(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 596 193**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

(21) N° d'enregistrement national : **87 03896**

(51) Int Cl⁴ : H 01 B 12/06, 12/16.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 20 mars 1987.

(30) **Priorité** : DE, 21 mars 1986, n° P 36 09 624.5.

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 39 du 25 septembre 1987.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH.* — DE.

(72) **Inventeur(s)** : Albert Hofmann.

(73) **Titulaire(s)** :

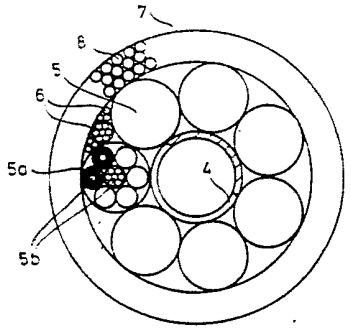
(74) **Mandataire(s)** : Cabinet Pierre Herrburger.

(54) Câble supraconducteur à refroidissement interne.

(57) a) Câble supraconducteur à refroidissement interne.

b) Câble *caractérisé en ce* que l'enveloppe du câble 1 est appliquée sur une pièce de formage 2 réalisée sous la forme d'un enroulement hélicoïdal ou d'anneaux, qui s'appuie sur les tiges conductrices, et est pourvu de joncs 3 qui s'étendent dans les espaces intermédiaires de l'enroulement hélicoïdal ou des anneaux.

c) L'invention concerne un câble supraconducteur à refroidissement interne.



FR 2 596 193 - A1

" Câble supraconducteur à refroidissement interne ".

L'invention concerne un câble supraconducteur à refroidissement interne, avec un canal d'alimentation s'étendant sur la longueur du câble dont les parois sont perméables, qui sert à amener l'agent réfrigérant, câble comportant des tiges conductrices supraconductrices, qui sont câblées autour du canal d'alimentation, et comportant aussi une enveloppe de câble.

Uncâble de ce genre est déjà connu, par exemple d'après le document DE-OS 33 43 451. Les supraconducteurs y sont câblés sur un noyau creux et sont entourés d'une enveloppe de câble qui sert en même temps d'armature d'acier dans une bobine enroulée. Les parois du noyau creux, où passe l'agent réfrigérant, présentent des ouvertures qui permettent l'échange du fluide réfrigérant. Entre l'enveloppe du câble et le supraconducteur est posée une couche isolante de l'électrivité.

Ce câble est prévu principalement pour l'établissement de bobines de champs toroïdales, en forme de D, pour des installations de "Tokamak" par exemple, qui présentent la forme d'un D en raison des différences de rayons de courbure, mais qui, au point de vue des dimensions, ne posent aucune exigence particulière au rayon d'enroulement.

L'invention a pour objet de réaliser un câble du type mentionné ci-dessus de façon telle qu'il

puisse être façonné avec un faible rayon de courbure, même si la section du conducteur est importante.

Ce résultat est obtenu suivant l'invention du fait que l'enveloppe du câble est appliquée sur une pièce de formage réalisée sous la forme d'un enroulement hélicoïdal ou d'anneaux, qui s'appuie sur les tiges conductrices, et est pourvu de joncs qui s'étendent dans les espaces intermédiaires de l'enroulement hélicoïdal ou des anneaux ; la paroi du canal d'alimentation est constituée par une bande ou un fil appliqué en spirale, ou en un enroulement hélicoïdal ; la pièce de formage est constituée d'une matière isolante de l'électricité : la pièce de formage est réalisée sous la forme d'un tube servant de conduit pour l'agent refroidissant.

D'autres configurations avantageuses de l'invention ressortiront de la description ci-après.

Le câble fabriqué suivant l'invention se distingue d'une façon avantageuse par sa grande flexibilité, et permet de fabriquer des bobines où le rayon de courbure est faible.

