

747103

9 NOV



MEMORIA DESCRIPTIVA.-

PATENTE DE INVENCION.

P A I S : ESPAÑA.

DURACION : 20 AÑOS.

OBJETO : "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS  
"EN LA FABRICACION DE CABLES ELEC-  
"TRICOS SUPERCONDUCTORES".

\*\*\*\*\*

A nombre de : COMPAGNIE GENERALE D'ELECTRICITE.

Residente en : PARIS (Francia), 54 rue la Boétie.

Nacionalidad : FRANCESA.

(P. 2.585. C.G.)  
(Ref. Fº 2760.-)



El presente invento se refiere a un cable superconductor.

5.- Se pretende transportar por tal cable potencias de 100 a 1000 megavatios, en corriente continua o en corriente alterna, bajo tensiones, de preferencia, superiores a 10 kilovoltios. Se busca igualmente, con el fin de tener el mejor rendimiento posible, realizar una estructura de cable que permita un enfriamiento directo del o de los conductores.

10.- Finalmente, se desea obtener un cable cuya parte central pueda ser bobinada fácilmente sobre un carrete para facilitar su transporte y su colocación.

El presente invento tiene por objeto un cable superconductor que satisface estas condiciones.

15.- Este cable es del tipo conocido constituido por cierto número de cintas superconductoras apiladas paralelamente unas a otras y aisladas unas de otras, y conectadas de tal modo que cada cinta transporte corriente eléctrica en sentido inverso a la corriente que circula en las dos cintas adyacentes. En otros términos, las cintas de rangos impares transportan una corriente en un determinado sentido y las cintas de rangos pares transportan una corriente en sentido opuesto. Esta disposición tiene por efecto que el campo magnético en las proximidades de cada cinta sea la resultante del campo magnético producido por la corriente que

20.-

25.-



la atraviesa, y de los campos magnéticos, de sentido in-  
verso, producidos por las corrientes en las cintas adya-  
centes. Este campo resultante, por tanto, es considerable-  
mente más débil que si las corrientes circularan en el mis-  
30.- mo sentido en todas las cintas, porque dicho campo resul-  
tante sería entonces la suma de los campos parciales debi-  
dos a las diferentes cintas. Ahora bien, se sabe que, para  
un material dado y a una temperatura dada, el estado su-  
perconductor de dicho material cesa si el campo magnético  
35.- al cual está sometido alcanza o rebasa un determinado valor  
crítico.

Un cable constituido como acaba de decirse permite  
pues, a igualdad, por lo demás, de las otras cosas, trans-  
portar corrientes de intensidad mucho más elevada que un  
40.- cable superconductor clásico.

Se puede obtener igualmente este resultado, de manera  
conocida, utilizando conductores tubulares aislados concén-  
tricos, realizándose el enfriamiento de un cable así cons-  
tituido colocándolo en una canalización en la cual se hace  
45.- circular un líquido criógeno, que puede igualmente circular  
por el interior del conductor tubular interno.

Sin embargo, los cables de este tipo presentan cierto  
número de inconvenientes; tienen una estructura disimétrica,  
son de realización difícil y no permiten al líquido crióge-  
50.- no bañar directamente los conductores.

El cable superconductor según el presente invento per-  
mite evitar estos inconvenientes.

Se caracteriza esencialmente porque está constituido  
por un apilamiento de cintas superconductoras separadas  
55.- unas de otras por bandas aislantes, estando encerrado el



conjunto en una canalización donde circula un líquido criógeno de manera que dicho líquido esté en contacto con, al menos, una parte de la superficie de dichas cintas superconductoras, estando a su vez dicha canalización rodeada por una envolvente térmicamente aislante.

60.-

Según una forma ventajosa de cables según el invento, las bandas aislantes que separan dos cintas superconductoras tienen una anchura superior a la de dichas cintas, de manera que sobresalgan por los lados de estas últimas, y que se aumente así la "distancia de ruptura" entre dos cintas contiguas.

65.-

Las cintas superconductoras pueden estar constituidas por cintas de metal superconductor, tal como niobio o por cintas de materia flexible revestidas o guarnecidas de un material superconductor, por ejemplo una cinta de acero chapada con niobio o plomo o una cinta de la materia designada bajo la marca registrada "MYLAR" y revestida de plomo.

70.-

Las figuras 1, 2 y 3 representan la sección transversal de cables según tres formas de realización del invento, utilizadas con corriente continua.

75.-

La figura 4 es una vista en corte longitudinal de un cable según la figura 3.

Las figuras 5 y 6 representan almas de cables utilizados con corriente alterna.

