

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 88420220.1

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 F 31/00**
H 01 F 27/30

(22) Date de dépôt: 24.06.88

(30) Priorité: 26.06.87 FR 8709507

(43) Date de publication de la demande:
11.01.89 Bulletin 89/02

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

(71) Demandeur: **SOCIETE POUR L'APPLICATION DE L'OPTIQUE ET DE L'ELECTRONIQUE A LA RECHERCHE ET A L'AUTOMATISATION OPTelec (SOCIETE ANONYME)**
Chemin de la Charrette - Z.I
F-73200 Albertville (FR)

(72) Inventeur: **Chappel, Bernard**
1032, chemin des Trois Poiriers
F-73200 Albertville (FR)

(74) Mandataire: **de Beaumont, Michel**
Cabinet Poncet 7, chemin de Tillier B.P. 317
F-74008 Annecy Cédex (FR)

(54) **Transformateur torique à dispositif d'auto-induction intégré.**

(57) Le transformateur comprend un circuit magnétique principal annulaire (20) fermé, sur lequel est bobiné un enroulement électrique intérieur (26). Un noyau magnétique (42), en forme de secteur annulaire ouvert, est maintenu en périphérie de l'enroulement intérieur par des barrettes périphériques (35). L'ensemble est recouvert par l'enroulement électrique extérieur (48). Le noyau magnétique (42) détermine la valeur de l'auto-inductance du transformateur.

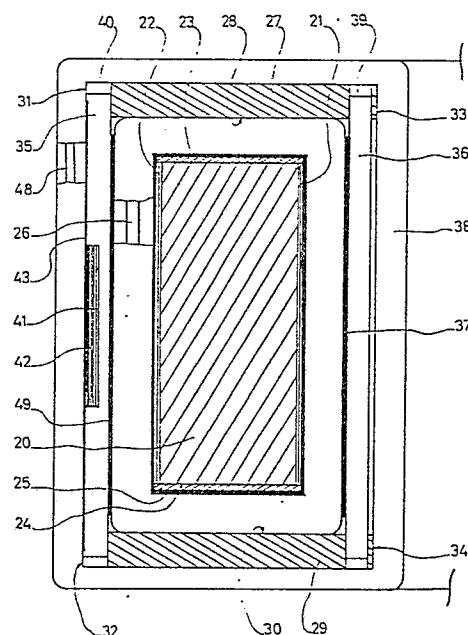


Fig. 4

Description

TRANSFORMATEUR TORIQUE A DISPOSITIF D'AUTO-INDUCTION INTEGRE

La présente invention concerne les transformateurs électriques destinés à la transmission de l'énergie électrique, et plus particulièrement les transformateurs dont l'un au moins des enroulements présente une auto-inductance intégrée.

Les transformateurs à auto-inductance intégrée sont généralement constitués autour d'un circuit magnétique classique à deux ou trois colonnes parallèles reliées par deux traverses d'extrémités, les enroulements primaire et secondaire étant bobinés autour de la colonne centrale. L'auto-inductance intégrée est réalisée en prévoyant un circuit magnétique auxiliaire ouvert, entouré par l'un seulement des enroulements électriques primaire ou secondaire. Ce circuit magnétique secondaire, non saturable dans les conditions usuelles d'utilisation, permet par exemple de limiter le courant de court-circuit du transformateur.

Ces transformateurs à circuit magnétique classique présentent notamment l'inconvénient d'être relativement volumineux et lourds ; la configuration du circuit magnétique provoque un rayonnement électromagnétique néfaste au voisinage du transformateur, rayonnement encore augmenté très sensiblement lorsqu'on incorpore un noyau magnétique secondaire pour réaliser l'auto-inductance.

On connaît par ailleurs des transformateurs électriques, généralement appelés transformateurs toriques, dont le noyau magnétique présente une forme annulaire fermée. Les enroulements primaire et secondaire d'un tel transformateur sont généralement bobinés l'un sur l'autre. On sait qu'un tel transformateur est, à puissance égale, moins encombrant et moins lourd qu'un transformateur à circuit magnétique classique à deux ou trois colonnes.

Un tel transformateur torique est toutefois plus difficile à réaliser, et en particulier plus difficile à bobiner, puisque le circuit magnétique est déjà fermé lors du bobinage et que le fil électrique d'enroulement doit passer autant de fois dans la cheminée centrale du circuit magnétique qu'il y a de spires pour former le bobinage.

On a tenté de réaliser des transformateurs toriques à auto-inductance intégrée, en écartant les enroulements primaire et secondaire l'un de l'autre, c'est-à-dire en bobinant un premier enroulement sur un premier secteur circulaire du circuit magnétique, et en bobinant l'autre enroulement sur un second secteur circulaire du circuit magnétique différent du premier secteur. Une telle solution ne s'avère pas utilisable industriellement, car cela rend les enroulements électriques encore plus difficiles à bobiner sur le tore, et le bobinage ne peut pas être facilement automatisé. Une telle disposition conduit en outre à augmenter les volumes, les sections de cuivre constituant les enroulements, et l'échauffement du transformateur ; l'auto-inductance ainsi obtenue est difficile à maîtriser quantitativement, lorsque l'on veut concevoir un transformateur présentant des caractéristiques nouvelles. On

constate en outre que cette structure conduit à augmenter sensiblement le rayonnement électromagnétique au voisinage du transformateur.

La présente invention a notamment pour objet d'éviter les inconvénients des transformateurs connus, en proposant une nouvelle structure de transformateur torique à auto-inductance intégrée qui est particulièrement simple et facile à bobiner, à assembler.

Selon un autre objet de l'invention, cette nouvelle structure permet de concevoir un transformateur à auto-inductance intégrée autour duquel le rayonnement électromagnétique est relativement beaucoup plus faible.

Selon un autre objet de l'invention, la structure permet d'ajuster et de contrôler à volonté la valeur de l'auto-inductance intégrée, par un simple déplacement mécanique de certaines parties de structure ; il est ainsi beaucoup plus aisé de concevoir et de réaliser des transformateurs présentant des caractéristiques électriques nouvelles, et les caractéristiques peuvent être obtenues de manière précise.

Selon un autre objet de l'invention, la nouvelle structure est relativement peu onéreuse, car le circuit magnétique est composé d'éléments dont les formes sont simples et faciles à réaliser, et dont l'assemblage est particulièrement rapide et ne nécessite que peu de main-d'oeuvre. La structure est en outre particulièrement bien adaptée pour permettre une automatisation très poussée du montage.

Un autre problème important que vise à résoudre la présente invention est l'échauffement thermique apparaissant dans les transformateurs à circuit torique. A puissance égale, cet échauffement est relativement plus important que dans les transformateurs à circuit magnétique classique à trois colonnes, car dans ces transformateurs classiques, les surfaces d'échanges thermiques sont nettement plus importantes. Dans le cas d'un transformateur torique, l'enroulement électrique intérieur est totalement emprisonné par les couches d'isolation électrique et par l'enroulement électrique extérieur, de sorte que les échanges thermiques sont considérablement freinés.

L'invention propose pour cela des modes de réalisation particulièrement intéressants, dans lesquels les moyens d'isolation électrique ont une forme et une structure permettant le transfert thermique depuis l'enroulement électrique intérieur vers l'extérieur, et augmentant notablement le refroidissement naturel des enroulements. Par voie de conséquence, une telle structure permet de diminuer la section des conducteurs, d'où un gain sensible sur le poids du cuivre, matériau très onéreux.

Un autre objet de l'invention est de réduire la longueur moyenne des spires constituant les enroulements électriques du transformateur, sans nuire à l'isolation électrique ni à la section du circuit magnétique.

L'invention permet également le bobinage de transformateurs toriques avec un fil plat de grosse section. Du fait de la forme torique à section rectangulaire du circuit magnétique, les spires sont disposées d'une façon radiale. Elles sont donc jointives dans l'alésage du tore et écartées sur la périphérie extérieure, par différence des longueurs développées des diamètres extérieur et intérieur du tore. Après avoir bobiné une première couche de spires jointives dans l'alésage du tore, la couche suivante tend à se superposer à la précédente dans l'alésage, mais à s'intercaler entre les spires de première couche sur la périphérie externe. Dans une zone intermédiaire, les spires externes viennent en appui sur les spires internes selon un point de leur arête, de sorte que le contact s'effectuant sur une très faible surface constitue une zone d'appui à pression très importante susceptible d'endommager l'isolement électrique. L'invention prévoit des moyens pour éviter cet effet de concentration de l'effort de traction sur deux appuis ponctuels à chaque spire.

Un autre objet de l'invention est d'assurer un maintien correct du circuit magnétique auxiliaire réalisant l'auto-inductance intégrée, de façon à éviter les vibrations de tôles engendrant des bruits néfastes.

