



(72) COTTEVIEILLE, CHRISTIAN, FR

(72) VERHAEGE, THIERRY, FR

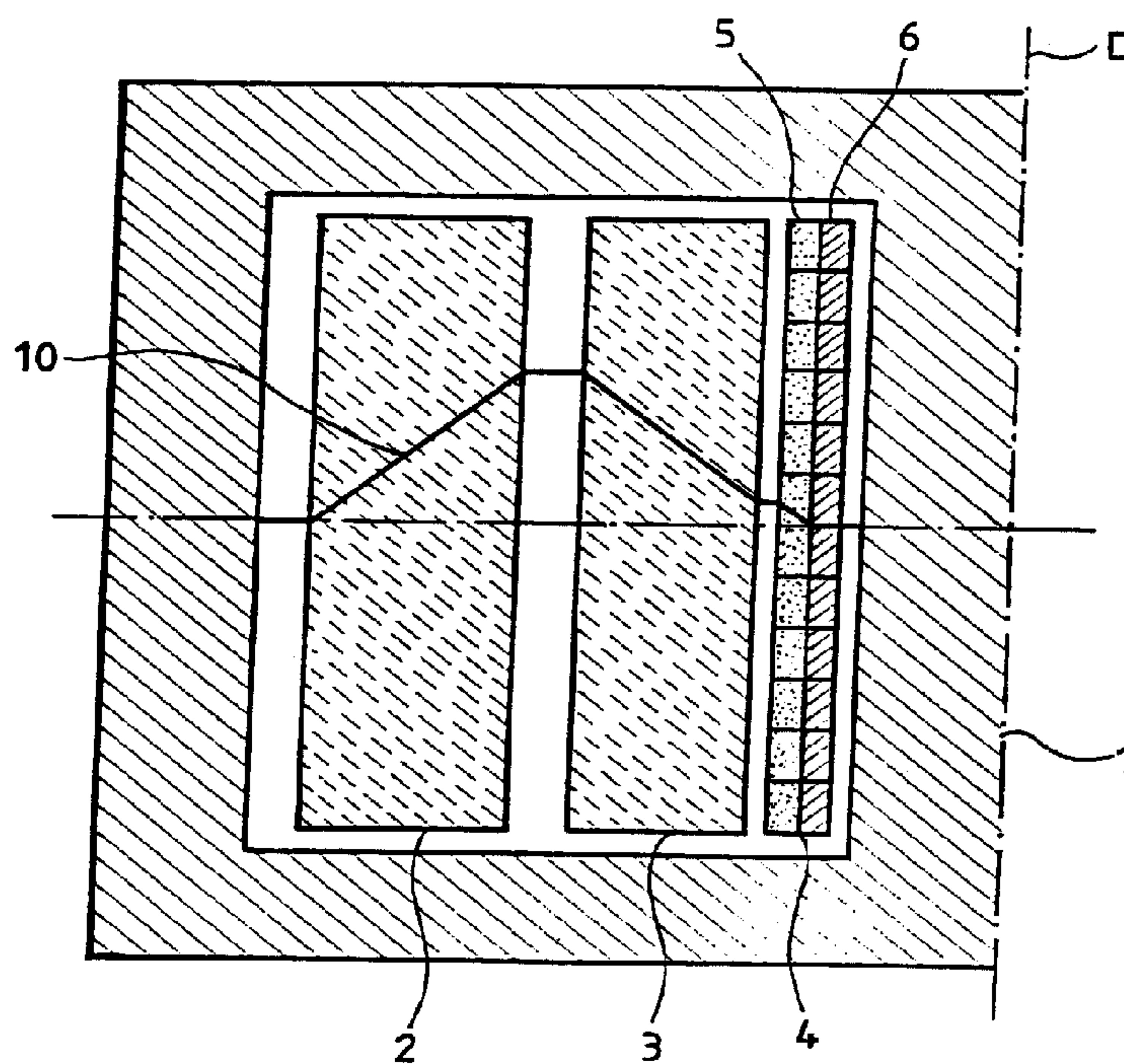
(71) ALSTOM FRANCE S.A., FR

(51) Int.Cl.⁶ H01F 36/00

(30) 1998/09/18 (98 11 677) FR

(54) **TRANSFORMATEUR DE COURANT ELECTRIQUE A
BOBINAGES SUPRACONDUCTEURS**

(54) **ELECTRICAL CURRENT TRANSFORMER WITH
SUPRACONDUCTIVE WINDINGS**



(57) Le transformateur de courant électrique comprend un primaire et un secondaire constitués chacun d'au moins une première bobine (2,3 ; 11,12,14-16,18,19) formée par l'enroulement d'un ou plusieurs conducteurs supraconducteurs à matrice métallique. La bobine du primaire ou du secondaire est reliée en série avec au moins une seconde bobine formée par un tube supraconducteur massif usiné en forme de solénoïde (5;13,17), cette seconde bobine étant disposée de façon coaxiale à ladite première bobine. Cet agencement contribue à la protection du transformateur par son effet de limiteur de courant.

PRECIS DE DIVULGATION

Le transformateur de courant électrique comprend un primaire et un secondaire constitués chacun d'au moins une première bobine (2,3 ; 11,12,14-16,18,19) formée par l'enroulement d'un ou plusieurs conducteurs supraconducteurs à matrice métallique. La bobine du primaire ou du secondaire est reliée en série avec au moins une seconde bobine formée par un tube supraconducteur massif usiné en forme de solénoïde (5 ;13,17), cette seconde bobine étant disposée de façon coaxiale à ladite première bobine. Cet agencement contribue à la protection du transformateur par son effet de limiteur de courant.

TRANSFORMATEUR DE COURANT ELECTRIQUE
A BOBINAGES SUPRACONDUCTEURS

L'invention se rapporte à un transformateur de courant électrique comprenant au primaire et/ou au secondaire, des bobinages supraconducteurs.

10 D'une manière connue, on utilise des conducteurs supraconducteurs à matrice métallique pour réaliser des transformateurs électriques de forte puissance massique et de rendement élevé. En effet, les conducteurs supraconducteurs à matrice métallique permettent d'obtenir des densités de courant bien plus élevées et des pertes bien moins élevées que les supraconducteurs massifs ou les conducteurs non supraconducteurs.