A partir de fils séparés relativement minces en matières supraconductrices (par exemple, conducteur à noyaux multiples, à matrice mixte NbTi/CuNi/Cu) et en matière structurelle (par exemple acier), on établit, en plusieurs étapes de câblage, un câble comportant un canal d'alimentation pour le passage du fluide réfrigérant (hélium liquide). Ce câble doit être entouré d'une gaine étanche au vide, qui doit permettre, même si le diamètre du conducteur est important, une courbure à un rayon d'enroulement relativement petit, et qui puisse, d'autre part, supporter d'importantes forces transversales. A cet effet, le câble est d'abord enroulé en spirale avec une pièce de formage réalisée de façon appropriée et est entouré d'une gaine tubulaire imperméable au vide, d'abord encore lisse. Ensuite, cette gaine

est façonnée en un tube ondulé, ce qui rétablit la flexibilité du câble.

La pièce de formage appliquée en premier lieu assure plusieurs fonctions :

- si elle est enroulée avec une tension préalable appropriée, le câble est alors maintenu assemblé mécaniquement, de sorte que des mouvements des conducteurs sont, dans une large mesure, évités lors du fonctionnement avec pulsions de la bobine,
- elle sert de butée au moment du façonnage voulu, de sorte que la gaine tubulaire peut être façonnée en un tube ondulé adapté à la demande au moyen d'un galet que l'on fait rouler sur l'extérieur,
- elle établit une liaison mécanique entre le câble et la gaine tubulaire,
- elle établit un certain écart entre les fils supraconducteurs et la gaine tubulaire. On diminue par ce moyen le risque de voir la matière supraconductrice sensible être chauffée d'une façon inadmissible par soudure de la gaine tubulaire (soudure longitudinale en spirale),
- la pièce de formage peut aussi être constituée par une matière isolante de l'électricité et être ainsi une partie constituante de l'isolation du câble. De cette façon, dans un câble de ce genre, l'isolation peut être déplacée vers l'intérieur,
- elle peut aussi être réalisée sous la forme d'un tube conduisant le fluide réfrigérant.

Un exemple de réalisation de l'invention est décrit ci-après avec référence aux figures 1 à 5 où :

- la figure 1 montre seulement la coupe transversale du câblage suivant A - A' de la figure 2,
- la figure 2 montre la construction d'un câble supraconducteur suivant l'invention, et
- la figure 3 montre le rayon de courbure avec la dimen-

sion de la pièce de formage choisie dans l'exemple de réalisation.

La figure 1 représente la coupe transversale du câblage du câble supraconducteur qui est établi suivant l'invention. Le canal d'alimentation 4, qui sert au passage du fluide réfrigérant, est formé, à partir d'une matière qui permet une pression extérieure importante (en acier par exemple), par un tube perforé, ou, pour donner une plus grande souplesse, un cylindre façonné en spirale, par enroulement hélicoïdal. Les tiges conductrices 5 sont câblées suivant la technique habituelle autour de ce canal d'alimentation. Pour assurer une grande résistance à la traction, les tiges conductrices contiennent, à côté des fils supraconductrices 5a, aussi, des éléments renforçateurs 5b. Les lacunes qui se forment entre les tiges conductrices 5 peuvent également être remplies par un autre groupe d'éléments renforçateurs 6. S'il était nécessaire de prévoir un renforcement encore plus grand, tout l'ensemble pourrait être entouré d'une autre douille de renforcement extérieur 7, faite de plusieurs lits d'éléments de renforcement 8 supplémentaires.

Pour garantir la qualité de la flexibilité, avec une grande résistance à la traction dans le sens longitudinal du câble, tous les éléments de renforcement 5b, 6, 8 devraient présenter une souplesse analogue à celle des fils supraconducteurs 5a.

La figure 2 montre comment ce câble peut être entouré en spirale d'une pièce de formage 2. Quand cet enroulement s'opère avec un effort de traction approprié, les éléments du câble sont assemblés mécaniquement. De cette façon, les possibilités de déplacement des fils supraconducteurs 5a, sous l'effet de forces électromotrices, sont, dans une large mesure, limitées, sans que la flexibilité du câble en soit affectée.

Dans une autre étape de fabrication, ce câble est revêtu d'une enveloppe 1, qui est ici constituée par une gaine tubulaire 1, qui empêche l'échappement de l'agent réfrigérant qui passe dans le câble. En général, cette gaine tubulaire 1 est constituée par un tube métallique à paroi mince, qui présente d'abord la forme d'un cylindre lisse.

