

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 82 13314**

---

(54) Dispositif d'équilibrage fin pour appareil de mesure de gradient à dérivée seconde, possédant trois enroulements, pour la mesure de signaux magnétiques faibles.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 R 33/035; A 61 B 5/05; G 01 R 35/00.

(22) Date de dépôt..... 30 juillet 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : IT, 31 juillet 1981, n° 49023-A/81.

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 11 du 18-3-1983.

---

(71) Déposant : CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, institut de recherches. — IT.

(72) Invention de : Silvano d'Angelo, Ivo Modena et Gian Luca Romani.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : André Bouju,  
38, av. de la Grande-Armée, 75017 Paris.

La présente invention concerne la mesure de signaux magnétiques faibles noyés dans un bruit de fond de beaucoup plus grande amplitude. L'invention concerne plus particulièrement un dispositif qui permet d'équilibrer parfaitement un gradiomètre à dérivée seconde pour la mesure de signaux magnétiques faibles. Par gradiomètre on entend dans la présente description et les revendications tout appareil servant à mesurer un gradient.

Au cours des quelques dernières années, les mesures des signaux magnétiques créés par l'activité physiologique de certains organes du corps humain ont soulevé un intérêt de plus en plus grand. C'est le développement d'appareils de mesure à supra-conductivité ayant une sensibilité suffisante qui a rendu ces mesures possibles. Le détecteur magnétique utilisé dans ce but est un magnétomètre supra-conducteur ou "SQUID". Les détecteurs de ce type ont une sensibilité extrêmement grande pouvant atteindre  $10^{-4}$  Tesla/ $\sqrt{\text{Hz}}$  dans la gamme des fréquences allant du courant continu à + 20 kHz. D'autre part, les champs neuro-magnétiques sont extrêmement faibles et ont par exemple une amplitude de l'ordre de  $10^{-12}$  T pour les signaux les plus puissants causés par une activité spontanée jusqu'à une amplitude inférieure à  $10^{-13}$  Tesla pour les signaux neuromagnétiques induits. Ces valeurs sont de plusieurs ordres de grandeur en-dessous à la fois du champ magnétique terrestre, des perturbations magnétiques urbaines essentiellement créées par le déplacement de masses ferromagnétiques importantes (ascenseurs, machines, etc.) et du champ magnétique créé par le réseau de distribution électrique.

Par conséquent, le problème posé est celui de la mesure de signaux extrêmement faibles en présence d'un bruit de fond magnétique supérieur de plusieurs ordres de grandeur aux signaux eux-mêmes.

Pour extraire le signal à mesurer de ce bruit de fond si important, deux procédés sont possibles : le premier consiste à travailler dans des environnements magnétiquement protégés, le second étant d'effectuer une rejection spatiale au moyen d'un gradiomètre à dérivée seconde.

Le but de la présente invention est de proposer

un dispositif permettant d'augmenter la réjection de champs à gradient constant en utilisant un gradiomètre du type à trois enroulements.

L'invention propose un dispositif qui permet de compenser la différence des distances entre les plans des trois enroulements au moyen du déplacement fin (qui peut être commandé depuis l'extérieur du cryostat) de l'un des deux enroulements d'extrémité. Dans ce but, les enroulements ne sont pas bobinés autour d'un seul support, comme cela se fait habituellement, mais leur support est constitué de deux parties mobiles l'une par rapport à l'autre. L'enroulement central et l'un des enroulements extrêmes sont bobinés sur une première portion, tandis que la seconde portion porte l'autre enroulement et peut être soumise à un mouvement coaxial micrométrique.

L'invention sera mieux comprise grâce à la description qui va suivre faite en regard des dessins annexés et donnant à titre illustratif mais non limitatif une forme de réalisation préférée de l'invention.

