



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 336 663**

51 Int. Cl.:  
**H01B 12/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03380313 .1**

96 Fecha de presentación : **31.12.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1551038**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.07.2005**

54 Título: **Cable de alimentación superconductor con núcleo superconductor mejorado.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**15.04.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**15.04.2010**

73 Titular/es: **Servicios Condumex S.A.**  
**Carretera A S.L.P., Km. 9.6**  
**Fracc. Industrial Jurica**  
**76120 Queretaro, Qro, MX**

72 Inventor/es: **Pérez Sánchez, Alfonso;**  
**Nieto Sánchez, José Luis y**  
**Maya Méndez, Mauro Eduardo**

74 Agente: **Pons Ariño, Ángel**

ES 2 336 663 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**

Cable de alimentación superconductor con núcleo superconductor mejorado.

**5** **Ámbito de la invención**

La presente invención se refiere a la conducción de energía eléctrica y particularmente a la fabricación de un cable de alimentación superconductor de al menos una fase, caracterizado por un núcleo central basado en un material de cinta superconductor BSCCO de composición comercial 22233 ( $\text{Bi}_2 \text{Sr}_2 \text{Ca}_2 \text{Cu}_3 \text{O}_x$ ) que ofrece una densidad de corriente mínima de 7 kA/cm<sup>2</sup> según el criterio de 1  $\mu\text{V}/\text{cm}$ . También incluye un espacio anular del sistema de aislamiento térmico en el que el revestimiento ondulado del sistema presenta una presión de vacío inferior a 10 mPa (milipascales) que permite que el aislamiento térmico mantenga temperaturas de funcionamiento de 77°K (temperatura del nitrógeno líquido bajo presión atmosférica) por toda la sección transversal del cable en su parte superconductora.

**15** **Técnica anterior**

La invención se refiere al transporte de energía eléctrica en condiciones superconductoras, resistencia cero en corriente continua. Esta invención sustituye el uso de cables de alimentación para distribución y transmisión en voltajes de 15 kV o más porque presenta pérdidas de conducción inferiores.

Los superconductores a alta temperatura pueden ser aspectos importantes de los avances tecnológicos, porque los equipos y dispositivos podrían tener partes superconductoras en sus componentes. Una aplicación obvia en el estado superconductor es el uso de propiedades de resistencia cero al paso de corriente continua y bajas pérdidas de potencia en la transmisión de electricidad. En las líneas de transmisión actuales, la energía eléctrica se pierde por calor cuando la corriente pasa a través de conductores normales. Si la electricidad se transmite a través de cables superconductores, dichas pérdidas pueden reducirse o eliminarse con los ahorros consiguientes en los costes energéticos. Esto puede aplicarse a cualquier componente eléctrico que tenga conductores de cobre, por ejemplo, motores, transformadores, generadores y cualquier equipo involucrado con la energía eléctrica.

Algunas compañías estadounidenses y japonesas han fabricado y evaluado modelos de cables superconductores de hasta 5000 cm obteniendo valores de corriente que no exceden de 1700 A hasta 2000 A. Las pruebas realizadas en segmentos de 5000 cm de longitud han mostrado problemas relacionados con la distribución de corriente entre las capas. Dicha distribución tiende a ser irregular debido a problemas electromagnéticos relacionados con el propio conductor.

La patente WO 00/39813 describe un cable superconductor que usa materiales superconductores a alta temperatura HTS con núcleo flexible. Sin embargo, se aplica a un diseño coaxial tradicional con capas de cinta HTS aisladas y diseño frío. La patente japonesa 06239937 A2 describe un cable superconductor con materiales HTS y núcleo flexible pero que implica un diseño de CC (corriente continua) tradicional y aislamiento entre cada capa de cinta HTS. La patente US 5.929.385 describe un cable superconductor similar al objeto de la presente invención pero solo en lo que respecta al tipo de materiales usados. La patente de EE.UU. 5.952.614 también describe un cable superconductor similar en lo que respecta al uso de materiales HTS y núcleo flexible pero con un diseño coaxial, en condiciones frías y con diseño tradicional de cinta HTS. Por estas razones, dichas invenciones son diferentes de las características de la presente invención.

El artículo "Design of superconducting power cables" CRYOGENICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILFORD, GB, vol. 39, no 9, 1 de septiembre de 1999, páginas 767-775, XP004244007 ISSN: 0011-2275 desvela un cable (trifásico) y hace referencia a la pérdida de los cables superconductores con diferentes estequiometrías y temperaturas de funcionamiento; también se hacen comentarios sobre el diseño de cables superconductores monofásicos (115 kW) para transmisión.

En vista de los dibujos de la técnica anterior, existe una necesidad de un cable superconductor optimizado con cintas superconductoras de múltiples capas que garantice una distribución más uniforme de la corriente entre varias capas, maximizando así el uso del material superconductor y logrando un nivel más alto de corriente crítica.

Este problema es resuelto por un cable superconductor según las características de la reivindicación 1, en el que una serie de dos o más cintas superconductoras enrolladas en una dirección está revestida por una segunda serie de dos o más cintas superconductoras enrolladas en la dirección opuesta.

**60** **Descripción de la invención**

En lo sucesivo se describirá la invención en relación con los dibujos de las figuras 1 a 6, en los que:

La Figura 1 es una vista en perspectiva con la sección transversal que muestra las diferentes capas del cable de alimentación superconductor.

