



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪ Numéro de publication: **0 221 920 B1**

⑫

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet:
07.02.90

⑤① Int. Cl. ⁵: **H 01 F 7/20**

②① Numéro de dépôt: **86902431.5**

②② Date de dépôt: **22.04.86**

⑧⑥ Numéro de dépôt international:
PCT/FR 86/00136

⑧⑦ Numéro de publication international:
WO 86/06869 (20.11.86 Gazette 86/25)

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

③③ Priorité: **10.05.85 FR 8507151**

④③ Date de publication de la demande:
20.05.87 Bulletin 87/21

④⑤ Mention de la délivrance du brevet:
07.02.90 Bulletin 90/06

⑧④ Etats contractants désignés:
DE GB NL

⑤⑥ Documents cité:
FR-A-1 491 786

**Journal of Physics E: Scientific Instruments vol. 6
Nr.4, April 1973 London, (GB) C.B. Wheeler et al.:
"Multiply crowbarred Solenoids for plasma research",
pages 332-33**

⑦③ Titulaire: **GENERAL ELECTRIC CGR S.A.
13, Square Max-Hymans
F-75015 Paris (FR)**

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

⑦④ Mandataire: **Ballot, Paul Denis Jacques
Cabinet Ballot-Schmit 7, rue le Sueur
F-75116 Paris (FR)**

EP 0 221 920 B1

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, due à la collaboration du Service National des Champs Intenses du CNRS (Directeur M. AUBERT) a 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 déterminée 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 l'autre demande de brevet français N° 84-19 191 publiée pour la première fois le 20/06/86 sous le numéro FR-A-2 574 980 et qui a pour équivalent la demande EP-A-0 204 742 la Demanderesse décrit une méthode de calcul des caractéristiques d'un tel aimant constitué de bobines ayant toutes les mêmes diamètres intérieur et respectivement 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.

Plus particulièrement, l'invention concerne un aimant solénoïdal à haute homogénéité de champ magnétique, c'est-à-dire de 1 à 10 ppm, comportant plusieurs bobines présentant les mêmes diamètres intérieur et respectivement extérieur, disposées le long d'un axe longitudinal commun, et espacées les unes des autres symétriquement par rapport à un plan transversal médian d'une zone d'intérêt où doit régner le champ magnétique, lesdites bobines étant électriquement interconnectées en série, caractérisé en ce que lesdites bobines sont interconnectées en série, pour le passage du courant dans un premier sens aller, par des premiers conducteurs disposés parallèlement audit axe et s'étendant respectivement dans les espaces entre lesdites bobines, en ce que des seconds conducteurs, utilisés en partie pour le passage du courant dans un deuxième sens retour, sont disposés longitudinalement au voisinage desdits premier conducteur, également dans les espaces entre lesdites bobines, et en ce que ces seconds conducteurs sont connectés par des couronnes de répartition

à des troisièmes conducteurs conformés et/ou disposés à l'endroit de chaque bobine, tout autour de chaque bobine, sensiblement parallèlement audit axe, pour répartir le courant de retour et tendre à une densité de ce courant de retour sensiblement uniforme sur une surface cylindrique coaxiale audit axe, certains desdits troisièmes conducteurs, placés autour d'une bobine d'extrémité de l'aimant, étant interconnectés en série avec cette bobine d'extrémité par un plateau de répartition pour assurer le retour du courant vers l'autre extrémité axiale dudit aimant.

Les bobines constituant l'aimant décrit ci-dessus sont de préférence des bobines de Bitter. 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 lequel circule un fluide de refroidissement, par exemple de l'eau désionisée, du kéroène 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 troisièmes conducteurs précités, répartissant le courant de retour sur une surface sensiblement cylindrique et coaxiale aux bobines, dans les tronçons de l'aimant occupés par ces dernières. Dans ce mode de réalisation, on peut connecter électriquement les extrémités des tirants en plaçant à chaque extrémité axiale de chaque bobine, une couronne ouverte, c'est-à-dire comportant une fente radiale au travers de laquelle est établi le point de connexion entre ledit premier conducteur correspondant et ladite bobine. La couronne est bien entendu isolée de la bobine et une paire de seconds conducteurs précités est agencée de part et d'autre dudit premier conducteur, chaque second conducteur étant connecté à une extrémité de ladite couronne. Avec une telle structure, la répartition du retour de courant dans les tirants des différentes bobines est sensiblement équilibrée lorsque chaque bobine comporte un nombre impair de demi-tours.

