

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 574 942**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **84 19189**
⑤1 Int Cl⁴ : G 01 R 19/00, 19/32, 33/12.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 14 décembre 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 25 du 20 juin 1986.

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

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CGR, société
anonyme. — FR.

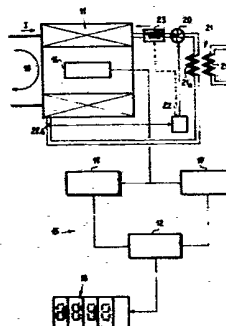
⑦2 Inventeur(s) : Guy Auber.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Françoise Thierri, Thomson-CSF, SCPI.

⑤4 Procédé de mesure d'intensité de courant continu et dispositif mettant en œuvre ce procédé.

⑤7 Shunt à RMN pour la mesure de courant fort.
Selon l'invention, un aimant bobiné 11 est placé en série
dans le circuit 10 où circule le courant à mesurer, la tempé-
rature de l'aimant est stabilisée et on mesure le champ magné-
tique au centre de l'aimant au moyen d'une sonde de RMN 16.



FR 2 574 942 - A1

D

PROCEDE DE MESURE D'INTENSITE DE COURANT CONTINU ET DISPOSITIF METTANT EN OEUVRE CE PROCEDE

L'invention, due à la collaboration du Service National des Champs Intenses du CNRS (Directeur M. AUBERT) se rapporte à un procédé de mesure de l'intensité d'un courant continu, notamment un courant fort ; elle concerne aussi un dispositif mettant en oeuvre ce
5 procédé.

La mesure d'un courant électrique se fait traditionnellement par emploi d'un shunt, c'est-à-dire un dispositif mettant en oeuvre la loi d'Ohm. Par conséquent, pour être mesurable, la chute de tension dans le shunt doit être significative et cette chute de tension est
10 également directement liée à la dissipation par effet Joule du shunt lui-même. Comme tout matériau résistif est lié à un coefficient de température, les variations de température du shunt entraînent des erreurs systématiques dans la mesure du courant. Ce problème est particulièrement important pour la mesure des courants forts où les
15 shunts sont des sous-ensembles volumineux et coûteux. L'invention a pour but de résoudre ce type de problème.

Dans cet esprit, l'invention concerne un procédé de mesure de l'intensité d'un courant continu circulant dans un circuit, caractérisé en ce qu'il consiste à faire circuler ledit courant dans un aimant
20 bobiné pour créer un champ magnétique dans un volume donné de l'espace, à au moins déterminer la température dudit aimant bobiné et à mesurer la valeur du champ magnétique dans ledit volume donné, cette valeur étant représentative de l'intensité du courant, connaissant la température précitée.

25 Pour avoir une mesure plus directe de l'intensité du courant, on peut, par des moyens simples, stabiliser la température de l'aimant bobiné. En outre, la mesure du champ magnétique se fera de préférence par exploitation du phénomène de Résonance Magnétique Nucléaire sur un échantillon d'atomes choisis, placé dans
30 une zone où le champ magnétique précité a une homogénéité suffisante pour l'exploitation dudit phénomène.

L'invention concerne également un dispositif de mesure de l'intensité d'un courant continu circulant dans un circuit, caractérisé

en ce qu'il comprend un aimant bobiné destiné à être inséré en série dans ledit circuit pour engendrer un champ magnétique dans au moins un volume donné de l'espace, des moyens pour au moins déterminer la température dudit aimant et des moyens de mesure du
5 champ magnétique dans ledit volume donné.

