

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 628 582

②1 N° d'enregistrement national :

89 02805

⑤1 Int Cl⁴ : H 02 K 55/02, 3/51.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 3 mars 1989.

③0 Priorité : SU, 10 mars 1988, n° 4416026.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 37 du 15 septembre 1989.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *LENINGRADSKOE PROIZVODSTVEN-
NOE ELEKTROMASHINOSTROITELNOE OBIEDINENIE
« ELEKTROSILA » IMENI S.M. KIROVA. — SU.*

⑦2 Inventeur(s) : Garri Mikhailovich Khutoretsky ; Jury Gri-
gorievich Tjurin ; Tamara Nikolaevna Belova ; Nikolai Pe-
trovich Ryzhov ; Vladimir Divovich Varshavsky.

⑦3 Titulaire(s) :

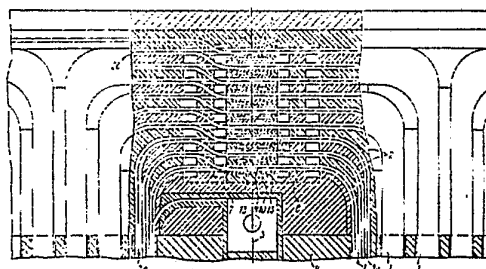
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Claudé Rodhain, Conseils en
Brevets d'Invention.

⑤4 Rotor de machine électrique à enroulement d'excitation supraconducteur.

⑤7 L'invention se rapporte aux machines électriques.

Un rotor de machine électrique comprend un enroulement d'excitation supraconducteur comportant des sections 2 à plusieurs spires s'entourant l'une l'autre et connectées en série et des connexions 9 entre sections constituées par les extrémités des spires supérieures 7 et 8 des sections voisines, lesdites extrémités étant reliées entre elles. Sur les spires situées juste au-dessous des spires supérieures 7 et 8 des têtes de bobines 2b des sections 2 de l'enroulement d'excitation est fixé un élément isolant 5 pourvu d'encoches dans lesquelles sont logées les connexions 9 entre sections et de canaux 13 pour laisser passer un milieu réfrigérant.

L'invention peut trouver son application dans les machines électriques à enroulement d'excitation supraconducteur, par exemple dans les cryoturboalternateurs.



1

ROTOR DE MACHINE ELECTRIQUE A ENROULEMENT
D'EXCITATION SUPRACONDUCTEUR

L'invention se rapporte aux machines électriques, notamment aux rotors des machines électriques à enroulements supraconducteurs, et concerne plus particulièrement les rotors des cryoturbogénérateurs.

Dans l'enroulement d'excitation d'une machine électrique à enroulement supraconducteur on utilise en tant que matériau conducteur des supraconducteurs se caractérisant par la disparition de la résistance électrique en cas de refroidissement jusqu'aux températures proches du zéro absolu (4-5°K). Alors même un faible dégagement calorifique dans le supraconducteur peut provoquer l'augmentation de sa température et donc une altération rapide de la capacité de charge de l'enroulement d'excitation. Pour augmenter la puissance de la machine électrique on recourt à un enroulement d'excitation supraconducteur à spires multiples, et pour améliorer les conditions de refroidissement de l'enroulement on l'exécute en forme de selle.

La longueur du fil utilisé dans la fabrication du bobinage étant limitée, on réalise l'enroulement d'excitation sous forme de parties (sections) indépendantes s'entourant l'une l'autre. Pour rendre les connexions entre sections plus accessibles et plus sûres et pour améliorer le refroidissement de ces connexions, on bobine les enroulements de sorte que les deux extrémités d'une section soient constituées par celles de ses spires supérieures. A cet effet on enroule le fil en commençant par son milieu, dans les deux sens opposés du bas en haut. Dans ce cas chaque section de l'enroulement d'excitation comporte deux rangées (colonnes) de spires de fil dont les extrémités constituent celles des spires supérieures de la section.

