



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪ Numéro de publication:

**0 215 832
B1**

⑫

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet: **17.10.90**

⑤① Int. Cl.⁵: **H 01 F 7/20**

⑦① Numéro de dépôt: **86901415.9**

⑦② Date de dépôt: **21.02.86**

⑧③ Numéro de dépôt international:
PCT/FR86/00057

⑧⑦ Numéro de publication internationale:
WO 86/05624 25.09.86 Gazette 86/21

⑤④ **AIMANT SOLENOIDAL A HAUTE HOMOGENEITE DE CHAMP MAGNETIQUE.**

③③ Priorité: **19.03.85 FR 8504050**

④③ Date de publication de la demande:
01.04.87 Bulletin 87/14

④⑤ Mention de la délivrance du brevet:
17.10.90 Bulletin 90/42

④④ Etats contractants désignés:
DE GB NL

⑤⑥ Documents cités:
WO-A-86/03882

Journal of Physics E: Scientific Instruments,
volume 6, no.4, April 1973, London, (GB), C.B.
Wheeler et al.: "Multiply crowbarred solenoids
for plasma research", pages 332-338

⑦③ Titulaire: **GENERAL ELECTRIC CGR S.A.**
100, rue Camille-Desmoulins
F-92130 Issy les Moulineaux (FR)

⑦② Inventeur: **AUBERT, Guy**
26, cours de la Libération
F-38100 Grenoble (FR)

⑦④ Mandataire: **Schmit, Christian Norbert Marie**
et al
Cabinet Ballot-Schmit 7, rue Le Sueur
F-75116 Paris (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention a généralement pour objet un aimant solénoïdal à haute homogénéité de champ magnétique, constitué de plusieurs bobines espacées les unes des autres; elle a plus particulièrement pour objet une structure de raccordement entre les bobines, permettant d'éviter la création de composantes de champs parasites.

On sait que les installations d'imagerie par RMN nécessitent un aimant de grandes dimensions capable d'engendrer un champ magnétique uniforme dans une région déterminées de l'espace. Typiquement, il est nécessaire d'engendrer un champ magnétique de 0,15 à 0,5 teslas avec une homogénéité de 1 à 10 parties par million (ppm) dans une sphère de 40 cm de diamètre au moins.

Il est connu de réaliser un tel aimant à partir d'un ensemble de bobines espacées les unes des autres de distances choisies, le long d'un axe commun. Dans le document WO 86/03882, publié le 03.07.86, la Demanderesse décrit une méthode de calcul des caractéristiques d'un tel aimant constitué de bobines ayant toutes le même diamètre intérieur et extérieur et plus particulièrement constitué de bobines de type Bitter. Dans le calcul d'un tel aimant, on suppose qu'aucun courant en circulation dans les espaces entre bobines n'est susceptible de créer de champ magnétique. Or, les bobines sont reliées en série et des conducteurs de liaison traversent nécessairement ces espaces. L'invention concerne plus spécifiquement une structure de liaison entre bobines, agencée pour éviter la formation de composantes de champs parasites entre lesdites bobines.

Dans cet esprit, l'invention concerne un aimant solénoïdal à haute homogénéité de champ magnétique, constitué d'un ensemble de bobines de même diamètre intérieur et extérieur d'une bobine par rapport aux autres, espacées les unes des autres de distances choisies le long d'un axe commun, lesdites bobines étant connectées en série, caractérisé en ce que chaque bobine est connectée à la bobine voisine par deux groupes de conducteurs symétriques par rapport à un plan passant par ledit axe et par les points de connexion desdites bobines voisines, de façon que les composantes de courant dans lesdits groupes de conducteurs, créent des ampères-tours en opposition, en tout point de l'espace entre lesdites bobines, tel que les composantes de champ magnétique engendrées par ces composantes et courant s'annulent mutuellement.