L'invention apparaîtra plus clairement à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation actuellement préféré d'un aimant conforme à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels:

— la figure 1 est une représentation schématis-

que d'une partie d'un aimant conforme au principe de l'invention, illustrant plus particulièrement une structure de raccordement entre deux bobines voisines et

— la figure 2 est une coupe II - II de la figure 1.

En se reportant aux dessins, on a représenté une partie d'un aimant solénoïdal 11 à disques annulaires de Bitter, connus en soi, constitué de plusieurs bobines alignées le long d'un même axe principal de symétrie z'z. Plus précisément, on a représenté les deux bobines 14 et 15 les plus proches d'une extrémité axiale de l'aimant opposée à celle où sont agencés les moyens de connexion à une source d'alimentation en courant continu, non représentée. Ainsi, 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 est confondu avec celui de l'aimant, à partir d'un jeu de sept bobines par exemple, en choisissant les longueurs de ces bobines et les espacements entre ces bobines. Un mode de calcul possible des caractéristiques des bobines de l'aimant et des espacements entre ces bobines est indiqué dans une autre demande de brevet français FR-A-2 574 980 déposée par la Demanderesse et ce mode de calcul ne fait pas partie de l'invention présente-ment décrite.

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 18 régulièrement répartis sur une surface cylindrique d'axe z'z. Toutes les bobines sont reliées en série. Les tirants 18 sont propres à chaque bobine; ils ne s'étendent pas dans les espaces définis entre celles-ci, ils sont bien entendu électriquement isolés des disques de Bitter qu'ils maintiennent. Les tirants ou certains d'entre-eux sont en outre utilisés pour ramener le courant vers la source de courant, c'est-à-dire vers l'extrémité axiale de l'aimant qui n'est pas représentée. Pour cela, un plateau de répartition de courant 19 (non fendu) est situé à l'extrémité externe de la bobine 15 et soudé à la dernière spire de celle-ci pour assurer une répartition sensiblement uniforme de l'écoulement du courant de retour entre les tirants, lesquels sont en contact électrique avec ledit plateau de répartition. Les tirants de chaque bobine sont connectés entre-eux aux deux extrémités de cette bobine de façon à définir une sorte de cage d'écureuil. L'interconnexion des tirants sera décrite plus loin. Sur les tronçons de l'aimant occupés par les bobines, les tirants sont parcourus par des fractions sensiblement égales du courant de retour. Ils assurent ainsi la compensation de la faible composante axiale de courant due au pas d'hélice de l'enroulement défini par les disques de Bitter, dans la bobine correspondante. 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 qui circule dans cette bobine. On peut utiliser une simple enveloppe tubulaire cylindrique extérieure aux bobines et coaxiale, pour assurer le retour de courant sensiblement uniformément sur une surface cylindrique d'axe z'z dans chaque tronçon de l'aimant occupé par une bobine. On peut aussi utiliser une "cage d'écureuil" définie à partir d'autres tiges conductrices que les tirants.

Selon une caractéristique importante de l'invention, les bobines sont connectées en série par des premiers conducteurs tels que 20 s'étendant respectivement dans les espaces entre bobines voisines tandis que des seconds conducteurs 21, participant au retour du courant, sont disposés longitudinalement au voisinage desdits premiers conducteurs, pour les entourer au moins partiellement. Dans l'exemple décrit, chaque conducteur 20, 21 a une section rectangulaire et deux conducteurs 21, isolés du conducteur 20, sont accolés le long de deux faces parallèles de celui-ci. La totalité du courant traversant les bobines circule donc dans chaque conducteur 20 tandis que le courant de retour circulant en sens inverse se partage sensiblement également dans les deux conducteurs 21. La structure de raccordement entre deux bobines, qui vient d'être décrite ne crée pas de champ parasite dans l'espace entre les deux bobines considérées. Par ailleurs, la continuité du circuit de retour de courant est assurée par des troisièmes conducteurs interconnectés entre les seconds conducteurs, ces troisièmes conducteurs n'étant rien d'autre que, dans l'exemple décrit, les groupes de tirants 18 associés aux différentes bobines ou au moins une partie de ces tirants régulièrement espacés les uns des autres. Les seconds conducteurs 21 et les tirants 18 sont connectés en série dans leur ensemble avec les bobines elles-mêmes en série, par l'intermédiaire du plateau de répartition 19. Les liaisons entre lesdits seconds conducteurs et les groupes de tirants sont assurées par des couronnes ouvertes 22 disposées aux extrémités axiales des bobines et avec lesquelles les tirants 18 d'une part et les extrémités des conducteurs 21 d'autre part sont interconnectés. Plus précisément, chaque couronne, isolée de la bobine à l'extrémité de laquelle elle est fixée à l'aide des tirants, comporte une fente 23 dans laquelle se situe le point de liaison entre le premier conducteur 20 et l'extrémité de la bobine correspondante tandis que les extrémités 24 de la couronne matérialisées par la fente 23, sont connectées aux extrémités des deux conducteurs 21 correspondants. En outre, les tirants de chaque bobine traversent les couronnes 22 correspondantes (une couronne et le plateau 19 en ce qui concerne la bobine 15) et sont serrés au moyen d'écrous entre lesdites couronnes, ce qui assure un contact électrique correct entre ces couronnes et ces tirants.