La Figura 2 es una vista de la sección transversal de la Figura 1.

## ES 2 336 663 T3

La Figura 3 es una vista en perspectiva con la sección transversal de la sección bajo vacío de la protección térmica del núcleo central.

La Figura 4 es una vista en perspectiva con la sección transversal de la Figura 3 que muestra la pared opuesta del aislamiento térmico.

La Figura 5 es una vista en perspectiva con la sección transversal del núcleo del cable de alimentación superconductor.

La Figura 6 es una vista en perspectiva con la sección transversal longitudinal de la Figura 1, que muestra el espacio anular del aislamiento térmico.

La invención está relacionada con el transporte de electricidad en condiciones superconductoras (resistencia cero en corriente continua). Esta invención sustituye el uso de cables de alimentación para distribución y transmisión en voltajes de 15 kV o más porque presenta pérdidas de potencia por conducción inferiores, considerando que para un conductor de Cu con una densidad de corriente de 1-4 A/mm<sup>2</sup> y una resistividad de  $2 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ , las pérdidas por transmisión son del orden de 20-80 mW/Am. Para comparar mejor con los cables superconductores, deben tenerse en cuenta las pérdidas causadas por el calentamiento de los materiales superconductores. A temperaturas criogénicas, dichas pérdidas están definidas por un factor de Carnot dividido entre la eficiencia del sistema de refrigeración. En el caso de nitrógeno líquido, este factor está entre 10 y 20. Por lo tanto, en un superconductor las pérdidas serán inferiores a 5 mW/Am. El flujo de nitrógeno líquido rellena la cavidad longitudinal 21, Fig. 5, del tubo ondulado flexible 1 de acero inoxidable 304 ó 316. Dicho tubo puede tener un diámetro externo entre 2 cm y 6 cm y un diámetro interno entre 1 cm y 4 cm en el que la profundidad de la ondulación puede variar entre 0,5 cm y 1 cm. El paso de las ondulaciones puede ser entre 0,8 y 1,5 cm para una profundidad de ondulación entre 0,4 y 0,5 cm. Como otra alternativa para una profundidad entre 0,4 y 0,6 cm, el paso de las ondulaciones puede ser entre 1,6 y 3 cm. Sobre este tubo, se pone una malla de acero inoxidable 304 ó 316 para obtener una superficie relativamente plana. Sobre esta malla se pone una capa de cinta de acero inoxidable 2, de entre 4 y 5 cm de anchura y entre 0,0005 y 0,006 cm de grosor. Están puestas sobre el tubo ondulado con separación entre 0,15 y 0,2 cm. Luego se ponen una o dos cintas de acero inoxidables adicionales, de 2,5 a 4 cm de anchura y 0,001 a 0,002 cm de grosor, con separación entre las cintas de 0,1 a 0,15 cm. Después, se pone una primera capa de cintas de Cu 3, de 0,25 a 0,40 cm de anchura y de 0,025 a 0,030 cm de grosor, con una longitud de cableado entre 2 cm y 100 cm dependiendo del diseño de la primera capa de cintas superconductoras que han de aplicarse. Dicha capa de cintas de Cu puede estar colocada en un ángulo comprendido entre 0° y 45° dependiendo del diseño del cable. El material superconductor que ha de usarse está hecho de cintas de un producto BSCCO comercial de composición 22233 (Bi<sub>2</sub> Sr<sub>2</sub> Ca<sub>2</sub> Cu<sub>3</sub> O<sub>x</sub>). La anchura de dichas cintas está comprendida entre 0,38 y 0,42 cm<sup>2</sup> y el grosor entre 0,018 y 0,022 cm, lo que ofrece una densidad de corriente mínima de 7 kAcm<sup>2</sup> según el criterio de 1 μV/cm (microvoltio/centímetro). Con este material superconductor, se colocan una o dos capas de cintas con una longitud de colocación de cableado entre 20 cm y 300 cm, en un ángulo comprendido entre 0° y 45° dependiendo del diseño de cada capa con una dirección que puede ser a derecha o a izquierda 4, 5, 6. Y dos o más capas de cinta de material superconductor con una longitud de colocación entre 20 cm 300 cm con un ángulo comprendido entre 0° y 45° dependiendo del diseño de cada capa con una dirección que puede ser a derecha o a izquierda con respecto al cableado, en la dirección opuesta de las capas puestas previamente 7, 8, 9. Finalmente, se coloca una cinta de envoltura hecha de material aislante 10, con un grosor comprendido entre 0,005 y 0,01 cm y una anchura comprendida entre 2 y 4 cm.

