

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 519 483**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 24570**

(54) Machine synchrone à rotor à aimants permanents.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). H 02 K 21/08; B 64 D 33/00; H 02 K 1/30.

(22) Date de dépôt ..... 31 décembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 27 du 8-7-1983.

(71) Déposant : Société dite : AUXILEC. — FR.

(72) Invention de : Antoine Boudrant.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Philippe Guilguet, Thomson-CSF, SCPI,  
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

**MACHINE SYNCHRONE A ROTOR A AIMANTS PERMANENTS.**

L'invention est relative à une machine (alternateur ou moteur) synchrone à rotor à aimants permanents en particulier à aimantation orthoradiale et tournant à grande vitesse.

On sait qu'une machine synchrone comprend un rotor générateur d'une induction magnétique de direction radiale et un stator bobiné. Lorsque la machine fonctionne en alternateur le rotor est entraîné en rotation et le déplacement de l'induction magnétique qui en résulte provoque un flux variable dans les spires du stator, ce qui engendre un courant alternatif dans ces spires. Inversement lorsque cette machine fonctionne en moteur le stator est alimenté en courant alternatif et le champ tournant qui en résulte provoque la rotation du rotor à la vitesse du champ tournant.

On sait aussi que pour que le rotor d'une telle machine produise une induction de grande intensité on peut disposer les aimants de manière que leur aimantation soit tangentielle (ou orthoradiale), des pièces magnétiques polaires étant alors prévues pour dévier le champ tangentiel afin qu'il soit radial à la périphérie. Ces pièces polaires sont en général des tôles magnétiques empilées dans la direction de l'axe.

Pour une même masse la puissance d'une telle machine est d'autant plus élevée que sa vitesse de rotation est élevée. C'est pourquoi à bord des avions, où il est particulièrement important de réduire la masse embarquée, on utilise habituellement, pour produire du courant alternatif, des alternateurs dont les rotors sont entraînés à grande vitesse. Mais le rotor étant formé d'un assemblage d'éléments distincts, notamment les aimants et les pièces polaires, la cohésion de cet assemblage tournant à grande vitesse pose des problèmes difficiles à résoudre sans diminuer les performances de la machine.

La machine selon l'invention est caractérisée en ce que son rotor comprend un empilage alterné, en direction axiale, d'une part, de disques amagnétiques de maintien des aimants qui sont traversés

par ces derniers et, d'autre part, de tôles magnétiques en contact avec les aimants et destinées à dévier le champ magnétique tangentiel des aimants afin qu'il soit radial à la périphérie du rotor, le maintien en direction radiale de cet empilage étant assuré par des barres traversant les tôles et les disques.

On a constaté qu'une telle machine résiste à des forces centrifuges de valeurs élevées et a des performances électriques satisfaisantes.

Dans une réalisation chaque disque amagnétique présente des ouvertures pour le passage des aimants et des barres de maintien et comporte ainsi une partie centrale, une partie intermédiaire présentant lesdites ouvertures, et une couronne périphérique, et est tel que la hauteur en direction radiale de la partie centrale est sensiblement plus importante que la hauteur, également en direction radiale, de la partie périphérique et les barres sont en appui contre l'arête interne de ladite partie périphérique. Dans ce cas la couronne périphérique constitue une frette sur laquelle s'exercent les forces centrifuges; mais les forces centrifuges sont ramenées, par les bras radiaux entre les ouvertures de la partie intermédiaire, vers la partie centrale plus résistante. La faible hauteur de la couronne périphérique a pour avantage une valeur minimum des fuites magnétiques interpolaires.

Il est particulièrement avantageux que les barres de maintien soient conductrices de l'électricité et soient associées à des disques conducteurs aux extrémités axiales du rotor de façon à constituer des amortisseurs Leblanc qui, dans un alternateur monophasé, empêchent la naissance d'harmoniques et s'opposent aux variations rapides du courant. Cet amortisseur Leblanc est ainsi disposé à l'intérieur du rotor et n'augmente donc pas l'entrefer de la machine contrairement aux réalisations antérieurement connues où les barres d'amortisseur sont disposées à la périphérie du rotor.