Un autre objet important de l'invention est de réduire considérablement le nombre de pièces nécessaires pour assurer l'isolation électrique des enroulements. Il en résulte une diminution du coût de matières premières, et surtout une diminution du coût de la main d'oeuvre nécessaire pour le montage.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, le transformateur torique selon la présente invention comprend un circuit magnétique principal annulaire fermé, des moyens d'isolement électrique de la surface extérieure du circuit magnétique, un enroulement électrique intérieur bobiné sur l'isolement du circuit magnétique principal, un isolement électrique intermédiaire entourant l'enroulement électrique intérieur, et un enroulement électrique extérieur bobiné autour de l'isolement électrique intermédiaire. Le transformateur selon l'invention comprend en outre au moins un noyau magnétique, comportant au moins un secteur annulaire ouvert limité par un entrefer et disposé parallèlement au circuit magnétique principal annulaire entre l'enroulement électrique intérieur et l'enroulement électrique extérieur. Le noyau magnétique détermine, par sa structure et sa position, la valeur de l'auto-inductance de l'enroulement électrique extérieur.

Selon un mode de réalisation avantageux, le noyau magnétique comporte au moins un secteur annulaire disposé selon le pourtour de l'enroulement intérieur. En alternative ou en complément, le noyau magnétique comporte au moins un secteur annulaire disposé dans la cheminée centrale de l'enroulement intérieur.

Selon un mode de réalisation particulier, le noyau comporte deux secteurs annulaires successifs disposés selon le pourtour de l'enroulement intérieur. Cela facilite l'insertion du noyau magnétique et le réglage de l'inductance par positionnement des

secteurs annulaires successifs.

Dans un premier mode de réalisation, les moyens d'isolation électrique comprennent une couronne supérieure et une couronne inférieure, réalisées en une matière isolante et rigide, dont les contours extérieurs sont reliés l'un à l'autre par des barrettes axiales formant un support pour le noyau magnétique périphérique. Le noyau magnétique périphérique est avantageusement constitué d'un empilage de tôles cintrées sur le pourtour défini par les barrettes axiales et sur lesquelles il est maintenu par enrubannage périphérique isolant. Cette structure facilite considérablement le montage du transformateur, c'est-à-dire l'assemblage de ses constituants, et le réglage de l'auto-inductance peut être assuré en faisant coulisser les tôles dans le logement défini entre les barrettes axiales et l'enrubannage périphérique.

Les couronnes supérieure et inférieure comportent avantageusement un contour intérieur circulaire de diamètre inférieur au diamètre intérieur du circuit magnétique principal annulaire ; les couronnes forment ainsi un support sur lequel peut être bobiné l'enroulement extérieur. Les couronnes assurent ainsi une séparation des deux enroulements, augmentent la surface d'échange thermique, participent à l'isolation électrique, et définissent un support rigide permettant l'automatisation du bobinage de l'enroulement extérieur.

Dans un mode de réalisation préféré, adapté à une forme de circuit magnétique torique à section sensiblement rectangulaire, les moyens d'isolation électrique comprennent une calotte torique supérieure, électriquement isolante, et une calotte torique inférieure, électriquement isolante ; chaque calotte torique est limitée par un contour extérieur circulaire de diamètre seulement un peu supérieur au diamètre extérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur, et étant limitée par un contour intérieur circulaire de diamètre seulement un peu inférieur au diamètre intérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur ; les contours respectifs de la calotte supérieure et de la calotte inférieure en regard l'un de l'autre sont séparés par un espace favorisant le transfert d'énergie calorifique. Ce mode de réalisation augmente sensiblement le transfert d'énergie calorifique depuis l'enroulement intérieur vers l'extérieur, et procure un gain sensible de place dans l'alésage central du circuit.

Les faces extérieures des rebords de calotte présentent avantageusement une section transversale arrondie. Cette disposition réduit sensiblement la longueur de cuivre nécessaire pour la réalisation de l'enroulement électrique, et améliore la régularité de bobinage.

Le contour extérieur de chacune des calottes peut comprendre avantageusement une gorge annulaire faisant face à la gorge annulaire de l'autre calotte ; le noyau magnétique, comprenant un empilage de tôles cintrées, est maintenu par les calottes, les bords du noyau magnétique étant pincés respectivement dans la gorge de calotte supérieure et dans la gorge de calotte inférieure. Eventuellement, les calottes assurent elles-mêmes le maintien des écrans électrostatiques du transfor-

mateur.

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 représente une vue générale de côté d'un transformateur selon la présente invention ;
- la figure 2 représente une vue de dessus du transformateur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue de dessus en coupe selon le plan A-A de la figure 1 dans un premier mode de réalisation ;
- la figure 4 est une demi-vue de côté en coupe selon le plan B-B et à plus grande échelle de la figure 3 ;
- la figure 5 illustre les inconvénients d'une bobinage de fil de gros diamètre sur un circuit à section rectangulaire ;
- la figure 6 illustre l'avantage de bobinage d'un fil de gros diamètre sur un circuit dont les coins sont arrondis ;
- la figure 7 illustre les inconvénients de bobinage d'un conducteur électrique plat à section rectangulaire sur un circuit magnétique torique ;
- la figure 8 illustre, à grande échelle, l'imbrication des spires selon la présente invention ;
- la figure 9 est une vue en bout d'axe des enroulements électriques de transformateur torique à conducteur électrique plat de section importante ;
- la figure 10 est une vue de dessus en coupe selon le plan A-A de la figure 1, dans un second mode de réalisation ; et
- la figure 11 est une demi-vue de côté en coupe selon le plan C-C et à plus grande échelle de la figure 10.

Le transformateur selon la présente invention, représenté sur les figures 1 et 2, présente une forme extérieure générale annulaire. Le corps 1 du transformateur est un anneau d'axe I-I et de section sensiblement rectangulaire. Le corps est solidaire d'un ensemble de fixation et de transport 2 comprenant un premier élément d'extrémité 3 et un second élément d'extrémité 4 appliqués respectivement sur le premier flanc 5 du corps 1 et sur le second flanc 6 du corps 1. Les éléments d'extrémité 3 et 4 sont reliés par une colonne centrale 7 de liaison, surmontée d'une boucle de portage 8.

Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, les éléments d'extrémité, tels que le premier élément 3, comprennent trois branches divergentes en étoile. Ainsi, le premier élément d'extrémité 3 comprend les branches 9, 10 et 11. Les branches se rejoignent au centre, dans l'axe I-I du transformateur, et sont solidaires de la colonne centrale de liaison 7. La colonne centrale de liaison 7 traverse la cheminée centrale 12 du corps 1. Une plaque support 13, solidaire du premier élément d'extrémité 3, supporte les bornes de connexion électrique du transformateur. Les branches divergentes ont leurs faces internes conformées pour épouser la forme du premier flanc 5 ou du second flanc 6 du corps 1, au voisinage de la cheminée centrale 12 du corps 1, assurant ainsi une solidarisation latérale entre le corps 1 et l'ensemble de fixation et de transport 2.

Les figures 3 et 4 illustrent la constitution interne du corps 1 de transformateur selon un premier mode de réalisation de l'invention. Pour la clarté des dessins, les tôles du circuit magnétique ont été partiellement représentées ; il en est de même des conducteurs constituant les bobinages de transformateur, conducteurs qui sont représentés en coupe transversale sur la figure 3 et en coupe longitudinale sur la figure 4.

Dans le mode de réalisation représenté sur ces figures, le transformateur comprend un circuit magnétique principal 20 en forme d'anneau circulaire fermé, à section rectangulaire. Le circuit magnétique est constitué, de manière connue, d'un enroulement circulaire de tôle.

Le circuit magnétique 20 est isolé électriquement sur la totalité de sa surface. L'isolation électrique peut avantageusement être assurée par un bandeau intérieur 21 recouvrant la paroi de la cheminée intérieure du circuit magnétique, un bandeau extérieur 22 recouvrant la paroi périphérique du circuit magnétique, un flasque supérieur 23 recouvrant le flanc supérieur du circuit magnétique et un flasque inférieur 24 recouvrant le flanc inférieur du circuit magnétique. L'isolation peut être complétée par un enrubannage 25, l'enrubannage assurant simultanément le maintien des flasques 23 et 24 et des bandeaux 21 et 22 sur le circuit magnétique, pour définir un sous-ensemble manipulable susceptible de recevoir un bobinage par des moyens mécaniques automatiques.

Le sous-ensemble ainsi formé reçoit, par bobinage de manière connue, un premier enroulement électrique appelé enroulement intérieur 26, constitué d'un nombre de spires convenable de fil électrique bobinées autour du circuit magnétique 20.