Para proteger el núcleo central, el cable de alimentación superconductor objeto de la presente invención también está caracterizado porque incluye un sistema de aislamiento térmico bajo vacío que está constituido por un tubo ondulado flexible 11 hecho de acero inoxidable 304 ó 316, para contener el cable superconductor y el nitrógeno líquido. Dicho tubo puede tener un diámetro externo comprendido entre 4 cm y 8 cm y un diámetro interno comprendido entre 3 cm y 7 cm, variando la profundidad de ondulación entre 0,5 cm y 1 cm. El paso de las ondulaciones puede variar entre 1 cm y 2 cm para una profundidad de ondulación entre 0,5 y 0,8 cm. Luego, en la periferia de este tubo, se aplica un aislamiento térmico de capas múltiples ( $\rho_a$ ), que puede tener un grosor comprendido entre 0,0005 cm y 0,005 cm, que se calcula según la siguiente fórmula:

$$\rho_a = (S_s + \rho_r t_r)(N / \Delta x)$$

en la que:

- 60  $\rho_a$  Grosor de la capa aislante
- $S_s$  Masa del material por unidad de área
- $\rho_r$  Densidad del material aislante
- 65  $t_r$  Grosor del revestimiento antirradiación
- $N/\Delta x$  Densidad de la capa

## ES 2 336 663 T3

Concéntricamente alrededor del tubo ondulado flexible 11, cubierto con el material aislante 12, se pone un segundo tubo ondulado 13, creando el espacio de aislamiento térmico bajo vacío 20, Figura 6.

5 Para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de aislamiento térmico a una temperatura de 77°K, se requiere una presión de vacío inferior a 10 mPa (milipascales).

10 Dicho segundo tubo ondulado 13, que crea el espacio del vacío, está hecho de acero inoxidable 304 ó 316 que puede tener un diámetro externo comprendido entre 8 cm y 10 cm y un diámetro interno comprendido entre 6 y 7 cm, en el que la profundidad de las ondulaciones puede variar entre 0,5 cm y 1,5 cm. El paso de las ondulaciones puede ser entre 1 y 2 cm para una profundidad de ondulación entre 0,5 y 1 cm.

15 El sistema de aislamiento térmico también incluye sobre la pared externa del tubo ondulado 13 una malla de acero inoxidable trenzado 14, Fig. 1 y 3, que ofrece una superficie uniforme para la estructura de la pared externa del tubo ondulado de forma helicoidal o espiral.

20 Alrededor de la superficie de malla uniforme 14, se aplica un blindaje semiconductor interno 15, que está hecho de polietileno termoplástico de baja densidad o cualquier otro material termoplástico o termoendurecible. La conductividad de dicho blindaje no debe exceder 1000  $\Omega$  m cuando se mide a temperatura ambiente, teniendo dicho blindaje un grosor de al menos 0,006 cm. Sobre este blindaje semiconductor se pone el aislamiento eléctrico del cable 16.

25 Dicho aislamiento eléctrico está basado en polietileno y/o propileno de etileno (EP) termoplástico o termoendurecible o de cadena cruzada, siendo el grosor del aislamiento entre 0,229 cm y 0,976 cm dependiendo del nivel de voltaje de funcionamiento del cable. Sobre este aislamiento eléctrico, se pone un segundo blindaje semiconductor 17 hecho de los mismos materiales que el blindaje semiconductor interno 15, Figura 4. Sin embargo, en este caso, el grosor del blindaje debe ser al menos 0,0129 cm y tiene que satisfacer una resistividad volumétrica de 500  $\Omega$  m cuando se mide a temperatura ambiente. Sobre esta capa, se pone un blindaje metálico de cinta de Cu 18, que debe ser de al menos 0,0635 cm de grosor, teniendo un área de la sección transversal de al menos 0,1 mm<sup>2</sup>/mm. Sobre este blindaje metálico 18, se pone un recubrimiento protector 19, posiblemente hecho de polietileno o cloruro de polivinilo (PVC) dependiendo de la aplicación del cable, teniendo dicho revestimiento un grosor comprendido entre 0,203 y 0,279 cm.

30

Según los requisitos técnicos, los parámetros de diseño de superconductores usados fueron los siguientes:

35 \* Anchura de la cinta (cm):  $0,4 \pm 0,02$

\* Grosor de la cinta (cm):  $0,02 \pm 0,002$

\* Densidad de corriente crítica ( $\text{kA}/\text{cm}^2$ ) > 7 (criterio de  $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ )

40 \* Grosor de la sección de los filamentos dentro de la cinta  $2b_{sc}$ (cm): 0,018

\* Corriente crítica en el valor de voltaje de deformación de curvatura: 0,1% - no inferior al 95% o 0,2% - no inferior a 90%.

45 \* Reducción de aproximadamente el 20% en la corriente crítica cuando el campo es entre 0T y 0,1T.

Las ecuaciones básicas para calcular el número de cintas superconductoras y los parámetros de diseño son las siguientes:

50

Número de cintas por capa (Ni)

55

$$Ni = \frac{\pi x D_{iox} COS \beta_i}{2 a_i (1 + S_i)}$$

en la que:

60  $D_{i_o}$  = diámetro medio de la capa i

$2_{a_i}$  = Anchura de cinta de la capa i

$S_i$  = Espacio relativo entre las cintas de la capa i

65

$\beta_i$  = Ángulo de colocación de las cintas superconductoras

## ES 2 336 663 T3

Colocación de las cintas en una capa (Pí)

$$Pí = \frac{\pi x Dio}{\tan \beta i}$$

Separación relativa entre las cintas de una capa: (Sí)

$$Sí = \frac{\pi x Dio x \cos \beta i}{2 a i x N i}$$

El voltaje de deformación relativo  $\varepsilon_i$  respecto al superconductor en condiciones de curvatura de las cintas es:

$$\varepsilon_i = 2 b_{sc} x \sin \beta / Dio$$

Se ha desarrollado la base del modelo del cable superconductor a alta temperatura, que está constituida por el diseño del propio núcleo superconductor, así como el desarrollo del aislamiento basado en materiales conocidos y desarrollados previamente para uso en cables de alimentación de medio y alto voltaje.