Chaque barre peut être constituée par deux tiges séparées en contact l'une contre l'autre par des faces planes de direction oblique par rapport à l'axe du rotor, le glissement d'une partie sur l'autre modifiant alors l'épaisseur, en direction radiale, de la barre et

permettant d'appliquer avec une précontrainte la tôle magnétique contre l'aimant correspondant.

Dans un exemple les aimants sont au samarium cobalt  $\text{SmCo}_3$ .

5 . D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

10 - la figure 1 est un schéma en perspective d'un rotor de machine selon l'invention, les épaisseurs des disques et tôles empilés ayant été exagérées pour la clarté du dessin,

15 - la figure 2 est, dans sa partie inférieure, une demie-coupe perpendiculaire à l'axe selon un disque amagnétique du rotor de la figure 1, et dans sa partie supérieure, également une demie-coupe perpendiculaire à l'axe mais selon des tôles magnétiques du rotor de ladite figure 1,

- la figure 3 est une coupe axiale correspondant au rotor de la figure 1,

- la figure 4 est une vue partielle d'une machine synchrone en cours de montage pour une variante,

20 - la figure 5 est une coupe perpendiculaire à l'axe d'une partie du rotor de la machine de la figure 4, et

- la figure 6 est une vue partielle en coupe axiale du rotor de la figure 4.

On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 3.

25 Dans cet exemple le rotor de la machine synchrone comprend six aimants permanents  $1_1$  à  $1_6$  répartis régulièrement autour de l'axe 2. Chacun de ces aimants, par exemple celui de référence  $1_1$ , a la forme d'un parallélépipède rectangle dont deux faces  $3_1$  et  $4_1$  sont parallèles à l'axe et de direction tangentielle tandis que les 30 deux autres faces latérales  $5_1$  et  $6_1$  ont une direction sensiblement radiale. En section perpendiculaire à l'axe la longueur des côtés  $3_1$  et  $4_1$  est inférieure à la longueur des côtés  $5_1$  et  $6_1$ .

La face  $5_1$  correspond à un pôle sud (S) tandis que la face  $6_1$  correspond à un pôle nord (N). La face radiale la plus voisine de

l'aimant voisin présente un pôle de même nature. Ainsi la face  $5_2$  de l'aimant  $1_2$  présente un pôle nord et la face  $6_6$  de l'aimant  $1_6$  présente un pôle sud.

5 L'aimantation, c'est-à-dire l'induction magnétique, est ainsi de direction tangentielle ou circonférentielle. Une telle direction d'aimantation est également quelquefois appelée orthoradiale.

10 Pour que l'induction magnétique du rotor soit radiale à sa périphérie on prévoit, entre les aimants, des pièces polaires en tôle magnétique. Ainsi entre les aimants  $1_3$  et  $1_4$  (figure 2) est disposée une feuille magnétique  $7_3$  en forme générale de trapèze isocèle dont les deux côtés non parallèles, respectivement  $8_3$  et  $9_3$ , sont en contact avec les faces adjacentes des aimants  $1_3$  et  $1_4$  qui présentent chacune un pôle nord. Le côté périphérique  $10_3$  de la feuille  $7_3$  a la forme d'un arc de cercle centré sur l'axe 2 et constitue un pôle nord du rotor.

15 15 Le champ magnétique dans les aimants  $1_3$  et  $1_4$  et dans la feuille  $7_3$  est représenté par les flèches incurvées  $11_3$  et  $11_4$  sur la figure 2.

20 De manière analogue la périphérie  $10_4$  de la feuille  $7_4$  entre les aimants  $1_4$  et  $1_5$  constitue un pôle sud.

25 Chaque feuille 7 est emprisonnée entre deux disques 12 dont chacun est en une feuille d'un matériau tel que de la tôle amagnétique. Chacun de ces disques 12 présente une couronne centrale 14 traversée par l'arbre 15, une couronne périphérique 16 de hauteur  $h_1$  en direction radiale plus petite que la hauteur  $h_2$ , également en direction radiale, de la couronne centrale 14, et des bras radiaux 17 entre les couronnes centrale 14 et périphérique 16.