On prévoira de préférence des moyens de stabilisation de la température de l'aimant, par exemple une chaîne d'asservissement régulant la température d'un fluide de refroidissement dudit aimant. Comme mentionné précédemment, l'aimant bobiné sera de
10 préférence construit pour que le champ magnétique soit d'homogénéité suffisante dans le volume donné précité pour permettre l'exploitation d'un phénomène de Résonance Magnétique Nucléaire et une sonde à RMN, connue en soi, sera placée dans ledit volume donné pour permettre de mesurer la valeur du champ
15 magnétique.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaitront mieux à la lumière de la description qui va suivre d'un dispositif conforme à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans
20 lesquels :

- la figure 1 est un schéma-bloc d'un dispositif conforme au principe de l'invention ;
- la figure 2 est une vue de détail montrant la structure de l'aimant bobiné, en-coupe longitudinale ;
- 25 - la figure 3 est une coupe III-III de la figure 2 ;
- la figure 4 est une vue de détail des spires de l'aimant bobiné précité.

En se reportant aux dessins, on a représenté à la figure 1 un dispositif de mesure du courant I circulant dans un circuit électrique
30 10 quelconque et comprenant un aimant bobiné 11, électriquement inséré en série dans le circuit 10, un circuit de circulation de fluide de refroidissement 14 thermiquement couplé audit aimant et des moyens de mesure 15 du champ magnétique créé par ledit aimant au centre de la partie bobinée.

35 Plus précisément, les moyens de mesure 15 comprennent une

sonde de RMN 16 placée au centre de la zone de champ magnétique créé par l'aimant et, selon l'exemple, un générateur radio-fréquence 17 ainsi que des moyens de mesure 18 du signal radio-fréquence aux bornes de la sonde de RMN 16. Tous les éléments constitutifs des
5 moyens de mesure du champ magnétique sont bien connus et disponibles dans le commerce, notamment pour les applications de spectrométrie. La sonde de RMN comporte un échantillon d'atomes choisis et une bobine de couplage entourant ledit échantillon. Le générateur radio-fréquence 17 alimente la bobine de couplage et
10 émet un signal à fréquence variable dans le temps. Un balayage d'une certaine plage de fréquence incluant la fréquence de RMN de l'échantillon est donc appliqué à la sonde et répété cycliquement. Par ailleurs, les moyens de mesure 18 du signal radio-fréquence détectent la valeur du signal radio-fréquence aux bornes de la
15 bobine de couplage. Cet agencement permet de déterminer la fréquence de RMN de l'échantillon, représentative du courant I, comme il sera expliqué plus loin.

L'aimant 11 qui sera décrit en détail plus loin, est construit pour engendrer un champ magnétique suffisamment uniforme dans
20 tout le volume occupé par la sonde 16, pour obtenir un phénomène de RMN détectable. Il est par ailleurs agencé pour que du fluide de refroidissement en circulation dans sa structure interne soit thermiquement couplé à la partie bobinée de l'aimant 11. Le circuit de circulation 14 comporte en outre une pompe 20 à débit variable
25 et le circuit secondaire 21a d'un échangeur de chaleur 21. Le circuit primaire 21b de cet échangeur reçoit un autre fluide en circulation, plus froid. Pour la mise en oeuvre de l'invention, il serait suffisant de connaître la température de l'aimant. On pourrait appliquer alors une correction de température dans le calcul de l'intensité à partir
30 de la valeur du champ magnétique déduite de la détermination de la fréquence de RMN. Il est plus judicieux de stabiliser la température de l'aimant. Pour cela, on peut, selon l'exemple décrit, compléter le système par une chaîne d'asservissement 22 de la pompe 20, classique en elle-même, interconnectée entre une sonde de

température 22a en contact thermique avec le fluide à la sortie de l'aimant 11 et des moyens de commande de débit de la pompe. On peut aussi stabiliser la température de l'aimant au moyen d'une résistance chauffante additionnelle 23 en contact thermique avec le
5 fluide, alimentée sous le contrôle d'une chaîne d'asservissement analogue.