Selon un mode de réalisation spécifique, chacun des deux groupes de conducteurs précités est matérialisé par un ou plusieurs anneaux conducteurs circulaires, chaque groupe comportant ainsi les parties d'anneaux situées de part et d'autre du plan précité. Ce ou (de préférence) ces anneaux sont agencés sensiblement transversalement audit axe tout en étant légèrement déformés pour définir, chacun, deux demi-spires sensiblement hélicoïdales et opposées. En outre, ce ou ces

anneaux sont connectés aux points de connexion desdites bobines d'une part et/ou entre eux d'autre part, par des jonctions successivement diamétralement opposées. Autrement dit, si un seul anneau est utilisé (cas d'un espacement relativement faible entre deux bobines adjacentes), celui-ci est connecté aux deux points de connexion des deux bobines adjacentes en des points diamétralement opposés. Si en revanche on utilise plusieurs anneaux, connectés bout à bout pour traverser l'espace entre deux bobines, alors le premier anneau est connecté à une extrémité de bobine en un premier point de connexion et à un anneau voisin en un second point de connexion diamétralement opposé et ainsi de suite jusqu'à la liaison du dernier anneau avec l'extrémité de l'autre bobine.

Avec la structure décrite jusqu'à présent, on peut estimer, en première approximation, que les composantes de champ magnétique engendrées par ces composantes de courant s'annulent mutuellement. Il subsiste une composante longitudinale du courant dirigée selon l'axe commun des bobines, laquelle dépend notamment du pas d'hélice des conducteurs de liaison. Cette composante de courant est toujours faible (surout si on augmente le nombre d'anneaux connectés bout à bout) et crée peu de champ. Si les circonstances l'exigent, elle peut aussi être compensée en mettant à profit le retour de courant vers la source d'alimentation, c'est-à-dire en faisant passer ce courant de retour dans au moins chaque espace entre deux bobines, par au moins un conducteur de retour de courant conformé et/ou disposé pour répartir son écoulement sensiblement régulièrement et longitudinalement sur une surface cylindrique coaxiale audit axe.

Par ailleurs, les bobines de Bitter sont bien connues pour la production de champs magnétiques intenses. La structure proposée par Bitter est un bobinage constitué de disques annulaires métalliques (généralement en cuivre ou en aluminium), fendus pour former autant de spires et raccordés pour définir un enroulement sensiblement hélicoïdal à spires plates. L'empilement de disques est maintenu par une pluralité de tirants. Cette structure est avantageuse car elle permet un refroidissement efficace de l'aimant, en pratiquant des trous dans les disques (et dans les isolants séparant ces disques), ces trous étant disposés suivant une même configuration d'un disque à l'autre pour matérialiser un ensemble de canaux parallèles à l'axe de la bobine, dans lesquels circule un fluide de refroidissement, par exemple de l'eau désionisée, de kérozène ou de l'huile.

L'invention s'applique de préférence à un aimant construit à partir de telles bobines de Bitter dans la mesure où, notamment, certains au moins des tirants précités peuvent être utilisés pour réaliser les conducteurs de retour de courant, répartissant ce courant sur une surface sensiblement cylindrique et coaxiale aux bobines, comme indiqué ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise à la lumière de

la description qui va suivre d'une mode de réalisation d'un aimant construit conformément à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels:

la figure 1 est une vue générale en coupe représentant schématiquement un aimant constitué de plusieurs bobines de type Bitter, séparées les unes des autres de distances choisies et raccordées par des systèmes de conducteurs selon l'invention;

la figure 2 est une vue partielle en perspective d'un tel système de conducteurs;

la figure 3 est une vue de détail d'un point de jonction du système de conducteurs de la figure 2.

En se reportant aux dessins, on a représenté un aimant solénoïdal 11 à disques annulaires de Bitter, connus en soi, constitué de sept bobines 13a, 14a, 15a, 16, 13b, 14b, 15b alignées le long d'un même axe principal de symétrie z'z. Pour une application à l'imagerie par RMN, il est possible d'obtenir un champ magnétique d'homogénéité requise dans une sphère d'intérêt de volume suffisant dont le centre O est confondu avec celui de l'aimant, en choisissant les longueurs des bobines et les espacements entre ces bobines. De plus, l'aimant est symétrique par rapport à un plan transversal passant par O. Un mode de calcul possible des caractéristiques des bobines de l'aimant et des espacements entre ces bobines est indiqué dans le document WO 86/03882 publié le 03.07.86, déposée par la Demanderesse, et ne fait pas partie de l'invention présentement décrit.