30 Les bras radiaux 17 délimitent entre eux des ouvertures 18 ayant la forme générale d'un trapèze isocèle dont le petit côté 19 a une longueur égale à celle du côté 3 d'un aimant 1 et dont la hauteur en direction radiale est égale à la hauteur en direction radiale d'un tel aimant.

Les disques  $12_1$ ,  $12_2$ , etc... - qui sont tous identiques - sont disposés de telle manière que les bras radiaux 17 soient alignés afin que les aimants 1 puissent traverser ces disques 12.

Pour immobiliser les feuilles 7 en direction radiale chacune de celles-ci est traversée par deux barres métalliques 20 et 21 parallèles à l'axe et traversant également les disques 12 par leurs ouvertures 18. Les deux barres conductrices 20 et 21 traversant une même feuille 7 sont séparées par un bras radial 17.

Ces barres 20, 21, de section carrée dans l'exemple, sont en contact avec l'arête interne 22 de la couronne périphérique 16, c'est-à-dire avec le plus grand côté des ouvertures 18. Ainsi, malgré la force centrifuge, les feuilles 7 sont maintenues dans leur position car les barres 20, 21 butent contre ladite arête 22.

Chaque ouverture 23 que présente chaque feuille 7 pour le passage d'une barre 20 ou 21 est reliée à la périphérie 10 de cette feuille par l'intermédiaire d'une fente 24. Ainsi chaque barre 20, 21 est en communication avec l'entrefer de la machine synchrone.

Les barres 20, 21 constituent des barres d'amortisseur Leblanc. A cet effet chaque extrémité de chaque barre est reliée à un disque conducteur 25, 26, le disque 25 étant à la première extrémité axiale du rotor et le disque 26 à la seconde extrémité axiale. L'amortisseur Leblanc ainsi constitué par les barres et les disques 25 et 26 permet de réduire les réactances subtransitoires, c'est-à-dire s'oppose aux variations rapides du courant.

Les dimensions des couronnes 14 et 16 et des bras radiaux 17 des disques amagnétiques 12 sont choisies de façon telle que les contraintes mécaniques s'exerçant sur les couronnes 14 et 16 aient des valeurs égales ou très voisines lorsque le rotor tourne à sa vitesse maximum. Cette disposition évite la déformation de ces disques amagnétiques. En outre la couronne intérieure 14 participant à la tenue mécanique des aimants et des barres 20, 21, la couronne extérieure 16 peut avoir une hauteur radiale  $h_1$  réduite à un minimum, ce qui permet de minimiser les fuites magnétiques interpolaires.

Malgré l'interposition de disques amagnétiques entre les tôles magnétiques 7 ces dernières constituent des pôles feuilletés macroscopiquement homogènes du point de vue magnétique.

On a intérêt à réduire à un minimum l'épaisseur des tôles magnétiques et amagnétiques afin : de réduire les efforts de flexion s'exerçant sur les aimants 1 et les barres 20, 21, de réduire les pertes par courants de Foucault à la surface du rotor, d'annuler pratiquement l'influence des tôles amagnétiques sur les dimensions radiales de l'entrefer, et de faciliter l'usinage des disques 12.

De préférence les tôles amagnétiques sont en des matériaux à très haute résistance à la rupture. Elles sont par exemple découpées dans un alliage durci par écrouissage et traitement thermique, l'écrouissage étant généralement obtenu de façon naturelle au cours du laminage de la tôle.

Les tôles magnétiques peuvent être constituées en des alliages possédant une induction de saturation élevée. Il n'est pas indispensable que ces tôles magnétiques présentent une grande résistance mécanique.

La cohésion mécanique de l'ensemble est assurée non seulement par les barres 20, 21 mais également par des vis traversant axialement le rotor.

L'entrefer d'une machine synchrone selon l'invention peut être de l'ordre de 5/10 de mm.