20 Toutefois, la faible résistance électrique de la matrice métallique (par exemple en argent ou en alliage d'argent) ne permet pas de limiter efficacement les courants de court-circuit et il est nécessaire de définir le transformateur, ainsi que les autres appareillages électriques présents sur la ligne, de façon qu'ils puissent supporter des courants de court-circuit élevés, à moins d'ajouter en série un dispositif dédié à la limitation de courant. Un tel dispositif peut de manière connue, être réalisé à partir de supraconducteurs massifs qui présentent une forte résistance électrique lorsque le courant dépasse leurs capacités normales.

Le but de l'invention est de combiner en un seul appareil et dans les meilleurs conditions d'encombrement notamment, les fonctions de transformateur et de limiteur de courant.

30 L'idée à la base de l'invention est d'utiliser la quantité de supraconducteur massif juste nécessaire pour la limitation du courant et de la faire participer à la créations des ampères-tours, en prenant soin de la localiser dans les régions du transformateur où le champ magnétique est le plus faible, cette dernière disposition permettant de réduire considérablement les pertes du supraconducteur massif.

Plus particulièrement, l'objet de l'invention est un transformateur de courant électrique comprenant un primaire et un secondaire

constitués chacun d'au moins une première bobine formée par l'enroulement d'un ou plusieurs conducteurs supraconducteurs à matrice métallique, caractérisé en ce que la bobine du primaire ou du secondaire est reliée en série avec au moins une seconde bobine
5 formée par un tube supraconducteur massif usiné en forme de solénoïde, cette seconde bobine étant disposée de façon coaxiale à ladite première bobine et ayant une fonction de limiteur de courant.

Dans l'agencement du transformateur selon l'invention, le volume des tubes supraconducteurs usinés est réduit au minimum
10 nécessaire pour limiter efficacement les courants de court-circuit, alors que les conducteurs supraconducteurs à matrice métallique sont utilisés pour le reste des bobinages.

