda o tercera sección eléctrica. Además, otra u otras más capas del conductor de cintas superconductoras 112' (que se corresponden también con la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritas anteriormente) están asociadas con (conectadas para conducción o dispuestas para ser conectadas para conducción) la segunda sección eléctrica, pero no la primera sección.

40 En la forma de realización ejemplar de tres fases de la figuras 3, todavía otra u otras capas más del conductor de cintas superconductoras 112'' (que se corresponden también con la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritas anteriormente) están asociadas con (conectadas para conducción o dispuestas para ser conectadas para conducción) la tercera fase eléctrica, pero no con la primera o segunda fases eléctricas. En tales formas de realización, cada una o más capas asociadas con una fase eléctrica dada pueden estar aisladas eléctricamente con una o más capas asociadas con la(s) otra(s) fase(s) eléctrica(s) por una o más capas de un material aislante 113, como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, una o más capas de material aislante eléctrica pueden estar enrolladas o dispuestas de otra manera entra capas de conductores de cintas superconductoras 112, 112' y 112'' o entre cada fase (por ejemplo, entre un grupo de una o más capas asociadas con una fase (por ejemplo, entre un grupo de una o más capas asociadas con una fase y un grupo de una o más capas asociadas con otra fase).

50 En la forma de realización del ejemplo de tres secciones, de la misma fase, de la figura 3, todavía una u otras más capas del conductor de cinta superconductora 112'' que se corresponden también con la capa de conductores de cintas superconductoras 12 descritas anteriormente) están asociadas con (conectadas para conducción o dispuestas

para ser conectadas para conducción) la tercera sección eléctrica, pero no con la primera o segunda secciones eléctricas. En tales formas de realización, cada una o más capas asociadas con una sección eléctrica dada pueden estar aisladas eléctricamente de cada una o más capas asociadas con la(s) otra(s) sección(es) eléctricas por una o más capas de un material aislante 113, como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, una o más capas del material aislante de electricidad pueden estar enrolladas o dispuestas de otra manera entre capas de conductores de cintas superconductoras 112, 112' y 112'' o entre cada sección (por ejemplo, entre un grupo de una o más capas asociadas con una sección o un grupo de una o más capas asociadas con otra sección). Las diferentes secciones pueden ser de la misma fase eléctrica, pero cada una accionada por su propio suministro de corriente respectivo para proporcionar una distribución más homogénea de la corriente en el cable a altas tasas de rampa. En otras formas de realización, el número de secciones podría exceder de tres. Además, cualquiera de las formas de realización de secciones múltiples (multi-fase o la misma fase) pueden incluir una o más capas de material aislante exterior 16.

En otras formas de realización que se muestran en la figura 4, dos o más cables de formadores individuales 10, 100 ó 200 como se han descrito anteriormente (que incluyen dos o más configuraciones de fase individual, dos o más configuraciones multi-fase o una combinación de una o más configuraciones de fase individual, y una o más configuraciones multi-fase) se agrupan juntas en un cable de formadores múltiples 300. En tales formas de realización, una capa de material aislante 302 como se ha descrito anteriormente puede estar formada alrededor de una pluralidad de cables de formadores individuales 10, 100, 200 configurados como se ha descrito anteriormente.

En otras formas de realización, uno o más de los conductores de cinta en cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí está revestido con una capa de soldadura u otra sustancia adecuada que se puede fundir o fluir y endurecer de manera selectiva. Después de que los componentes del cable que se han descrito anteriormente han sido ensamblados, se funde la capa de soldadura para hacer que la soldadura fluya dentro de la estructura. La soldadura fluye hasta y une juntos algunos o todos los conductores de cintas superconductoras juntos, para formar un cable rígido, mecánicamente robusto, que puede ser beneficioso para aplicaciones, en las que tensiones relativamente grandes actúan sobre el cable. En casos de una soldadura conductora de electricidad, la soldadura mejora la conectividad eléctrica entre cintas individuales.

Todavía en otras formas de realización, un cable como se ha descrito en cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí incluye, además, una o más fundas de soldadura que se enrollan entre conductores de cintas en cada capa. De manera alternativa o adicional, una o más fundas de soldadura pueden enrollarse alrededor del formador 14, entre una o más parejas de capas adyacentes en el cable. Después de que los componentes del cable que se han descrito anteriormente han sido ensamblados, se funden una o más fundas de soldadura para hacer que la soldadura fluya dentro de la estructura. La soldadura fluye hasta y une juntos algunos o todos los conductores de cintas superconductoras juntos, para formar un cable rígido, mecánicamente robusto, que puede ser beneficioso para aplicaciones, en las que tensiones relativamente grandes actúan sobre el cable. En el caso de una soldadura conductora de electricidad, la soldadura mejora la conectividad eléctrica entre cintas individuales.

En otras formas de realización, un cable de acuerdo con cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí incluye al menos un conductor de material conductor eléctrico normal, no-superconductor, que está enrollado en una o más de las capas de conductores de cintas superconductoras. En varias formas de realización, la forma del conductor puede variar. Por ejemplo, al menos un conductor de material conductor normal puede estar enrollado entre dos conductores de cintas superconductoras adyacentes en al menos una capa. De manera alternativa o adicional, al menos una capa de conductores de material conductor normal está enrollada entre al menos una pareja de capas adyacentes de conductores de cintas superconductoras. De manera alternativa o adicional, al menos una capa de material conductor normal está enrollada sobre la parte superior de la capa exterior de la cinta superconductora del cable, o sobre el formador. Las capas conductoras normales pueden formar conexiones eléctricas entre conductores de cintas superconductoras individuales, que permiten compartir la corriente, por ejemplo, en el caso de defectos u otras obstrucciones de la corriente. De manera alternativa o adicional, las capas conductoras normales pueden actuar como una derivación de la corriente, en el caso de que la corriente en el cable exceda una corriente máxima predefinida que puede ser transportada por las películas superconductoras.