On connaît un rotor de machine électrique à enroulement d'excitation supraconducteur (DE, C, 2804654) comprenant un noyau et un enroulement d'excitation supraconducteur comportant des sections à plusieurs spires s'entourant l'une l'autre et connectées en série. Chacune de ces sec-

tions présente des parties rectilignes disposées sur le noyau le long de l'axe rotorique et des têtes de bobines disposées sur le noyau transversalement par rapport à l'axe du rotor. L'enroulement d'excitation comporte également des connexions entre sections constituées par les extrémités des spires supérieures des sections voisines, lesdites extrémités étant connectées entre elles. Les connexions entre sections sont logées dans des encoches spéciales prévues sur la surface latérale du noyau cylindrique du rotor aux endroits de jonction entre les parties rectilignes et les têtes de bobines. Le fait que les connexions entre sections sont logées dans des encoches spéciales garantit la sûreté de fixation des connexions en évitant leur déplacement dans le champ magnétique du rotor au cours du fonctionnement de la machine.

La réalisation des encoches pour y poser les connexions sections n'est avantageuse que lorsque chaque section de l'enroulement d'excitation est logée dans une encoche à elle sur toute sa longueur, y compris sa partie frontale. Cependant, l'exécution des encoches sur la surface cylindrique du noyau pour y loger les têtes de bobines de l'enroulement d'excitation exige beaucoup de travail, de telles encoches devant être orientées transversalement par rapport à l'axe du rotor et, de ce fait, être curvilignes.

En plus de cela, dans un tel mode de réalisation du rotor il se révèle impossible de loger dans les encoches les sections de l'enroulement préalablement formées. Alors on est obligé de bobiner les sections à même dans les encoches, ce qui est une opération bien compliquée exigeant beaucoup de main d'oeuvre ainsi qu'un dispositif approprié. Il est aussi à noter que la disposition de chaque section dans une encoche séparée diminue le degré de remplissage de l'enroulement en supraconducteur. ce qui rend la machine électrique moins puissante.

Aux endroits de jonction entre les parties rectilignes des sections et les têtes de bobines, l'intensité du champ magnétique du rotor est relativement grande. L'action qu'exerce champ magnétique d'une intensité relativement

grande sur les connexions entre sections fait augmenter la résistance électrique des connexions entre sections en augmentant leur dégagement calorifique. En outre, l'action exercée par le champ magnétique d'une intensité relativement
5 grande fait intensifier les courants tourbillonnaires induits dans l'enroulement d'excitation en cas de déplacement des connexions entre sections, ce qui augmente encore l'échauffement. Comme cela est mentionné plus haut, même une
10 légère augmentation de température du supraconducteur occasionne la diminution de la capacité de charge en courant de l'enroulement d'excitation supraconducteur et rend donc le rotor moins fiable au service.

De plus, le fait que les connexions entre sections sont logées dans les encoches de raccordement arrangées sur la
15 surface du noyau rend ces connexions moins accessibles.

Il est également à noter qu'on est obligé de prévoir une isolation individuelle pour chaque connexion entre sections afin d'éviter le contact avec les parois métalliques de l'encoche.

20 Le but de la présente invention est de fournir un rotor de machine électrique à enroulement d'excitation supraconducteur dans lequel les connexions entre sections sont disposées de sorte à permettre la sûreté de leur fixation sans prévoir les encoches spéciales dans le noyau du rotor,
25 à minimiser le dégagement calorifique dans les connexions entre sections, à rendre les connexions entre sections plus accessibles et, de ce fait, à rendre plus facile la fabrication du rotor, à augmenter sa fiabilité en service et à simplifier la réalisation des connexions ainsi que les visites
30 et l'entretien de celles-ci.

Le but fixé est atteint par le fait qu'on prévoit un rotor de machine électrique à enroulement d'excitation supraconducteur comprenant un noyau et un enroulement d'excitation supraconducteur comportant des sections à plusieurs
35 spires s'entourant l'une l'autre et connectées en série, présentant chacune des parties rectilignes logées sur le noyau le long de l'axe rotorique et des têtes de bobines disposées transversalement par rapport à l'axe rotorique,

et des connexions entre sections constituées par les extrémités des spires supérieures des sections voisines, lesdites extrémités étant connectées entre elles, dans lequel, selon l'invention, sur les spires disposées juste au-dessous des spires supérieures des têtes de bobines des sections de l'enroulement d'excitation est fixé un élément isolant pourvu d'encoches réalisées sur sa face opposée à celle orientée vers l'axe du rotor et s'étendant transversalement rapport à l'axe du rotor, et de canaux pour laisser passer le milieu réfrigérant, les connexions entre sections étant logées dans les encoches de l'élément isolant.