Sur ces dessins,

la figure 1 représente le schéma général de l'appareil de mesure ;

la figure 2 représente le schéma de l'équilibrage d'un gradiomètre à dérivée seconde ;

la figure 3 représente une vue en plan d'un gradiomètre équipé d'un dispositif selon l'invention ;

les figures 3A et 3B sont des vues en coupe suivant les plans A-A et B-B de la figure 3 ;

la figure 3C est une vue en coupe dans le plan C-C de la figure 3A ;

la figure 3C est une vue en coupe dans le plan D-D de la figure 3A ;

la figure 4 représente le détail des deux éléments constituant le support des enroulements ;

la figure 5 représente le détail de la barre de commande du déplacement de l'enroulement supérieur ;

la figure 6 représente le détail de l'une des barres de compensation des axes x et y ;

la figure 7 représente le détail de la barre de compensation de l'axe Z ;

5 la figure 8 représente un diagramme de comparaison entre le spectre de bruit à la sortie d'un magnétomètre classique et celui d'un magnétomètre selon l'invention.

En se référant à la figure 1, on voit que le gradiomètre à dérivée seconde constitue l'enroulement primaire d'un  
10 transformateur de flux magnétique dont l'enroulement secondaire est formé d'un enroulement de couplage au magnétomètre supraconducteur ou "SQUID". Cette partie du détecteur est entièrement logée dans un cryostat 1 et immergée dans un bain d'hélium liquide E à une température de 4,2°C. Le gradiomètre  
15 2 est constitué de trois enroulements bobinés en série ayant normalement la même surface et des nombres de spires égaux respectivement à N, 2N et N, comme représenté sur la figure 2 où les enroulements portent les repères numériques 3, 4 et 5. Les trois enroulements sont disposés dans des plans équidistants (la distance entre les plans est b). Le fonctionnement  
20 du gradiomètre est basé sur le fait que l'enroulement central 4 (2N spires) est bobiné en sens inverse par rapport aux deux enroulements extrêmes 3 et 5 (ayant chacun N spires). Un tel montage est caractérisé en ce que lorsqu'il est placé  
25 dans un champ magnétique extérieur, il a un flux magnétique résultant qui est nul si le champ est constant dans l'espace ou présente un gradient constant. Lorsqu'une telle condition est réalisée, on peut dire que le gradiomètre est parfaitement équilibré.

30 Mais, en réalité, le flux résultant n'est jamais strictement nul à cause des limites de la disposition mécanique des différents enroulements. Des systèmes d'équilibrage fin de différents types ont déjà été proposés par certains chercheurs, tous ces systèmes étant destinés à obtenir un équilibre  
35 brage optimal uniquement par rapport à un champ magnétique

constant. Le principe commun à tous ces systèmes consiste de toute façon, à utiliser quelques spires ou des plaques de matériau supraconducteur qui peuvent être placées convenablement par rapport aux plans des enroulements grâce à une  
5 commande extérieure au cryostat. Jusqu'à maintenant, tout au moins à la connaissance de la demanderesse, aucune tentative n'a jamais été faite pour perfectionner l'équilibrage du gradiomètre également par rapport au gradient du champ.

Les figures 3 à 3D représentent des vues détaillées  
10 du dispositif selon l'invention montrant à la fois le gradiomètre lui-même ainsi que le mécanisme fin d'équilibrage selon l'invention.

Le support des trois enroulements est constitué des éléments 6 et 7 tandis que le bloc support des commandes  
15 d'équilibrage est désigné par le repère 8. L'élément 6 a un prolongement supérieur 9 et il est connecté à 8 au moyen d'une broche 10. Les éléments 6, 7 et 8 ont quatre trous 11, 12, 13, 14, alignés dans les trois éléments de façon à permettre aux barres de commande, 15, 16, 17 et 18 de  
20 coulisser dans ces trous. Les barres 16, 17 et 18 qui permettent la commande de l'équilibrage des axes x, y et z se composent de quatre segments; le segment supérieur est engagé dans la clé carrée 22 (figures 6 et 7) et sort en haut du cryostat de façon à permettre une commande  
25 manuelle ; cet élément supérieur n'est pas représenté sur les figures 3 à 3D, mais il est représenté schématiquement seulement sur la figure 1. Le second élément qui est identique pour les trois barres (23 sur les figures 6 et 7) est fileté, il coopère avec les filetages 19, 20, 21 et transforme le  
30 mouvement de montée et descente en un mouvement tournant commandé depuis l'extérieur. Le troisième élément (24 sur les figures 6 et 7) également identique pour les trois barres est une pièce cylindrique fendue jusqu'aux trois quarts de sa longueur et verrouillée à l'élément 23 grâce à une rainure.  
35 La rainure 23 permet un mouvement de rotation libre. Une