Dans une réalisation les tôles fines amagnétiques constituant les disques 12 ont une épaisseur de l'ordre de 25/100 de mm et sont en l'alliage "Phynox" de la Société IMPHY qui comprend 40 % de cobalt, 20 % de chrome, 16 % de nickel et 7 % de molybdène tandis que les tôles magnétiques ont une épaisseur de l'ordre de 4/10 de mm et sont en un alliage AFK1 ou AFK502 de la Société IMPHY. L'alliage AFK1 contient 27 % de cobalt le reste étant du fer tandis que l'alliage AFK502 contient 49 % de cobalt, 2 % de vanadium et le reste en fer.

On se réfère maintenant aux figures 4, 5 et 6.

Dans cette variante les disques amagnétiques 30 du rotor présentent des ouvertures séparées, respectivement 31 et 32, pour les aimants 33 et les barres conductrices 34 (figures 4 et 5). En outre chaque tôle magnétique 35 entre deux aimants est en deux

parties 36 et 37 et n'est traversée que par une seule barre conductrice 34.

Avec chaque ouverture 32 communique une autre ouverture 38 de même largeur en direction circonférentielle mais plus proche du centre. Ces ouvertures 38 sont destinées à être traversées par des tiges filetées 39 de direction axiale qui contribuent à la cohésion mécanique de l'ensemble du rotor.

La partie interne de chaque demi-pôle intermédiaire 36, 37 présente une arête oblique 40 laissant dégagée l'ouverture 38 pour permettre le passage de la tige filetée 39.

Les faces radiales des aimants 33 sont recouvertes par des plaques 42 et 43 en tôle magnétique contre lesquelles sont en contact les arêtes radiales 44 et 45 des pièces magnétiques 35.

Chaque barre 34 est formée de trois tiges séparées 45, 46, 47 dont chacune s'étend en direction axiale. La tige centrale 46 présente des côtés 48 et 49 de direction oblique par rapport à l'axe et les tiges 45 et 47 présentent des côtés correspondants respectivement 50 et 51. Le côté 48 est en contact avec le côté 50 et le côté 49 est en contact avec le côté 51. Le grand côté 52 de la tige 45 qui est opposé à la tige centrale 46 est parallèle à l'axe. De même le grand côté 53 de la tige 47 opposé à la tige centrale 46 est parallèle à l'axe du rotor.

Ces faces 52 et 53 sont de direction radiale.

Selon la position axiale relative de la tige centrale 46 par rapport aux tiges 45 et 47 la distance entre les grands côtés 52 et 53 sera plus ou moins grande et la force d'application des arêtes des tôles magnétiques 36 et 37 contre les faces radiales des aimants sera plus ou moins importante. Ainsi le degré d'enfoncement de la tige ou clavette centrale 46 dans l'espace entre les deux tiges 45 et 47 détermine la valeur de la précontrainte exercée en direction tangentielle.

Il est également possible d'exercer une précontrainte en direction radiale pour appliquer à contrainte la barre 34 contre l'arête interne de la couronne périphérique du disque amagnétique 30.

REVENDICATIONS

1. Machine électrique synchrone dont le rotor comprend des aimants permanents produisant une induction magnétique de direction tangentielle et des pièces polaires feuilletées perpendiculairement à l'axe déviant cette induction pour qu'elle soit radiale  
5                 à la périphérie, caractérisée en ce que chaque feuille magnétique (7) des pièces polaires est maintenue en direction axiale entre deux disques amagnétiques (12) traversés par les aimants (1) et est maintenue en direction radiale par des barres (20, 21) qui la traversent ainsi que les disques amagnétiques (12).
- 10                 2. Machine selon la revendication 1, caractérisée en ce que les ouvertures (18) voisines des disques amagnétiques permettant que ceux-ci soient traversés par les aimants (1) et les barres (20, 21) de maintien sont séparées par des bras radiaux (17) raccordant une couronne périphérique (16) à une couronne centrale (14) et en ce que chaque disque amagnétique (12) est conformé et dimensionné de façon telle qu'à la vitesse maximum de rotation du rotor les efforts centrifuges exercés par lesdits aimants et par les barres sur la couronne extérieure sont sensiblement égaux aux efforts correspondants exercés sur la couronne intérieure.
- 15                 3. Machine selon la revendication 2, caractérisée en ce que la hauteur ( $h_1$ ) en direction radiale de la couronne extérieure (16) est inférieure à la hauteur ( $h_2$ ) en direction radiale de la couronne intérieure (14).
- 20                 4. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les disques amagnétiques sont en une tôle à haute résistance à la rupture et de faible épaisseur.
- 25                 5. Machine selon la revendication 4, caractérisée en ce que l'épaisseur des tôles amagnétiques est de l'ordre de 25/100 de mm.
- 30                 6. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les barres (20, 21) de maintien des feuilles magnétiques sont conductrices de l'électricité et constituent des barres d'amortisseur Leblanc.