Cette gaine tubulaire 1 peut, suivant une technique connue être appliquée de façon à se trouver légèrement en contact avec la pièce de formage 2. A cet effet, il s'offre, dans ce but, différentes techniques connues (tirage dans un tube lisse et ensuite "rétraction" de la gaine tubulaire ; habillage avec une bande de tôle, avec soudure longitudinale ou en spirale). Pour rendre cette gaine tubulaire aussi apte à supporter une flexion, on la façonnera ensuite en un tube ondulé. La pièce de formage 2a, à cet effet, un profil tel qu'il favorise le façonnage nécessaire du tube ondulé. Le profil et le pas de la pièce de formage en spirale 2 peuvent être adaptés dans une large mesure aux exigences relatives à la résistance et au rayon de courbure du câble. Dans la figure 2, on a choisi un profil hémi-circulaire, qui est enroulé avec un pas qui est égal à 4 fois environ le rayon de ce demi-cercle.

Comme on peut le voir dans la figure 3, une telle gaine tubulaire 1 peut être courbée sur un rayon qui est à peu près égal à 3 fois le diamètre de la gaine tubulaire. L'adhèrence entre la gaine tubulaire 1 et le câble se renforce lors de la courbure. Les éléments de renforcement 6 du câble peuvent aussi être fabriqués, en totalité ou en partie avec une matière isolante de l'électricité (fibre de verre). Il paraît particulièrement intéressant de réaliser les éléments de renforcement 7 extérieurs du câble avec une matière isolante de ce genre. Ils peuvent assurer en même temps la fonction

d'isolation de la haute tension électrique. Cette couche isolante est traversée par l'hélium avec, comme on le sait, de très bonnes propriétés isolantes. Comme il est prévu, au moyen de la pièce de formage 2, un certain écart entre la gaine tubulaire 1 et l'isolant électrique, le risque de détruire l'isolement au cours de la soudure de la gaine tubulaire 1 est très faible.

Si l'on doit fabriquer une bobine à partir d'un câble de ce genre, la longueur d'un conduit d'agent réfrigérant doit être en général, plus petite que la longueur totale du câble. Surtout quand il est prévu une isolation interne, il peut être réalisé très facilement des soutirages d'agent réfrigérant par des orifices 9 pratiqués sur la gaine tubulaire 1.

REVENDICATIONS

1°) Câble supraconducteur à refroidissement interne, avec un canal d'alimentation s'étendant sur la longueur du câble dont les parois sont perméables, qui sert à amener l'agent réfrigérant, câble comportant des tiges conductrices supraconductrices, qui sont câblées autour du canal d'alimentation, et comportant aussi une enveloppe de câble, câble caractérisé en ce que l'enveloppe du câble (1) est appliquée sur une pièce de formage (2) réalisée sous la forme d'un enroulement hélicoïdal ou d 'anneaux, qui s'appuie sur les tiges conductrices, et est pourvu de joncs (3) qui s'étendent dans les espaces intermédiaires de l'enroulement hélicoïdal ou des anneaux.

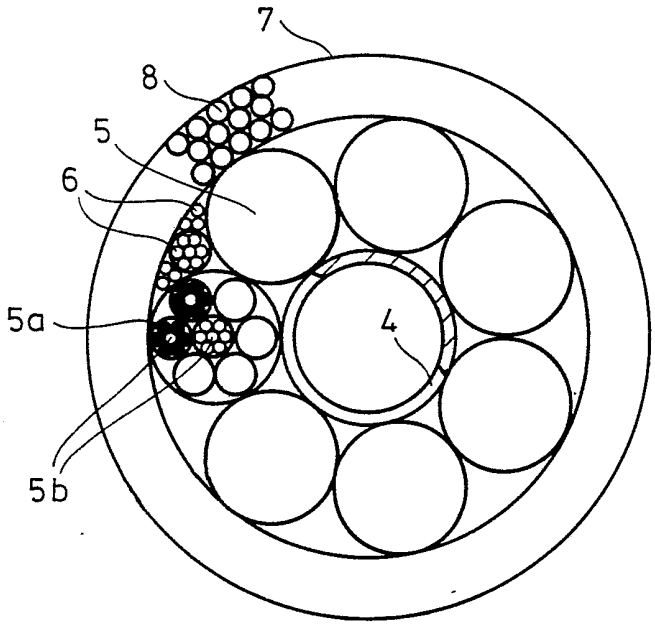
2°) Câble supraconducteur suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la paroi du canal d'alimentation (4) est constituée par une bande ou un fil appliqué en spirale, ou en un enroulement hélicoïdal.