En logeant les connexions dans les encoches de l'élément isolant on garantit une fixation sûre des connexions sans prévoir les encoches spéciales dans le noyau du rotor, ce qui simplifie la fabrication du rotor. De plus, on peut placer l'élément isolant dans la zone d'action du champ magnétique d'une intensité relativement faible, ce qui diminue l'échauffement des connexions dans les encoches de l'élément isolant et rend donc le rotor plus fiable en service.

Le fait que les connexions entre sections sont disposées dans les encoches de l'élément isolant placé sur l'enroulement d'excitation rend les connexions plus accessibles en permettant de ne pas prévoir une isolation spéciale pour chaque connexion et en facilitant donc la réalisation, les visites et l'entretien des connexions.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un exemple particulier de réalisation de l'invention en regard des dessins annexés dans lesquels:

la fig.1 représente en coupe une partie de l'enroulement d'excitation développée dans le plan du dessin et comprenant des sections logées sur la surface cylindrique du noyau du rotor et connectées selon l'invention;

la fig.2 représente une vue en coupe longitudinale du rotor dans lequel les sections de l'enroulement d'excitation sont connectées selon l'invention;

la fig.3 représente une section transversale suivant la ligne III-III de la fig.2;

la fig.4 représente une section suivant la ligne IV-IV de la fig.3 à plus grande échelle.

Selon la fig.1, une partie de l'enroulement d'excitation du rotor constituant l'un des pôles du rotor comprend des bobines 1 s'entourant l'une l'autre, connectées en série et constituée chacune de plusieurs sections 2. Chaque section 2 de la bobine 1 est réalisée en forme de selle et comprend deux parties rectilignes 2a disposées le long de l'axe 3 du rotor et logées dans deux encoches prévues dans la partie moyenne du rotor sur la surface cylindrique de son noyau 4. Dans les mêmes encoches sont également logées les parties rectilignes correspondantes 2a des autres sections 2 de la même bobine. Chaque section 2 comporte également deux têtes de bobines disposées sur la surface cylindrique du noyau 4 transversalement par rapport à l'axe 3 du rotor entre la partie moyenne du rotor et chacune de ses faces d'extrémité respectivement. La fig.1 représente les têtes de bobines 2b des sections 2 disposées du côté de l'une des faces d'extrémité du rotor. Les sections 2 sont connectées en série entre elles. Les autres parties de l'enroulement d'excitation du rotor constituant ses autres pôles sont réalisées de la même manière. Il est à noter que quoique la partie de l'enroulement constituant le pôle du rotor de la fig.1 comprend trois bobines, ceci n'est fait que pour simplifier le dessin et que dans la pratique elle peut en comprendre plus.

Chaque section est bobinée avec un conducteur contenant plusieurs centaines de fins fils supraconducteurs réalisés, par exemple, en alliage titane-niobium et serrés dans une matrice stabilisatrice faite en métal ayant une haute conductibilité électrique, par exemple en cuivre. Les sections voisines sont connectées entre elles par leurs têtes de bobines pour constituer les connexions entre sections. Par connexions entre sections on entend non seulement

les connexions entre les sections d'une seule et même bobine mais aussi celles entre les sections terminales des bobines voisines.

La fig.1 représente également un élément isolant 5 placé dans les têtes de bobines 2b des sections 2. L'élément 5 est muni d'encoches dirigées transversalement par rapport à l'axe 3 du rotor dans lesquelles sont logées les connexions entre sections ce qui sera décrit plus en détail ci-après.

Chaque section 2 est réalisée par bobinage du conducteur, en commençant par son milieu, dans les deux sens opposés du bas en haut. En outre, chaque section 2 comporte deux colonnes de spires du conducteur placées côte à côte. Les spires des parties rectilignes 2a des sections 2 de la même bobine sont connectées entre elles dans chacune des encoches. Les diamètre des faces terminales du noyau 4 est moindre que le diamètre extérieur de sa partie moyenne (partie d'encoche) et il est choisi tel que les colonnes de spires des parties rectilignes et des têtes de bobines des sections 2 prennent appui sur les surfaces cylindriques dont les diamètres sont à peu près les mêmes.