On entend par bobine de Bitter, toute bobine répondant à la définition rappelée ci-dessus. A ce titre, les disques fendus radialement constituant les spires, sont connectés, par exemple soudés, bout à bout et maintenus en un empilage serré au moyen d'une pluralité de tirants 18a ou 18b régulièrement répartis sur une surface cylindrique d'axe z'z. Toutes les bobines sont reliées en série. La source de courant, non représentée, est par exemple connectée à l'extrémité externe de la bobine 13a. Les tirants 18a sont en plusieurs tronçons propres à chaque bobine; ils ne s'étendent pas dans les espaces définis entre celles-ci. Les tirants 18b s'étendent sur toute la longueur de l'aimant et sont donc communs à toutes les bobines. Ils sont utilisés d'une part pour maintenir des tubes rigides isolés 20, formant entretoises, permettant de fixer les distances entre les bobines (les longueurs des entretoises déterminant les espacements voulus entre bobines) et d'autre part pour ramener le courant vers la source de courant, c'est-à-dire vers l'extrémité externe de la bobine 13a. Un plateau de répartition de courant 21, situé à l'extrémité externe de la bobine 13b, assure une répartition sensiblement uniforme de l'écoulement du courant de retour entre les tirants 18b lesquels sont régulièrement répartis, comme mentionné ci-dessus, sur une surface cylindrique d'axe z'z. Un autre plateau de répartition 22, isolé de la bobine 13a, est

placé à l'extrémité de l'aimant la plus proche de la source de courant. Ce plateau est aussi en contact électrique avec les tirants 18b de sorte que cet agencement définit une sorte de cage d'écureuil connectée en série dans son ensemble avec les bobines de l'aimant, les tirants 18b étant parcourus par des fractions sensiblement égales du courant total qui traverse les bobines. Bien entendu, il n'est pas indispensable d'utiliser les tirants des bobines de Bitter pour assurer la compensation de la composante axiale du courant. Si cette compensation est recherchée, on peut utiliser une simple enveloppe tubulaire cylindrique extérieure aux bobines et coaxiale, pour assurer le retour de courant. On peut aussi utiliser une "cage d'écureuil" définie à partir d'autres tiges conductrices que les tirants.

La liaison électrique entre deux bobines voisines quelconques est assurée par deux groupes g_1, g_2 de conducteurs symétriques par rapport à un plan P passant par l'axe Z'Z et les extrémités 25, 26 des bobines adjacentes (voir figure 2). Une telle structure de raccordement est seulement illustrée entre les bobines 15b et 14b de la figure 1. Dans l'exemple spécifiquement décrit, chaque groupe de conducteurs précité est constitué par les moitiés de deux anneaux conducteurs circulaires 28, 29 situées respectivement d'un même côté du plan P. De plus, chaque anneau 28 ou 29 se compose de plusieurs (par exemple deux) conducteurs circulaires concentriques 30 et 31 fixés par tout moyen convenable à des pièces de raccordement 35, 36, 37. L'anneau 28 est fixé à l'extrémité 25 de la bobine 15b par une pièce métallique de raccordement 35. L'anneau 29 est fixé à l'extrémité 26 de la bobine 14b par une pièce métallique de raccordement 36, semblable. Les anneaux 28 et 29 sont connectés entre eux par une pièce métallique de raccordement 37 diamétralement opposée aux pièces 35 et 36. Deux tirants 18a situés dans le plan P et appartenant respectivement aux deux bobines à relier sont mis à profit pour fixer les pièces de raccordement 35 et 36 aux extrémités de ces bobines (trous de montage 40). Par ailleurs, l'un des tirants 18b muni de son entretoise traverse la pièce de raccordement 37 (trou 41). Les autres tirants 18b passent entre les deux conducteurs concentriques 30 et 31 de chaque anneau. Ceux-ci sont à section rectangulaire et sont fixés par vis et/ou soudées aux différentes pièces de raccordement (voir figures 2 et 3). Comme le montrent les figures 1 et 2, lorsqu'un tel agencement est en place entre deux bobines, les anneaux conducteurs 28 et 29 sont disposés sensiblement transversalement à l'axe tout en étant légèrement déformés longitudinalement pour définir chacun deux demi-spires approximativement hélicoïdales et opposées, symétriques par rapport au plan P. Par conséquent, à la sortie de la bobine 15b considérée, le courant se partage également dans les deux demispaires et les composantes de courant circulant dans les deux demispaires d'un même anneau créent des ampère-tours en opposition, ceci en tout point de l'espace entre les

bobines. Sensiblement aucun champ magnétique axial n'est donc engendré par le système de liaison entre les bobines. Par ailleurs, comme mentionné précédemment, la composante axiale de courant, si faible soit elle, peut être assez précisément compensée par les tirants de retour de courant.