### Ejemplo 1

Bajo las condiciones de diseño, se escogió la cinta superconductora VAC (Alemania). Dicha cinta presenta una corriente crítica de 59,8 A a 64,7 A dependiendo de la combinación de grosor y anchura de la cinta superconductora. Basándose en estas variaciones, los criterios de linealidad de la densidad de corriente crítica usados para la optimización y el cálculo del cable no son muy congruentes y, de este modo, un valor de la densidad de corriente crítica en el campo magnético externo igual a cero se acepta como 113 A/cm para los cálculos del cable. Teniendo en cuenta dichas variaciones, se tomaron los siguientes valores como parámetros para el cálculo.

\* Diámetro externo del núcleo  $D_{fe} = 5,5$  cm;

\* Grosor de la cinta  $2b_t = 0,002$  cm;

\* Grosor de la sección de los filamentos dentro de la cinta  $2b_{sc} = 0,018$  cm;

\* Espacio relativo entre cada cinta en cada capa  $S = 0,05$ .

La colocación mínima de las cintas (ángulo máximo de colocación de cintas) se selecciona basándose en las limitaciones impuestas por el umbral de voltaje de deformación con respecto a la curvatura, para un superconductor cuando las cintas de una capa están curvadas sobre un diámetro  $D_i$  y el ángulo de colocación de la cinta  $\beta_i$  está en un valor permisible máximo ( $\varepsilon < 0,2\%$ , en el que  $\varepsilon = 2b_{sc} \cos \beta_i / D_i$ ). Se espera que la corriente crítica del cable sea entre 6 kA y 10 kA, según el criterio de  $1 \mu V/cm$  y siendo los valores aproximados de la inducción del campo magnético sobre la superficie de la sexta capa entre 0,04 T y 0,07 T. Por esta razón, para cada incremento de 0,001 T, se espera que la reducción de la corriente crítica de la cinta sea el 2% de su valor inicial.

La influencia del voltaje de deformación sobre el superconductor con respecto al valor de la corriente crítica de la cinta durante la fabricación del cable se describe en los comentarios sobre la Tabla N° 1.

# ES 2 336 663 T3

TABLA N° 1

Resultados de fabricación esperados								
(2 <sub>a</sub> = 0,38 cm, 2b <sub>sc</sub> = 0,018 cm)								
Número de capa	Curvatura Di Mm	ε %	N <sub>i</sub>	l <sub>c</sub> Cinta A	l <sub>ci</sub> A	l <sub>ci</sub> /l <sub>co</sub>	l <sub>maxi</sub> REAL A	S <sub>i</sub> Real
1	13,32	0,135	40	42,22	1688,8	0,1667	1672,3	0,0377
2	17,52	0,103	42	41,54	1744,7	0,1722	1727,6	0,0399
3	42,03	0,043	44	40,85	1797,4	0,1771	1779,8	0,0446
4	51,72	0,035	45	40,17	1807,7	0,1784	1790,0	0,0325
5	15,82	0,114	42	39,49	1658,6	0,1637	1642,3	0,0457
6	9,97	0,181	37	38,80	1435,6	0,1417	1435,6	0,0484
Σ					10132,8	1	10047,6	

Según la tabla anterior, puede verse que el valor de la corriente depende del voltaje de deformación máximo si y sólo si no excede el valor de deformación del 0,2%, que es el valor crítico de la corriente. A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior, observamos que hay una distribución de corriente uniforme en cada capa, lo que da un factor de distribución de corriente  $I_{ci}/I_{co} = 1$  y un valor de corriente crítica máximo de  $I_{MAX REAL} = 10047 A$ .

## Ejemplo 2

Sin embargo, en la Tabla N° 2, los resultados de la optimización del cable se presentan como los criterios para alcanzar el valor de corriente crítica pico y la minimización de las pérdidas de energía bajo la influencia del flujo y el campo magnético axial.

TABLA N° 2

Resultados de la optimización							
Número de capa	D <sub>i</sub> Exterior Cm	Dirección de colocación de capa	J <sub>ct</sub> A/cm	β grados	P <sub>f</sub> cm	l <sub>calc</sub> l <sub>i</sub> /l <sub>o</sub>	J <sub>i</sub>
1	5,554	L/1	111,11	24,6	37,89	0,1671	1,0000
2	5,588	L/1	109,31	18,6	51,96	0,1716	0,9938
3	5,632	L/1	107,51	7,70	130,35	0,1765	0,9859
4	5,676	R/-1	105,71	6,30	160,89	0,1769	0,9941
5	5,720	R/-1	103,91	21,2	46,15	0,1648	0,9967
6	5,764	R/-1	102,11	35,3	25,48	0,1431	0,9985
Σ	5,764					1,0000	0,9948

Corriente máxima alcanzada  $I_{MAX} = 10028,5$

La suma total del coeficiente de utilización en las seis capas  $K_{MAX} = \Sigma_{ji} = 5,96689$ .