La disposition des spires dans les têtes de bobines des sections de l'enroulement d'excitation du rotor est montrée sur la fig.2 représentant une coupe transversale du rotor, ainsi que sur la fig.3 représentant la section transversale suivant la ligne III-III de la fig.2.

Comme ceci est représenté sur la fig.2, la tête de bobine 2b de chaque section de l'enroulement d'excitation est constituée par deux colonnes de spires radiales placées côte à côte. Les colonnes de spires des têtes de bobines 2b des sections reposent sur des anneaux isolants 6 disposés sur les surfaces cylindriques des faces terminales du noyau 4. L'élément isolant 5 est placé sur les spires disposées immédiatement au-dessous des spires 7 et 8 (fig.3) des têtes de bobines 2b des sections de l'enroulement d'excitation de sorte que sa face munie d'encoches est orientée vers l'extérieur, tandis que la face opposée est orientée vers l'axe 3 du rotor (fig.2). L'élément 5

est réalisé en matériau isolant, par exemple en stratifié à fibre de verre, et il est collé solidement à l'isolement propre (non représenté sur la fig.2) des conducteurs des spires sur lesquels il est placé. Les extrémités des spires supérieures 7 et 8 des sections voisines sont logées dans les encoches de l'élément isolant 5, comme cela est représenté sur la fig.1, elles sont connectées entre elles et constituent des connexions 9 entre sections. Les extrémités des spires supérieures 7 et 8 sont connectées d'une manière connue. A l'endroit de leur connexion ces extrémités sont serrées dans un tube de cuivre 10 pour shunter le tronçon de connexion des conducteurs et améliorer sa stabilité.

Sur l'élément isolant 5, du côté des encoches, on fixe solidement un couvercle 11 (fig.2 et 3) fait en matériau électriquement isolant et servant à couvrir les connexions 9 entre sections.

L'élément isolant 5 et le couvercle 11 sont dotés de canaux pour laisser passer le milieu réfrigérant, lesdits canaux étant représentés sur la fig.4 qui est la section dans un plan passant par ces canaux. Des dents 12 (fig.1 et 2) séparant les encoches de l'élément isolant 5 (fig.1-4) présentent des canaux 13 (fig.1 et 4) reliant entre elles les encoches voisines dans lesquelles sont logées les connexions 9 entre sections. Au-dessous des canaux 13 se trouvent des canaux 14 reliant les canaux 13 avec des canaux 15 prévus entre les sections 2 des bobines. Le couvercle 11 est également pourvu de canaux 16 (fig.3 et 4) dirigés transversalement par rapport aux dents 12 (fig.1 et 2) de l'élément isolant 5 (fig.1-4) au-dessus des canaux 13 (fig.1 et 4) ménagés dans ces dents. Les canaux 16 (fig.3 et 4) prévus dans le couvercle 11 relient les canaux 13 à des canaux (non représentés sur les figures) passant au-dessus des parties rectilignes des sections de l'enroulement d'excitation.

On utilise des éléments isolants semblables (non représentés sur les figures) placés d'une façon analogue pour recevoir les connexions entre sections dans les parties

de l'enroulement constituant les autres pôles.

Les têtes de bobines des sections avec des éléments isolants et les couvercles sont entourées d'un anneau de bandage isolant 17 et d'anneaux de bandage métalliques 18 et 19 (fig. 2-4). Les anneaux de bandage 17-19 et le couvercle représentés sur les fig. 2-4, ne sont pas représentés sur la fig.1 de même que les joints isolants placés au-dessous des spires supérieures 7 et 8 et qui sont représentés sur la fig.3.