Selon un premier avantage de l'invention, le ou les tubes supraconducteurs usinés peuvent être placés au primaire dans le cas
15 d'un transformateur élévateur de tension, ou au secondaire dans le cas d'un transformateur abaisseur de tension. Ils opèrent ainsi sous courant fort et basse tension, soit forte section et faible nombre de spires, ce qui convient le mieux à ce type de bobinage, tout en réduisant les problèmes diélectriques lors de la limitation du courant.

Selon un mode de réalisation particulier du transformateur selon
20 l'invention, le ou les tubes supraconducteurs usinés sont localisés dans les régions du transformateur où le champ magnétique est le plus faible, ce qui a pour conséquences utiles une réduction considérable de leurs pertes, et une augmentation de la densité de
25 courant qu'ils supportent.

De préférence, chaque tube supraconducteur est en contact mécanique et électrique avec un tube d'un alliage métallique fortement résistif, l'ensemble étant usiné en forme de solénoïde ; outre le renforcement mécanique, le tube d'alliage métallique favorise la
30 propagation de la transition et réduit l'échauffement du tube supraconducteur, lors des limitations de courant.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description de deux modes de réalisation illustrés par les dessins.

5 La figure 1 montre en demi coupe axiale selon l'axe D, un transformateur selon l'invention, qui comprend un bobinage primaire haute tension à base de conducteurs supraconducteurs à matrice métallique, et au secondaire, une bobine à base de conducteurs supraconducteurs à matrice métallique, en série avec l'assemblage usiné d'un tube supraconducteur et d'un tube d'alliage métallique.

10 La figure 2 montre en coupe longitudinale le détail de l'assemblage usiné du tube supraconducteur et du tube d'alliage métallique.

La figure 3 montre en demi coupe axiale selon l'axe D, un autre exemple de transformateur selon l'invention.

15 Un transformateur selon l'invention comprend en particulier, figure 1, un circuit magnétique 1, une bobine primaire 2 et deux bobines secondaires 3 et 4 en série. Les bobines 2, 3 et 4 sont coaxiales, la bobine 3 étant interposée entre les bobines 2 et 4.

20 Les bobines 2 et 3 sont réalisées en solénoïdes multicouches, à partir d'enroulements d'un ou plusieurs conducteurs supraconducteurs à matrice métallique; à titre d'exemple, il peut s'agir de rubans d'argent, contenant une pluralité de filaments de céramique supraconductrice $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$. Ces rubans acceptent des densités de courant de l'ordre de 30 A/mm^2 , relativement élevées par comparaison avec 5 à 10 A/mm^2 pour les tubes massifs de $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$. Ils ont une épaisseur très faible (typiquement 0.2 mm), ce qui permet de réduire fortement leurs pertes, par rapport aux tubes massifs, qui ont une épaisseur de plusieurs millimètres.

25 La bobine 4 est réalisée à partir d'un tube 5 massif de $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$, et d'un tube 6 d'un alliage métallique (par exemple en un acier inox, cupro-nickel ou inconel), usinés ensembles en forme de

30

solénoïde comme visible sur la figure 2. Le tube 5 est par exemple serti autour du tube 6 par dilatation ou par contraction de l'un ou de l'autre pour assurer un contact électrique et mécanique, spire contre spire après usinage de sorte que, quand le tube 5 se comporte en limiteur de courant, le courant passe en partie dans le tube 6. Le $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$ massif présente, lorsqu'il perd l'état supraconducteur, une forte résistivité électrique (de l'ordre de $10^{-5} \Omega.m$), qui le prédispose à la fonction de limitation du courant. Cette limitation peut être obtenue dès lors qu'une fraction suffisante des bobinages (typiquement 10%) est faite à partir de $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$ massif. La présence en parallèle au tube 5, d'un tube d'alliage métallique 6 coaxial et en contact électrique et mécanique avec celui-ci, permet d'éviter la dégradation du supraconducteur par surchauffe, lors d'une perte localisée de l'état supraconducteur, en réduisant l'effet Joule, en accroissant l'inertie thermique et en favorisant la propagation de la transition.