En la figura 1, 1' - 1"... designan las cintas de material superconductor, y 2, 2', 2"... las bandas aislantes intermedias.

80.-

El apilamiento así realizado es colocado en una canalización 3, de materia plástica aislante de la electricidad, en la cual circula un líquido criógeno 4, por ejemplo

85.-



helio líquido. Dicho apilamiento es mantenido apretado entre dos ensanchamientos internos 15, 15' de la canalización 3.

90.- Finalmente, esta canalización está aislada térmicamente por una envolvente 5, constituida, de manera conocida, por capas de materiales superaislantes térmicos y capas vacías de aire, y pudiendo comprender además un recinto por donde circula un fluido criógeno tal como helio gaseoso.

95.- Dos cintas superconductoras tales como 1 y 1' son recorridas por corrientes de sentidos opuestos (designadas por + I y - I en la figura), como se ha dicho antes.

100.- La figura 2 representa una forma de realización en la cual los conductores no están apretados entre las bandas aislantes, con el fin de evitar los esfuerzos mecánicos debidos a las contracciones diferentes del conductor y del aislante durante el enfriamiento. A este efecto, las bandas aislantes están perfiladas y reunidas dos a dos de manera que se forme una especie de canal en el cual está colocada libremente la cinta superconductora, desnuda o empotrada en un relleno tal como 9, 9', 9", de materia esponjosa.

105.- Unas aberturas 8, 8', 8" están practicadas de trecho en trecho sobre los cantos de las bandas aislantes perfiladas con el fin de permitir al líquido criógeno penetrar en el canal aislante y bañar así el conductor situado en él. Como 110.- en la primera forma de realización, la canalización 3 está protegida térmicamente por una envolvente 5 de material superaislante térmico.

115.- Las figuras 3 y 4 representan respectivamente en corte transversal y en corte longitudinal un cable análogo al de la figura 1, pero en el cual la canalización 3 es metálica



y está constituida, por ejemplo, por un tubo de aluminio ondulado con el fin de aumentar la flexibilidad del cable. Los conductores extremos 1 y 1" están entonces aislados de dicha canalización por los suplementos aislantes 6, 6'.

120.- Las tres formas de realización del cable según el invento aseguran una buena refrigeración de los conductores en razón del contacto directo entre el material superconductor y el líquido criógeno.

125.- Se va a demostrar, mediante algunos cálculos dados a título de ejemplo, que un cable que tenga una estructura según el invento permite transportar una potencial del orden de 100 a 1000 megavatios utilizando un alma de sección suficientemente pequeña para que pueda ser bobinado el cable sobre un carrete que tenga el diámetro usual.

130.- Sea  $j_s$  la densidad de línea de corriente admisible en el superconductor,  $d$  la anchura de la cinta superconductora utilizada, y  $2n$  el número total de cintas; entonces, la corriente total  $I$  transportada será

$$I = nj_s d$$

135.- El gradiente de tensión en las proximidades de los bordes del conductor debe mantenerse inferior al potencial de ionización del fluido refrigerante en sus condiciones de empleo.

140.- Cumplida esta condición, la tensión de funcionamiento será, en primera aproximación, proporcional al espesor del aislante, o sea  $U = Ee$ , donde  $E$  designa el valor máximo del campo eléctrico admitido en el dieléctrico y  $e$  es el espesor de la capa aislante. La potencia transportada en corriente continua es  $P = UI = j_s E n e d$ .

145.- Como el volumen del conductor es pequeño frente al del



aislante, lo que se realiza a las tensiones medias, ned re-  
presenta la sección S del cable y se tiene pues  $P = j_s ES$ .

Esta relación muestra que la potencia transportada por  
la línea es proporcional a la sección del cable.

150.- Para una cinta de niobio se tiene, por ejemplo,

$$j_s = 1,5 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

Con un aislante de teflón se tiene  $E = 10^7 \text{ V/m}$

Con un alma de cable que tenga una sección de  $10^{-2} \text{ m}^2$

se puede transportar una potencia sensiblemente igual a:

155.-  $P = 1,5 \cdot 10^5 \times 10^7 \times 10^{-2} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ W para un } \text{dm}^2$

Se puede reducir este valor a  $1 \cdot 10^{10} \text{ W/dm}^2$  para tener  
en cuenta factores que no se han considerado en el cálculo,  
o sea  $10^4 \text{ MW/dm}^2$ .

La densidad de corriente aparente  $j_a$  en el cable es pró-  
xima a :  $j_a = \frac{j_s}{e} = j_s \frac{E}{U}$

Es inversamente proporcional a la tensión de trabajo .