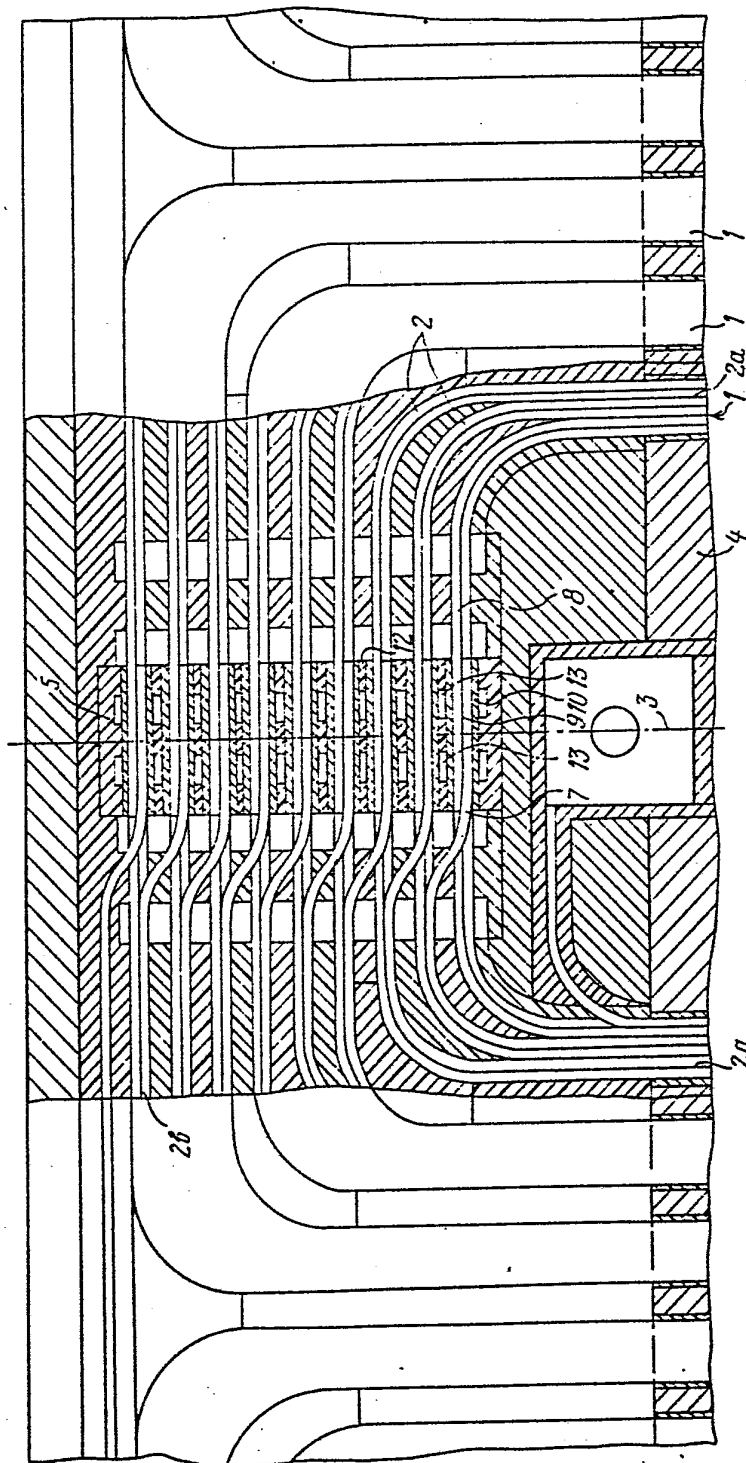
10 Lors du fonctionnement de la machine électrique on voit apparaître des vibrations pouvant occasionner le déplacement des connexions 9 entre sections (fig. 1-4) dans le champ magnétique de l'enroulement d'excitation. Le déplacement des connexions 9 entre sections peut également
15 avoir lieu sous l'influence de forces importantes agissant sur l'enroulement d'excitation dans un champ magnétique de forte intensité. De tels déplacements, même s'ils sont minimes, sont toujours très indésirables car ils peuvent provoquer l'échauffement des conducteurs de connexion entre
20 sections par suite des forces de frottement agissant sur ces conducteurs, d'où l'apparition, dans ces derniers, de courants induits. La pose des connexions 9 entre sections dans les encoches de l'élément isolant 5, fixé solidement sur les spires des sections 2, garantit une fixation
25 sûre des connexions 9 entre sections en évitant leur déplacement par rapport à l'enroulement d'excitation ainsi que leur échauffement par suite d'un tel déplacement, ce qui rend le rotor très fiable au service. En plus, les encoches spéciales dans le noyau 4 ne sont pas nécessaires, ce
30 qui simplifie la fabrication du rotor.