Selon une autre caractéristique importante de l'invention, chaque bobine comporte un nombre impair de demi-tours de sorte que, de part et d'autre d'une même bobine, les agencements de

conducteurs 20, 21 soient opposés par rapport à l'axe $z'z$. En effet, si l'on se réfère par exemple à la figure 2, on constate que les tirants 18 sont plus ou moins "éloignés" des points de connexions des conducteurs 21 à la couronne 22 et cet éloignement dépend de la position du tirant considéré par rapport à la fente 23. Il pourrait en résulter des différences d'intensité entre les courants circulant dans les tirants, en raison de la portion plus ou moins longue de couronne 22 mise en série avec chacun d'eux. Ce déséquilibre est évité si la bobine comporte un nombre entier de demi-tours car, dans ce cas, les tirants les plus "éloignés" des conducteurs 21 à une extrémité axiale d'une bobine sont les plus rapprochés des conducteurs 21 homologues à l'autre extrémité axiale de cette même bobine. Par conséquent, les résistances réparties entre les tirants par la présence des couronnes sont sensiblement égales de sorte que le courant de retour se partage sensiblement régulièrement entre les tirants dans chaque bobine et se partage sensiblement en deux fractions égales dans les conducteurs 21 dans chaque espace entre deux bobines voisines.

Revendications

1. Aimant solénoïdal à haute homogénéité de champ magnétique, c'est à dire de 1 à 10 ppm, comportant plusieurs bobines (14, 15) présentant les mêmes diamètres intérieur et respectivement extérieur, disposées le long d'un axe longitudinal commun (z, z'), et espacées les unes des autres symétriquement par rapport à un plan transversal médian d'une zone d'intérêt ou doit régner le champ magnétique, lesdites bobines étant électriquement interconnectées en série, caractérisé en ce que lesdites bobines sont interconnectées en série, pour le passage du courant dans un premier sens aller, par des premiers conducteurs (20) disposés parallèlement audit axe (z, z') et s'étendant respectivement dans les espaces entre lesdites bobines, en ce que des seconds conducteurs (21), utilisés en partie pour le passage du courant dans un deuxième sens retour, sont disposés longitudinalement au voisinage desdits premiers conducteurs (20), également dans les espaces entre lesdites bobines, et en ce que ces seconds conducteurs (21) sont connectés par des couronnes de répartition (22) à des troisièmes conducteurs (18) conformés et/ou disposés à l'endroit de chaque bobine, tout autour de chaque bobine et sensiblement parallèlement audit axe pour répartir le courant de retour et tendre à une densité de ce courant de retour sensiblement uniforme sur une surface cylindrique coaxiale audit axe, certains desdits troisièmes conducteurs (18), placés autour d'une bobine d'extrémité de l'aimant, étant interconnectés en série avec cette bobine d'extrémité par un plateau (19) de répartition (19) pour assurer le retour du courant vers l'autre extrémité axiale dudit aimant.

2. Aimant solénoïdal selon la revendication 1, du type dans lesquels les bobines précitées sont des bobines de Bitter munies de disques, caractérisé en ce que, lesdits disques de chaque bobine étant maintenus, de façon connue en soi, par des tirants (18) isolés de celle-ci et régulièrement répartis sur une surface cylindrique coaxiale, les troisièmes conducteurs (18) précités sont constitués par au moins certains desdits tirants espacés régulièrement les uns des autres.

3. Aimant solénoïdal selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque espace entre deux bobines voisines, un premier conducteur (20) précité et deux seconds conducteurs (21) précités accolés symétriquement le long dudit premier conducteur.