Etant donné que la limitation du courant ne demande qu'une petite fraction de supraconducteur massif, il est possible selon un premier avantage de l'invention, de placer les tubes supraconducteurs usinés au primaire dans le cas d'un transformateur élévateur de tension, ou au secondaire dans le cas d'un transformateur abaisseur de tension comme c'est le cas du transformateur montré sur la figure 1. Ils opèrent ainsi sous courant fort et basse tension, soit forte section et faible nombre de spires; ce qui convient le mieux pour ce type de bobinage, tout en réduisant les problèmes diélectriques lors de la limitation du courant.

Les tubes supraconducteurs usinés sont de préférences localisés dans les régions du transformateur où le champ magnétique est le plus faible, ce qui a pour avantages l'obtention d'une réduction considérable de leurs pertes, et d'une augmentation notable de la densité de courant qu'ils acceptent. Le profil de champ magnétique au

sein des bobinages est connu de l'homme de l'art; il est représenté par la ligne 10 sur la figure 1, en unités arbitraires. Le champ magnétique est maximal entre les bobines 2 et 3 et pratiquement nul aux limites externe et interne de la zone bobinée. Par sa position extrême, le tube supraconducteur usiné 5 est ici exposé à un champ magnétique très faible, et présente donc de faibles pertes.

L'invention n'est évidemment pas limitée à la géométrie illustrée à titre d'exemple sur la figure 1. De façon générale, l'homme de l'art n'aura pas de difficulté à établir les régions où le champ magnétique s'annule dans le transformateur, pour y localiser les tubes supraconducteurs usinés. L'une des variantes possibles du transformateur selon l'invention est illustrée sur la figure 3.

La figure 3 montre un transformateur abaisseur de courant qui comprend successivement, de l'intérieur vers l'extérieur de son axe D, neuf bobines coaxiales référencées 11 à 19. Les bobines 11, 15, et 19 font partie du primaire, les bobines 12 à 14, 16 à 18 font partie du secondaire. Les bobines 12 à 14 sont reliées en série, ainsi que les bobines 16 à 18. Les bobines 13 et 17 sont des tubes supraconducteurs usinés en forme de solénoïde, doublés par des tubes en alliage métallique usinés également en forme de solénoïde ; les autres bobines sont constituées de conducteurs supraconducteurs à matrice métallique. Le profil du champ magnétique est représenté par la ligne 20 en unités arbitraires; il s'annule à mi-épaisseur des deux tubes supraconducteurs usinés 13 et 17, qui ont donc de très faibles pertes.

L'agencement de transformateur selon l'invention apporte donc de nombreux avantages, par rapport à la simple juxtaposition d'un transformateur avec des bobinages supraconducteurs et d'un limiteur de courant. En effet, la protection du transformateur contre les courants de court-circuit au moyen de tubes supraconducteurs massifs usinés participant à la production des ampères-tours apporte