Une couronne supérieure 27 plate est appliquée contre le flanc supérieur 28 de l'enroulement électrique intérieur 26, et une couronne inférieure 29 plate est appliquée contre le flanc inférieur 30 de l'enroulement électrique intérieur 26. Les couronnes 27 et 29 sont réalisées en une matière électriquement isolante et présentant une rigidité suffisante pour supporter et maintenir sans déformation excessive l'enroulement électrique extérieur. De préférence, les couronnes supérieure 27 et inférieure 29 présentent des contours extérieurs 31 et 32 identiques, et des contours intérieurs 33 et 34 également identiques, les couronnes étant toutes deux centrées sur l'axe I-I du transformateur. Les couronnes supérieure 27 et inférieure 29 sont reliées, au voisinage de leurs contours extérieurs 31 et 32, par des barrettes axiales 35, et, au voisinage de leurs contours intérieurs 33 et 34, par des colonnes axiales 36. Dans le mode de réalisation représenté, le transformateur comprend quatre colonnes axiales telles que la colonne 36, régulièrement réparties en périphérie de la cheminée centrale de l'enroulement électrique intérieur 26. Selon un mode de réalisation, les colonnes 36 peuvent être en appui contre la paroi intérieure de l'enroulement électrique intérieur 26 ; selon un autre mode de réalisation, on peut interposer un écran électrostatique 37 entre les colonnes 36 et la paroi intérieure de l'enroulement

électrique intérieur 26, comme le représente la figure 4. Les contours intérieurs 33 et 34 ont une forme circulaire de diamètre inférieur au diamètre intérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur 26, de façon à définir deux surfaces contre lesquelles viennent s'appuyer et s'incurver les conducteurs formant l'enroulement électrique extérieur 38.

De même, les contours extérieurs 31 et 32 des couronnes 27 et 29 ont une forme circulaire de diamètre supérieur au diamètre extérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur 26. Ainsi, les contours 31 et 32 forment une surface d'appui pour les conducteurs électriques de l'enroulement électrique extérieur 38. Les couronnes forment un support sur lequel est bobiné l'enroulement électrique extérieur 38, et participent à l'isolement électrique des enroulements l'un par rapport à l'autre.

Les couronnes supérieure 27 et inférieure 29 sont réalisées en un matériau électriquement isolant, et mécaniquement rigide. Les colonnes 36 ont une section circulaire, et leurs extrémités s'insèrent dans des trous axiaux 39 de section correspondante des couronnes. Les barrettes 35 ont une section rectangulaire, et leurs extrémités s'engagent dans des encoches 40 radiales de section correspondante des couronnes. Les barrettes comportent une encoche extérieure 41, de longueur sensiblement égale à la moitié de la hauteur du circuit magnétique 20, et de profondeur suffisante pour recevoir le noyau magnétique 42. Dans le mode de réalisation représenté, le transformateur comprend douze barrettes axiales telles que la barrette 35, régulièrement réparties en périphérie de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur 26. Selon un mode de réalisation, les barrettes pouvant être en appui contre l'enroulement électrique intérieur. Selon le mode de réalisation représenté, un écran électrostatique 49 est interposé entre les barrettes 35 et l'enroulement électrique intérieur 26.

Le noyau magnétique 42 est constitué d'un empilage de tôles magnétiques, de forme rectangulaire, cintrées et appliquées radialement depuis l'extérieur dans les encoches 41 des barrettes 35. Les encoches 41 ont pour cela une longueur légèrement supérieure à la hauteur du noyau magnétique. Après application, les tôles du noyau magnétique 42 sont maintenues en position plaquées dans les encoches par un ruban 43 périphérique d'isolement et de maintien du noyau magnétique.

Selon l'invention, le noyau magnétique 42 présente un profil ouvert en forme de secteur annulaire, sensiblement parallèle au circuit magnétique principal 20 et limité par un entrefer. Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 3, le noyau magnétique 42 est constitué d'un premier secteur annulaire 44 et d'un second secteur annulaire 45 successifs disposés selon le pourtour de l'enroulement électrique intérieur 26. Les extrémités des deux secteurs annulaires successifs 44 et 45 sont séparées d'un côté par un premier entrefer 46 de faible épaisseur, et sont séparées de l'autre côté par un second entrefer 47 beaucoup plus important.

L'entrefer 47, représenté sur la figure 3, occupe un peu plus du quart de la circonférence. On comprend que l'on peut faire coulisser les tôles magnétiques formant le premier secteur 44 et/ou le second secteur 45, à la périphérie des barrettes 35, pour régler la valeur de l'auto-inductance du transformateur.

Les barrettes 35 et les colonnes 36 sont solidarisées aux couronnes supérieure 27 et inférieure 29, par exemple par collage ou emmanchement en force, de sorte que l'ensemble constitue un sous-ensemble d'une seule pièce susceptible d'être bobiné par des moyens mécaniques automatiques pour recevoir l'enroulement électrique extérieur. Ainsi, l'enroulement électrique extérieur 48 forme la couche extérieure du corps de transformateur. Dans le mode de réalisation représenté, l'enroulement extérieur 48 recouvre le noyau magnétique, l'enroulement intérieur et une partie de la zone du second entrefer 47.

Dans d'autres modes de réalisation, on pourra prévoir un enroulement électrique extérieur 48 qui recouvre la totalité du circuit magnétique et de l'enroulement intérieur.

Le noyau magnétique 42, dans le mode de réalisation représenté sur la figure 4, a une hauteur égale à environ la moitié de la hauteur du circuit magnétique 20, et est disposé à mi-hauteur du circuit magnétique principal 20.

On comprend que, selon l'invention, le noyau magnétique 42 est disposé entre l'enroulement électrique intérieur 26 et l'enroulement électrique extérieur 48. Ce noyau magnétique 42 détermine la valeur de l'auto-inductance présentée par l'enroulement électrique extérieur 48. On peut en particulier utiliser le transformateur selon l'invention en choisissant l'enroulement intérieur comme enroulement secondaire, et l'enroulement extérieur 48 comme enroulement primaire, de sorte que le transformateur est alors un transformateur dont le primaire présente une auto-inductance.

Sur la figure 3, les références 481 et 482 désignent les sorties de l'enroulement électrique extérieur 48. Cet enroulement est formé de quatre brins bobinés en parallèle. Les références 261 et 262 désignent les extrémités de l'enroulement électrique intérieur 26, et la référence 263 en désigne le point milieu. Cet enroulement est formé de trois brins bobinés en parallèle. La référence 370 désigne les sorties de conducteurs de mise à la masse des écrans 37 et 49.

On peut concevoir, sans sortir du cadre de la présente invention, des dispositions différentes du noyau magnétique 42. Ainsi, selon un second mode de réalisation, le noyau magnétique peut être conformé en secteur annulaire disposé dans la cheminée centrale de l'enroulement intérieur 26.

Selon un troisième mode de réalisation, le noyau magnétique peut être conformé en secteur annulaire disposé sur l'un des flancs 28 ou 29 de l'enroulement intérieur 26.

On peut également concevoir un noyau magnétique 42 en plusieurs parties, certaines parties étant disposées sur les flancs 28 ou 30, certains autres éléments étant disposés sur le pourtour ou à l'intérieur de la cheminée.

Les figures 9 à 11 illustrent la constitution interne du corps 1 de transformateur selon un second mode de réalisation de l'invention.

Le circuit magnétique principal 20 de ce mode de réalisation est le même que celui du mode de réalisation des figures 3 et 4, à savoir un anneau circulaire fermé, à section rectangulaire, constitué d'un enroulement circulaire de tôle.

Le circuit magnétique 20 est isolé électriquement sur la totalité de sa surface. Selon ce mode de réalisation, les moyens d'isolement électrique du circuit magnétique comprennent une calotte torique supérieure isolante de circuit magnétique 50, une calotte isolante inférieure de circuit magnétique 51, recouvrant chacune la face supérieure et la face inférieure respectives du circuit magnétique 20 et une partie des faces latérales extérieure et intérieure du circuit magnétique, les calottes 50 et 51 étant reliées par un isolant électrique cylindrique extérieur 52 et un isolant électrique cylindrique intérieur 53. Les calottes supérieure 50 et inférieure 51 d'isolement de circuit magnétique présentent, sur leurs faces externes, une arête extérieure arrondie 54, et une arête intérieure arrondie 55.

L'intérêt des arêtes arrondies 54 et 55 est expliqué en relation avec les figures 5 et 6 : lorsque l'on bobine le conducteur électrique sur le circuit magnétique torique, et plus particulièrement lorsque le conducteur électrique a une section relativement importante, il n'est pas possible de courber à angle droit le conducteur au passage de chaque arête. Ainsi, sur la figure 5, lorsque le circuit magnétique présente des arêtes vives, le conducteur électrique, enroulé autour du circuit magnétique 20 dans le sens de la flèche 156, forme des coins arrondis, le début de chaque courbe commençant au passage du coin de circuit magnétique, la fin de chaque courbe se finissant à l'écart du circuit magnétique, définissant ainsi à chaque coin un jeu tel que le jeu 157. Avec un conducteur dont l'épaisseur est de 2 mm environ, un tel jeu peut dépasser 3mm. Il en résulte que l'enroulement électrique occupe une section nettement plus importante que la section du circuit magnétique, et cette section est décalée par rapport à la section du circuit magnétique, comme le représente la figure 5. Outre la perte occasionnée par l'augmentation de volume qui en résulte, il s'ensuit des difficultés de bobinage, et le bobinage manque généralement de régularité.