Para  $U = 20 \text{ kV}$ , se obtiene, para el ejemplo considerado:

$$j_a = \frac{1,5 \cdot 10^5 \times 10^7}{2 \cdot 10^4} = 7,5 \cdot 10^7 \text{ A/m}^2 = 75 \text{ A/mm}^2$$

165.- Para realizar la transmisión de una potencia de 150  
MW bajo una tensión de 20 kV es precisa un alma que tenga  
una sección de  $100 \text{ mm}^2$ , puesto que la corriente es de 7500A.

Se puede tomar  $d = 2,5 \text{ cm}$  y  $n = 2$  y el espesor total de  
aislante será de 1 cm. (En efecto, es razonable prever por lo  
menos 2 mm. de espesor de aislamiento entre conductores).

170.- Para realizar la transmisión de 600 MW bajo 20 kV es  
previa un alma de  $400 \text{ m}^2$ , puesto que la corriente es de  
30.000 A.

Se puede tomar  $d = 5 \text{ cm.}$ ,  $n = 4$ , y un espesor total de  
aislante de 1,8 cm.

175.- Estos dos ejemplos muestran que es posible bobinar los



cables sobre carretes que tengan varios metros de diámetro.

Los cables según el invento pueden ser utilizados para transportar corriente alterna, con la condición de utilizar un material superconductor que tenga pérdidas en corriente alterna suficientemente pequeñas.

180.-

Los cables según el invento pueden emplearse para la transmisión de corrientes polifásicas; en el caso de corrientes trifásicas, el cable tendrá entonces un número de cintas superconductoras, múltiplo de 3 (o de 4, si hay neutro).

185.-

La figura 5 muestra a título de ejemplo el corte del alma de un cable según el invento, que tiene dos circuitos trifásicos con neutro, respectivamente 10 y 100, formados cada uno por cuatro conductores. Se colocan uno debajo de otro conductores de fases diferentes, de manera que el superconductor quede dispuesto en un campo magnético tan débil como sea posible. En la figura 5, 11 y 101 designan dos conductores en fase perteneciente cada uno a uno de los circuitos, 12 y 102 conductores de la segunda fase de cada uno de los circuitos, etc., y 14 y 104 los neutros de los dos circuitos.

190.-

195.-

La figura 6 representa el alma de un cable que tiene tres circuitos trifásicos sin neutro, 20, 200 y 2000. Aquí, también, dos conductores contiguos no transportan corrientes en fase, sino corrientes desfasadas en  $2\pi/3$ . Las referencias 21, 201 y 2001 se refieren a la fase 1 de cada circuito, 22, 202 y 2002 a la fase 2 y 23, 203 y 2003 a la fase 3.

200.-

Según una variante de realización de los cables según el invento, se pueden disponer los conductores en varios

205.-



apilamientos dispuestos paralelamente, pero deben respetarse las reglas de alternancia que hemos mencionado.

**N O T A.--**

\*\*\*\*\*

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta Patente de Invención en España, por veinte años, son los siguientes:

210.- 1º.- Perfeccionamientos introducidos en la fabricación de cables eléctricos superconductores, caracterizados porque dichos cables están constituidos por un apilamiento de cintas superconductoras separadas por bandas aislantes, estando dicho apilamiento colocado en una canalización por donde circula un líquido criógeno y estando realizadas las bandas aislantes de tal manera que el líquido criógeno esté en contacto directo con, al menos, una parte de la superficie de las cintas superconductoras.

220.- 2º.- Perfeccionamientos según el punto 1º, caracterizados porque las bandas aislantes dejan libres los cantos de las cintas superconductoras.

225.- 3º.- Perfeccionamientos según el punto 1º, caracterizados porque las bandas aislantes tienen una anchura superior a la de las cintas superconductoras.

230.- 4º.- Perfeccionamientos según el punto 1º, caracterizados porque las bandas aislantes están perfiladas de modo que constituyan un canal en el cual está colocada libremente la cinta superconductora, estando dicho canal perforado con orificios que permiten al líquido criógeno penetrar en su interior para ponerse en contacto con la cinta superconductora.

5º.- Perfeccionamientos según el punto 4º, caracteri-



235.- zados porque la cinta superconductor a dispuesta en el canal aislante est a empotrada en un material esponjoso.

6 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 1 a, caracterizados porque la canalizaci on que contiene el liquido criog eno es de material aislante.

240.- 7 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 1 a, caracterizados porque la canalizaci on que contiene el liquido criog eno es un tubo met alico.