Dans le cas où les bobines de l'aimant sont effectivement des bobines de Bitter, il peut être avantageux de réaliser les anneaux conducteurs 28, 29 à partir des mêmes disques annulaires de Bitter utilisés pour la fabrication des bobines, non fendus et raccordés bout à bout en des points diamétralement opposés. Par ailleurs, le nombre d'anneaux utilisés dans un espace donné entre deux bobines sera fonction de la longueur de cet espace.

Revendications

1. Aimant solénoïdal à haute homogénéité de champ magnétique, constitué d'un ensemble de bobines (13a, 13b, 14a, 14b, 15a, 15b, 16) de même diamètre intérieur et extérieur d'une bobine par rapport aux autres, espacées les unes des autres de distances choisies le long d'un axe commun (z'z), lesdites bobines étant connectées en série, caractérisé en ce que chaque bobine est connectée à la bobine voisine par deux groupes de conducteurs (g_1 , g_2) symétriques par rapport à un plan (P) passant par ledit axe (z'z) et par les points de connexion desdites bobines voisines, de façon que les composantes de courant dans lesdits groupes de conducteurs (g_1 , g_2) créent des ampère-tours en opposition, en tout point de l'espace entre lesdites bobines, tel que les composantes de champ magnétique engendrées par ces composantes de courant s'annulent mutuellement.

2. Aimant solénoïdal selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacun des deux groupes (g_1 , g_2) de conducteurs précités est matérialisé par un ou plusieurs anneaux conducteurs circulaires (28, 29) agencés sensiblement transversalement audit axe (z'z) tout en étant légèrement déformés pour définir, chacun, deux demi-spines opposées sensiblement hélicoïdales et en ce que ce ou ces anneaux sont connectés aux points de connexion desdites bobines d'une part et/ou entre eux d'autre part, par des jonctions (35, 36, 37) successivement diamétralement opposés, chaque groupe (g_1 , g_2) comportant ainsi les parties d'anneau situées d'un même côté dudit plan (P).

3. Aimant solénoïdal selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par au moins un conducteur de retour de courant conformé et/ou disposé pour répartir l'écoulement dudit retour de courant sensiblement régulièrement sur une surface cylindrique coaxiale audit axe (z'z) dans au moins chaque espace entre deux bobines.

4. Aimant solénoïdal selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs tiges longitudinales (18b) régulièrement réparties sur ladite surface cylindrique et en ce que ces tiges

(18b) sont connectées entre elles de façon à définir une sorte de cage d'écureuil, cette cage étant connectée en série dans son ensemble avec lesdites bobines de façon que lesdites tiges (18b) soient parcourues par des fractions sensiblement égales du courant total qui traverse lesdites bobines.

5. Aimant solénoïdal selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdites bobines sont des bobines de type Bitter constituées par des empilements, avec interposition d'isolant, de disques annulaires conducteurs comportant chacun une coupure matérialisant une spire et comportant en outre des tirants (18a) maintenant les empilements de disques, et en ce que lesdites tiges (18b) sont constituées par des tirants communs à toutes les bobines.

6. Aimant solénoïdal selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits tirants (18b) constituant lesdites tiges, sont entourés de tubes rigides (20) isolés formant entretoise, dans les espaces précités entre bobines voisines, les longueurs de ces entretoises déterminant les espacements voulus entre bobines.

7. Aimant solénoïdal selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce que chaque anneau conducteur précité (28, 29) se compose de plusieurs conducteurs circulaires concentriques (30, 31).

8. Aimant solénoïdal selon les revendications 5 et 7, caractérisé en ce que les anneaux conducteurs précités raccordant deux bobines voisines sont constitués par des disques annulaires de Bitter non fendus semblables aux disques desdites bobines.

Patentansprüche

1. Solenoidförmiger Magnet mit großer Magnetfeldhomogenität, der aus einem Satz von Spulen (13a, 13b, 14a, 14b, 15a, 15b, 16) gebildet ist, wobei jede Spule in bezug auf die anderen den gleichen Innen- und Außendurchmesser aufweist, wobei sich die Spulen entlang einer gemeinsamen Achse (z, z') voneinander in ausgewählten Abständen befinden und wobei die Spulen in Reihe geschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, daß jede Spule mit der benachbarten Spule durch zwei Gruppen (g_1 , g_2) von Leitern verbunden ist, die in bezug auf eine durch die Achse (z, z') und durch die Verbindungspunkte der benachbarten Spulen verlaufende Ebene (P) symmetrisch sind, derart, daß die Stromkomponenten in den Gruppen (g_1 , g_2) von Leitern in jedem Raumpunkt zwischen diesen Spulen entgegengesetzte Amperewindungen erzeugen, so daß sich die durch diese Stromkomponenten erzeugten Magnetfeldkomponenten gegenseitig aufheben.