3°) Câble supraconducteur suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la pièce de formage (2) est constituée d'une matière isolante de l'électricité.

4°) Câble supraconducteur suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la pièce de formage (2) est réalisée sous la forme d'un tube servant de conduit pour l'agent réfrigérant.

2596193

Fig. 1



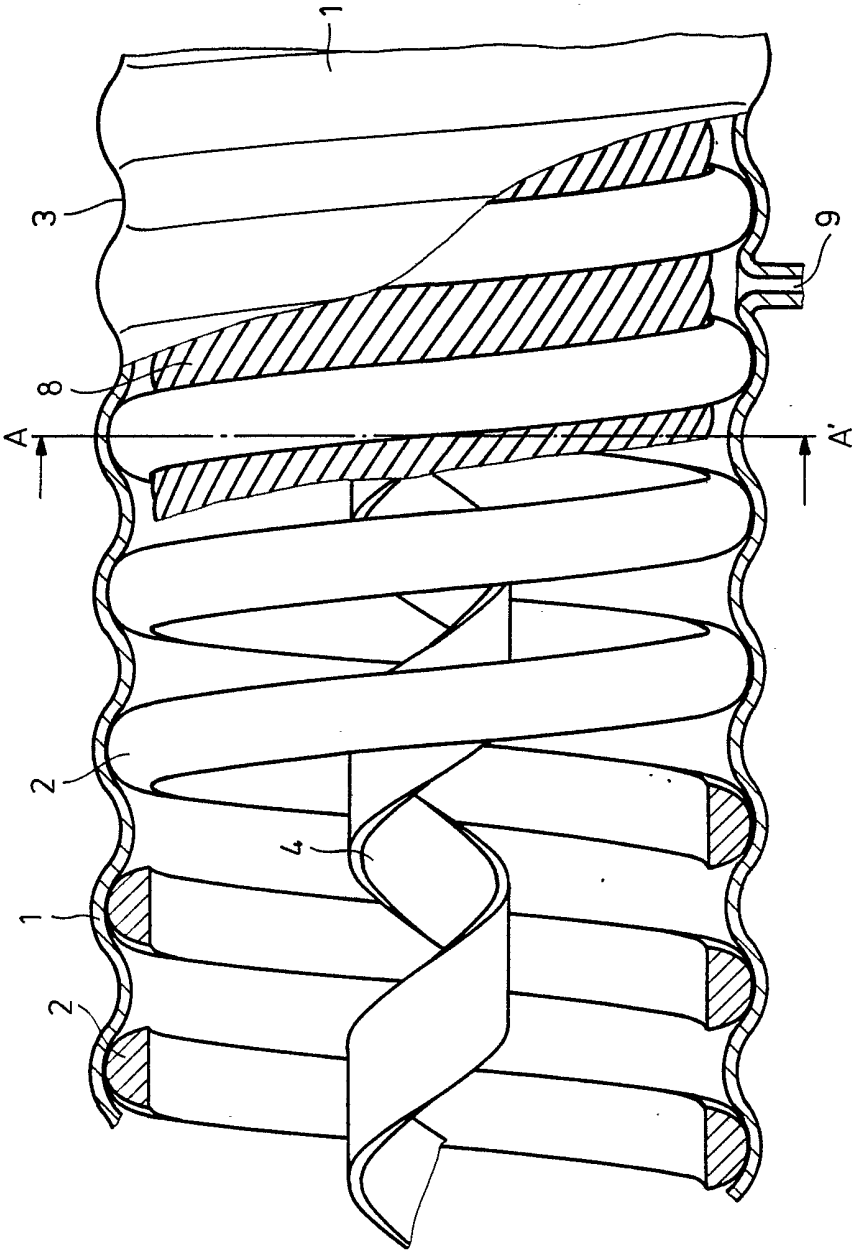


Fig. 2

Fig. 3