En otras formas de realización, un cable de acuerdo con cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí incluye una funda exterior alrededor de los componentes descritos anteriormente. La funda exterior puede estar fabricada de cualquier material adecuado, incluyendo, pero no limitado a un material metálico. La funda exterior puede proporcionar refuerzo mecánico y resistencia añadida al cable.

En otras formas de realización, un cable de acuerdo con cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí incluye uno o más cables conductores normales con uno o más de los cables superconductores como se han descrito anteriormente, donde todos los cables están agrupados y rodeados por una funda, como se ha descrito anteriormente. Los cables conductores normales pueden acoplarse para actuar como una derivación de corriente, y la funda puede proporcionar refuerzo mecánico externo al cable, como se ha descrito anteriormente.

5 En otras formas de realización, un cable de acuerdo con cualquiera de las formas de realización ejemplares descritas aquí incluye uno o más alambres resistivos aislados que están enrollados en paralelo a uno de los conductores de cintas superconductoras. En formas de realización particulares, estos alambres se utilizan como alambres calefactores que producen calor cuando conducen corriente, para accionar rápidamente el cable normal en el caso de un enfriamiento rápido.

10 Otras formas de realización de la presente invención se refieren a métodos de fabricación de un cable superconductor como se ha descrito anteriormente. Tales métodos incluyen enrollar uno o más conductores de cintas superconductoras (o disposiciones de uno o más conductores de cintas superconductoras y uno o más conductores normales) alrededor de un formador, como se ha descrito anteriormente y se muestra en los dibujos. Otras formas de realización de tales métodos incluyen revestir uno o más de los conductores de cintas superconductoras (y/o uno o más conductores normales) con soldadura y fundir la soldadura después de ensamblar las capas de conductores de cintas sobre el formador, como se ha descrito anteriormente. Todavía otras formas de realización de tales métodos incluyen enrollar una o más fundas de soldadura, capas de conductores normales y/o alambres resistivos aislados con o entre los conductores de cintas, como se ha descrito anteriormente.

20 De esta manera, en formas de realización ejemplares descritas aquí, un formador de diámetro relativamente pequeño permite fabricar el cable relativamente compacto. Enrollando uno o más conductores de cintas superconductoras en un estado de compresión, se previene el daño irreversible al superconductor. Un formador flexible permite fabricar el cable relativamente flexible. Cables y procesos ejemplares no limitativos para fabricar cables de transmisión superconductores compactos, cables para neutralización del campo magnético y cables magnéticos se describen a continuación.

25 **Ejemplo 1: Cable de 2 fases (cable para dc):**

Un proceso ejemplar para fabricar un cable de dos fases (figura 2), por ejemplo, para transmisión de dc es el siguiente.

30 Un formador macizo o hueco flexible 14, que tiene un diámetro exterior pequeño de 1-10 mm se obtiene como un núcleo. Opcionalmente, se enrolla una capa aislante alrededor del formador.

35 Entonces se enrollan helicoidalmente cintas superconductoras múltiples en una o más capas 112 alrededor del formador 14 con la capa superconductora 112 sobre el lado interior (superconductor bajo compresión). Si se utilizan más de una capa, cada capa podría enrollarse en dirección opuesta a su vecina. Esta pila de capas es para la primera fase eléctrica del cable.

40 Cada cinta superconductora podría aislarse individualmente para prevenir que la corriente sea compartida con sus vecinas, o podría revestirse con una capa resistiva para ajustar la resistencia entre cintas y de esta manera ajustar el nivel de la corriente compartida.

Entonces se enrolla una capa aislante 113 alrededor de la pila de superconductores que forma la primera fase eléctrica.

45 Entonces se enrolla helicoidalmente una segunda pila de cintas superconductoras 112' sobre la parte superior de la capa aislante, formando la segunda fase eléctrica. Las cintas colocadas más altas podrían tener su capa superconductora sobre el lado exterior (bajo tensión) con tal que el radio de enrollamiento y el ángulo de tendido sean suficientemente grandes para no causar daño al superconductor.

50 Entonces se enrolla una capa aislante 113' alrededor de la pila de superconductores que forman la segunda fase.

Entonces se enrolla helicoidalmente una pila final de cintas superconductoras que formarán el neutro sobre la parte superior de la capa aislante.

55 Entonces se enrolla una capa aislante final sobre la pila de superconductores que forman el neutro.

Entonces se coloca el cable en un criostato flexible de doble pared que contiene un espacio de vacío con superaislamiento.

60 Se puede proporcionar refrigeración haciendo circular un líquido o gas criogénico o bien a través del formador hueco (si está presente) o alrededor del cable en el criostato, o ambos.

Ejemplo 2: Cable de 3 fases (para transmisión de ac mostrada en la figura 3):

Un proceso ejemplar para fabricar un cable de tres fases, por ejemplo, para transmisión de ac, es el siguiente.

Se realiza el proceso del Ejemplo 1 hasta e incluyendo el enrollamiento helicoidal de la segunda pila de cintas superconductoras 112' sobre la parte superior de la capa aislante, para formar la segunda fase eléctrica y la segunda capa aislante.

Entonces se enrolla helicoidalmente una tercera pila de cintas superconductoras 112' sobre la capa aislante que ha sido enrollada alrededor de la pila de cintas que formaba la segunda fase eléctrica en el cable de 2 fases. Esta pila forma ahora la tercera fase eléctrica.

Entonces se enrolla una capa aislante 16 alrededor de la pila de superconductores que forma la tercera fase.

Entonces se enrolla helicoidalmente una pila final de cintas superconductoras que formará el neutro sobre la parte superior de la capa aislante superior.