Au contraire, en prévoyant des arêtes arrondies telles que les arêtes 54 et 55, le conducteur électrique épouse parfaitement la forme de l'arête à chaque passage, et se trouve ainsi correctement appliqué sur l'isolant, chacune de ses branches étant parallèle à la face correspondante du circuit magnétique. On pourrait penser que le fait de prévoir des arêtes 54 et 55 arrondies tendrait à augmenter la section apparente de l'ensemble formé par le circuit magnétique et son isolant externe. En réalité, et de manière surprenante, on constate que cette disposition tend au contraire à réduire la longueur de la spire de conducteur entourant la circuit magnétique, et il en résulte une économie de cuivre formant ce conducteur.

Un enrubannage partiel peut solidariser les iso-

lants 50, 51, 52 et 53 autour du circuit magnétique. Le sous-ensemble ainsi formé reçoit ensuite, par bobinage, de manière connue, le premier enroulement électrique intérieur 26. Dans le mode de réalisation représenté, l'enroulement intérieur 26 est constitué d'un nombre de spires convenable de conducteur électrique plat à section rectangulaire. On a représenté un enroulement à trois couches, une première couche 260 formée de spires radiales qui sont jointives dans la cheminée centrale 12 du circuit, et qui sont écartées l'une de l'autre sur la face périphérique extérieure latérale du circuit ; cette première couche 260 est recouverte par une seconde couche 261, représentée partiellement sur la figure 9, formée de spires radiales également jointives dans la cheminée centrale 12, elle-même surmontée d'une troisième couche 262 de même structure, qui la recouvre.

Une calotte torique supérieure 56 est emboîtée contre le flanc supérieur 28 de l'enroulement électrique intérieur 26, et une calotte torique inférieure 57 est emboîtée contre le flanc inférieur 30 de l'enroulement électrique intérieur 26. Les calottes toriques supérieure 56 et inférieure 57 sont réalisées en une matière électriquement isolante présentant une certaine souplesse. De préférence, les calottes supérieure 56 et inférieure 57 sont identiques. Elles présentent respectivement des contours extérieurs circulaires 58 et 59 de diamètre seulement un peu supérieur au diamètre extérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur 26. Les calottes 56 et 57 sont limitées par un contour intérieur, respectivement 60 et 61, circulaire de diamètre seulement un peu inférieur au diamètre intérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur 26. Les contours extérieurs 58 et 59 des deux calottes 56 et 57 sont séparés l'un de l'autre par un espace 62 favorisant le transfert d'énergie calorifique depuis l'enroulement intérieur 26 vers l'extérieur. De même, les contours 60 et 61 sont séparés l'un de l'autre par un espace 63 favorisant le passage d'énergie calorifique depuis l'enroulement intérieur 26 vers la cheminée centrale 12.

Les calottes supérieure 56 et inférieure 57 sont conformées pour s'appliquer à faible jeu sur l'enroulement intérieur 26. Après leur mise en place, elles peuvent être maintenues en position par tous moyens, par exemple par quelques tours de ruban répartis en deux ou trois zones de la périphérie du circuit.

Chaque calotte 56 ou 57 comprend un rebord intérieur 64 recouvrant partiellement la face cylindrique intérieure de l'enroulement électrique intérieur 26, et un rebord extérieur 65 recouvrant partiellement la face cylindrique latérale extérieure de l'enroulement électrique intérieur 26. Ces rebords assurent l'emboîtement des calottes 56 et 57 sur l'enroulement intérieur, et leur épaisseur définit l'épaisseur de la lame d'air séparant l'enroulement électrique intérieur 26 de l'enroulement électrique extérieur ou du shunt magnétique.

On voit sur la figure 11 que les contours extérieurs 58 et 59 des deux calottes 56 et 57 ont une forme particulière : ainsi, le contour extérieur 58 de la calotte 56 comprend une gorge annulaire 66, et le

contour extérieur 59 de la calotte 57 comprend une gorge annulaire 67, les gorges 66 et 67 se faisant face l'une à l'autre comme le présente la figure.

Le noyau magnétique 42, constitué d'un empilage de tôles magnétiques, de forme rectangulaire, cintrées, présente un bord supérieur 68 engagé dans la gorge 66 et un bord inférieur 69 engagé dans la gorge 67. Lors du bobinage de l'enroulement extérieur, par dessus les calottes 56 et 57, les parois des gorges 66 et 67 tendent à se resserrer et à pincer les bords du noyau magnétique 42. Il en résulte un maintien très serré des tôles, évitant les bruits et les vibrations, et facilitant leur montage. Malgré le serrage, il reste possible de faire coulisser l'une des tôles formant le noyau magnétique 42, pour le réglage ultérieur du transformateur. Dans ce mode de réalisation, le noyau magnétique 42 présente un profil ouvert, en forme de secteur annulaire avec un seul entrefer 47.

L'enroulement électrique extérieur 48, formé de spires radiales, recouvre l'ensemble ainsi formé. Les calottes 56 et 57 forment le support de l'enroulement électrique extérieur 48.

Les faces externes des contours 58, 59, 60 et 61 des calottes 56 et 57 présentent avantageusement une section transversale arrondie, comme le représente la figure 11. Grâce à cette section arrondie, la spire moyenne d'enroulement extérieur 48 présente une longueur réduite, et le bobinage est plus régulier. La face externe des calottes 56 et 57 présente en outre une particularité permettant de résoudre les problèmes liés au bobinage d'un conducteur électrique plat de grosse section sur un noyau torique. Le problème que l'on rencontre est illustré sur les figures 7 et 8. Par le fait que les spires d'une première couche 70 sont jointives dans la zone 71 en regard de la cheminée centrale 12 du circuit, les mêmes spires sont écartées dans la zone extérieure 72. Lorsque l'on enroule une couche supérieure de spires au-dessus de la couche inférieure 70, par exemple lorsque l'on positionne le conducteur 73, ce conducteur recouvre à chevauchement deux conducteurs de la couche inférieure 70 au voisinage de la zone 71, mais tend à s'insérer entre deux conducteurs de la couche inférieure 70 au voisinage de la zone extérieure 72. Le passage du chevauchement à l'insertion s'effectue dans une zone intermédiaire, dans laquelle le conducteur 73 est plié et vient en appui en deux points latéraux 74 et 75 sur chacun des conducteurs de la couche inférieure 70. Ces appuis latéraux ponctuels sont, le siège d'une pression importante, produisant l'endommagement des isolants de conducteur.

Pour éviter cet inconvénient, les calottes 56 et 57 comprennent, sur leurs faces planes externes, des cales 75, réparties régulièrement en cercle en une zone intermédiaire entre le contour intérieur et le contour extérieur des calottes. Les cales 75 ont une hauteur sensiblement égale à l'épaisseur du conducteur plat, et sont séparées l'une de l'autre par un espace 76 de largeur supérieure à la largeur du conducteur plat formant l'enroulement. Ainsi, pour former l'enroulement extérieur 48, une première couche d'enroulement 77 est constituée par des spires de conducteur engagées chacune entre

deux cales successives. Une seconde couche d'enroulement 78 est constituée par des spires de conducteur passant chacune sur la face supérieure d'une cale, comme le représente la figure 9. Ainsi, comme on le voit sur la figure 8, la cale 75 évite le contact ponctuel latéral entre les conducteurs de la couche inférieure 70 et le conducteur 73 de la couche supérieure.

Les calottes 56 et 57 assurent le maintien mécanique du noyau magnétique 42. Comme le représente la figure 9, les calottes 56 et 57 peuvent également assurer le maintien des écrans électrostatiques 37 et 49, disposés entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire du transformateur.

Les gorges annulaires 66 et 67 assurant le maintien du noyau magnétique 42 peuvent être interrompues sur une partie de leur périphérie, permettant la manipulation des tôles du circuit magnétique 42 pour leur déplacement par coulisement périphérique. Les tôles sont accessibles dans la zone de l'entrefer 47, zone qui n'est pas entièrement recouverte par le circuit électrique extérieur 48. En réalité, le circuit électrique extérieur 48 recouvre la totalité du tore, à l'exception d'une partie de l'entrefer 47.

On peut profiter de la présence des calottes 56 et 57 pour prévoir, dans leurs surfaces supérieure ou inférieure, des cheminées de passage des conducteurs pour maintenir et assurer le passage des extrémités des enroulements intérieurs.

Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 9 à 11, seules les calottes 56 et 57 sont munies de cales 75. De manière étonnante, on a pu constater que la présence de ces cales 75 améliore considérablement la régularité de disposition des spires de l'enroulement extérieur 48. Il en résulte une amélioration sensible de la reproductibilité des caractéristiques électriques du transformateur ainsi obtenu, de sorte qu'il devient quasiment inutile de régler ces caractéristiques électriques, après montage par manipulation des tôles du noyau magnétique 42.