2. Solenoidförmiger Magnet gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede der zwei oben erwähnten Gruppen (g_1 , g_2) von Leitern von einem oder mehreren kreisförmigen Leiterringen (28, 29) gebildet wird, die genau transversal zur Achse (z, z') angeordnet sind und dabei leicht verformt sind, um dadurch jeweils zwei entgegen-

gesetzte und genau spiralförmige Halbwindungen zu definieren, und daß diese Ringe einerseits mit den Verbindungspunkten der Spulen und/oder andererseits miteinander durch nacheinander diametral entgegengesetzte Verbindungsstellen (35, 36, 37) verbunden sind, wobei jede Gruppe (g_1 , g_2) auf diese Weise diejenigen Teile des Rings enthält, die auf derselben Seite der Ebene (P) angeordnet sind.

3. Solenoidförmiger Magnet gemäß Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch wenigstens einen Rückstromleiter, der so gestaltet und/oder angeordnet ist, daß er den abfließenden Rückstrom wenigstens in jedem Raum zwischen zwei Spulen völlig regelmäßig auf einer zylindrischen, zur Achse (z, z') koaxialen Oberfläche verteilt.

4. Solenoidförmiger Magnet gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß er eine Mehrzahl von longitudinalen Stiften (18b) umfaßt, die auf der zylindrischen Oberfläche regelmäßig verteilt sind, und daß die Stifte (18b) untereinander derart verbunden sind, daß sie eine Art Käfigwicklung definieren, wobei dieser Käfig in seiner Gesamtheit mit den Spulen in Reihe geschaltet ist, derart, daß die Stifte (18b) über genau gleiche Anteile den die Spulen durchfließenden Gesamtstrom führen.

5. Solenoidförmiger Magnet gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulen Bitter-Spulen sind, die durch Schichtungen von ringförmigen, leitenden Scheiben, zwischen die ein Isolator eingebracht ist, gebildet werden, wobei jede Scheibe einen eine Spiralenwindung ausbildenden Schlitz und außerdem Stäbe (18a) aufweist, die die Schichtungen der Scheiben zusammenhalten, und daß die Stifte (18b) von allen Spulen gemeinsamen Stäben gebildet werden.

6. Solenoidförmiger Magnet gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die die Stifte bildenden Stäbe (18b) in den oben erwähnten Räumen zwischen benachbarten Spulen von Abstandstücke bildenden starren, isolierten Röhren (20) umgeben sind, wobei die Längen dieser Abstandstücke die gewünschten Zwischenräume zwischen den Spulen bestimmen.

7. Solenoidförmiger Magnet gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der oben erwähnten Ringleiter (28, 29) aus einer Mehrzahl von kreisförmigen, konzentrischen Leitern (30, 31) zusammengesetzt ist.

8. Solenoidförmiger Magnet gemäß den Ansprüchen 5 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß die oben erwähnten, zwei benachbarte Spulen verbindenden Leiterringe von ringförmigen Bitter-Scheiben gebildet werden, die nicht wie die Scheiben der Spulen geschlitzt sind.

Claims

1. A magnet coil with a high magnetic field homogeneity, constituted by an array of coils (13a, 13b, 14a, 14b, 15a, 15b and 16) with the same interior and external diameter of one coil in relation to the others and spaced from each other

by distances selected along a common axis (z'z), the said coils being connected in series, characterized in that each coil is connected with the adjacent coil by two groups of conductors (g_1 and g_2) which are symmetrical in relation to a plane (P) passing through the said axis (z'z) and through the points of connection of the said adjacent coils in such a manner that the components of the current in the said groups of conductors (g_1 and g_2) create opposing ampere-turns, in every point in the space between the said coils so that the components of the magnetic field produced by the current components mutually cancel each other out.

