(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 570 228**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **84 13834**

(51) Int Cl⁴ : H 02 K 1/06, 21/14, 37/12.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 10 septembre 1984.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 11 du 14 mars 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *Etablissement public dit : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.* — FR.

(72) Inventeur(s) : Jean-Paul Yonnet et Louis Raymond Guiresse.

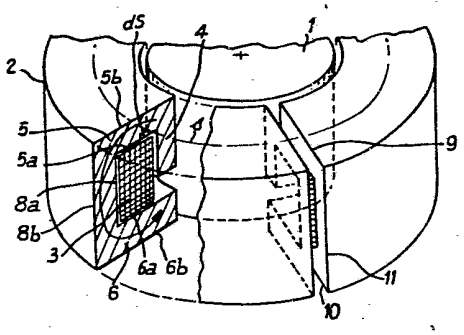
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Michel Bruder.

(54) Moteur électrique rotatif à aimant permanent rotorique.

(57) La présente invention concerne un moteur électrique rotatif à aimant permanent rotorique et à circuit magnétique statorique réalisé en tôles embouties qui présente, en regard de l'aimant rotorique, des dents polaires imbriquées les unes dans les autres.

Ce moteur est caractérisé en ce que le circuit magnétique est fendu c'est-à-dire que les pièces à symétrie de révolution 5, 6, 8 du circuit magnétique sont fendues suivant au moins un plan longitudinal ou sensiblement longitudinal de manière à réduire ou empêcher une circulation des courants induits dans les spires conductrices élémentaires que forment les pièces à symétrie de révolution 5, 6, 8 du circuit magnétique.



FR 2 570 228 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

2570228

La présente invention concerne un moteur électrique rotatif à aimant permanent rotorique et à circuit magnétique statorique réalisé en tôles embouties.

On connaît déjà différents types de moteurs ayant une telle structure et on peut citer, parmi ceux-ci, les moteurs d'entraînement monophasés, qui sont utilisés dans les programmateurs, les horloges, et les moteurs synchrones diphasés et pas-à-pas utilisés pour des asservissements, en robotique. Tous ces moteurs présentent un point commun, à savoir que leurs circuits magnétiques statoriques ont la forme d'un anneau creux, à section droite rectangulaire enveloppant la bobine d'alimentation. Le circuit magnétique est réalisé par plusieurs pièces en fer qui portent des griffes ou dents constituant des pièces polaires.Plus particulièrement ce circuit magnétique comprend, de chaque côté, un flasque annulaire qui porte, à partir de son bord interne, des dents formant des pièces polaires qui sont régulièrement réparties autour de l'axe du moteur. Les deux séries de dents polaires issues respectivement des deux flasques annulaires sont imbriquées alternativement les unes dans les autres, avec des entrefers entre elles. Une culasse extérieure, indépendante des deux flasques annulaires ou faisant partie intégrante de ceux-ci, s'étend entre les bords externes des deux flasques pour assurer la fermeture du circuit magnétique.

Les moteurs électriques de ce type présentent l'inconvénient d'avoir un rendement relativement faible qui dépasse rarement 30%, du fait que les pertes apparaissant dans ces moteurs sont élevées. Par exemple pour fournir une puissance mécanique de 5W, il est nécessaire de fournir une puissance électrique de 15W, ce qui donne 10W de pertes par échauffement. C'est donc cet échauffement qui limite la puissance de ces moteurs en fonctionnement continu. Si ce moteur est embarqué sur le chariot d'une imprimante, par exemple, la notion de rendement est très importante. En effet, pour une même puissance mécanique fournie, plus le

rendement du moteur est faible, plus celui-ci est lourd et par conséquent plus l'inertie du chariot mobile est augmentée.

Pour améliorer le rendement de ces moteurs on peut utiliser les solutions bien connues en électrotechnique (amélioration de la qualité des tôles magnétiques, feuilletage des circuits magnétiques par exemple) mais ces solutions conduisent à un surcoût important.

Les pertes totales dans le circuit magnétique, qui sont à l'origine du rendement faible obtenu avec ces moteurs, comprennent les pertes par hystérésis et les pertes dues aux courants induits qui sont engendrés dans une tôle ferromagnétique par suite d'une variation d'induction. Dans les moteurs du type précité dans lesquels le circuit magnétique a la forme particulière d'un anneau creux , il existe, en plus des courants induits conventionnels, un autre type de circulation de courants induits qui est à l'origine de pertes supplémentaires élevées. On a pu constater que ces pertes supplémentaires sont, lorsque l'effet de peau n'est pas trop important, environ six fois plus importantes que les pertes par courants induits conventionnelles.

La présente invention vise à améliorer très sensiblement le rendement de ces moteurs grâce à une réduction importante de ces pertes supplémentaires, réduction obtenue par des moyens très simples.