goupille 25 solidarise cet élément à la partie terminale 26 (ou 27) et s'enfonce dans une fente de l'élément 8 de façon à empêcher le mouvement de rotation et à permettre un mouvement de montée et descente. Le dernier élément est  
5 identique pour les barres 16 et 17 qui sont destinées à l'équilibrage des axes x et y. Il porte le repère 26 sur les figures 6 et 7. C'est une tige dont l'extrémité inférieure est fraisée verticalement pour ne laisser subsister qu'un  
10 demi-cylindre sur une hauteur de 12 mm, une plaque rectangulaire en plomb est collée sur la face plane de ce demi-cylindre.

En ce qui concerne la barre 18, qui est destinée à l'équilibrage de l'axe z, le quatrième élément ne se distingue que dans sa partie terminale qui n'est pas fraisée et qui  
15 porte la plaque circulaire en plomb collée à son extrémité inférieure. Un ressort (28) construit à partir d'un cylindre découpé de façon à obtenir des éléments verticaux élastiques est ajouté aux trois barres pour empêcher le mouvement oscillant de chaque barre dans le trou du bloc 6.

20 La barre 15 permet d'ajuster la distance entre l'enroulement supérieur et l'enroulement central. Elle est représentée sur la figure 5. L'élément 29 qui est semblable aux éléments 23 présente un double filetage : le filetage supérieur est associé à l'élément 8, le filetage inférieur est associé à  
25 l'élément 30 dont le mouvement de rotation est empêché par la goupille 25. Cette goupille a aussi pour objet de relier l'alvéole cylindrique 30 à la tige 31. Cette dernière tige est vissée et collée à l'élément 7. En tournant, la barre supérieure, il est possible de déplacer verticalement  
30 l'élément support 7 par rapport à l'élément 6 avec une vitesse (par tour) qui est déterminée par la différence de pas des filets de l'élément 29 et qui permet d'obtenir un réglage plus fin qu'avec les trois autres barres.

L'amélioration importante obtenue grâce à ce système  
35 d'équilibrage est mise en évidence par le spectre de bruit

enregistré à la sortie du magnétomètre, qui constitue le paramètre le plus fiable pour évaluer le niveau d'équilibrage du gradiomètre lorsque toutes les autres conditions restent inchangées.

5 La figure 8 représente les deux spectres de bruit mesurés à la sortie du magnétomètre, avant et après l'emploi du dispositif faisant l'objet de l'invention.

Le déplacement du point initial du bruit en  $1/f$  de 10 Hz à 0,4 Hz environ est très important pour les mesures en biomagnétisme. Les performances obtenues par l'appareil  
10 présenté sont actuellement les meilleures performances que l'on a pu obtenir dans le monde entier avec des appareils utilisant des gradiomètres à dérivée seconde. L'invention est donc extrêmement utile dans les équipements de mesure  
15 à objectifs cliniques. Puisque les appareils de mesure biomagnétique dans lesquels des gradiomètres à dérivée seconde équipés d'un système d'équilibrage prévu uniquement pour des champs constants sont les seuls actuellement fabriqués et commercialisés, on peut s'attendre à ce que les possibi-  
20 lités de perfectionnement de ces appareils selon l'invention, présenteront un grand intérêt pour l'industrie.

L'équipement concerné et actuellement utilisé pour mesurer les émissions de signaux magnétiques du type biologique et la forme de réalisation présentée apporte un perfec-  
25 tionnement considérable aux performances dans la gamme des fréquences intéressées.

D'autre part, l'appareil est utilisable pour mesurer des signaux magnétiques faibles de n'importe quelle origine à faible distance.

30 Etant donné que jusqu'à maintenant les gradiomètres à dérivée seconde, ont été construits avec un seul support rigide, le principe de l'invention réside dans le fait qu'un enroulement est rendu mobile par rapport aux autres (par exemple l'enroulement central pourrait être rendu mobile).