## ES 2 336 663 T3

Y según los criterios mencionados anteriormente, la distribución de corriente es uniforme en todas las capas del cable, y las pérdidas causadas por el campo magnético axial se minimizan.

En la que

5

$D_i$  exterior = diámetro exterior de la capa i

$J_{ci}$  = Densidad de la corriente crítica lineal para las cintas de la capa i

10

$\beta_i$  = Ángulo de colocación de cinta para las cintas de la capa i

$P_i$  = Colocación de cinta para las cintas de la capa i

15

$N_i$  = Número de cintas de la capa i

$I_{ci}$  = Corriente crítica total de todas las cintas de la capa i (capa i de corriente) frente al número total de cintas (suma de las corrientes críticas de todas las cintas) en el modelo.

20

$I_{calc} = I_i/I_o$  Distribución de corriente en la capa i de la corriente total.

$N_i/N_o = I_{ci}/I_{co}$  = Número de cintas de la capa i (corriente crítica en la capa i) frente al número total de cintas (suma de las corrientes críticas de todas las cintas) en el modelo.

25

$I_{max REAL}$  = Valor real del pico de corriente en la capa i cuando la corriente alcanza su valor crítico en al menos una de las capas.

$J_i$  = Coeficiente de utilización del superconductor en la capa i.

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 336 663 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Un cable de alimentación superconductor con un núcleo superconductor mejorado de al menos una fase que tiene refrigeración por flujo de nitrógeno en la cavidad de un tubo central compuesto de una primera y una segunda secciones tubulares,

10 siendo la primera sección tubular un núcleo central superconductor flexible formado por un primer tubo central ondulado flexible (1) revestido con cintas de malla de acero inoxidable (2), recubierto con capas de cintas de cobre (3), recubierto con capas de material superconductor bobinadas en ángulos de devanado de entre 0 y 45 grados, estando el montaje anteriormente mencionado unido con una cinta de material aislante (10), mientras que

15 la segunda sección tubular es un sistema de aislamiento térmico que protege el núcleo central y está formado concéntricamente por un segundo tubo de acero inoxidable ondulado flexible (13), separado del aislamiento térmico de capas múltiples (12) por un espacio de aislamiento térmico bajo vacío (20), teniendo la pared exterior del tubo ondulado (13) una malla de acero inoxidable (14) con el propósito de adherir varias capas, estando formadas dichas capas por; un primer blindaje semiconductor (15) hecho de polietileno termoplástico o termoendurecible de baja densidad, un aislamiento (16), un segundo blindaje semiconductor (17), un blindaje metálico compuesto de una cinta de cobre (18) y un recubrimiento protector (19) hecho de polietileno,

20 **caracterizado** porque encima de las cintas de cobre (3) de la primera sección tubular, las capas de material superconductor comprenden una serie de dos o más cintas de material superconductor (4, 5, 6) enrolladas en una dirección revestidas por una segunda serie de dos o más cintas de material superconductor (7, 8, 9) enrolladas en la dirección opuesta, teniendo dichas cintas una longitud de colocación entre 20 cm y 300 cm con un ángulo comprendido entre 0 y 45°.

25 2. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

30 **caracterizado** porque el primer tubo ondulado flexible (1) que forma el espacio anular bajo vacío está hecho de acero inoxidable 304 ó 316 y tiene un diámetro externo de 6 a 8 cm y un diámetro interno de 4 a 5 cm, la profundidad de ondulación puede variar entre 0,5 y 1 cm y el paso de las ondulaciones es de 1 a 2 cm para una profundidad entre 0,5 y 0,8 cm.

35 3. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

40 **caracterizado** porque el aislamiento térmico (12) puesto en varias capas es una lámina de aluminio y mylar de 0,0005 a 0,005 cm de grosor.

45 4. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

50 **caracterizado** porque el segundo tubo ondulado de acero inoxidable (11) tiene un diámetro externo entre 8 y 10 cm y un diámetro interno entre 6 y 7 cm, con una profundidad de ondulación entre 0,5 y 1,5 cm, y un paso entre ondulaciones de 1 a 2 cm para una profundidad entre 0,5 y 1 cm.

55 5. Los cables de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

60 **caracterizados** porque la conductividad del primer blindaje semiconductor (15) no excede de 1000  $\Omega$  m a temperatura ambiente y tiene un grosor de al menos 0,006 cm.

65 6. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

**caracterizado** porque el aislamiento (16) está basado en polietileno y/o propileno de etileno (EP) termoplástico o termoendurecible o de cadena cruzada de baja, media o alta densidad, dependiendo el grosor del mismo del efecto del voltaje de funcionamiento en el cable y siendo entre 0,229 y 0,976 cm.

7. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

80 **caracterizado** porque el segundo blindaje semiconductor (17) está hecho de los mismos componentes que el primer blindaje semiconductor (15) pero su grosor es al menos 0,0129 cm y su resistividad volumétrica máxima es 500  $\Omega$  m a temperatura ambiente.

## ES 2 336 663 T3

8. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

**caracterizado** porque el blindaje metálico de cinta de cobre (18) es de 0,00635 cm de grosor, teniendo un área de la sección transversal de al menos 0,1 mm<sup>2</sup>/mm.