Le contact électrique dans les connexions 9 entre sections se fait à travers la matrice stabilisatrice laquelle, à la différence d'un supraconducteur, possède une résistance électrique. Ceci provoque un dégagement calorifique
35 dans les connexions 9 entre sections qui est d'autant plus intense que la valeur de la résistance est élevée. On sait que l'action exercée par un champ magnétique de forte intensité augmente la résistance électrique du conducteur.

- Dans le cas où les connexions 9 entre sections sont logées dans les encoches de l'élément isolant 5, on peut disposer ce dernier de sorte que les connexions 9 entre sections se trouvent placées au milieu des têtes de bobines 2b des
- 5 sections 2 où l'intensité du champ magnétique est moindre qu'aux endroits de jonction entre les parties rectilignes 2a des sections 2 et les têtes de bobines 2b. Ceci permet de diminuer l'échauffement des connexions 9 entre sections et, par suite, de rendre le rotor plus fiable au service.
- 10 La disposition des connexions 9 entre sections sur la périphérie du rotor rend ces connexions 9 entre sections plus accessibles, ce qui simplifie leur réalisation, visites et entretien.

REVENDICATION

Rotor de machine électrique à enroulement d'excitation supraconducteur comprenant un noyau (4) et un enroulement d'excitation supraconducteur comportant des sections (2) à
5 plusieurs spires s'entourant l'une l'autre et connectées en série, présentant chacune des parties rectilignes (2a) disposées sur le noyau (4) le long de l'axe (3) du rotor et des têtes de bobines (2b) disposées sur le noyau (4) transversalement par rapport à l'axe (3) du rotor, et des con-
10 nexions (9) entre sections constituées par les extrémités des spires supérieures (7 et 8) des sections voisines, lesdites extrémités étant reliées entre elles, c a r a c t é r i s é en ce que dans les têtes de bobines (2b) des sections (2) à plusieurs spires, sur leurs spires situées
15 juste au-dessous de leurs spires supérieures (7 et 8), est fixé un élément isolant (5) pourvu d'encoches réalisées sur sa face opposée à celle qui est orientée vers l'axe (3) du rotor et s'étendant transversalement par rapport à l'axe (3) du rotor, et de canaux (13) pour laisser passer le mi-
20 lieu réfrigérant, et que les connexions(9) entre sections sont disposées dans les encoches de l'élément isolant (5).