7. Machine selon la revendication 6, caractérisée en ce que chaque feuille magnétique présente une fente (24) faisant communiquer la barre conductrice avec la périphérie (10) de ladite feuille magnétique et, donc, avec l'entrefer.

5 8. Machine selon la revendication 7, caractérisée en ce que les extrémités axiales des barres (20, 21) sont raccordées à des disques conducteurs (25, 26).

10 9. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'à la cohésion mécanique du rotor contribue également des tiges filetées traversant les disques amagnétiques et les tôles magnétiques parallèlement à l'axe.

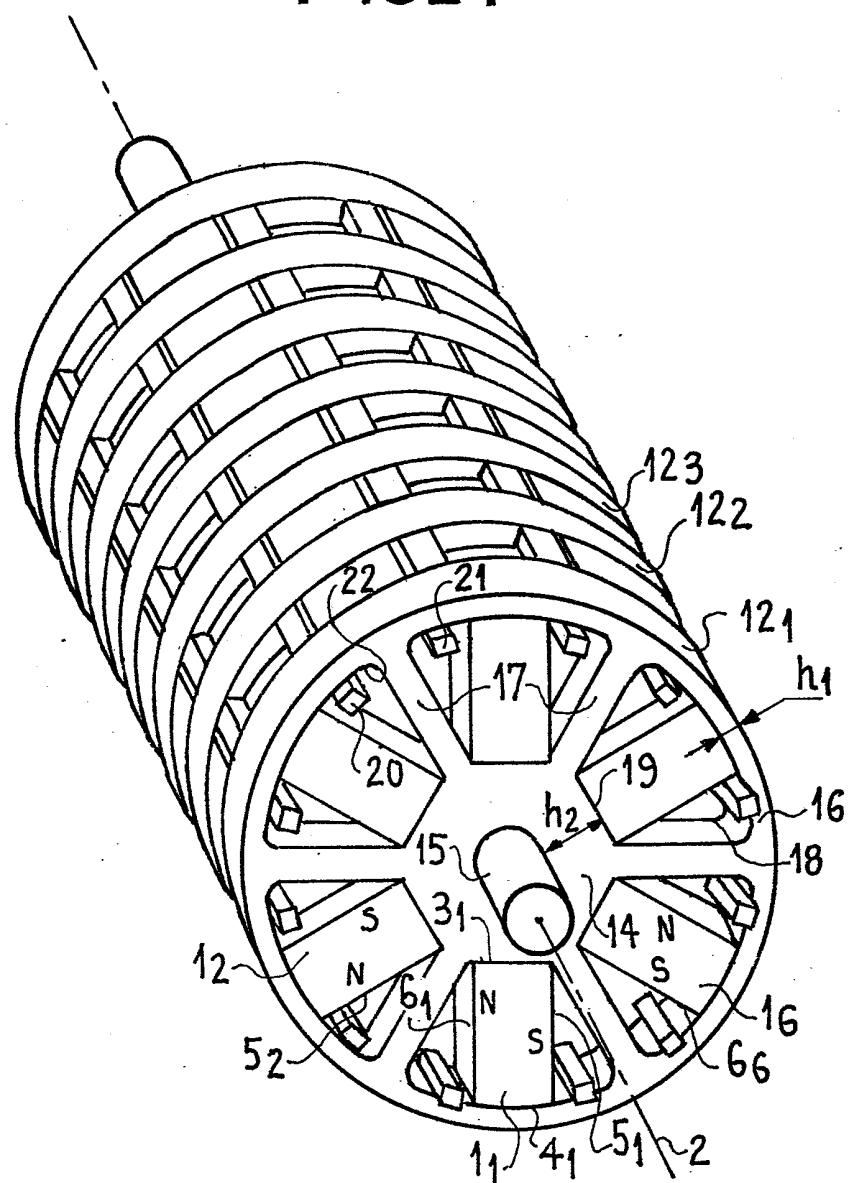
15 10. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que chaque barre comprend deux tiges pouvant coulisser l'une sur l'autre de façon que, selon la position relative d'une tige par rapport à l'autre, l'épaisseur de la barre soit différente de manière à permettre l'application à précontrainte de chaque arête de feuille magnétique contre une face de l'aimant correspondant.