On pourrait aussi envisager une autre variante de système de stabilisation de la température de l'aimant 11, consistant à faire passer dans la structure interne de l'aimant réservée à la circulation
10 de fluide de refroidissement, un liquide en cours de vaporisation. Le refroidissement de l'aimant serait alors assuré à température constante par l'énergie de chaleur latente du liquide. Un circuit 12 formant fréquencesmètre est piloté par les moyens de mesure 18 lorsque le générateur 17 passe par la fréquence de RMN, pour
15 déterminer la valeur de cette fréquence représentative de la valeur du champ magnétique créé par l'aimant 11. En effet, lorsque le générateur 17 passe par la fréquence de RMN de l'échantillon, un phénomène d'absorption d'énergie se produit et le signal radio-
fréquence aux bornes de la bobine de couplage précitée est très
20 fortement atténué. Cette chute de tension brutale pendant le balayage de fréquence est exploitée pour élaborer un ordre de pilotage du circuit 12, lequel reçoit par ailleurs la fréquence délivrée par le générateur 17. Des informations numériques délivrées par le circuit 12, représentatives de cette fréquence, sont converties en
25 valeur de courant et adressées à un moyen d'affichage 13. La valeur affichée est réactualisée à chaque balayage.

Dans le système qui vient d'être décrit, le champ B_0 créé par l'aimant 11 est directement proportionnel à la fréquence de RMN mesurée et il est de la forme :

30
$$B_0 = b (1 + a T) I$$

où a et b sont des constantes et T est la température de l'aimant. Par conséquent, si la température est stabilisée, la valeur du champ magnétique est directement représentative de l'intensité I du courant qui circule dans le circuit 10.

On va maintenant décrire, en référence aux figures 2 à 4, la structure d'un aimant bobine convenant pour l'application envisagée. Cet aimant est constitué d'une bobine 25 à spires hélicoïdales serrées entre deux flasques métalliques d'extrémité 26, 27 (formant des plateaux annulaires répartiteurs de courant) au moyen de tirants 28 régulièrement répartis sur une surface cylindrique coaxiale à l'axe longitudinal de la bobine. Les tirants 28 sont en contact électrique avec le flasque 27 et électriquement isolés de la bobine 25 et du flasque 26. Le flasque 26 est électriquement relié par autant de tiges métalliques 24 qu'il y a de tirants, à une pièce de raccordement électrique 24a. Ces tiges sont disposées sur la même surface cylindrique que les tirants 28 et sont équidistantes de ceux-ci (voir figure 3). Les extrémités des tirants 28 sont prolongées par autant de tiges 29 métalliques électriquement connectées à une autre pièce de raccordement électrique 29a parallèle à la pièce 24a. Les tiges 24 sont isolées de la pièce 19a qu'elles traversent. Les courants circulent en sens inverses dans les tiges 24, 29 et les pièces 24a, 29a de sorte que le champ magnétique qu'ils créent au voisinage du centre O' de l'aimant est négligeable. Des plaques de matériau isolant 23 sont intercalées entre le socle 22 de l'aimant et la pièce 29a, d'une part et entre les pièces 29a et 24a, d'autre part. Les tirants 28 participent au raccordement électrique de la bobine 25, tout en compensant sa composante axiale de courant due au pas d'hélice de l'enroulement.

Structurellement, la bobine 25 résulte de l'usinage d'une hélice dans une portion tubulaire cylindrique du métal choisi (plus longue que la bobine désirée) et de la compression axiale de cette hélice pour réaliser une bobine à spires jointives. Ces spires sont collées entre elles par une colle isolante 30 dans laquelle sont incorporées de petites billes de verre calibrées 31 maintenant un très faible écartement diélectrique constant entre spires adjacentes (voir figure 4). Pour homogénéiser le champ témoin dans une zone autour du centre O', suffisante pour accueillir la sonde de RMN 20, on a modifié la section des spires centrales par rapport aux spires d'extrémité. Pour cela, on a usiné la portion centrale 32 de la bobine

de façon à lui donner un diamètre extérieur plus faible que celui des deux portions d'extrémité adjacentes 33, 34. La longueur de la portion centrale 32 et la différence des diamètres sont choisies pour obtenir l'homogénéité requise. La bobine qui vient d'être décrite est
5 logée dans un boîtier étanche 35 muni d'orifices de raccordement 36, 37, pour son insertion dans le circuit de fluide de refroidissement 14.