8 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 7 a, caracterizados porque el tubo met alico est a constituido por un tubo con paredes onduladas.

245.- 9 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 1 a, caracterizados porque las cintas conductoras son enteramente de metal superconductor.

250.- 10 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 1 a, caracterizados porque las cintas conductoras est an constituidas por un soporte revestido de material superconductor.

11 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 10 a, caracterizados porque el soporte es una cinta met alica.

255.- 12 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 10 a, caracterizados porque el soporte es una cinta de materia pl astica.

13 a.- Perfeccionamientos seg un el punto 1 a, caracterizados porque las bandas aislantes son de politetrafluoretileno.

260.- 14 a.- "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN LA FABRICACION DE CABLES ELECTRICOS SUPERCONDUCTORES", todo tal y conforme se describe en la presente memoria, la cual consta de 263 l inear y a titulo de ejemplo se representa en los adjuntos dibujos.

- 11 -



----- drid, = 9 NOV. 1966

*[Handwritten signature]*

FIG. 1

ESCALA VARIABLE.

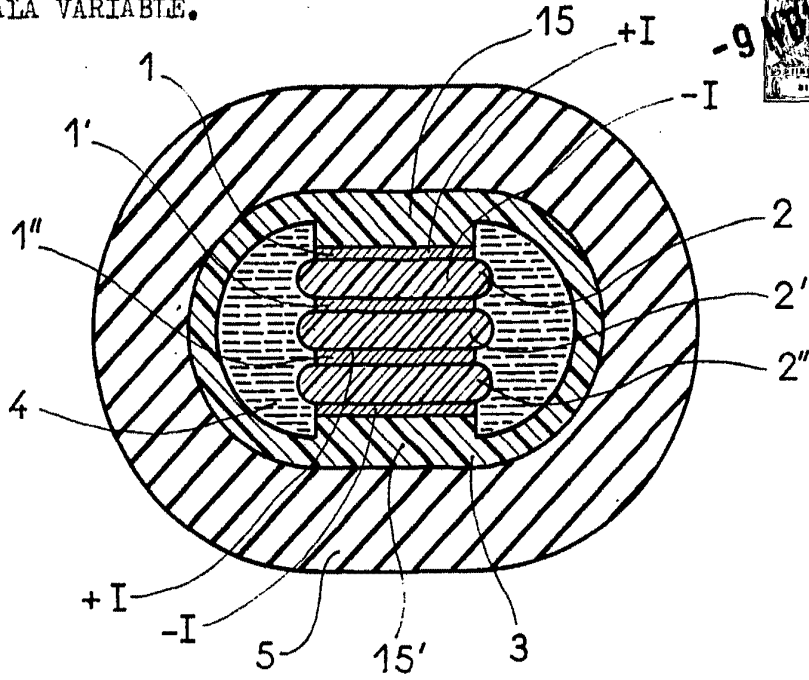
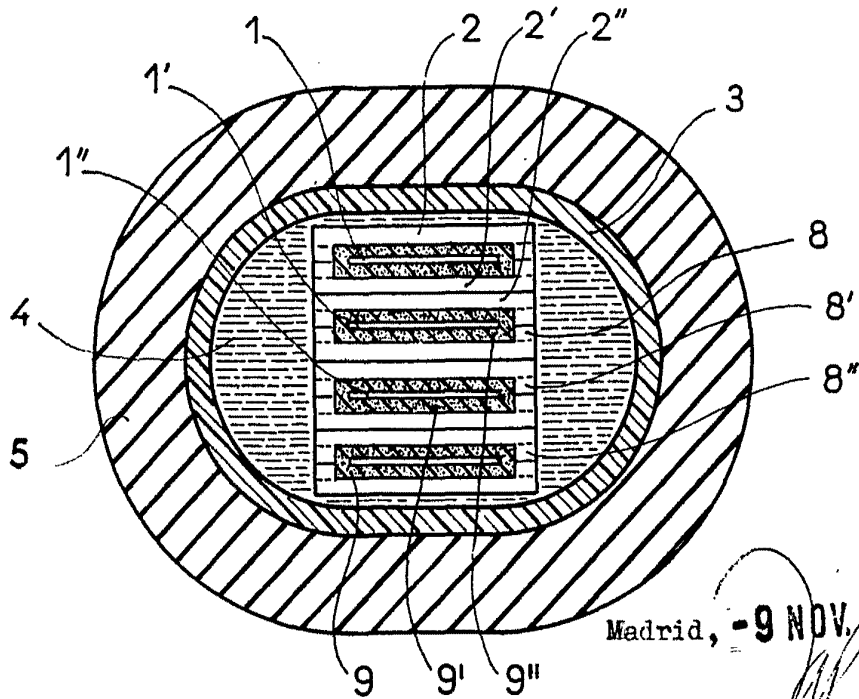


FIG. 2



ESCALA VARIABLE.