4. Aimant selon l'ensemble des revendications 2 et 3, caractérisé en ce qu'au voisinage de chaque bobine, lesdits seconds conducteurs (21) sont reliés aux extrémités d'une couronne ouverte (22), en ce que le point de connexion entre ledit premier conducteur (20) et la bobine correspondante est placé dans l'ouverture de ladite couronne et en ce que chaque couronne est isolée de la bobine à l'extrémité de laquelle elle est montée et est connectée aux tirants (18) constituant les troisièmes conducteurs précités.

5. Aimant solénoïdal selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque bobine comporte un nombre impair de demi-tours.

Patentansprüche

1. Elektromagnet mit hoher Homogenität des Magnetfeldes, das heißt von 1 bis 10 ppm, mit mehreren Spulen (14, 15), die jeweils denselben Innen- und Außendurchmesser aufweisen und längs einer gemeinsamen Längsachse (z, z') angeordnet und voneinander symmetrisch im Verhältnis zu einer mittleren Querebene einer Interessenzzone auseinanderliegen, in der das Magnetfeld herrschen soll, wobei diese Spulen elektrisch seriengeschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, daß diese Spulen für den Stromdurchgang in einer ersten Zuflußrichtung durch erste Leiter (20) seriengeschaltet sind, die parallel zu dieser Achse (z, z') angeordnet sind und sich jeweils in den Leerräumen zwischen diesen Spulen erstrecken, dadurch, daß zweite Leiter (21), die teilweise für den Stromdurchgang in einer zweiten Rückflußrichtung verwendet werden, in der Nachbarschaft dieser ersten Leiter (20) ebenfalls in den Leerräumen zwischen diesen Spulen längs angeordnet sind, und dadurch, daß diese zweiten Leiter (21) durch Verteilungskränze (22) an dritte Leiter (18) angeschlossen sind, die an jeder Spulenstelle ganz um jede Spule herum und etwa parallel zu dieser Achse gebildet und/oder angeordnet sind, um den Rückstrom zu verteilen und darauf hinzuwirken, daß die Dichte

dieses Rückstroms etwa gleichmäßig auf einer zu dieser Achse koaxialen zylindrischen Fläche ist, wobei einige dieser um eine Endspule des Magnets herum gelegenen dritten Leiter (18) mit dieser Endspule durch ein Verteilungsplateau (19) seriengeschaltet sind, um die Stromrückkehr zum anderen axialen Ende dieses Magnets hin zu sichern.

2. Elektromagnet nach Anspruch 1 des Typs, in dem die vorgenannten Spulen mit Scheiben versehene Bitter-Spulen sind, dadurch gekennzeichnet, daß diese Scheiben jeder Spule auf an sich bekannte Weise durch von dieser isolierte und regelmäßig über eine koaxiale zylindrische Fläche verteilte Zuganker (18) aufrechterhalten werden, und die dritten vorgenannten Leiter (18) von zumindest einigen dieser regelmäßig voneinander abstehenden Zuganker gebildet werden.

3. Elektromagnet nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß er in jedem Leer-raum zwischen zwei benachbarten Spulen einen ersten vorgenannten Leiter (20) und zwei vorgenannte zweite Leiter (21) umfaßt, die aneinanderliegend symmetrisch entlang diesem ersten Leiter verlaufen.

4. Magnet nach der Gesamtheit der Ansprüche 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Nachbarschaft jeder Spule diese zweiten Leiter (21) mit den äußeren Enden eines offenen Kranzes (22) verbunden sind, und darin, daß der Anschlußpunkt zwischen diesem ersten Leiter (20) und der entsprechenden Spule in der Öffnung dieses Kranzes liegt und darin, daß jeder Kranz von der Spule, an deren Ende sie montiert ist, isoliert und mit den Zugankern (18) verbunden ist, welche die dritten vorgenannten Leiter bilden.

5. Elektromagnet nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Spule eine ungerade Anzahl von halben Windungen trägt.

Claims

1. A solenoid magnet with high magnetic field homogeneity, that is to say from 1 to 10 ppm, comprising several coils (14 and 15) having the same interior and, respectively, exterior diameter, placed along a common longitudinal axis (z and z') and spaced from each other symmetrically in relation to a median transverse plane of a zone in question in which the magnetic field is to obtain, the said coils being electrically connected in series, characterized in that the said coils are connected in series, for the passage of the current in one first outward direction, by first conductors (20) placed in parallelism to the said axis (z and z') and extending respectively in the spaces between the said coils, in that the second conductors (21), used in part for the passage of the current in a second return direction, are dis-

posed longitudinally adjacent to the said first conductors (20) also in the spaces between the said coils and in that the second conductors (21) are connected by spacing crowns (22) with third conductors (18) conforming with and/or placed at the site of each coil, all around each coil and substantially in parallelism to the said axis in order to distribute the return current and to keep this return current at a density which is substantially uniform on a cylindrical surface coaxial to the said axis, certain ones of the said third conductors (18), placed around an end coil of the magnet, being connected in series with this end coil by a distributing plate (19) in order to ensure the return of the current to the other axial end of the said magnet.