Plus précisément, le boîtier 35, cylindrique, en matériau isolant, est complètement ouvert à l'une de ses extrémités axiales et cette extrémité repose sur le bord du flasque 26, lequel est plus
10 grand que le flasque 27. L'autre extrémité axiale du boîtier comporte une paroi 38 percée d'un trou 39 pour le passage d'un mandrin creux 40, isolant, à l'intérieur duquel sera logée la sonde 20. Ce mandrin comporte un épaulement à une extrémité, prenant appui contre la surface externe du flasque 26 et dans lequel est
15 ménagé l'orifice 36. Son autre extrémité comporte une partie filetée faisant saillie hors du trou 39 et un écrou 41 est engagé sur cette partie filetée, son serrage provoquant la fermeture étanche du boîtier 35. La mandrin 40 comporte à sa surface externe des reliefs annulaires cannelés 42, maintenant un passage annulaire pour
20 l'écoulement du fluide entre le mandrin et la surface interne de la bobine 25. Comme l'orifice 37 est ménagé dans la paroi latérale du boîtier 35, le fluide est en contact thermique avec les parois internes et externes de la bobine 25 de sorte que cette dernière se trouve toujours à la température du fluide de refroidissement.

25 A titre d'exemple, un aimant tel que représenté aux figures 2 à 4, et possédant les qualités d'homogénéité de champ requises, comporte une bobine 25 en cuivre ayant les caractéristiques suivantes :

- longueur totale : 310 mm
- 30 - diamètre interne : 38 mm
- longueur de la portion centrale : 137,54 mm
- diamètre externe de la portion centrale : 81,42 mm
- diamètre externe des portions d'extrémité : 92 mm

REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure de l'intensité d'un courant continu circulant dans un circuit (10), caractérisé en ce qu'il consiste à faire circuler ledit courant dans un aimant bobiné (11) pour créer un champ magnétique dans un volume donné de l'espace, à au moins
5 déterminer la température dudit aimant bobiné et à mesurer la valeur du champ magnétique dans ledit volume donné, cette valeur étant représentative de l'intensité dudit courant, connaissant la température précitée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il
10 consiste à stabiliser la température dudit aimant bobiné (11), la valeur du champ magnétique mesuré étant directement représentative de l'intensité dudit courant.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on mesure ledit champ magnétique par exploitation du phénomène
15 de RMN sur un échantillon d'atomes choisis (16) placé dans une zone où ledit champ magnétique a une homogénéité suffisante pour l'exploitation dudit phénomène.

4. Dispositif de mesure de l'intensité d'un courant continu circulant dans un circuit (10), caractérisé en ce qu'il comprend un
20 aimant bobiné (11) destiné à être inséré en série dans ledit circuit pour engendrer un champ magnétique dans un volume donné de l'espace, des moyens (22, 22a) pour au moins déterminer la température dudit aimant et des moyens de mesure (16) du champ magnétique dans ledit volume donné.

25 5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de stabilisation (22, 22a, 20, 21, 23) de la température dudit aimant.

6. Dispositif selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que ledit aimant bobiné (11) est construit pour que le champ
30 magnétique soit d'homogénéité suffisante dans ledit volume donné pour l'exploitation d'un phénomène de RMN et en ce que lesdits

moyens de mesure du champ magnétique comprennent une sonde de RMN (16), connue en soi, placée dans ledit volume donné.

7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que ledit aimant bobiné est combiné à une structure de circulation de fluide établissant un bon couplage thermique entre ledit aimant et ledit fluide, en ce que cette structure de circulation de fluide est insérée dans un circuit (14) de circulation de fluide comprenant une pompe (20) et un échangeur de chaleur (21) et en ce qu'il comporte en outre des moyens de régulation de température (22a, 22, 23) dudit fluide.

8. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que ledit aimant bobiné (11) est combiné à une structure de circulation de fluide établissant un bon couplage thermique entre ledit aimant et ledit fluide, et en ce que cette structure de circulation est insérée dans un circuit où circule un liquide en cours de vaporisation.

9. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 8, caractérisé en ce que ledit aimant bobiné (11) comporte une bobine (25) à spires hélicoïdales, serrée entre deux flasques métalliques (26, 27) d'extrémité par des tirants (28) régulièrement répartis sur une surface coaxiale à l'axe longitudinal de ladite bobine et en ce que ces tirants sont en contact électrique avec l'un (27) des flasques et électriquement isolés de ladite bobine (25) et de l'autre flasque (26), pour participer au raccordement électrique de ladite bobine tout en compensant la composante axiale du vecteur courant due au pas d'hélice de ladite bobine.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite bobine (25) à spires hélicoïdales résulte de l'usinage d'une hélice dans une portion tubulaire cylindrique et de la compression axiale de cette hélice.

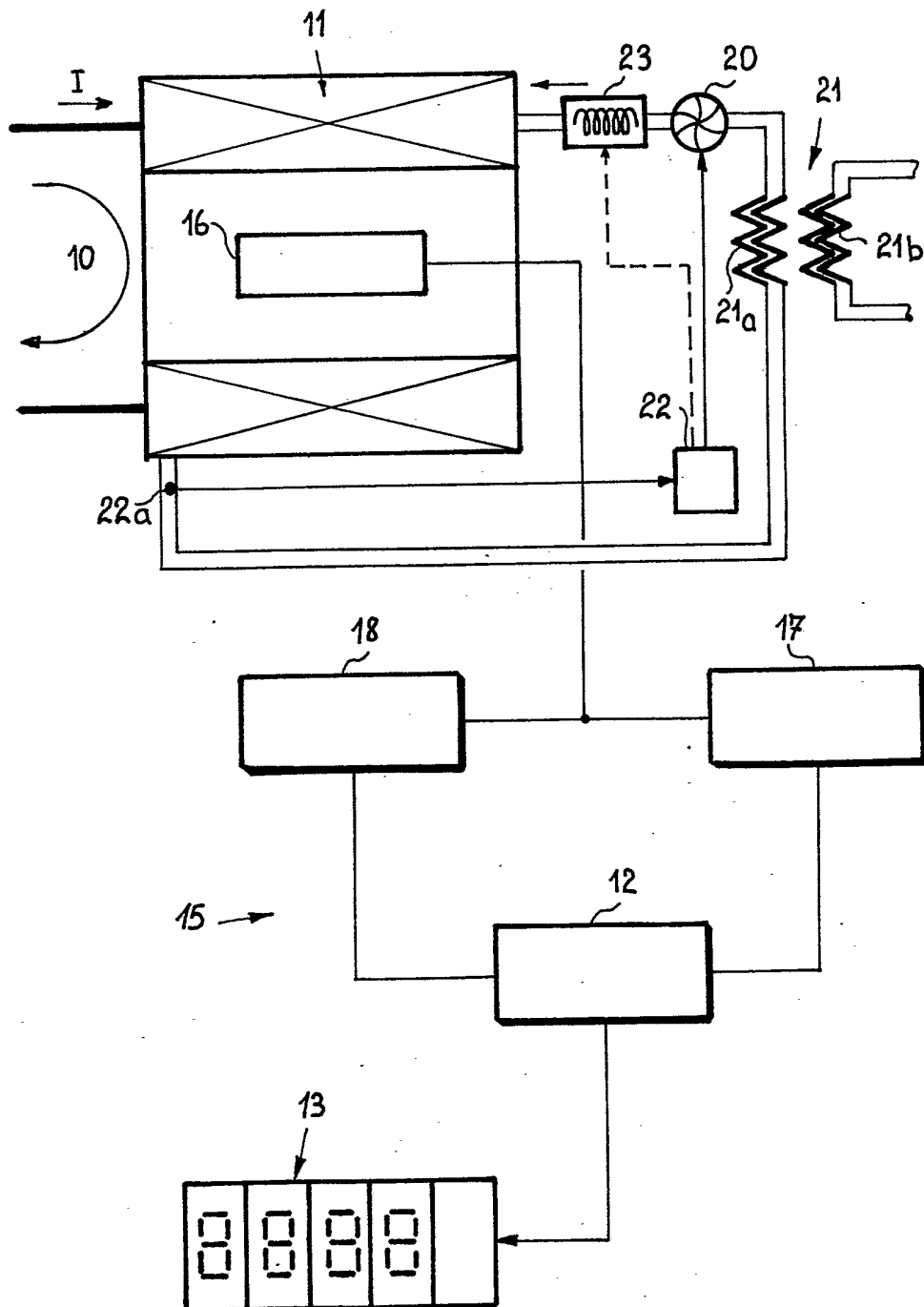
11. Dispositif selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que les spires de ladite bobine sont collées entre elles avec une colle isolante comportant des billes de verre (31) calibrées.