Entonces se enrolla una capa aislante final sobre la pila de superconductores que forman el neutro.

Entonces se coloca el cable en un criostato flexible de doble pared que contiene un espacio de vacío con superaislamiento.

Se puede proporcionar refrigeración conectando el formador a un conducto para hacer circular un líquido o gas criogénico o bien a través del formador hueco (si está presente) o alrededor del cable en el criostato, o ambos.

Ejemplo 3: Cable multi-fases (para transmisión de ac):

Otro proceso ejemplar para fabricar un cable multifases, por ejemplo, para transmisión de ac, se describe con referencia a la figura 5, como sigue.

Para cada fase, se enrollan helicoidalmente una pluralidad de cintas superconductoras 512 con la capa superconductora sobre el lado interior (bajo compresión) en una o múltiples capas alrededor de un formador hueco o macizo redondo 514 que tiene un diámetro pequeño de 1-10 mm. Si se utiliza más de una capa, cada caso podría enrollarse en sentido opuesto a su capa vecina.

Cada capa superconductora 512 podría estar aislada individualmente para prevenir que la corriente sea compartida por sus vecinas, o podría revestirse con una capa resistiva para ajustar la resistencia entre cintas y de esta manera ajustar el nivel de la corriente compartida.

Una o más de las capas 512 colocadas más altas tienen su capa de YBCO sobre el lado exterior (bajo tensión) con tal que el radio de enrollamiento y el ángulo de tendido sean suficientemente altos para no causar daño al superconductor.

En otras formas de realizaciones, se enrolla el aislamiento 513 alrededor del formador 514 antes de que se enrollen las capas superconductoras.

Después de que las cintas superconductoras 512 han sido enrolladas, se enrolla el aislamiento 513 alrededor de la pila de cintas superconductoras.

Entonces se forma un cable de tres fases agrupando tres de estos núcleos de una fase juntos como se muestra en la figura 5.

Entonces se forma una capa de blindaje enrollando cintas superconductoras alrededor del mazo de tres fases, p cada fase podría tener su propio neutro, que se forma por una pila de cintas superconductoras que pueden enrollarse sobre el lado exterior del cable que forma cada fase (no se muestra).

Entonces se aísla la capa de blindaje sobre el lado exterior (no se muestra).

Entonces se coloca el cable en un en un criostato flexible de doble pared que contiene un espacio de vacío con superaislamiento (no se muestra).

Se puede proporcionar refrigeración conectando el formador a un conducto para hacer circular un líquido o gas criogénico o bien a través del formador hueco (si está presente) o alrededor del cable en el criostato, o ambos.

Ejemplo 4: Cable de núcleos múltiples, de rampa rápida (para imanes de rampa rápida y cables de transmisión de potencia):

Un proceso ejemplar para fabricar un cable de núcleos múltiples, de rampa rápida, por ejemplo, para imanes de rampa rápida y cables de transmisión de potencia, se describe con referencia a las figuras 2 y 3, como sigue. La rampa rápida podría causar potencialmente que la distribución de corriente en cables que constan de muchas capas se vuelva inhomogénea. Un método posible para forzar una distribución de la corriente más uniforme durante la rampa consiste en dividir el cable en múltiples secciones de n capas, que están aisladas unas de las otras. Cada sección contendrá la misma fase eléctrica, pero cada una de ellas estará conectada a y accionada por su propia fuente de corriente respectiva. Cada fuente de corriente puede forzar la cantidad correcta de corriente en cada sección, haciendo que la distribución de la corriente sea más uniforme que cuando se utiliza solamente una fuente de corriente. De acuerdo con ello, se puede construir un cable co-axial de 2, 3 o n fases, como en las figuras 2 y 3, pero conectado para contener la misma fase.

Ejemplo 5: Cable de múltiples núcleos, de baja pérdida (para transmisión de ac):

Otro proceso ejemplar para fabricar un cable de múltiples núcleos, de baja pérdida, por ejemplo, para transmisión de ac, se describe con referencia a las figuras 6a-c, como sigue.

Un formador macizo o hueco flexible 614, que tiene un diámetro exterior pequeño de 1-10 mm se obtiene como un núcleo. Opcionalmente, se puede enrollar una capa aislante alrededor del formador (no se muestra).

Se enrollan helicoidalmente múltiples cintas superconductoras en una o más capas 612 alrededor del formador con la capa superconductora sobre el lado interior (superconductor bajo compresión). Se utiliza un paso de torsión pequeño para reducir las pérdidas de ac. El número de capas puede estar limitado por una distribución inhomogénea de la corriente. Si se utiliza más de una capa, cada capa podría enrollarse en sentido opuesto de su vecina.

Las cintas colocadas más altas podrían enrollarse con su capa YBCO sobre el lado exterior (bajo tensión) con tal que el radio de enrollamiento y el ángulo de tendido sean suficientemente altos para no causar daño al superconductor.

Cada cinta superaislante podría aislarse individualmente para prevenir que la corriente sea compartida por sus vecinas, o podría con una capa resistiva para ajustar la resistencia entre cintas y de esta manera ajustar el nivel de la corriente compartida.

Opcionalmente podría enrollarse una capa de aislamiento 613 alrededor de la pila de superconductores.

Entonces se agrupa un número de estos núcleos de fase individual 600 juntos con transposición completa. Esto incrementará el número de cintas por fase, o en el cable magnético, manteniendo la cantidad de capas por núcleo limitada. Un cable multi-fase para transmisión de ac se forma agrupando varios núcleos de todas las fases juntos.

Entonces en el caso de un cable de transmisión, se forma una capa neutra enrollando helicoidalmente una pila de cintas alrededor de los mazos (no mostrados).

Entonces se enrolla una capa aislante exterior alrededor de la pila de cintas que forma la capa neutra (no mostrada).