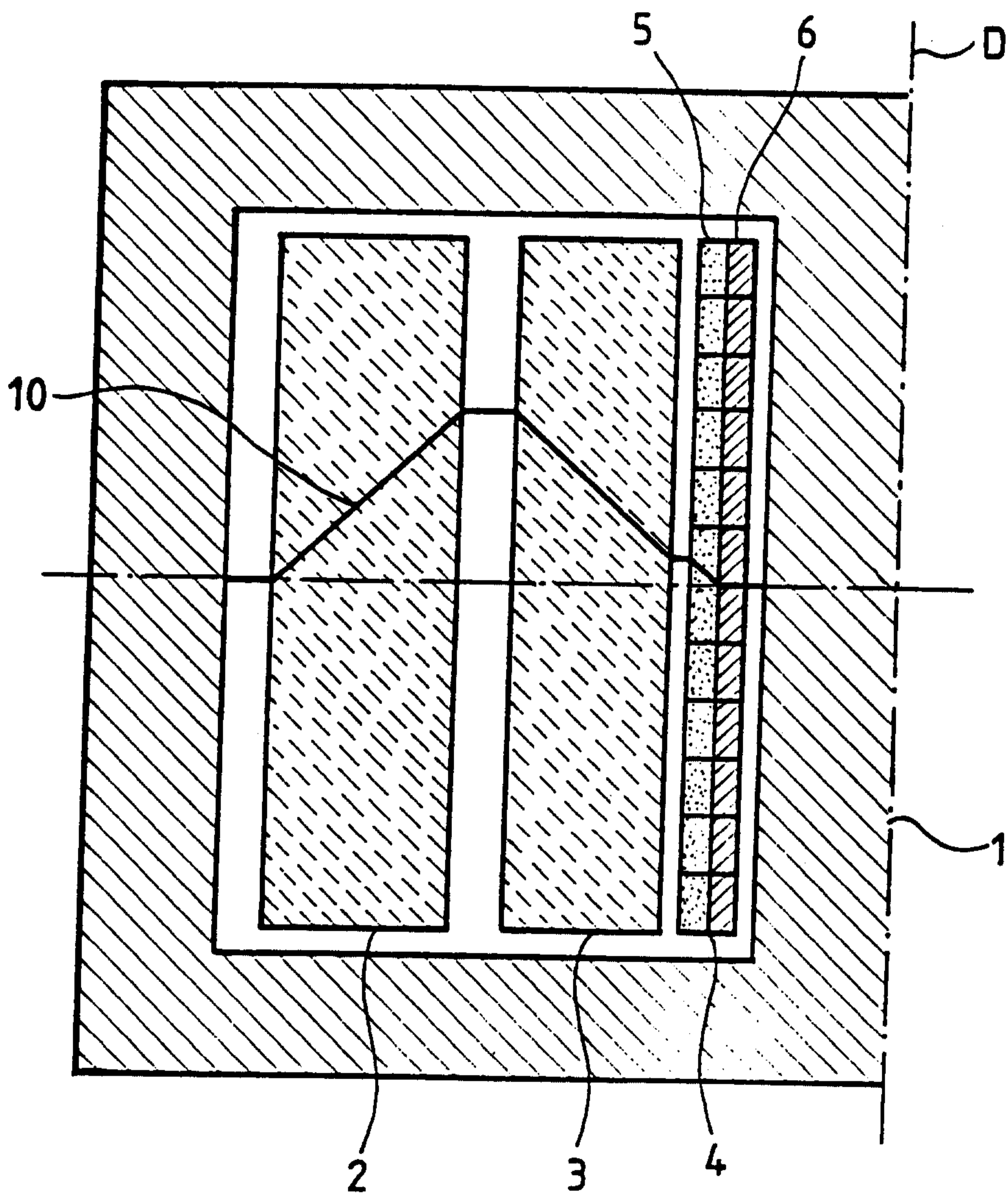
5 une forte réduction de coût, par rapport à un transformateur associé extérieurement à un limiteur de courant. Réciproquement, la structure propre du transformateur selon l'invention permet la mise en place de tubes supraconducteurs massifs usinés nécessaires à la limitation du courant, dans des régions de faible champ magnétique, où ceux-ci présentent leurs meilleurs performances. Enfin, les pertes actives et réactives sont réduites, ainsi que les besoins cryogéniques.

REVENDEICATIONS

- 5 1/ Un transformateur de courant électrique comprenant un primaire et un secondaire constitués chacun d'au moins une première bobine (2, 3, 11, 12, 14-16, 18, 19) formée par l'enroulement d'un ou plusieurs conducteurs supraconducteurs à matrice métallique, caractérisé en ce que la bobine du primaire ou du secondaire est reliée en série avec au moins une seconde bobine formée par un tube supraconducteur massif usiné en forme de solénoïde (5, 13, 17), cette seconde bobine étant disposée de façon coaxiale à ladite première bobine et ayant une fonction de limiteur de courant.
- 10 2/ Le transformateur selon la revendication 1, dans lequel la seconde bobine est disposée dans une région du transformateur où le champ magnétique est le plus faible.
- 15 3/ Le transformateur selon l'une des revendications 1 ou 2 dans lequel un tube en alliage métallique fortement résistif (6) est disposé de façon coaxiale au tube supraconducteur massif formant ladite seconde bobine en étant en contact électrique et mécanique avec celui-ci, les deux tubes étant usinés en forme de solénoïde.