On peut en outre envisager d'utiliser des calottes comprenant des cales 75 non plus entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire du transformateur, mais entre des couches successives d'enroulement, procurant ainsi les mêmes avantages. On pourrait également utiliser des cales 75 sur les calottes 50 et 51 de circuit magnétique. Les cales 75 pouvant aussi être avantageusement utilisées avec des conducteurs électriques à section ronde.

Les calottes 56 et 57 entre enroulements électriques peuvent avantageusement être percées de lumières réparties sur leurs surfaces. De telles lumières, non représentées sur les figures, favorisent les échanges thermiques depuis l'enroulement intérieur vers l'extérieur.

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut les diverses variantes et généralisations contenues dans le domaine des revendications ci-après.

Revendications

1 - Transformateur torique, comprenant :

- un circuit magnétique principal annulaire (20) fermé,
 - des moyens d'isolement (21, 22, 23, 24, 25) du circuit magnétique,
 - un enroulement électrique intérieur (26) bobiné sur les moyens d'isolement du circuit magnétique,
 - des moyens d'isolement électrique intermédiaire (27, 29, 35, 36, 43) entourant l'enroulement électrique intérieur,
 - un enroulement électrique extérieur (48) bobiné autour de l'isolement électrique intermédiaire,
- caractérisé en ce qu'il comprend un noyau magnétique ouvert (42) comportant au moins un secteur annulaire limité par un entrefer et disposé parallèlement au circuit magnétique principal annulaire (20) entre l'enroulement électrique intérieur (26) et l'enroulement électrique extérieur (48).

2 - Transformateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le noyau magnétique (42) comporte au moins un secteur annulaire (44) disposé selon le pourtour de l'enroulement électrique intérieur (26).

3 - Transformateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le noyau magnétique (42) comporte au moins un secteur annulaire disposé dans la cheminée centrale de l'enroulement électrique intérieur (26).

4 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le noyau magnétique (42) comporte au moins un secteur annulaire disposé sur un flanc (28, 30) de l'enroulement intérieur (26).

5 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'enroulement électrique extérieur (48) recouvre le noyau magnétique (42), l'enroulement électrique intérieur (26) et une partie de la zone de l'entrefer (47).

6 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une couronne supérieure (27) rigide et électriquement isolante et une couronne inférieure (29) rigide et isolante, dont les contours extérieurs (31, 32) sont reliés l'un à l'autre par des barrettes axiales (35) formant support pour le noyau magnétique (42).

7 - Transformateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que les barrettes axiales (35) comportent une encoche extérieure (41) dont la longueur est légèrement supérieure à la hauteur de noyau magnétique (42), pour recevoir le noyau et assurer son positionnement axial, le noyau magnétique (42) comprenant un empilage de tôles cintrées sur le pourtour défini par les barrettes (35) axiales et sur lesquelles elles

sont maintenues par un enrubannage périphérique isolant (43).

8 - Transformateur selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que les couronnes supérieure (27) et inférieure (29) comportent un contour intérieur (33, 34) circulaire de diamètre inférieur au diamètre intérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur (26), et comportent un contour extérieur (31, 32) de diamètre supérieur au diamètre extérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur (26), de sorte que les couronnes forment un support sur lequel est bobiné l'enroulement extérieur (48).

9 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que :

- il comprend une calotte torique supérieure (56) électriquement isolante et une calotte torique inférieure (57) électriquement isolante,
- chaque calotte torique (56, 57) étant limitée par un contour extérieur circulaire (58, 59) de diamètre seulement un peu supérieur au diamètre extérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur (26), et étant limitée par un contour intérieur circulaire (60, 61) de diamètre seulement un peu inférieur au diamètre intérieur de l'anneau formé par l'enroulement électrique intérieur (26),
- les contours respectifs de la calotte supérieure (56) et de la calotte inférieure (57) en regard l'un de l'autre étant séparés par un espace (62, 63) favorisant le transfert d'énergie calorifique.

10 - Transformateur selon la revendication 9, caractérisé en ce que chaque calotte (56, 57) comprend un rebord intérieur (64) et/ou extérieur (65) recouvrant partiellement la face cylindrique latérale correspondante de l'enroulement électrique intérieur (26).

11 - Transformateur selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que les faces externes des contours (58, 59, 60, 61) de calotte présentent une section transversale arrondie.

12 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que :

- les calottes (56, 57) comprennent, sur leurs faces planes externes, des cales (75) réparties régulièrement en cercle en une zone intermédiaire entre le contour extérieur (58) et le contour intérieur (60), les cales (75) ayant une hauteur sensiblement égale à l'épaisseur du conducteur formant l'enroulement, les cales étant séparées l'une de l'autre par un espace (76) de largeur supérieure à la largeur du conducteur,

- une première couche (77) d'enroulement est constituée par des spires de conducteur engagées chacune entre deux cales successives, une seconde couche (78) d'enroulement est constituée par des spires de conducteur passant chacune sur la face supérieure d'une cale.

13 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que

:

- le contour extérieur (58, 59) de chacune des calottes (56, 57) comprend une gorge annulaire (66, 67) faisant face à la gorge annulaire de l'autre calotte,

5

- le noyau magnétique (42) comprend un empilage de tôles cintrées dont les bords (68, 69) sont pincés respectivement dans la gorge de calotte supérieure (66) et dans la gorge de calotte inférieure (67), de sorte que le noyau magnétique (42) est tenu par les calottes.

10

14 - Transformateur selon la revendication 13, caractérisé en ce que les gorges annulaires (66, 67) sont ouvertes sur une portion de leur périphérie, permettant la manipulation des tôles du noyau magnétique (42) par coulissement périphérique.

15

15 - Transformateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que les calottes tiennent, par leur contour, des écrans électrostatiques (37, 49) entre enroulement intérieur (26) et enroulement extérieur (48).

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

9

Fig. 1

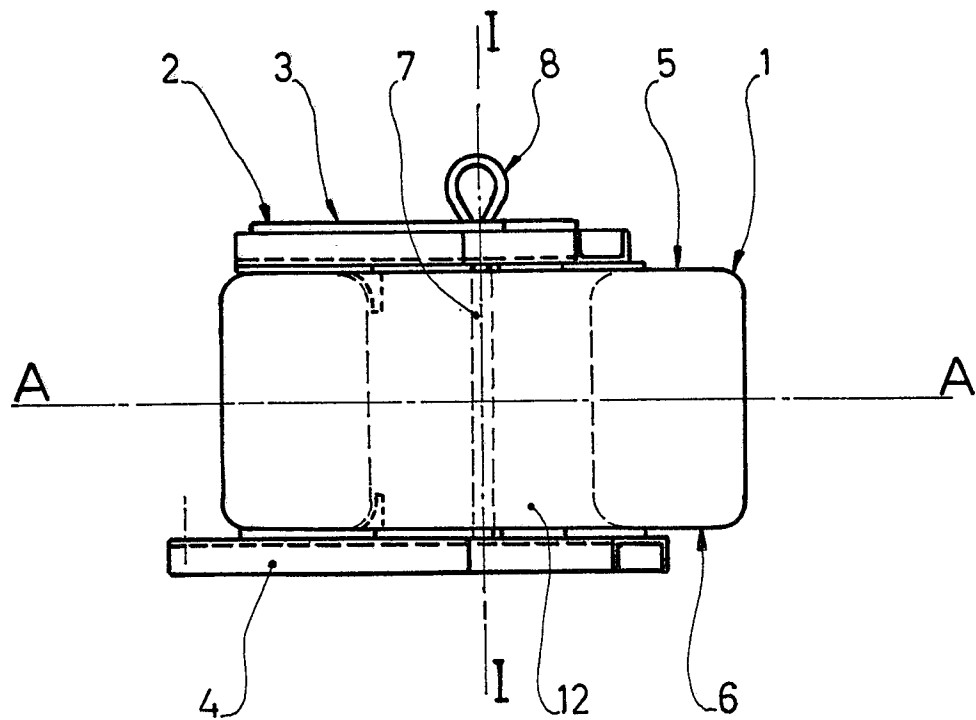
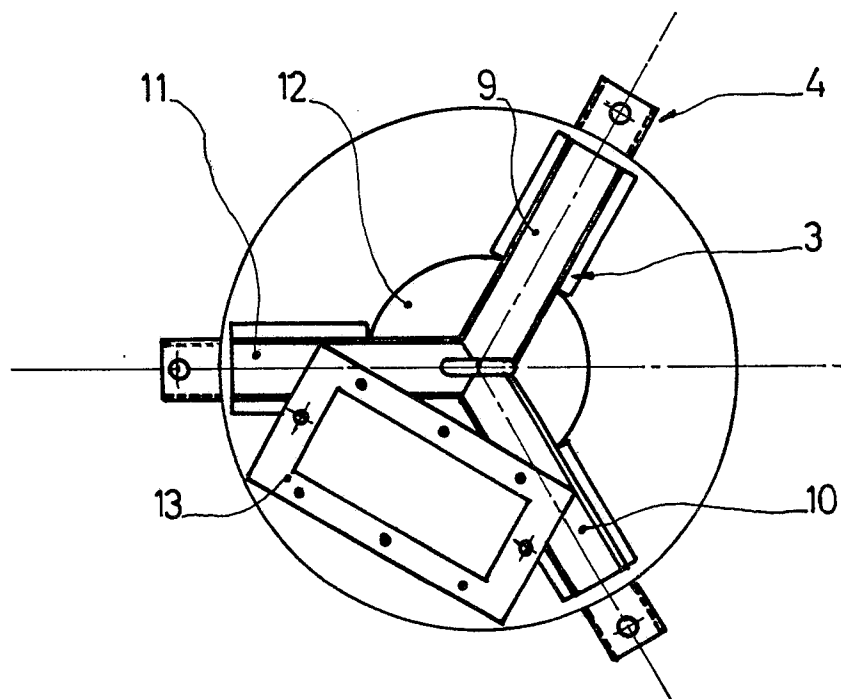