Entonces en el caso de un cable de transmisión, el cable se colocará en un criostato flexible de doble pared que contiene un espacio de vacío con superaislamiento.

Además, en el caso de un cable de transmisión, se proporciona refrigeración haciendo circular un líquido o gas criogénico o bien a través del formador hueco (si está presente) o alrededor del cable en el criostato, o ambos.

En los dibujos, la figura 6a muestra un ejemplo de un núcleo individual con cintas superconductoras, la figura 6b muestra un ejemplo de una pluralidad de cables de núcleo individual que se agrupan juntos para formar una configuración de cable de individual o de cable multi-fases 650, y la figura 6c muestra una pluralidad de (tres) mazos de cables de núcleo individual que forman un cable multi-fases (trifásico) 660. En un cable de transmisión, cada fase puede estar formada por su propio mazo de cables de una fase, mientras que se forma un cable de 3 fases agrupando tres de estos cables de fase individual multifilamentos juntos.

Ejemplo 6: Cable de núcleos múltiple, multi-fase por núcleo:

Otra forma de realización puede configurarse de una manera similar al Ejemplo 5, anterior, pero con múltiples fases aisladas en cada núcleo, como se describe en los ejemplos 1 y 2. En el caso de un cable magnético, cada sección puede estar conectada a y accionada por su propia fuente de corriente respectiva, como se describe en el ejemplo 4.

Ejemplo 7: Cable con conexión eléctrica mejorada entre cintas

Puede ser beneficioso tener una cantidad relativamente grande de material conductor normal (por ejemplo cobre) en paralelo con las cintas superconductoras en una línea de transmisión o cable magnético para proveer la corriente con una trayectoria de derivación opcional en caso de un fallo. Una trayectoria de derivación de la corriente permitirá también en condiciones operativas normales derivar una sección dañada en una de las cintas, o una sección donde conductores se empalmen juntos. La capa cerámica que está entre el sustrato metálico y el superconductor en conductores revestidos con YBCO en algunos casos es resistiva y no permitirá el paso de la corriente. Una trayectoria de corriente conductora normal que deriva el capa tampón resistiva y rodea parte o toda la cinta puede estar presente para conectar eléctricamente las cintas juntas o a una capa de derivación conductora normal. En una forma de realización, esto puede realizarse revistiendo con cobre una capa fina de sobre a cada cinta individual. Sin embargo, tal revestimiento de cobre puede ser costoso.

Para mejorar la conexión eléctrica entre las cintas individuales de un cable, se puede construir una matriz conductora normal, en la que las cintas son incrustadas, como se muestra en la figura 7 y se describe a continuación.

Una o más capas superconductoras 712 (que corresponden a la(s) capa(s) de conductores de cintas superconductoras 12) se enrollan en capas múltiples sobre un formador 714 como se describe en los ejemplos anteriores. Además, se electrodeposita una capa de cobre 715 relativamente fina (por ejemplo, hasta 20 micras) sobre la cinta. Esta capa facilita la soldadura de conexiones al conductor.

Entonces se adhiere una segunda capa 716 de otro material conductor de electricidad a la cinta superconductora 712 o bien por revestimiento electrolítico o por otros métodos adecuados. La segunda capa 716 podría tener una resistencia eléctrica más alta que la capa de cobre y permite un nivel de ajustabilidad del acoplamiento eléctrico entre la capa superconductora de las cintas y la matriz conductora normal entre las cintas. Se podría transferir corriente a la matriz conductora normal en el caso de un fallo, pero la resistencia más elevada de la capa reducirá las pérdidas de acoplamiento durante el funcionamiento normal.

En la forma de realización anterior, se enrolla una tira de material conductor normal (cobre) 718 entre las capas superconductoras 712 en cada capa individual. Las tiras 718 tienen un espesor comparable al de las cintas superconductoras 712.

Una capa 716 de cintas conductoras normales se enrolla entre cada capa de cintas superconductoras. El espesor de la capa 716 se puede ajustar y dependerá de la aplicación.

El sentido de enrollamiento de las cintas superconductoras 712 de una o de cada capa podría ser opuesto al de uno o ambas capas superconductoras vecinas.

Opcionalmente, algunas de las cintas 712 en algunas de las capas podrían posicionarse con la capa superconductora mirando hacia fuera, para mejorar el acoplamiento entre las cintas superconductoras.

La corriente de cada cinta superconductora puede transferirse a la capa normal que está cerca de la capa superconductora. La corriente podría fluir desde una capa superconductora hasta la siguiente a través de las tiras conductoras normales que son enrolladas entre las cintas superconductoras en cada capa superconductora. Esta configuración, en la que se forma una matriz conductora normal, en la que se incrustan las cintas superconductoras, permite transferir una corriente desde una cinta a otra en el caso de un defecto local, o desde las capas superconductoras hasta una derivación de conducción normal (o bien la propia matriz o algún otro material conductor cerca de la capa superconductora) en el caso de un fallo.

Ejemplo 8: Cable con protección mejorada contra sobrecorriente:

En algunos casos, tales como líneas de transmisión que se incorporan en las rejillas de potencia eléctrica, el cable se configura para ser capaz de resistir sobrecorrientes relativamente grandes durante un periodo corto de tiempo. Se puede añadir una sección transversal de derivación y material conductor normal adicional (tal como, pero no limitado a cobre) además de las capas superconductoras de cualquiera de las formas de realización anteriores.

Por ejemplo, con referencia a la figura 8, puede utilizarse un cable configurado de acuerdo con cualquiera de los ejemplos descritos anteriormente, pero con una o más capas de derivación 815, 815' normalmente conductoras y y un formador normal 814 conductor de electricidad para proporcionar una derivación adicional. El formador 814 no necesita estar aislado. Además, capas superconductoras 816, 816' pueden incluir cintas superconductoras 812 incrustadas en una matriz normal 813 para formar un grado grande de acoplamiento eléctrico entre cada cinta y la derivación.