35

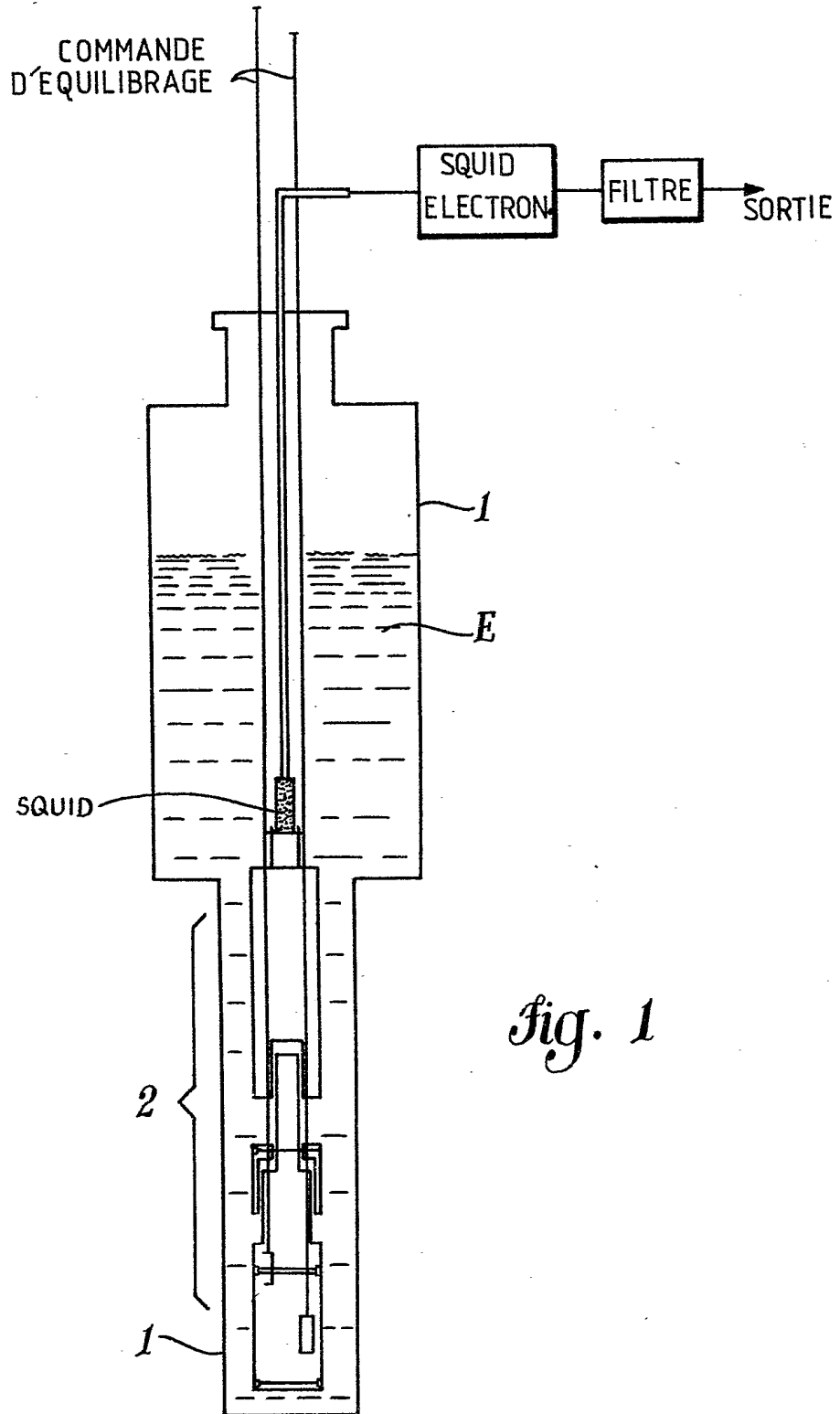
REVENDEICATIONS

1. Dispositif d'équilibrage fin pour gradiomètres à dérivée seconde possédant trois enroulements (3, 4, 5), caractérisé en ce qu'il comprend un support des enroulements subdivisé en deux éléments (6, 7) et en ce qu'il prévoit des moyens (8, 15, 29, 30, 31) pour imposer un mouvement micrométrique de coulissement des deux éléments ci-dessus l'un par rapport à l'autre.