FIG.3

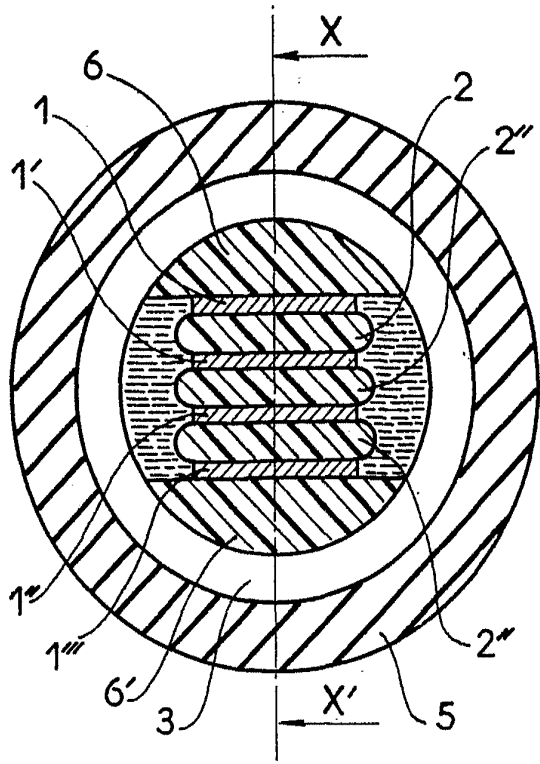


FIG.4

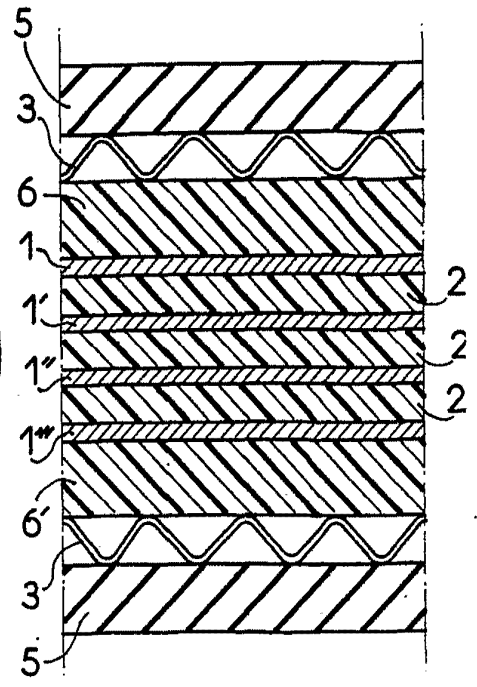


FIG.5

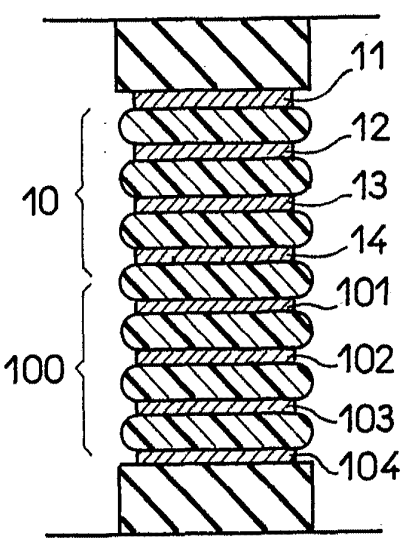
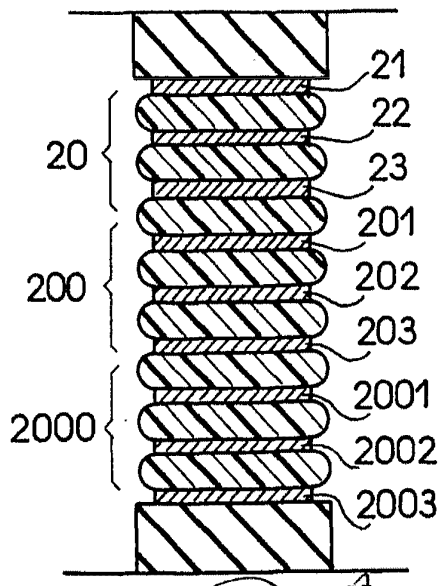


FIG.6



Madrid, 29 NOV. 1968