Fig. 2



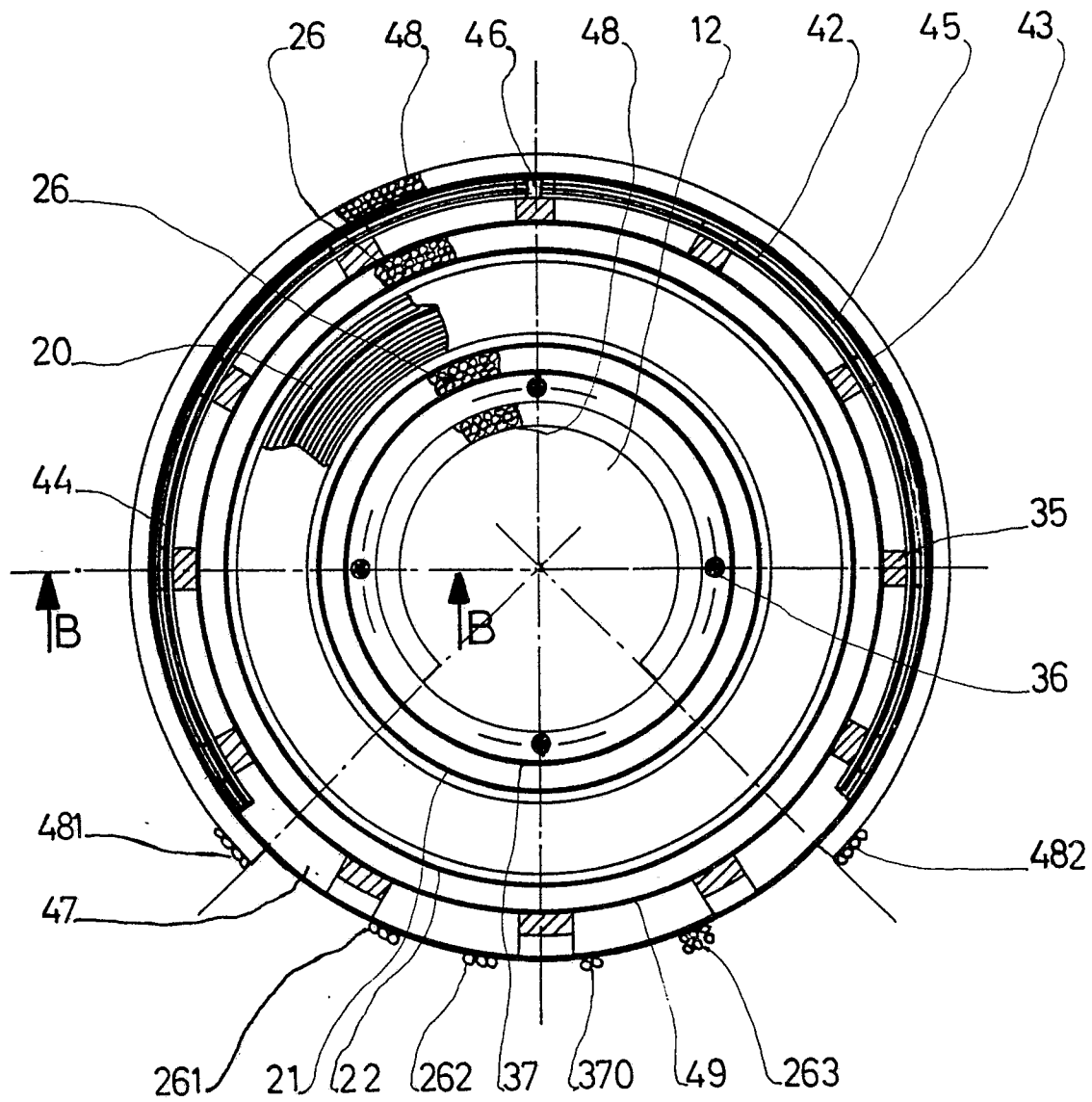


Fig. 3

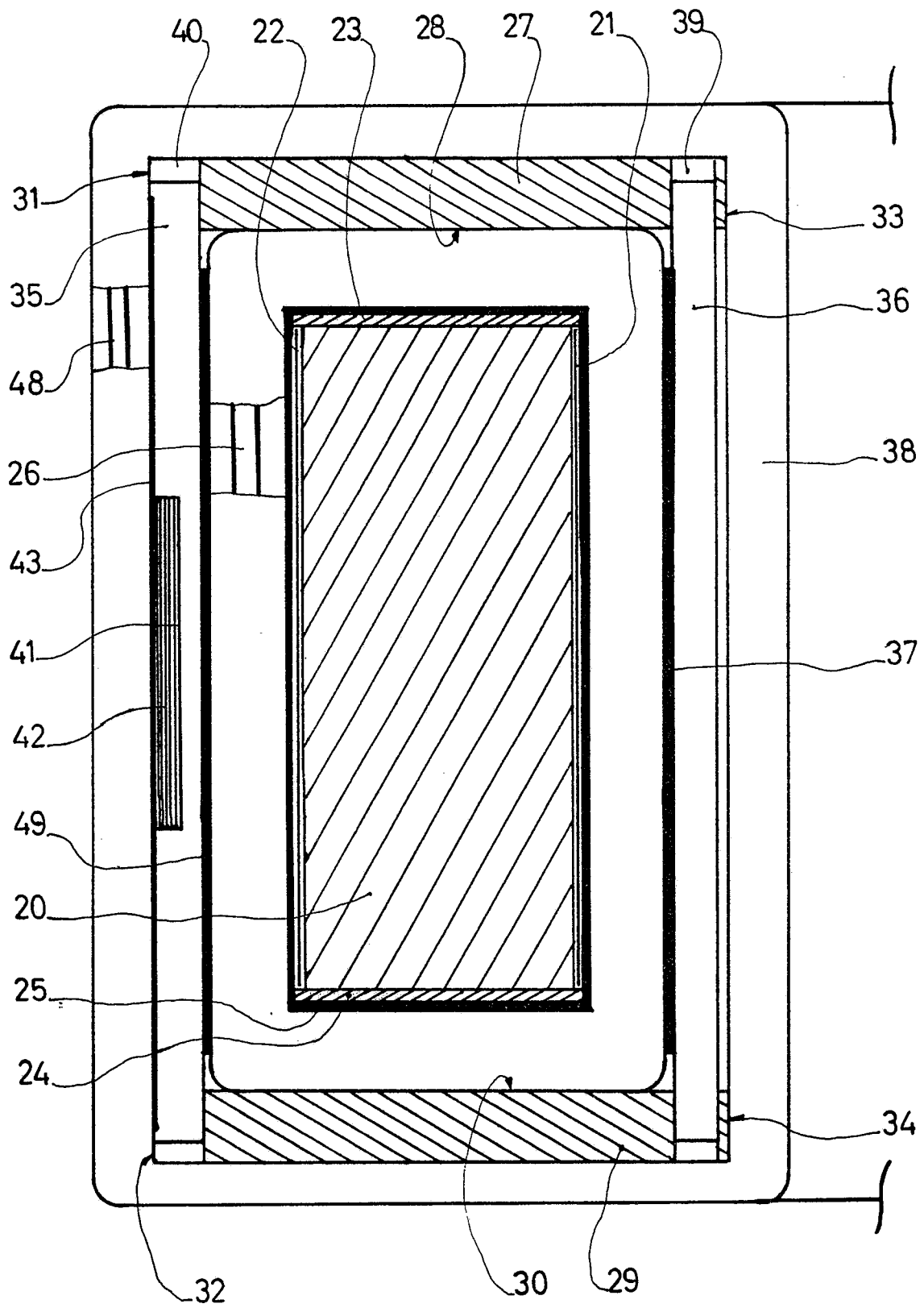


Fig. 4

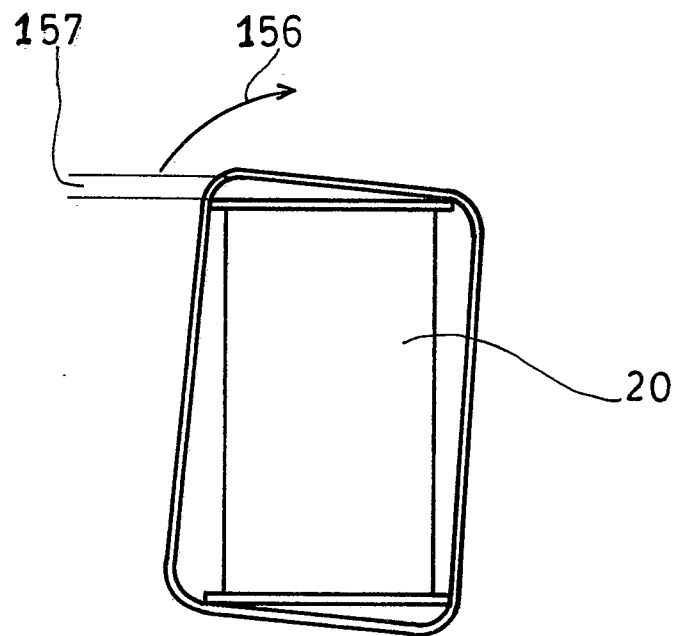


Fig. 5

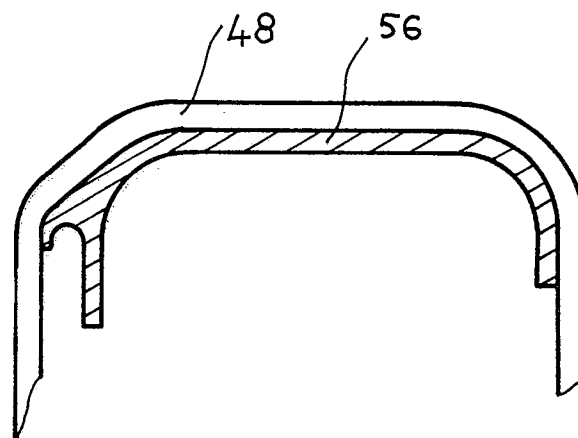


Fig. 6

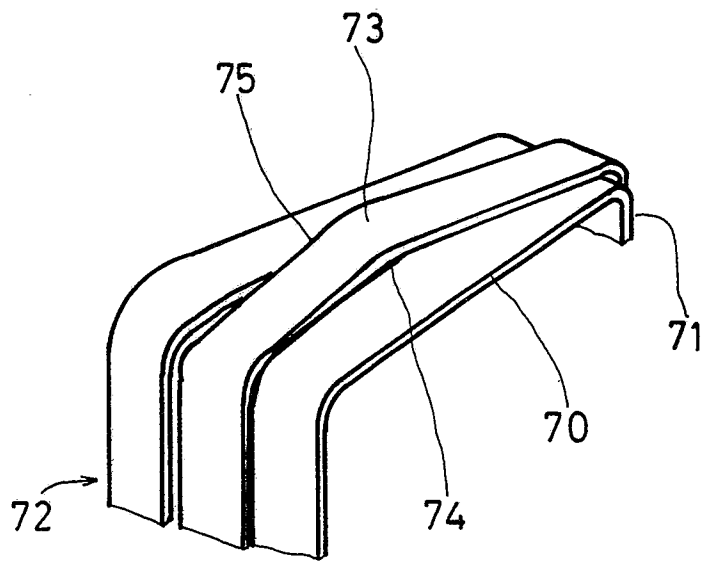


Fig. 7

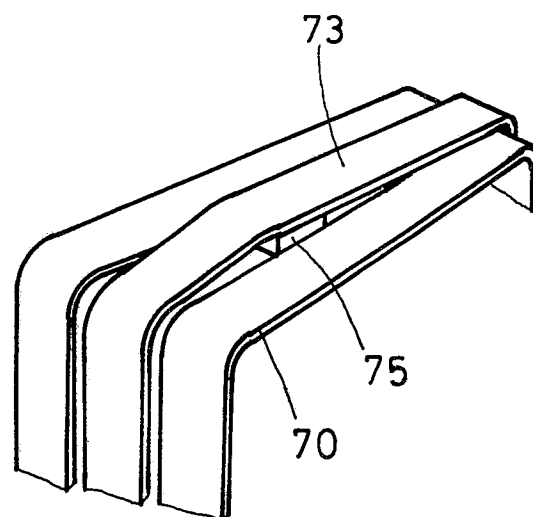


Fig. 8

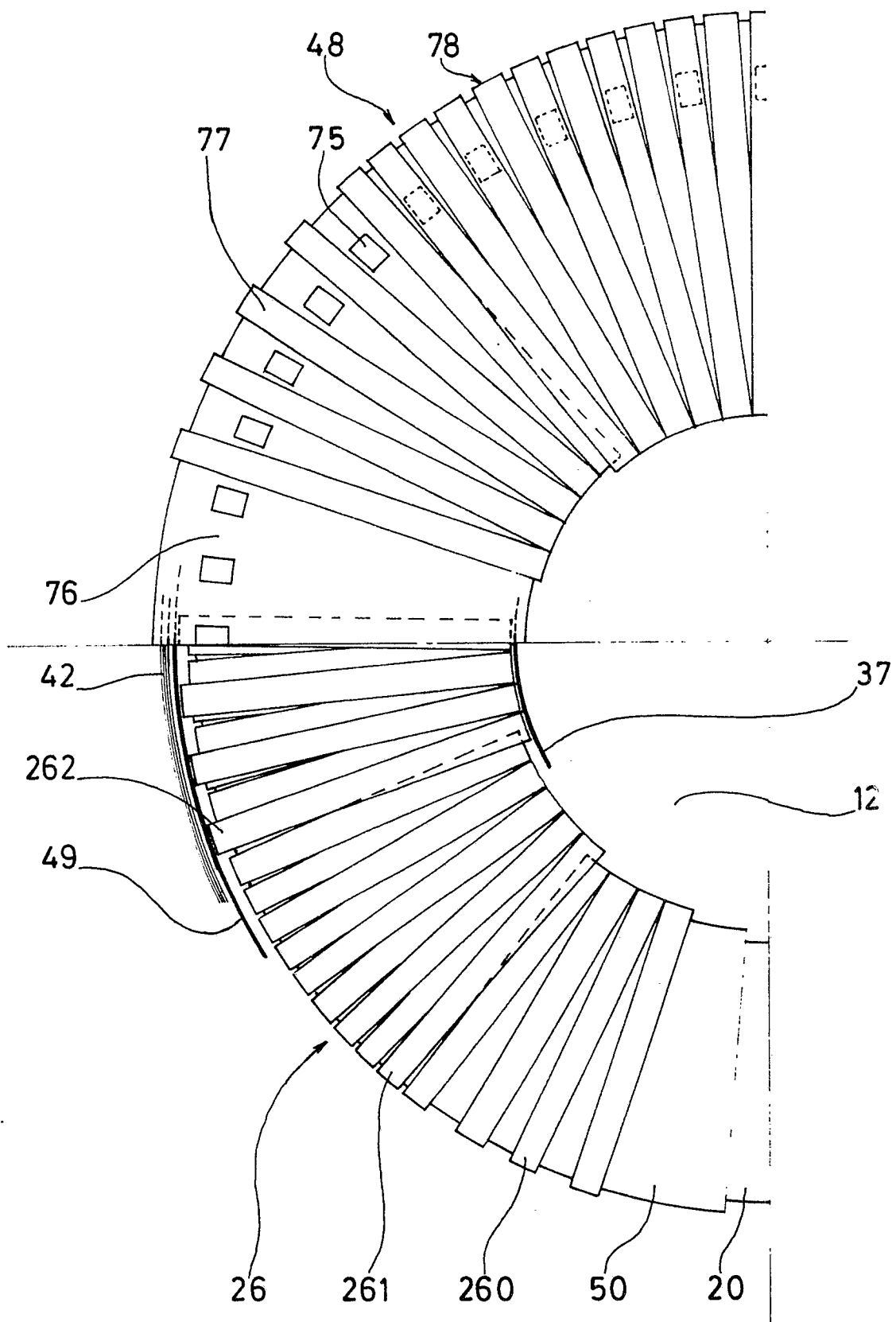


Fig.9

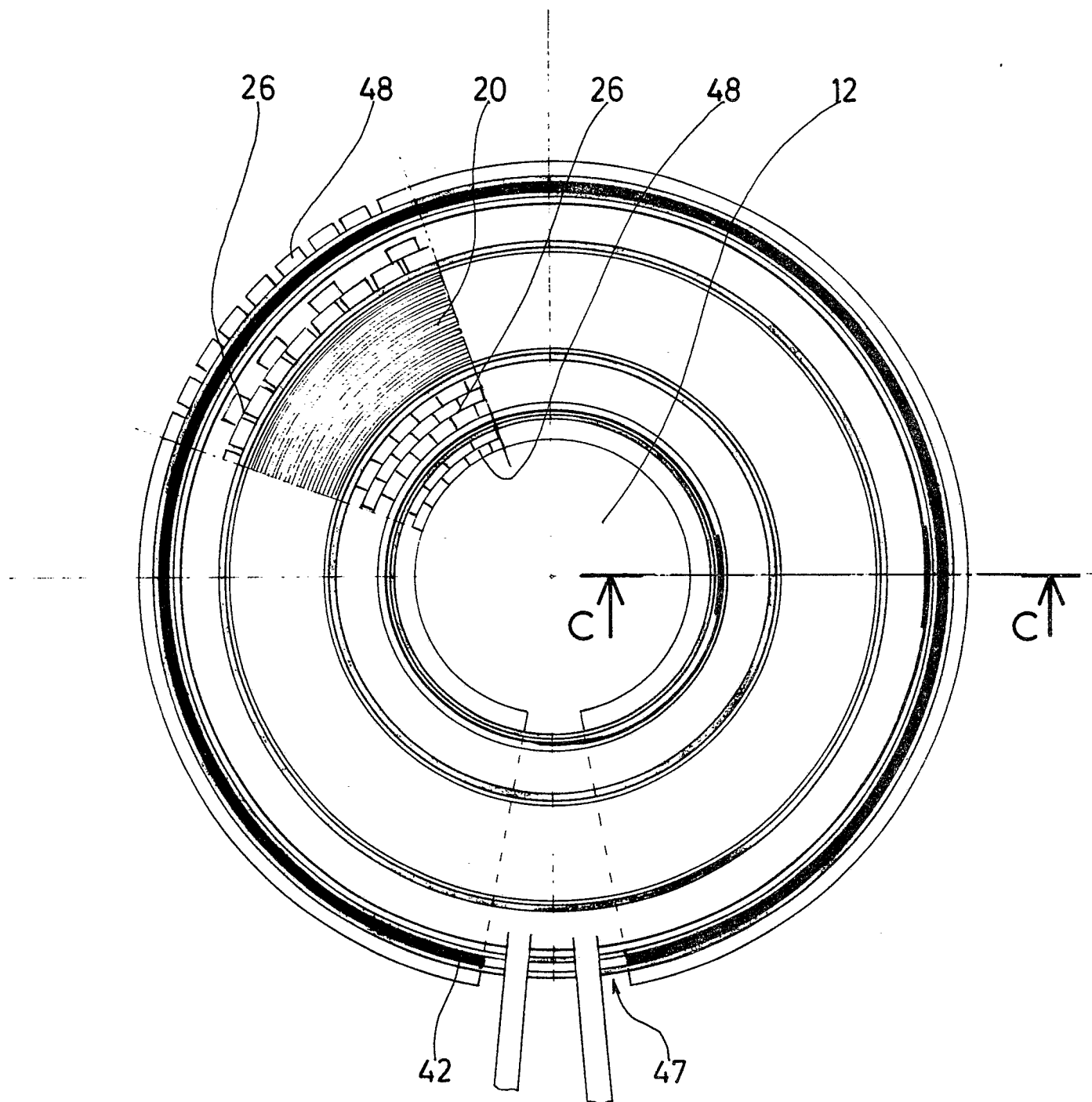


Fig.10

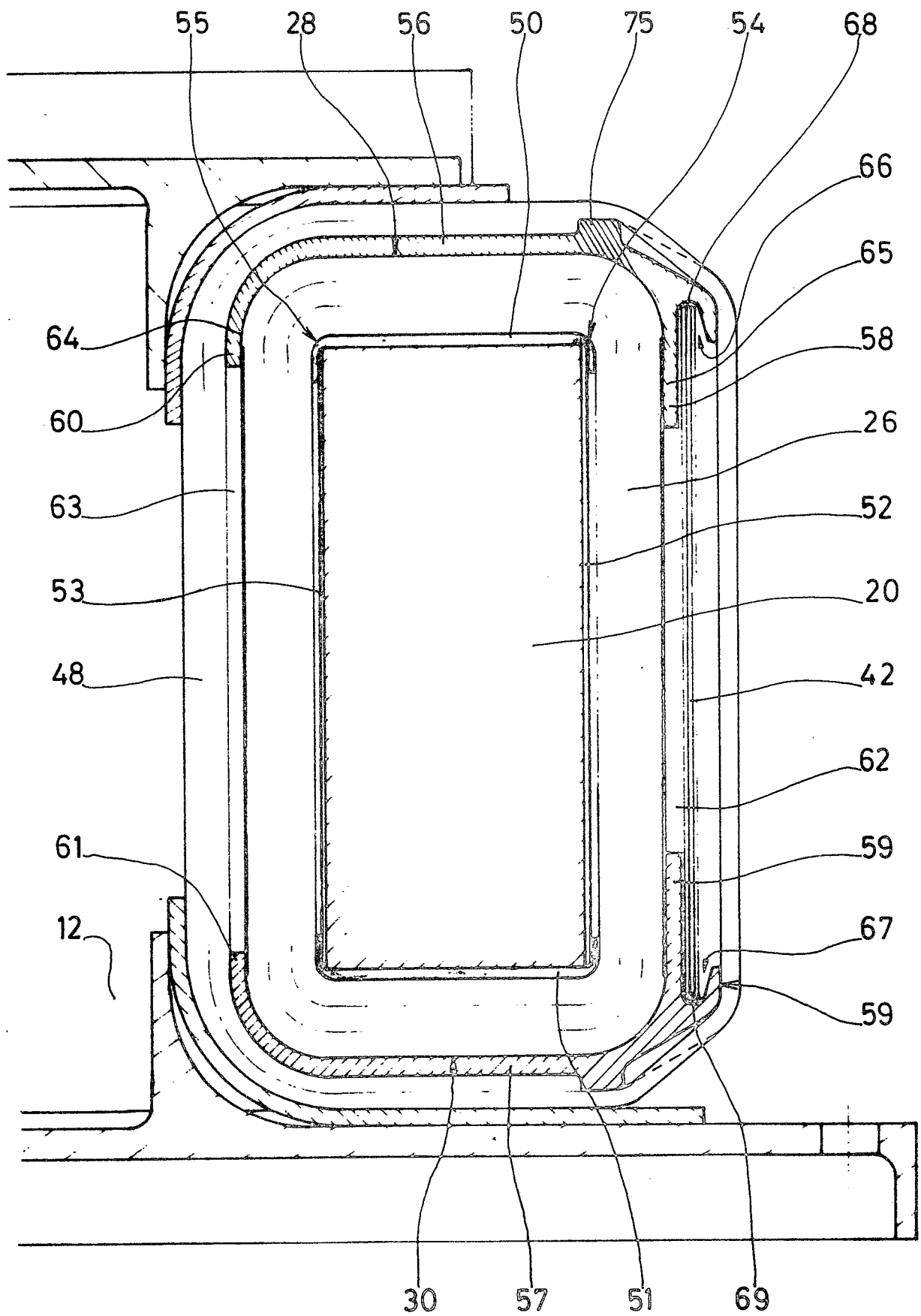


Fig.11



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 88 42 0220