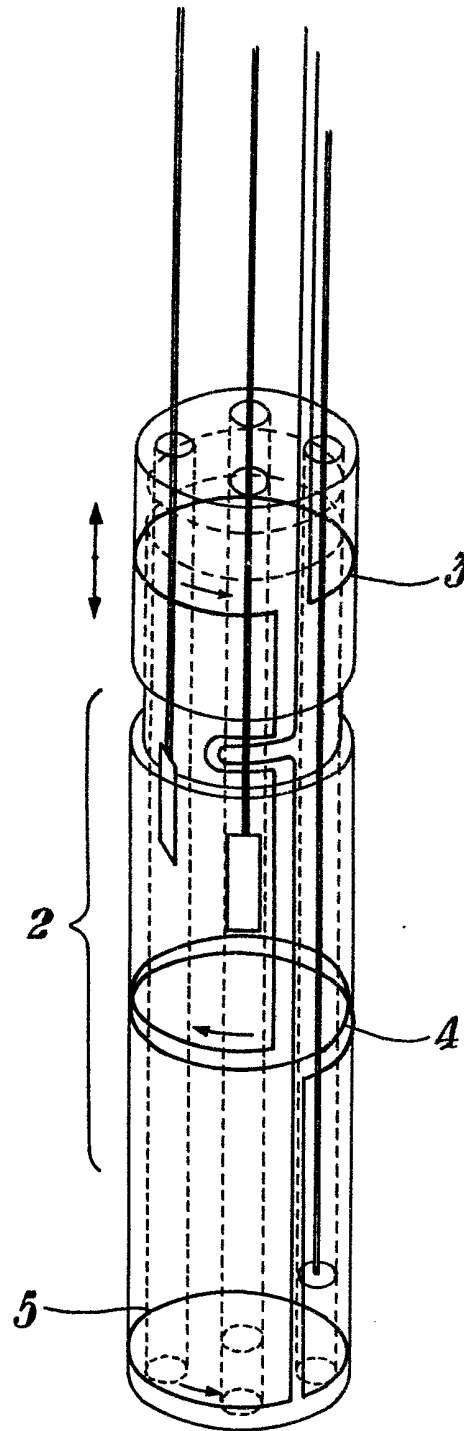
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deux éléments supports (6, 7) sont coaxiaux et en ce que le premier des éléments (6) porte l'enroulement central (4) et l'un des enroulements extrêmes (5) tandis que le second élément (7) porte l'autre enroulement (3) de façon à faire varier la distance des plans de l'un des enroulements extrêmes (3) par rapport à celui de l'enroulement central (4) par un dispositif micrométrique (8, 29, 30) et à obtenir l'équilibrage désiré.

3. Dispositif selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les moyens de déplacement micrométriques sont constitués d'une tige (29) ayant deux parties filetées avec des pas différents, cette tige étant reliée à un élément mobile (30, 25, 31) dans les deux sens et faisant partie du support (7) de façon à transformer le mouvement de rotation de la barre supérieure (15) en un mouvement micrométrique de coulissement vertical déterminé par la différence des pas des deux filetages ci-dessus.

4. Dispositif selon les revendications 1 à 3, caractérisé en ce que cette tige (29) à pas de vis différentiels agit sur le support (7) de l'enroulement supérieur (3) de façon à faire varier la distance du plan de cet enroulement par rapport au plan de l'enroulement central(4).