2. The magnet coil as claimed in claim 1, characterized in that each of the two groups (g_1 and g_2) of the said conductors is in the form of one or more conductor rings (28 and 29) arranged substantially transversely in relation to the said axis (z'z) while slightly deformed in order to define, respectively, two opposite half turns which are substantially helical, and in that this ring or these rings are connected with the points of connection of these said coils on the one hand and/or between them on the other hand, by junctions (35, 36 and 37) successively diametrically opposite, each group (g_1 and g_2) thus comprising the ring parts on the same side of the said plane (P).

3. The magnet coil as claimed in claim 1 or claim 2, characterized by at least one current return conductor shaped and/or situated in order to distribute the flow of the said current return substantially regularly on a cylindrical surface centered on said axis (z'z) in at least each space between two coils.

4. The magnet coil as claimed in claim 3, characterized in that it comprises several longitudinal rods (18b) which are regularly distributed on the said cylindrical surface and in that these rods (18b) are connected together in such a manner as to define a sort of squirrel cage, said cage being connected in series as a whole with the said coils in such a manner that the fractions of current through the said rods (18b) represent substantially equal fractions of the total current which flows through the said coils.

5. The magnet coil as claimed in claim 4, characterized in that said coils are of the Bitter type constituted by stacks, with interposed insulating material, of annular conductor disks, each comprising a slit producing a turn and furthermore comprising rods (18a) holding the stacks of disks, and in that the said rods (18b) are constituted by draw rods common to all the coils.

6. The magnet coil as claimed in claim 5, characterized in that the said draw rods (18b) constituting the said rods are surrounding by insulated rigid tubes (20), forming crosspiece means, in the said spaces between adjacent coils, the lengths of these crosspiece means setting the desired spaces between the coils.

7. The magnet coil as claimed in any one of the preceding claims 2 through 6, characterized in that each said conductor ring (23 and 29) is made

up of several circular and concentric conductors (30 and 31).

8. The magnet coil as claimed in claim 5 and claim 7, characterized in that the said conductor

rings connecting two adjacent coils are constituted by Bitter annular disks, which are not slit, similar to the disks of the said coils.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