20 11. Machine selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les aimants sont en samarium cobalt  $\text{SmCo}_3$ .

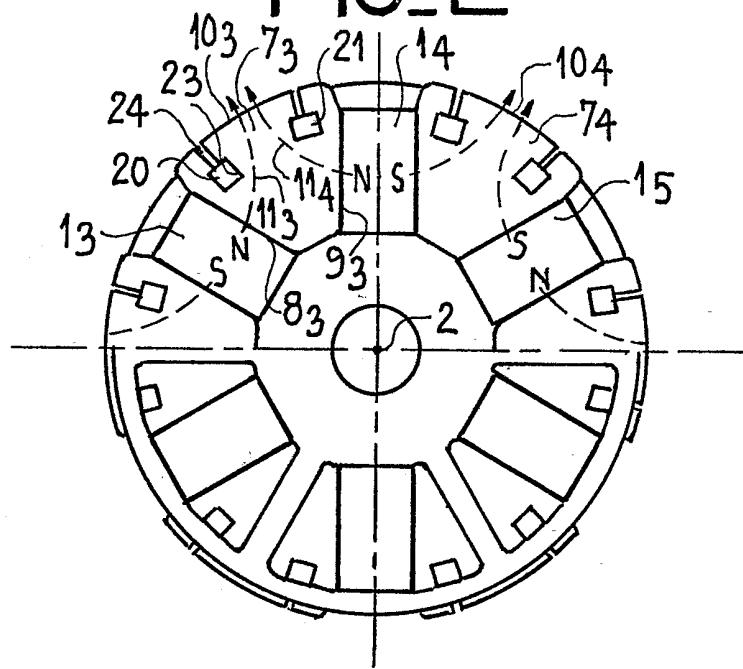
12. Application d'une machine selon l'une quelconque des revendications précédentes à un alternateur à bord d'un avion.