A cet effet ce moteur électrique rotatif à aimant permanent rotorique et à circuit magnétique statorique réalisé en tôles embouties,ce circuit magnétique ayant la forme d'un anneau creux de section droite rectangulaire enveloppant la bobine d'alimentation en courant électrique alternatif qui présente, en regard de l'aimant rotorique, des dents polaires imbriquées les unes dans les autres, est caractérisé en ce que le circuit magnétique est fendu, c'est-à-dire que les pièces à symétrie de révolution du circuit magnétique sont fendues suivant au moins un plan longitudinal ou sensiblement longitudinal de manière à ré-

duire ou à empêcher une circulation des courants induits dans les spires conductrices élémentaires que forment les pièces à symétrie de révolution du circuit magnétique.

Les différentes pièces du circuit magnétique doivent être fendues dans un même plan pour éviter que les courants induits ne passent d'une pièce du circuit à une autre pièce. Si elles sont fendues dans des plans différents,elles doivent être parfaitement isolées électriquement entre elles. La coupure du circuit magnétique ne perturbe en aucune manière ni la circulation du flux magnétique ni le fonctionnement du moteur.

De préférence les pièces du circuit magnétique statoriques sont fendues une seule fois ce qui permet de ne pas changer le nombre des pièces constitutives du moteur si bien que la simplicité du montage est conservée. Il est toutefois possible, au prix d'une complication de l'assemblage du moteur, de fendre plusieurs fois les pièces du circuit magnétique statorique bien que cette solution présente de très importants problèmes d'assemblage et de tenue mécanique.

Pour réduire les pertes supplémentaires, on peut aussi effectuer une multitude d'entailles dans les pièces du circuit magnétique statorique, ces entailles constituant des obstacles au passage des courants induits provoquant les pertes supplémentaires. Ces entailles peuvent déboucher, notamment, dans les bords internes et/ou externes des flasques annulaires du circuit magnétique.

Le moteur électrique suivant l'invention offre l'avantage que grâce à la conception particulière du circuit magnétique statorique, on obtient une diminution de 50% des pertes supplémentaires qui ne sont plus alors qu'environ trois fois les pertes conventionnelles engendrées par les courant induits.

A titre expérimental on a mesuré les pertes fer globales, c'est-à-dire les pertes par hystérésis, par courants induits et supplémentaires, d'un stator de moteur pas-à-pas diphasé. En fendant le circuit magnétique suivant l'invention, la réduction des pertes supplémentaires entraîne une réduction des pertes fer globales de 20 à 30% dans la

plage de fonctionnement normal du moteur. Etant donné la diminution des pertes Joules engendrées, on obtient une amélioration du rendement du moteur d'environ 10%, ce qui fait passer ce rendement de 30 à 40%. La puissance du moteur étant limitée par son échauffement, on obtient, pour un échauffement identique, une puissance mécanique d'un moteur à circuit magnétique statorique fendu qui est augmentée approximativement de 50%.

Suivant une caractéristique complémentaire de l'invention chacune des dents polaires du circuit magnétique statorique qui s'étendent longitudinalement, en étant imbriquées les unes dans les autres, et qui ont en général une forme trapézoïdale, présente, sur sa face interne tournée vers la bobine d'alimentation et le long de chacun de ses côtés convergeant vers la petite base du trapèze que constitue la dent, des faces tronquées s'étendant entre la face interne de la dent et ses deux faces latérales convergentes de manière à supprimer les angles de la dent situés du côté de la bobine .

La suppression des angles des dents côté bobine permet de réduire la partie inutile du flux magnétique qui, entre deux dents voisines, passe normalement dans la zone voisine de la bobine et corrélativement ceci provoque une diminution du flux total circulant dans le moteur, ainsi que de l'induction en tout point du circuit magnétique. Comme les pertes fer (pertes par hystérésis et pertes par courants induits) sont approximativement proportionnelles au carré de l'induction, la modification de la forme des dents, suivant l'invention, qui entraîne une réduction de l'induction, permet par conséquent de réduire additionnellement ces pertes.

On décrira ci-après, à titre d'exemples non limitatifs, diverses formes d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure 1 est une vue en perspective schématique, avec arrachement partiel, d'un moteur électrique à aimant permanent et à stator fendu suivant l'invention.

La figure 2 est une vue en perspective éclatée d'un micromoteur synchrone monophasé suivant l'invention.

La figure 3 est une vue en élévation d'une variante d'exécution d'un flasque annulaire du stator du moteur.

La figure 4 est une vue en perspective de dents polaires trapézoïdales à arêtes latérales tronquées du côté de la bobine.

La figure 5 est une vue en coupe, à plus grande échelle, faite suivant la ligne V-V de la figure 4.

Les figures 6 et 7 sont des vues en coupe transversale de variantes d'exécution des dents polaires.