5

9. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

**caracterizado** porque el recubrimiento protector (19) puede estar hecho de polietileno o cloruro de polivinilo (PVC), con un grosor entre 0,203 y 0,279 cm.

10

10. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

**caracterizado** porque el sistema de aislamiento térmico bajo vacío funciona a temperaturas de 77° K y bajo una presión de vacío de 10 mPa (milipascales).

15

11. El cable de alimentación superconductor de la reivindicación 1,

**caracterizado** porque además comprende una o dos cintas de acero adicionales de 2,5 a 4 cm de anchura y 0,001 a 0,002 cm de grosor, puestas con separación entre las cintas de la malla de acero inoxidable (2) de 0,1 a 0,15 cm.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

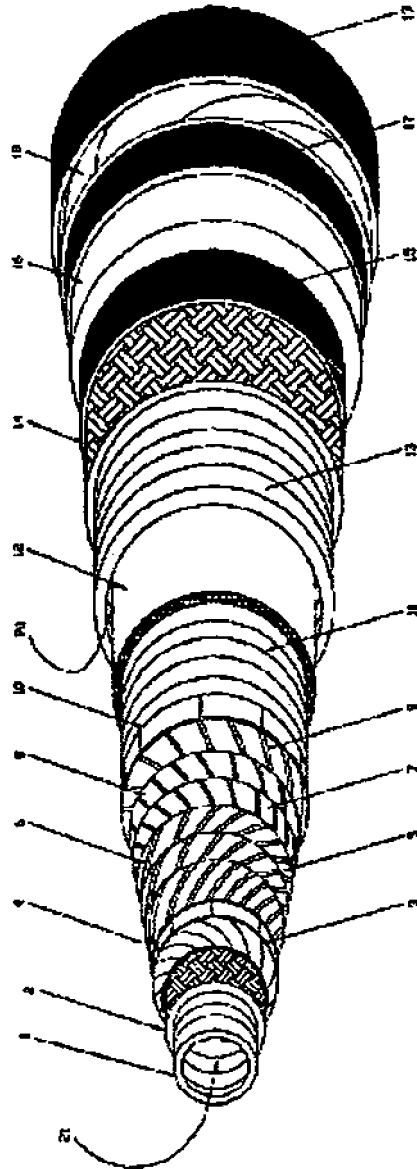


FIG. 1

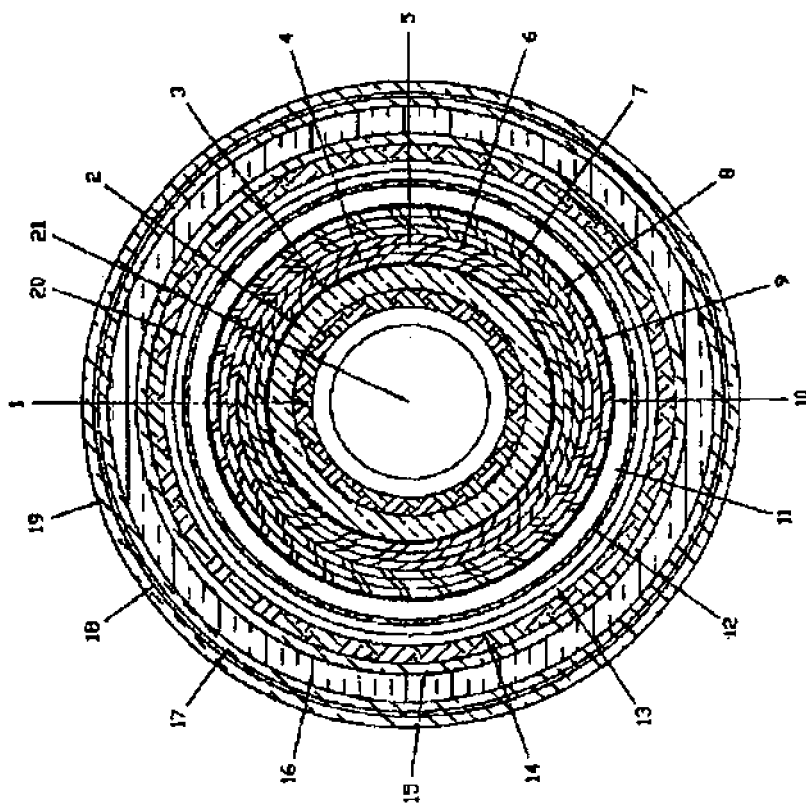


FIG. 2

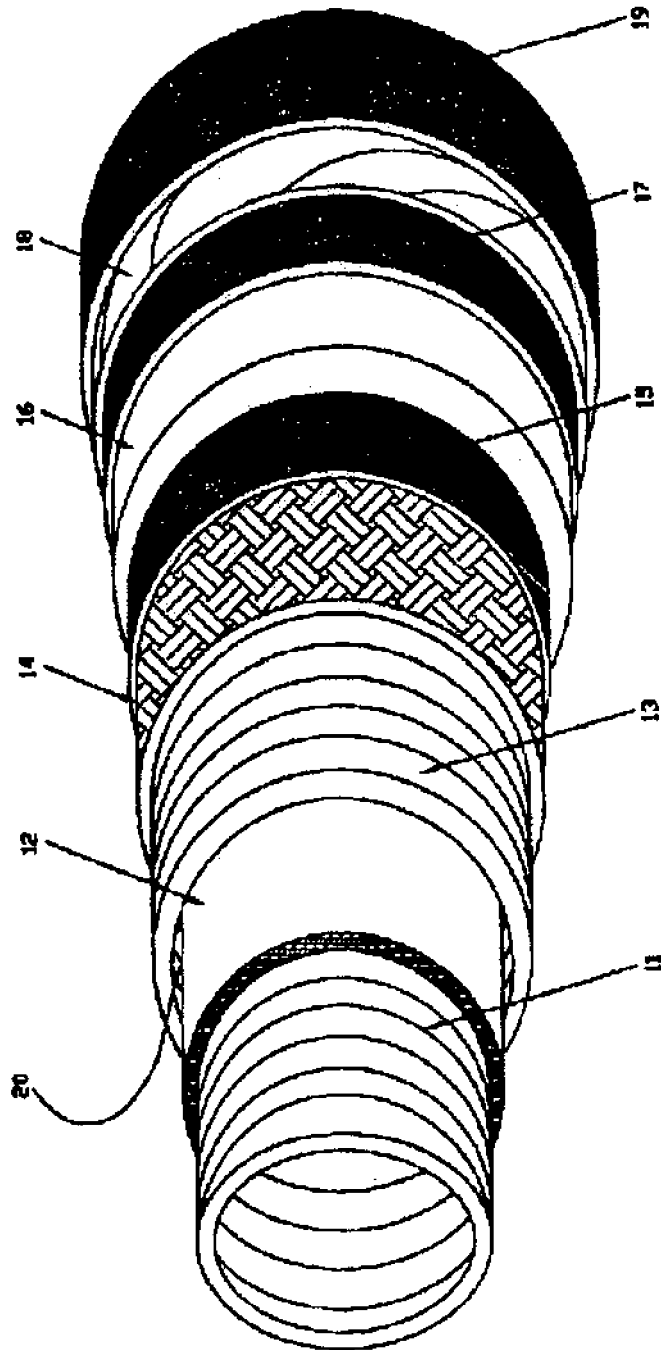


FIG. 3

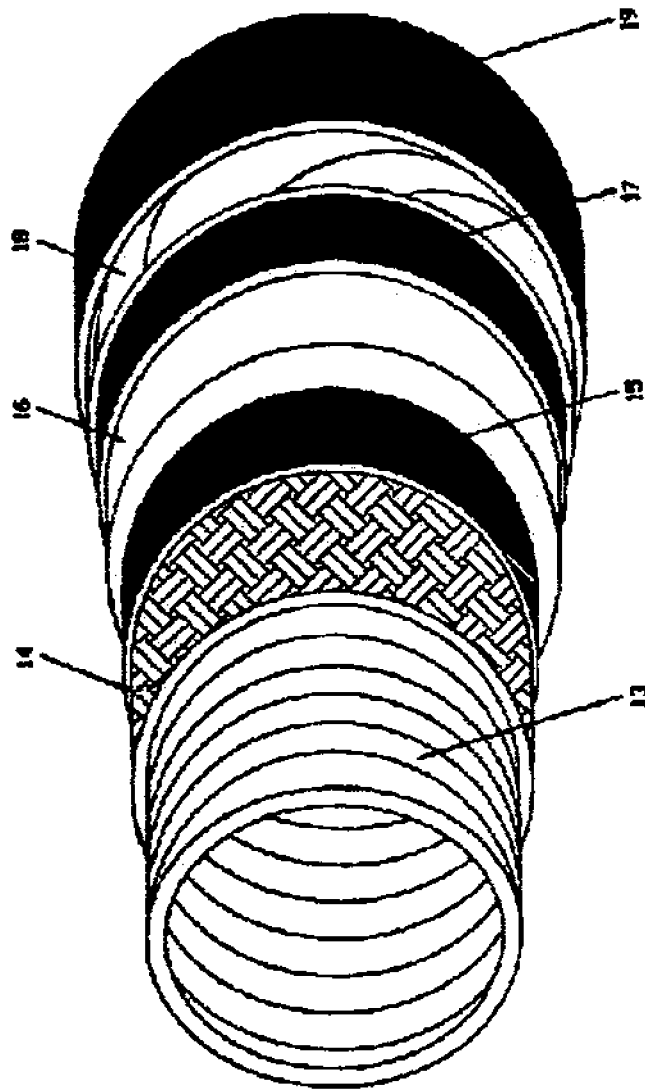


FIG. 4

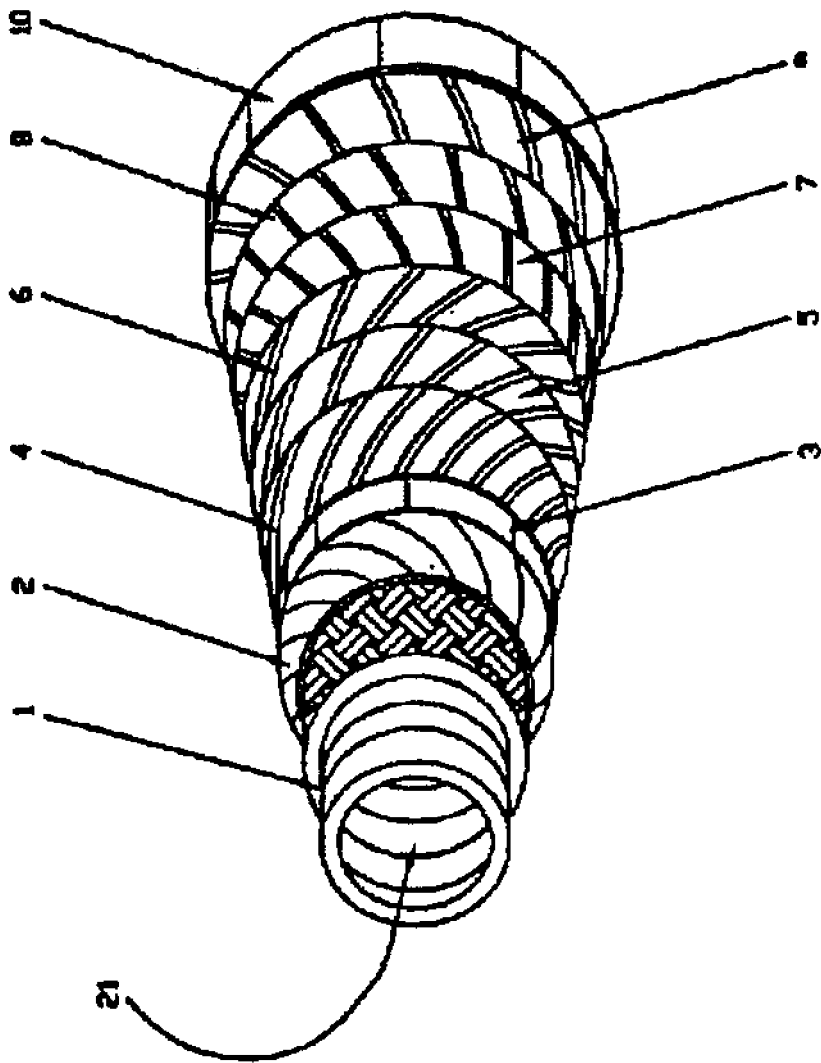


FIG. 5

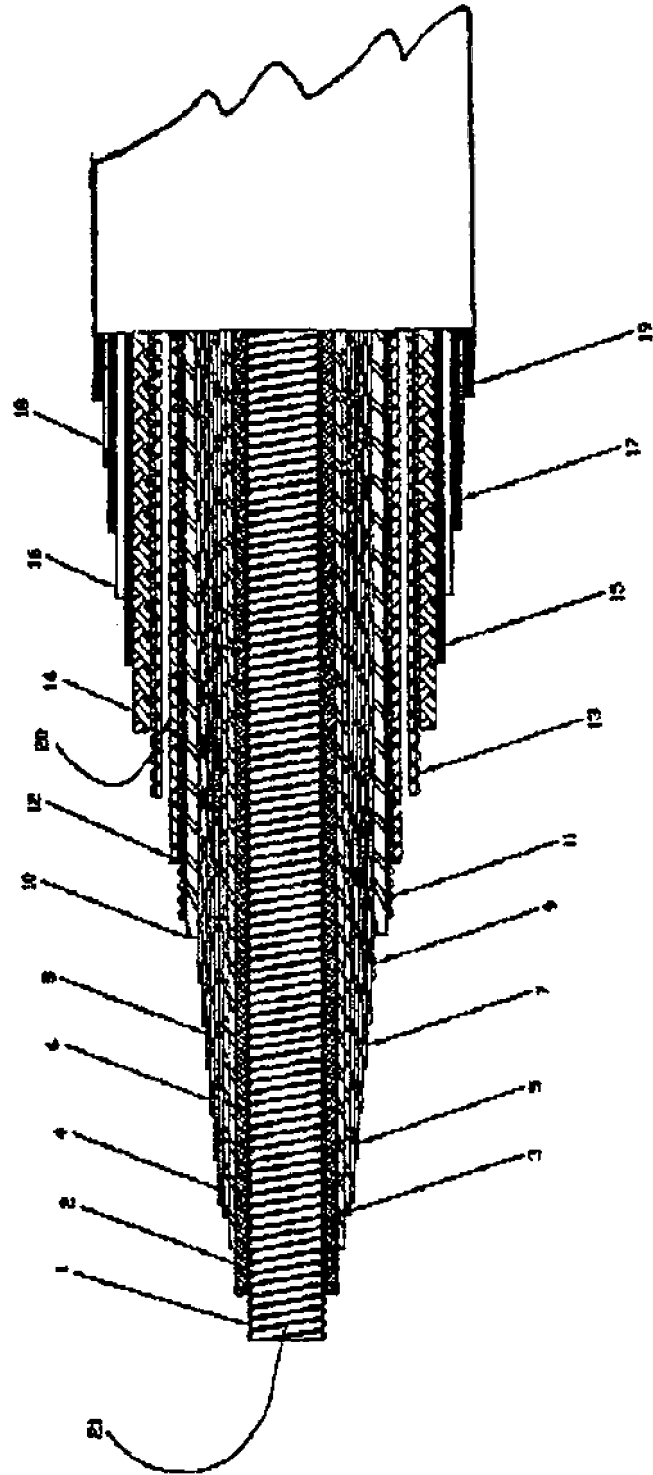


FIG. 6