1/4

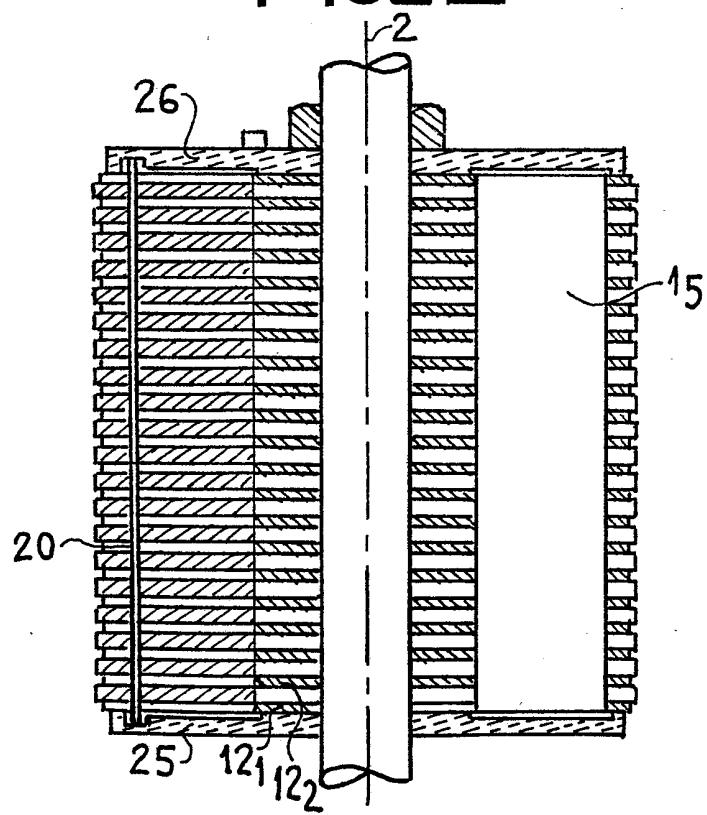
FIG\_1



2/4  
**FIG\_2**

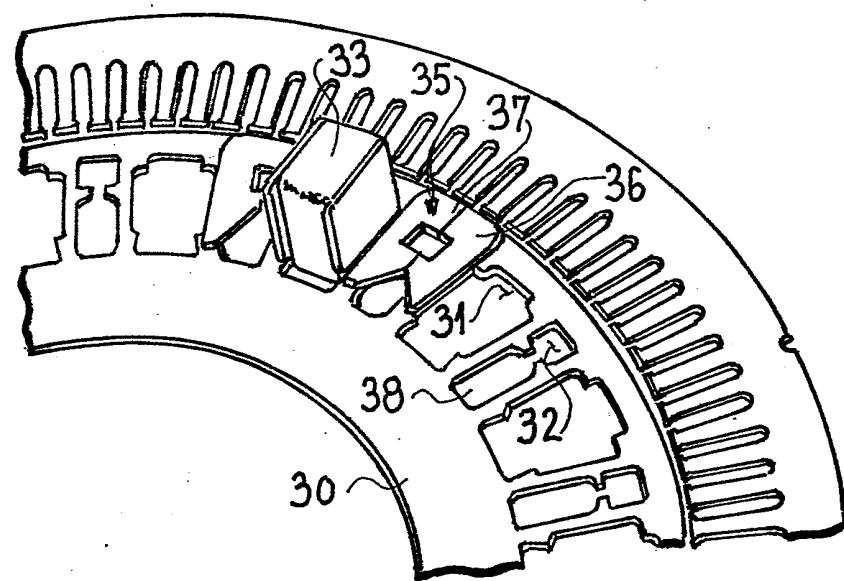


**FIG\_3**

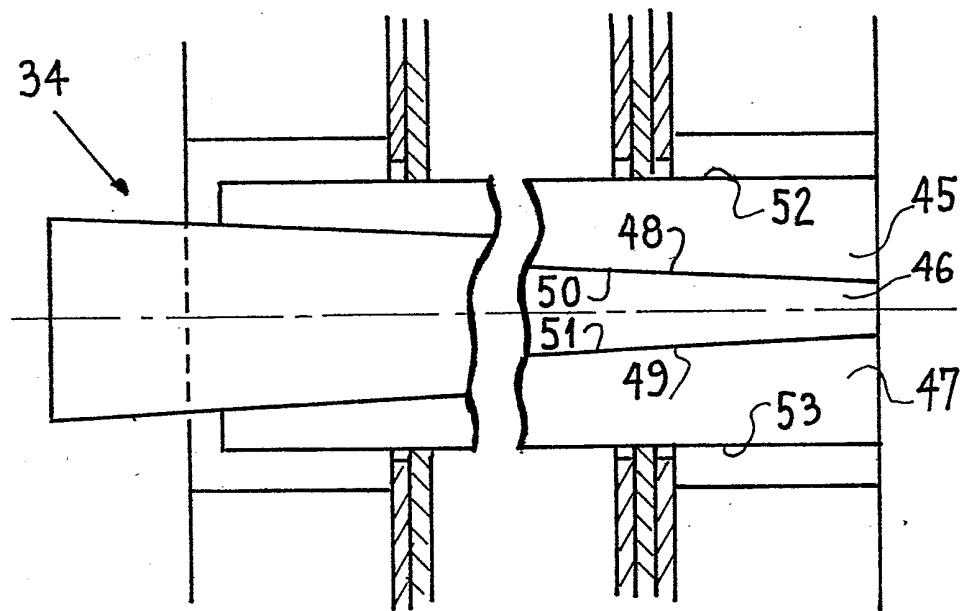


3/4

FIG\_4



FIG\_6



4/4