Cuando están presentes más fases en el cable, o cuando el formador no está provisto con suficiente material de derivación, de enrollan capas conductoras normales adicionales sobre la parte superior de las capas

superconductoras. De nuevo se prefiere una matriz normal para proporcionar buen acoplamiento eléctrico entre las cintas y la capa de derivación.

5 En formas de realización particulares, cada fase del cable tiene una capa de derivación adicional sobre el lado exterior de las fases superconductoras. El radio sobre el que se enrollan las cintas superconductoras puede permanecer relativamente pequeño colocando la capa de derivación sobre el lado exterior del cable. Esto reduce la cantidad de superconductor necesario y permite pasos de torsión pequeños de las cintas superconductoras.

10 Este método se puede aplicar a líneas de transmisión que tienen un núcleo individual sobre el que se enrollan todas las fases, o a líneas de transmisión en las que cada fase se enrolla alrededor de un núcleo individual o en las que los cables de cada fase se agrupan juntos para formar el cable multifase final.

Ejemplo 9: Cable con acoplamiento eléctrico y mecánico mejorado entre cintas

15 Fuerzas relativamente grandes pueden actuar sobre las cintas individuales en el cable cuando se utiliza el cable en un imán. En tales formas de realización, puede ser beneficioso proporcionar acoplamiento mecánico mediante la adhesión de las cintas en cada capa juntas con soldadura. Tal adhesión puede mejorar también la conexión eléctrica entre conductores individuales en el cable. Un ejemplo de un proceso para mejorar la adhesión mecánica es el siguiente.

20 En particular, se enrollan cintas superconductoras en capas múltiples sobre un formador como se ha descrito en los ejemplos anteriores.

25 No obstante, en este ejemplo, cada cinta superconductora y/o tira conductora normal que forma la matriz opcional se revisten con una capa final soldadura antes de que se enrolle el cable. Alternativa o adicionalmente, se enrolla una lámina de soldadura fina entre las capas de cintas superconductoras, o capas conductoras normales que forman la matriz opcional.

30 Una vez que el cable está ensamblado y enrollado en un sistema, por ejemplo un imán, de acuerdo con la presente invención, se calienta el sistema completo en un horno para fundir la soldadura. Después de que se ha enfriado, la soldadura adhiere todas las cintas en cada capa y todas las capas juntas, formando una conexión eléctrica todavía mejorada y una unión mecánica robusta.

35 Además, los componentes del cable podrían fundirse en resina epoxi que adherirá todos los cables individuales juntos. La resina epoxi puede seleccionarse para que el endurecimiento de la resina epoxi ocurra a una temperatura por debajo de la temperatura de fundición de la soldadura en el cable.

Ejemplo 10: Cable con flexibilidad mejorada

40 Para mayor flexibilidad y radios de flexión más pequeños, los procesos para fabricar el cable pueden incluir cualquiera de los procesos descritos anteriormente, pero con las siguientes modificaciones.

45 En particular, el proceso puede incluir, además, introducir un intersticio pequeño entre las cintas superconductoras en cada capa durante el enrollamiento. El tamaño del intersticio depende del radio de flexión mínimo que el cable experimentará cuando se enrolla en una aplicación, la anchura de la cinta y el ángulo de tendido. El intersticio se cierra sobre el lado interior del cable y se ensancha sobre el lado exterior del cable cuando se dobla el cable en la forma de la aplicación. El intersticio sobre el lado interior previene que las cintas superconductoras sean impulsadas entre sí, lo que puede causar daño.

50 Puesto que se requieren a menudo diámetros de flexión pequeños en imanes donde las fuerzas sobre el cable y sus conductores pueden ser grandes, es refuerzo del cable es proporcionado por el procedimiento de soldadura descrito anteriormente. La soldadura se funde después de que el cable se ha doblado en su forma final. La soldadura puede rellenar parcial o completamente los intersticios remanentes entre las cintas en cada capa, proporcionando un soporte eléctrico y mecánico a cada una de las cintas superconductoras.

Ejemplo 11: Cable con cintas superconductoras empalmadas:

60 Los conductores revestidos con YBCO se producen típicamente en longitudes de hasta 1 km. De acuerdo con ello, se empalman cintas superconductoras juntas cuando se utilizan en cables más largos. Donde la unión entre estos conductores no es superconductora, la corriente fluye típicamente a través de un material bajo resistivo desde un superconductor a otro. Ciertas formas de realización de cables ultra-compactos de la presente invención permiten tal transferencia de corriente, por ejemplo, a través de la matriz conductora normal que rodea las cintas superconductoras. De acuerdo con ello, no se necesitan empalmes de solape y, por lo tanto, no es necesario incrementar localmente el espesor de la capa superconductora. Los empalmes de conductores revestidos se pueden

realizar utilizando los siguientes métodos ejemplares.

5 Dos conductores revestidos se unen en los extremos por medio de estañado o soldadura de los sustratos juntos. En formas de realización particulares, los extremos de contacto de los conductores se encintan para incrementar el área de contacto o podría aplicarse un miembro de cuña conductora entre extremos de los conductores para hacer lo mismo. Este puede resultar en un conductor total que tiene un espesor uniforme a lo largo de su longitud (ver las figuras 9a-d).

10 Una capa conductora (tal como una capa de cobre) podría colocarse sobre los conductores antes o después de realizar la conexión. Como se muestra en la figura 8c, de acuerdo con una forma de realización ejemplar, una capa superconductora puede ser cubierta por una capa metálica, tal como plata o aleación de plata. En una forma de realización ejemplar, el uso de plata permite realizar la soldadura sobre la cubierta de plata sin dañar el cable superconductor.