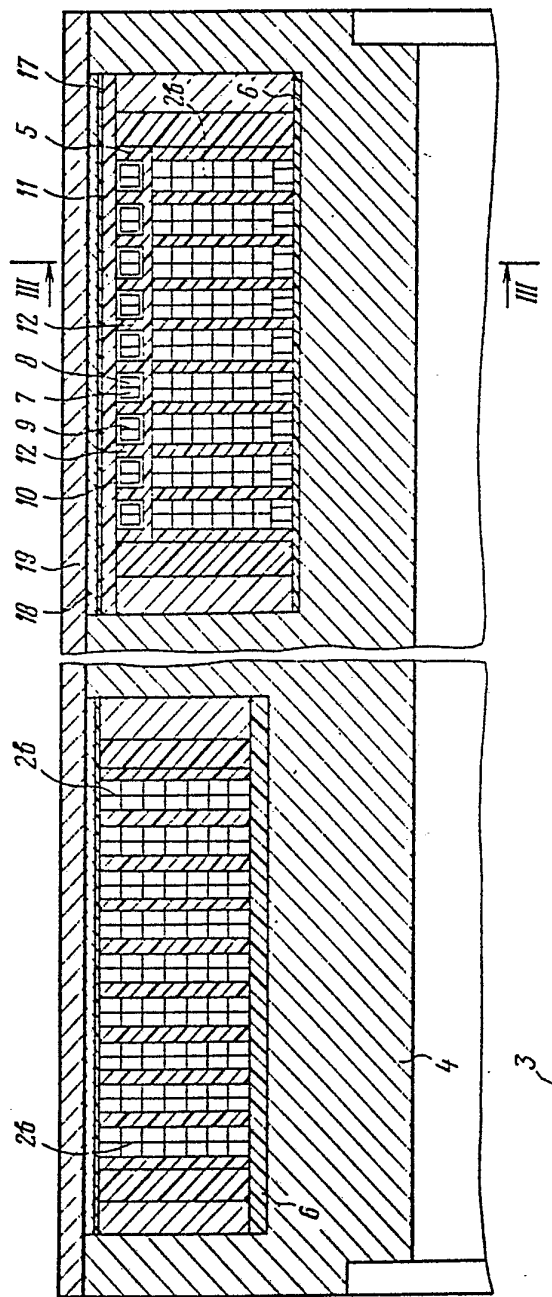


FIG. 2

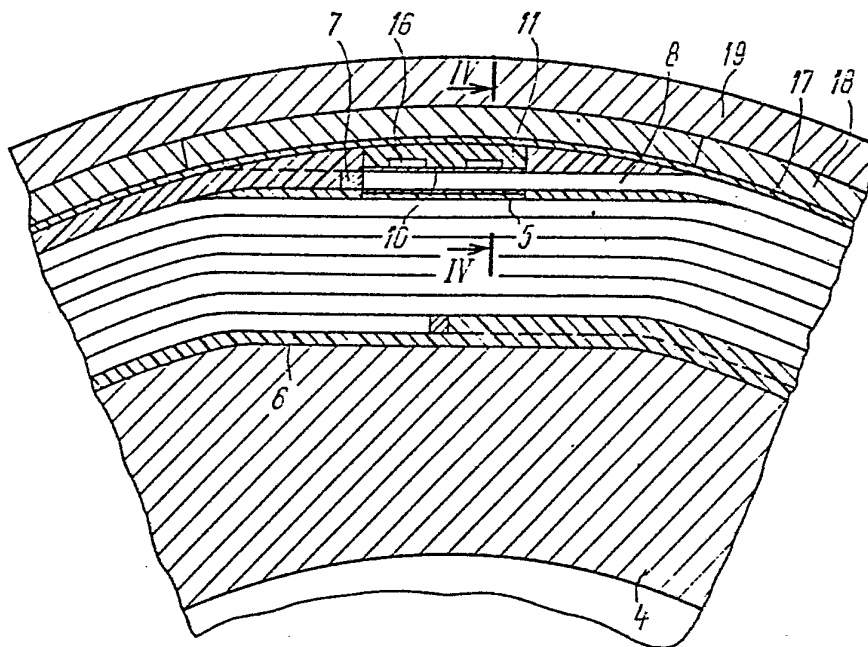


FIG. 3

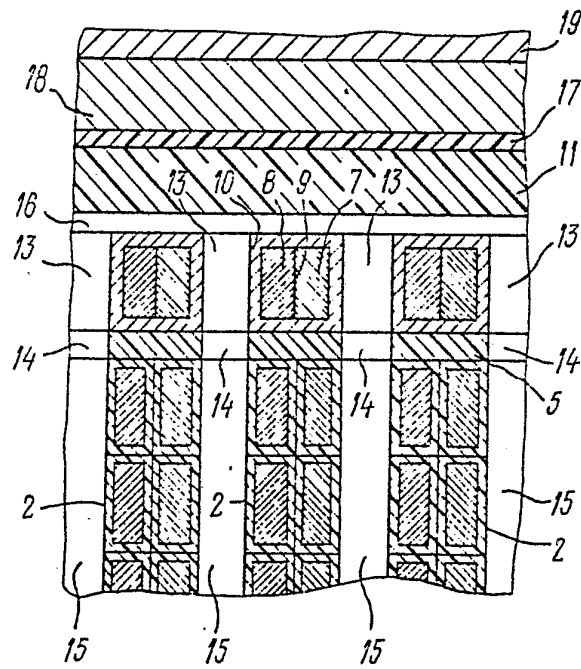


FIG. 4