*Fig. 1*



*Fig. 2*

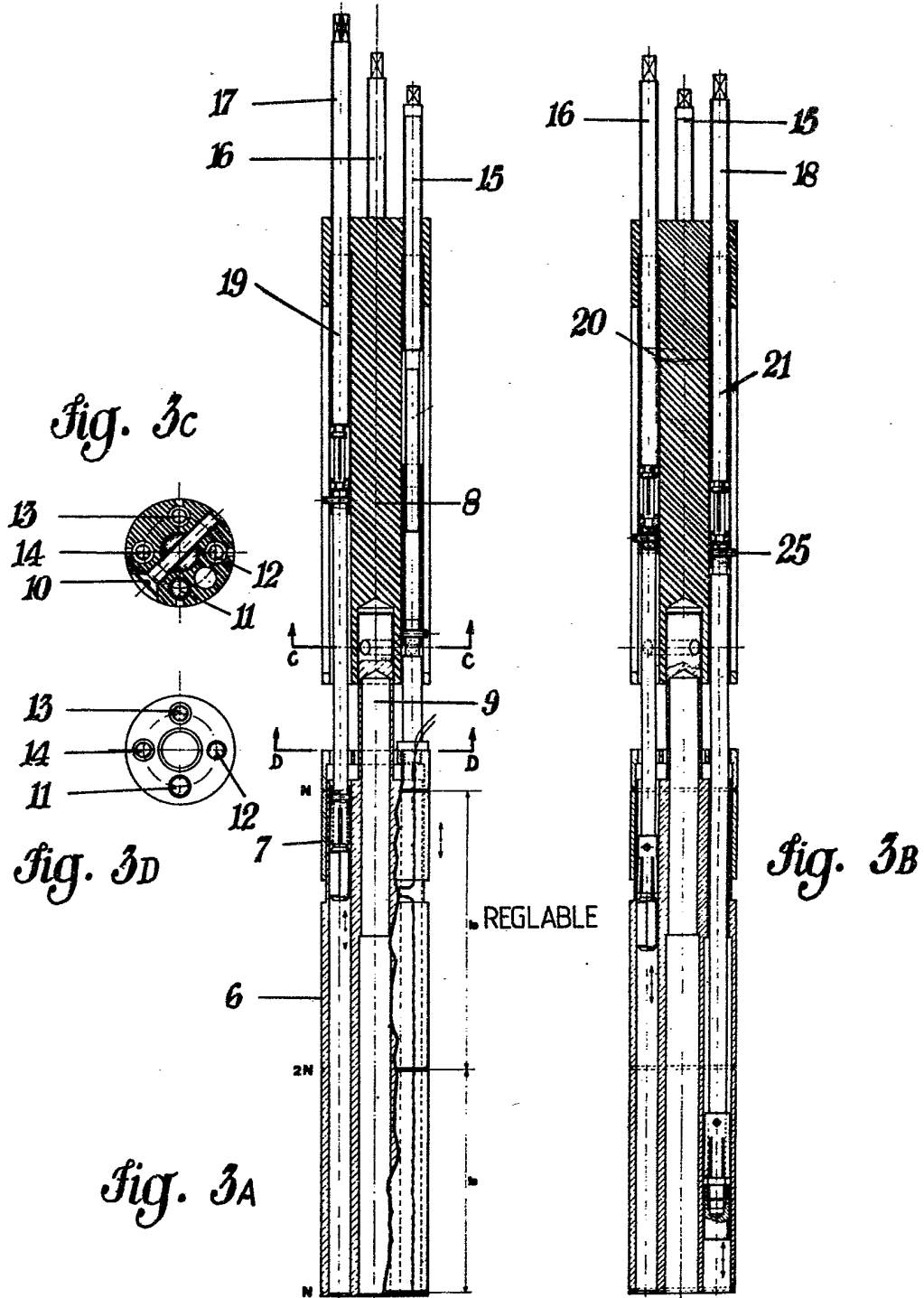


Fig. 3c

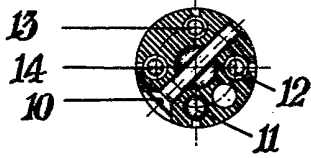


Fig. 3D

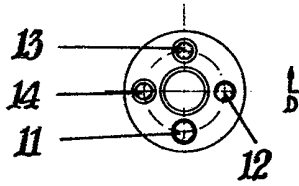


Fig. 3A