15 Cuando se permite la variación en el espesor del conductor (por ejemplo, en una línea de transmisión), los conductores revestidos podrían soldarse juntos mientras se solapan. Puesto que la transferencia de corriente entre las cintas ocurrirá a través de la matriz conductora normal, los conductores podrían soldarse de tal manera las capas de YBCO no se miren entre sí. Esto mantendrá igual la orientación del YBCO en ambos lados del empalme (ver las figuras 10a-c).

20 Un empalme de solape se puede formar soldando el extremo de una de las cintas sobre la parte superior de la otra cinta, pero sin soldar todo el empalme. Esto mantendrá el empalme flexible cuando se cablee. El empalme se puede soldar totalmente fundiendo soldadura adicional que ha sido localizada en el empalme, después de que el cable está ensamblado.

25 La conexión eléctrica y mecánica entre superconductores se puede mejorar aplicando soldadura entre los conductores como se ha descrito anteriormente, después de que los conductores empalmados están enrollados en un cable.

30 **Ejemplo 12: Cable con refuerzo**

35 Las fuerzas que actúan sobre el cable en algunas aplicaciones de imanes pueden ser suficientemente grandes para que pueda ser beneficioso un refuerzo del cable. Por ejemplo, se puede proporcionar una camisa exterior de acero inoxidable para refuerzo. Varios procesos ejemplares se pueden utilizar para reforzar cables conductores revestidos con YBCO.

40 Por ejemplo, en una forma de realización ejemplar, un cable superconductor de núcleo individual como se ha descrito anteriormente se inserta en una camisa metálica, donde la camisa tiene dos semicáscaras que se sueldan juntas después de que el cable ha sido insertado. La camisa podría tener una sección transversal exterior de cualquier forma adecuada (incluyendo, pero no limitada a una sección transversal exterior rectangular, redonda u ovalada), pero tiene una sección transversal interior redonda. El revestimiento del cable se realiza o bien utilizando un formador hueco y pasando fluido de refrigeración a través de un formador hueco, o pasando fluido de refrigeración entre el cable y la camisa.

45 En otras formas de realización, múltiples cables superconductores de núcleo individual son agrupados. En tales formas de realización, se pueden incluir trenzas conductoras normales para rellenar los huecos y para proporcionar una derivación y con tubos huecos (el formador y/o camisa exterior) que se utilizan para refrigeración.

50 **Ejemplo 13: Terminales de cables:**

Un cable como se describe aquí puede incluir muchas cintas superconductoras. Estas cintas pueden estar conectadas a un terminal conductor normal a través del cual se puede introducir la corriente. Tales terminales pueden estar diseñados como se muestra en las figuras 11a y 11b y como se describe a continuación.

55 Cada terminal está construido de una pieza extrema cilíndrica 1010 de material conductor normal (tal como, pero no limitado a cobre). El formador sobre el que se enrollan las cintas superconductoras (como se describe en cualquiera de las formas de realización anteriores) es alimentado a través de un orificio 1011 en el centro de la pieza extrema terminal 1010.

60 El extremo 1014 de la pieza extrema terminal que mira hacia el cable está mecanizado en una pieza extrema cónica sobre la que se extienden las cintas y se sueldan cuando un formador es insertado en el orificio 1011, como se muestra en la figura 11b.

El extremo opuesto de la pieza extrema terminal 1010 tiene taladros pasantes 1015, o taladros de bulón, sobre los

que se pueden amarrar cables externos.

Dos cáscaras opcionales adicionales pueden soldarse sobre la pieza extrema cónica, cubriendo los extremos de las cintas.

5 **Ejemplo 14: Configuración de cables de una fase**

10 Como un ejemplo representativo, no limitativo, se puede configurar un cable de cualquier longitud adecuada, tal como, pero no limitada a 0,6 m de longitud, e incluye hasta veinticuatro conductores de cintas superconductoras en hasta ocho capas alrededor de un formador de cobre flexible que tiene un diámetro exterior de 5,5 mm. Por ejemplo en una forma de realización de ocho capas, de veinticuatro cintas, cada capa incluye tres conductores de cintas superconductoras. Los conductores de cintas superconductoras son enrollados con sus capas superconductoras mirando hacia dentro, de tal manera que están bajo esfuerzo de compresión.

15 Un cable que tiene veinticuatro conductores de cintas superconductoras puede ser capaz de transportar hasta 2800 A a 76 K, que puede ser mayor que el 90 % de la corriente que podrían transportar todos los conductores individuales combinados, antes de ser enrollados en el cable.

20 Sin intersticios significativos entre conductores de cintas, un cable que tiene veinticuatro conductores de cintas superconductoras enrollados en tres capas alrededor de un formador de cobre flexible aislado de 5,5 mm de diámetro, puede ser capaz de doblarse en una flexión de 24 cm de diámetro sin degradación en la capacidad de transporte de la corriente. No obstante, se pueden formar intersticios entre conductores de cintas superconductoras vecinos, por ejemplo para permitir una flexión mayor (hasta diámetros bien por debajo de 24 cm), sin daño significativo para el cable.

25 Donde tales formas de realización ejemplares no son inconsistentes entre sí, varias formas de realización ejemplares descritas anteriormente (o porciones de ellas) pueden utilizarse juntas y de manera intercambiable en todavía otras formas de realización de la presente invención.

30 Las formas de realización descritas aquí deben considerarse en todos los aspectos como ilustrativas y no restrictivas de la invención. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones, más que por la descripción anterior.

Ejemplo 15: Configuración de cables de dos fase

35 Un cable que se puede aplicar en ciertas aplicaciones de la Fuerza Aérea incluye dos fases eléctricas que están enrolladas sobre un formador, una sobre la otra, con una capa de aislamiento entre las fases. En un ejemplo, un cable tiene 79 cintas en 17 capas en un formador de diámetro de 5,5 mm y puede transportar una corriente de hasta 7561 A en nitrógeno líquido, cuando la corriente en ambas fases avanza en la misma dirección.