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	DE-A-2 945 040 (TASKINEN et al.) * Page 5, les trois derniers alinéas; page 6 * ---	1-3	H 01 F 31/00 H 01 F 27/30
A	FR-A-2 469 027 (J. PIERRE) * Page 1, lignes 31-35 * ---	1-3	
A	US-A-3 911 332 (G.M. KUNKEL) * Colonne 5, ligne 14 - colonne 9, ligne 65 * ---	1	
A	US-A-4 631 509 (ALLIED CORP.) * Colonne 2, ligne 30 - colonne 4, ligne 33 * ---	6,8	
A	FR-A- 949 161 (COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATERIEL D'USINES A GAZ) * Page 1, lignes 30-51 * ---	9-11	
A	US-A-3 210 701 (AUTOMATIC ELECTRIC LABORATORIES) * Figures 1,4 * ---	13,14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
A	FR-A- 897 398 (LICENTIA) ---		H 01 F 31/00 H 01 F 27/00 H 01 F 17/00 H 01 F 3/00
A	FR-A- 887 332 (LICENTIA) ---		
A	DE-A-3 232 352 (W. SEDLBAUER) ---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 10, no. 125 (E-402)[2182], 10 mai 1986; & JP-A-60 257 506 (HITACHI SEISAKUSHO K.K.) 19-12-1985 -----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 30-09-1988	Examineur VANHULLE R.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			