Fig. 3B

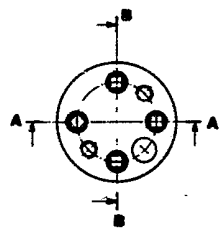
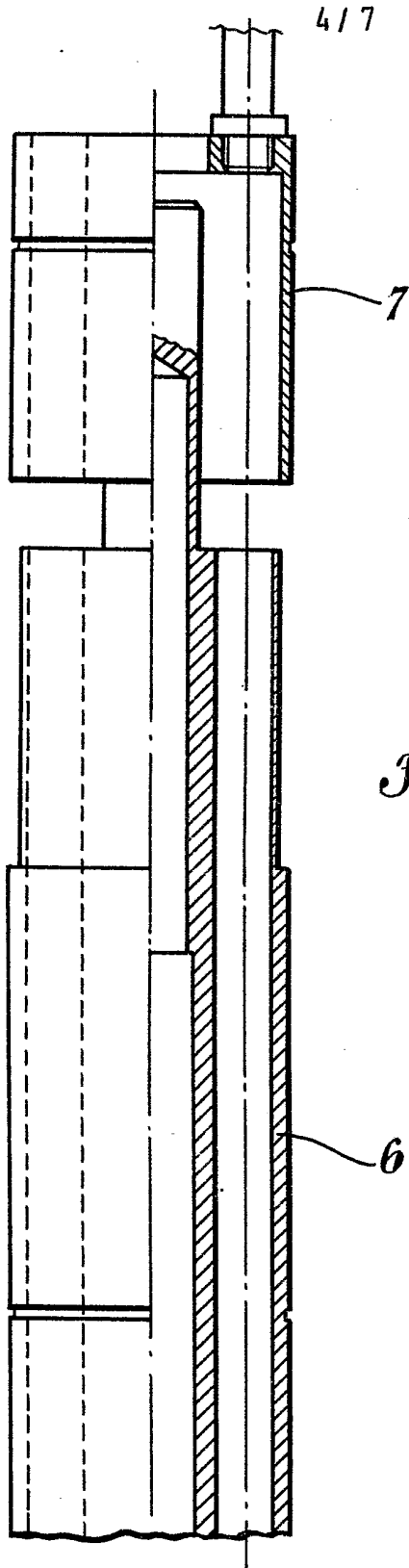


Fig. 3



*Fig. 4*

5 / 7

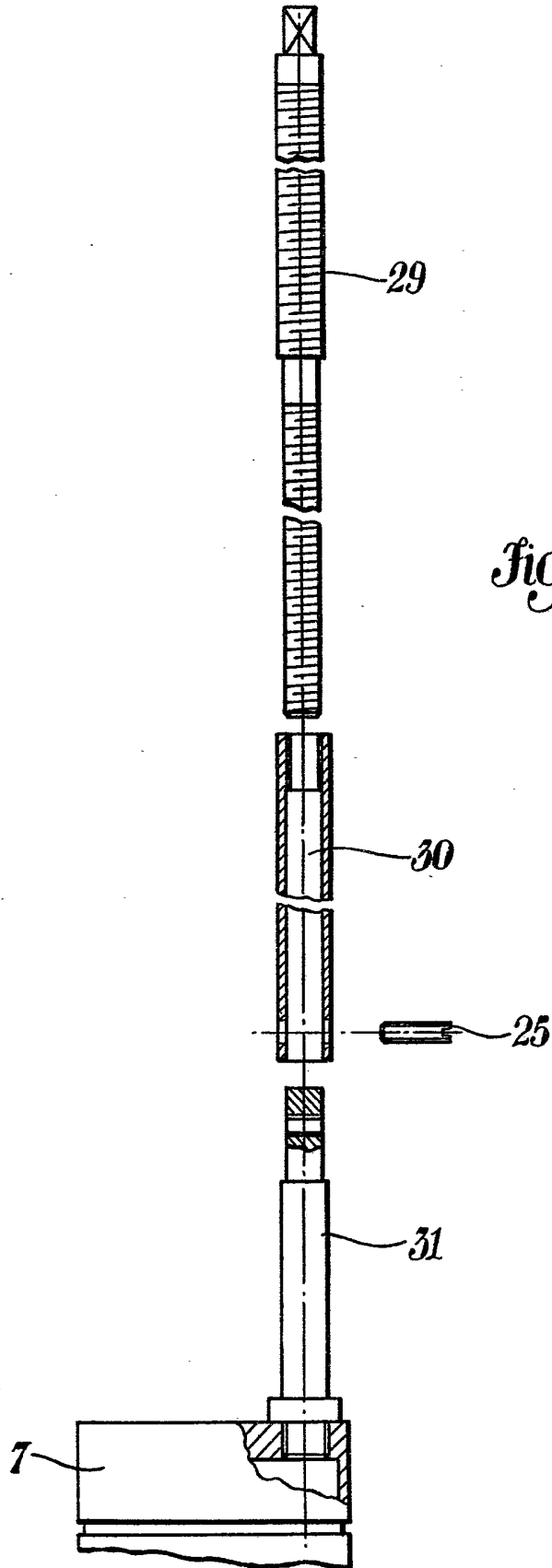


Fig. 5