40 **Ejemplo 16: Configuración de cables magnéticos**

45 Otro ejemplo de un cable de alto rendimiento incluye 40 conductores sobre un formador de 4 mm de diámetro en 12 capas. El cable está enrollado en un lazo de 1,5 vueltas de 12 cm de diámetro exterior (10,5 cm de diámetro interior). El cable puede transportar hasta 4100 A a 4,2 K en un campo de fondo de 20 T orientado perpendicular al cable.

Ejemplo 17: Protección de enfriamiento de cables magnéticos

50 En el caso de que un imán superconductor experimento un fallo que acciona el cable superconductor normal localmente, toda la energía que está almacenada en el imán será disipada en una zona normal pequeña. Para prevenir la combustión durante un enfriamiento del imán, el cable magnético es accionado normal sobre toda su longitud en un tiempo muy corto. Éste distribuirá la energía disipativa sobre todo el imán. Un método que permite tal transición rápida desde el estado superconductor al estado normal de un cable incluye enrollar al mismo tiempo uno o más alambres calefactores con las cintas superconductoras y/o incorporar un alambre calefactor dentro del
55 formador. El alambre calefactor es energizado utilizando una fuente de potencia externa tan pronto como se detecta un enfriamiento del imán.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un cable superconductor, que comprende:

5 proporcionar un formador (14, 514, 614, 714, 814); enrollar una pluralidad de conductores de cintas superconductoras (12, 112, 512, 612, 712, 812) en al menos una capa alrededor del formador de una manera helicoidal, teniendo cada conductor de cintas superconductoras al menos una capa superconductora; que comprende proporcionar soldadura que está configurada para fundirse después de que el cable está ensamblado, de manera que el cable es flexible después de que el cable está ensamblado y antes de que se funda la soldadura, en el que la preparación de esta soldadura comprende o bien

- a) aplicar una capa de soldadura sobre al menos uno de la pluralidad de conductores de cintas superconductoras, de tal manera que el al menos un conductor de cintas superconductoras con la capa de soldadura es enrollado alrededor del formador, o
- 15 b) enrollar un material de soldadura entre enrollamientos adyacente de los conductores de cintas superconductoras, o
- c) proporcionar como la al menos una capa una pluralidad de capas de conductores de cintas superconductoras y disponer una fonda de soldadura entre al menos dos de la pluralidad de capas;

20 **caracterizado por**
flexionar el cable en una forma deseada después de que el cable está ensamblado y antes de que se funda la soldadura; y fundir la soldadura de manera que se forma una estructura rígida.

25 2. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, enrollar la pluralidad de conductores de cintas superconductoras alrededor del formador con al menos uno de: a) tensión previa; y b) un intersticio entre enrollamientos de al menos dos de los conductores de cintas superconductoras.

30 3. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, al menos uno de: a) enrollar al menos un alambre calefactor resistivo alrededor del formador, para proporcionar una fuente de calor para enfriamiento; y b) proporcionar al menos una funda (16) alrededor de la pluralidad de conductores de cintas superconductoras y el formador.

35 4. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, enrollar al menos uno de la pluralidad de conductores de cintas superconductoras, de tal manera que una capa superconductora sobre el conductor de cintas superconductoras está localizada sobre el lado exterior del enrollamiento, bajo tensión.

40 5. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, enrollar al menos uno de la pluralidad de conductores de cintas superconductoras, de tal manera que una capa superconductora sobre el conductor de cintas superconductoras está localizada en una posición central sobre el conductor de cintas, ni bajo tensión ni compresión desde el enrollamiento.

45 6. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, proveer la al menos una capa con una pluralidad de capas adyacentes y formar un intersticio entre al menos dos capas adyacentes.

7. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, proveer el formador con una forma de la sección transversal que es ovalada o rectangular sin esquinas redondeadas, siendo el radio de las esquinas inferior a 5 mm.

50 8. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, proveer la al menos una capa con una pluralidad de capas de conductores de cintas, y aislar (512) al menos uno de los conductores de cintas superconductoras.

55 9. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, enrollar al menos un conductor (716, 718 de material conductor, no-superconductor a) entre enrollamientos adyacentes de al menos uno de los conductores de cintas superconductoras en al menos una capa de los conductores de cintas superconductoras, o b) entre dos de las capas de conductores de cintas superconductoras, donde al menos una capa comprende una pluralidad de capas de conductores de cintas superconductoras.

60 10. El método de la reivindicación 9, que comprende, además, cubrir el al menos un conductor de material conductor, no-superconductor por una capa de soldadura configurada para ser fundida.