2. The solenoid magnet as claimed in claim 1 of the type in which the said coils are Bitter coils furnished with disks, characterized in that the said disks of each coil are held in place, in an inherently known manner, by ties (18) insulated from the same and regularly spaced on a coaxial cylindrical surface, the said third conductors (18) being constituted by at least some of the said ties which are regularly spaced out from each other.

3. The solenoid magnet as claimed in claim 1 or in claim 2 characterized in that it comprises, in each space between two adjacent coils, a first said conductor (20) and two second said conductors (21) located symmetrically along the said first conductor.

4. The magnet as claimed in claims 2 and 3 characterized in that adjacent to each coil the said second conductors (21) are connected with the ends of an open crown (22), in that the point of connection between the said first conductor (20) and the corresponding coil is placed in the opening of the said crown and in that each crown is insulated from the coil at the end of which it is mounted and is connected with the ties (18) constituting the third said conductors.

5. The solenoid magnet as claimed in any one preceding claims characterized in that each coil comprises an odd number of half-turns.

FIG_1

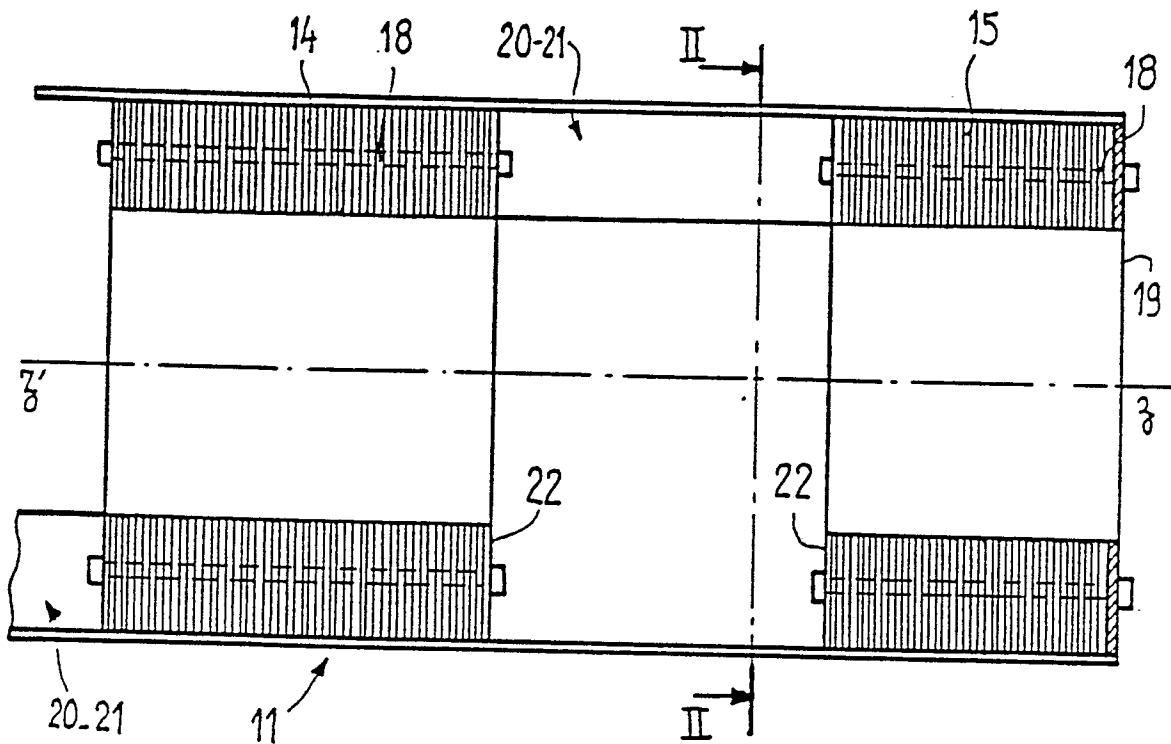


FIG_2