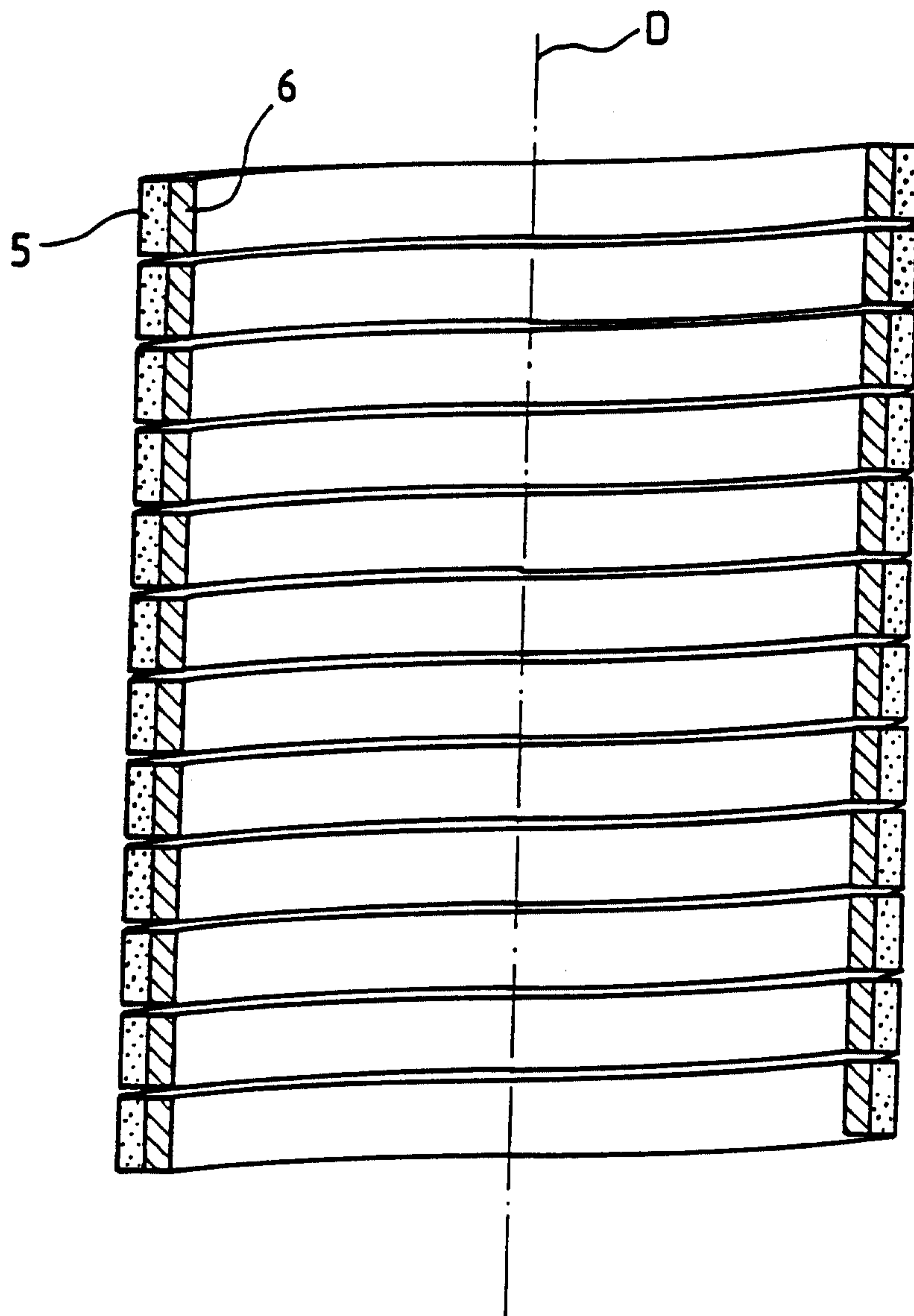
1/3

FIG_1



2/3

FIG. 2



3/3

FIG_3