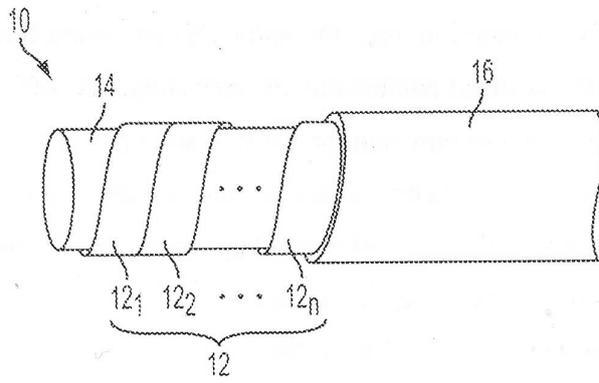


FIG. 1

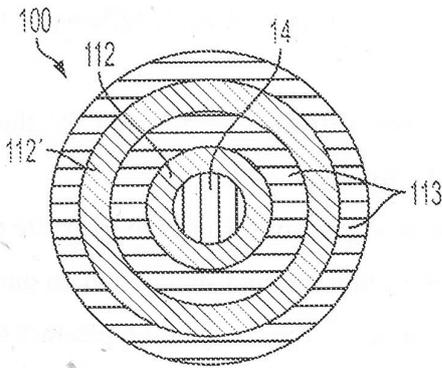


FIG. 2

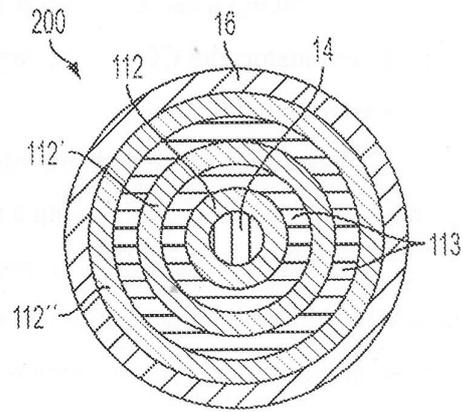


FIG. 3

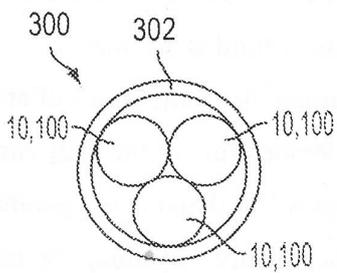


FIG. 4

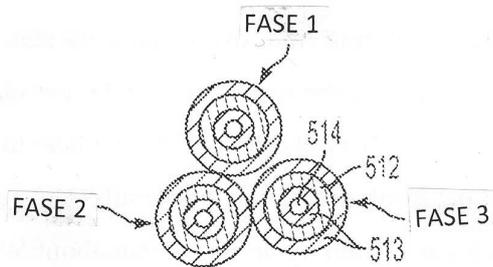


FIG. 5

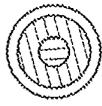


FIG. 6a

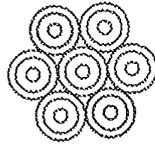


FIG. 6b

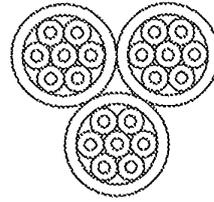


FIG. 6c

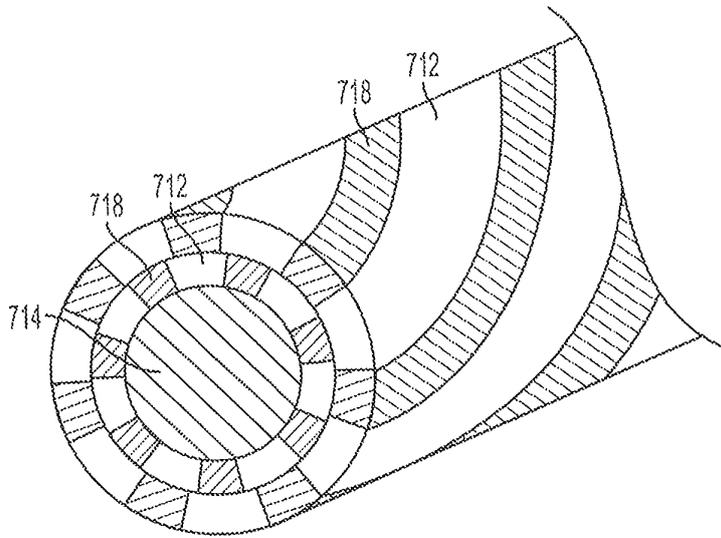


FIG. 7

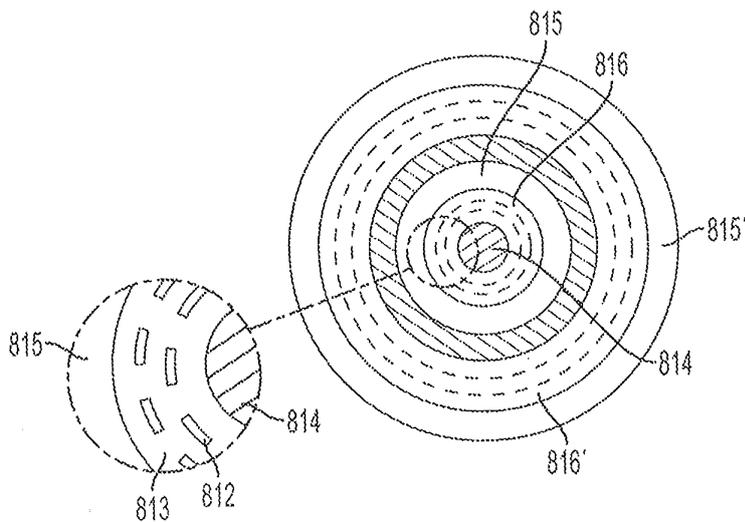
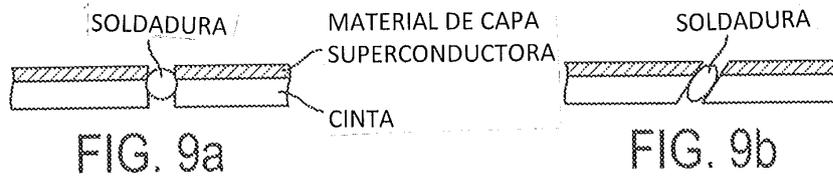
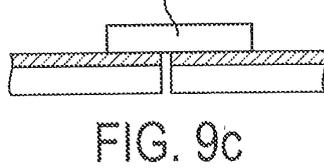


FIG. 8



TIRA CONDUCTORA NORMAL
SOLDADA SOBRE CINTAS
SUPERCONDUCTORAS



TIRA SUPERCONDUCTORA NORMAL
SOLDADA EN ZANJA EN EXTREMOS DE
CINTAS SUPERCONDUCTORAS