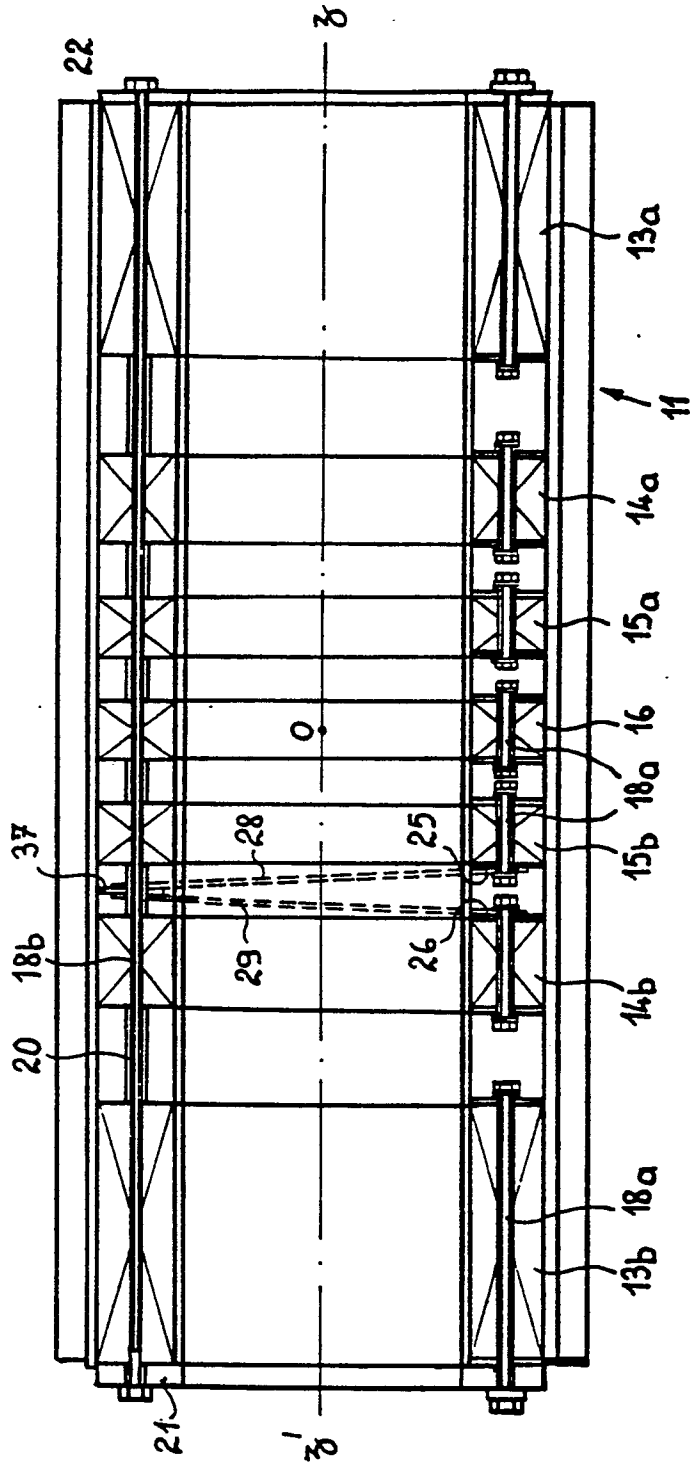
55

60

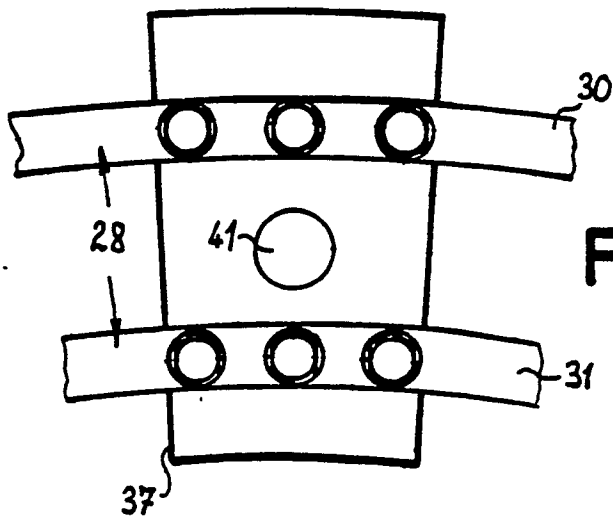
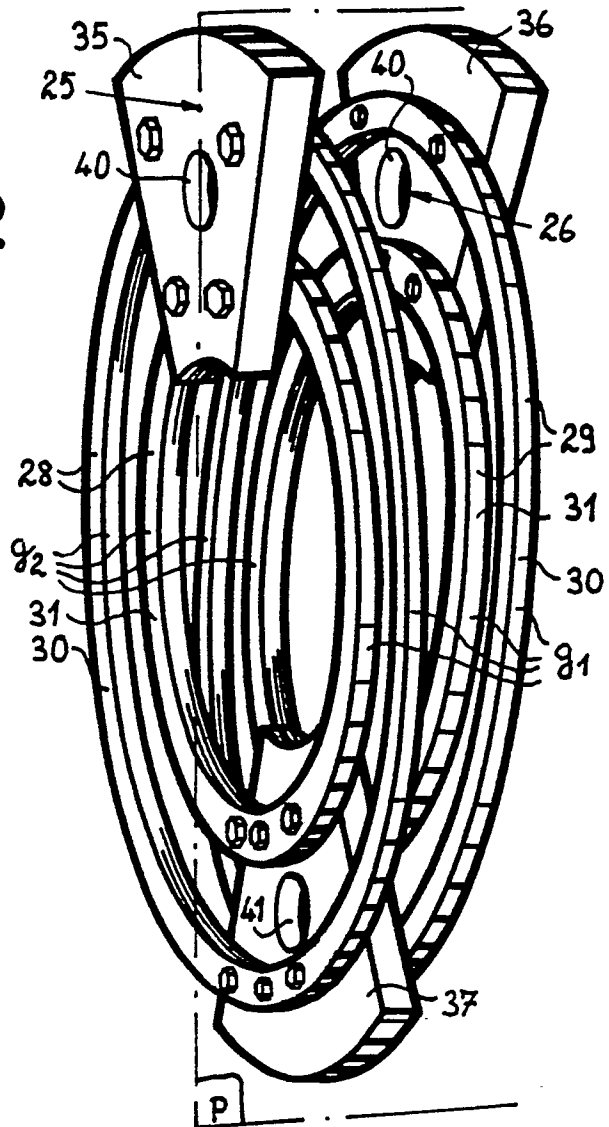
65

6

FIG. 1



FIG_2



FIG_3