12. Dispositif selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en

ce qu'une portion centrale (32) de ladite bobine a un diamètre extérieur plus faible que celui des deux portions d'extrémité (33, 34) adjacentes pour améliorer l'homogénéité du champ magnétique à l'intérieur de ladite bobine.

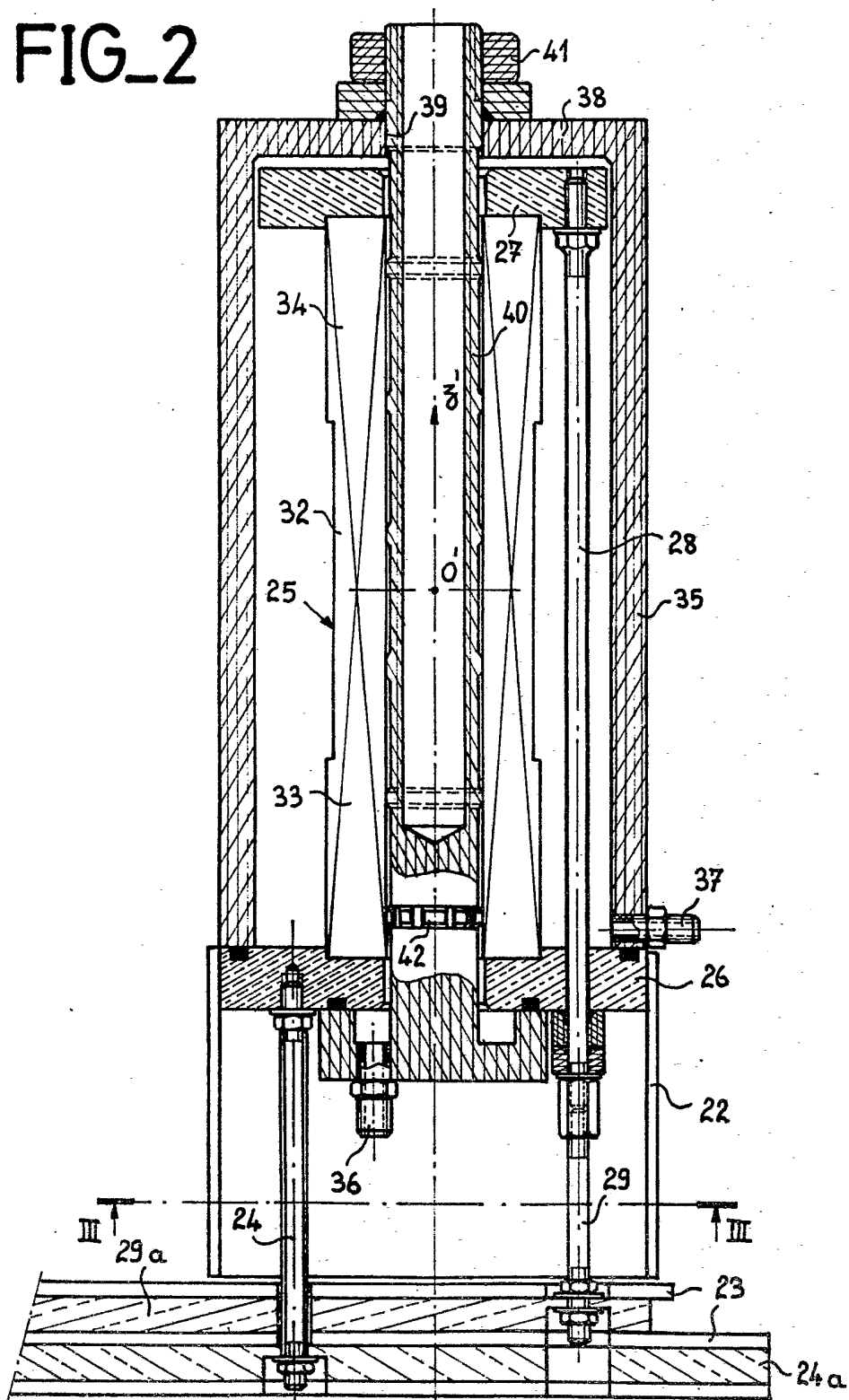
1/3

FIG. 1



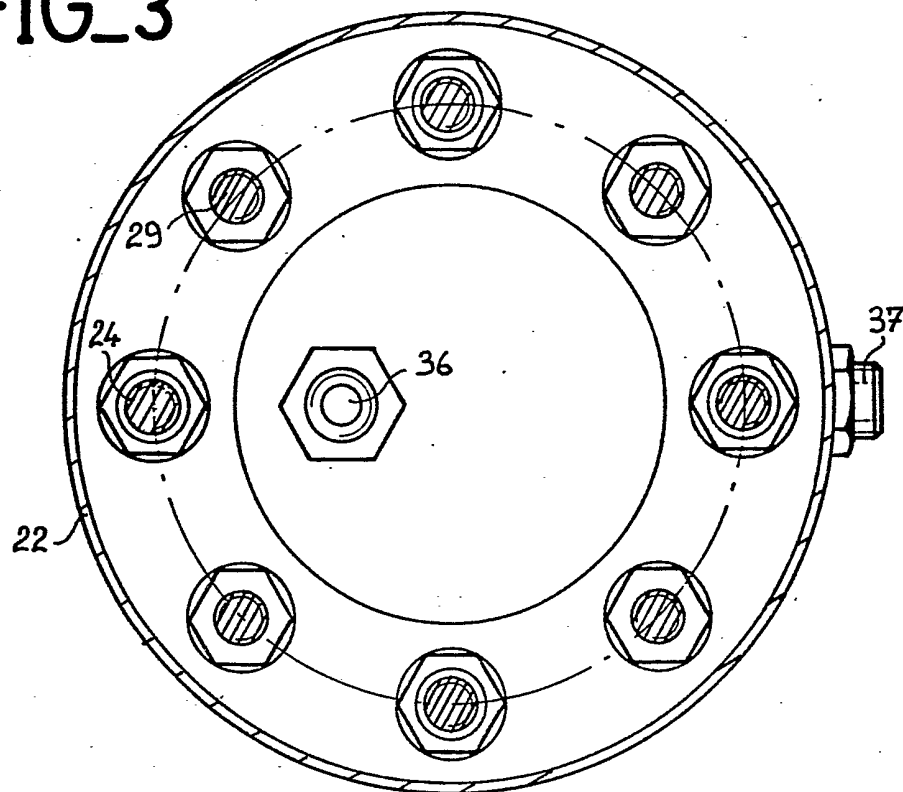
2/3

FIG. 2



3 / 3

FIG_3



FIG_4