Sur les figures 1 et 2 est représenté un micromoteur synchrone monophasé qui comporte un rotor 1 constitué par un aimant permanent, d'aimantation multipolaire c'est-à-dire présentant, sur sa surface latérale cylindrique, une alternance de pôles Nord, Sud, Nord, Sud, etc... Ce rotor tourne à l'intérieur d'un stator comprenant un circuit magnétique 2, de forme générale annulaire à section droite rectangulaire et qui enveloppe une bobine d'alimentation électrique 3. Le circuit magnétique 2 est réalisé par plusieurs pièces en fer qui portent des griffes ou dents polaires 4 de forme générale trapézoïdale. Ces dents polaires qui sont parallèles à l'axe du moteur, peuvent être repliées à 90o à partir du bord circulaire interne de flasques transversaux annulaires tels que les flasques 5 et 6 représentés sur la figure 2, ou bien encore à partir de flasques annulaires internes 7 accolés aux flasques 5 et 6 .Le circuit magnétique comporte par ailleurs une culasse cylindrique 8 de même diamètre que les flasques 5 et 6 et qui assure la fermeture du circuit magnétique. Cette culasse 8 peut être assemblée avec les deux flasques 5, 6 ou bien elle peut faire partie intégrante de l'un des flasques, ou des deux. Sur la figure 2, la culasse 8 fait partie du flasque 5.

Dans un circuit magnétique la variation d'induction engendre des courants induits dont la somme est nulle dans la section de passage du flux. Toutefois dans le circuit magnétique à stator à dents polaires tel que décrit ci-dessus il apparaît un autre type de ciculation de courants

induits qui sont à l'origine de pertes supplémentaires élevées qui sont six fois plus importantes que les pertes par courants induits conventionnelles, quand l'effet de peau n'est pas trop important, c'est-à-dire si la fréquence de variation du flux magnétique n'est pas trop élevée.

L'explication théorique de ces pertes supplémentaires est relativement simple. En dehors des dents polaires 4 le flux magnétique circule dans la culasse 8 et les flasques annulaires transversaux 5, 6 dans un plan radial et il s'enroule autour de la bobine 3. Dans cette partie du moteur les pièces ferromagnétiques 5, 6, 8 sont à symétrie de révolution. Dans ces pièces un élément circulaire quelconque de section dS (figure 1) constitue une spire conductrice s. Suivant la position de cette spire conductrice s une partie plus ou moins importante du flux magnétique traverse cette spire et cette partie du flux induit par conséquent un courant dans la spire s . Cette circulation de courant induit est donc importante sur la face intérieure du circuit magnétique qui est adjacente à la bobine 3, c'est-à-dire sur les faces intérieures respectives 5a, 6a, 8a des deux flasques 5, 6 et de la culasse 8, tandis que cette circulation est nulle sur les faces externes respectives 5b, 6b et 8b de ceux-ci. On peut dire que globalement, vu de l'alimentation du moteur, tout se passe comme si le bobinage avait un secondaire en court-circuit. La puissance dissipée par ces courants induits doit être fournie par la bobine 3, ce qui conduit à des pertes supplémentaires par effet Joule dans cette bobine.

Pour supprimer ces courants induits il est prévu, suivant l'invention, de fendre les pièces à symétrie de révolution du circuit magnétique. Par conséquent les deux flasques annulaires 5, 6 et la culasse 8 sont interrompus, sur une partie de leur étendue, pour constituer des fentes respectives 9, 10, 11 les séparant de part en part. Ces fentes 9, 10, 11 sont formées de préférence dans un même plan pour éviter que les courants ne passent de l'une des pièces du circuit magnétique à l'autre. Les trois fentes 9, 10, 11 sont situées dans un plan longitudinal qui peut être

radial ou sensiblement radial. Ainsi les fentes 9 et 10 s'étendent radialement ou sensiblement radialement dans les flasques respectifs 5 et 6 tandis que la fente 11 s'étend longitudinalement ou sensiblement longitudinalement le long de la culasse 8.

Si les trois fentes 9, 10, 11 ne sont pas situées dans un même plan, les trois pièces 5, 6, 8 constituant le circuit magnétique statorique 2 doivent être parfaitement isolées électriquement les unes des autres.

La coupure du circuit magnétique par les fentes 9, 10, 11 ne perturbe absolument pas la circulation du flux magnétique ni le fonctionnement du moteur.

La présence des fentes 9, 10, 11 permet de diviser pratiquement par 2 les pertes supplémentaires qui ne sont plus égales qu'à environ trois fois les pertes classiques par courants induits. D'après des essais qui ont été effectués et qui ont porté sur la mesure des pertes fer globales (pertes par hystérésis, par courants induits et supplémentaires) d'un stator de moteur pas-à-pas diphasé, on a constaté que l'on obtient, en fendant le circuit magnétique, une réduction des pertes fer globales de 20 à 30% dans la plage de fonctionnement normal du moteur. Etant donné la diminution des pertes par effet Joule engendrées le circuit magnétique fendu permet d'améliorer le rendement du moteur d'environ 10%, ce qui le fait passer de 30 à 40%. La puissance du moteur étant limitée par son échauffement, on obtient, pour un échauffement identique, une puissance mécanique qui est augmentée approximativement de 50%.

Le fait de fendre une fois les pièces du circuit magnétique statorique modifie la forme géométrique de ces pièces mais ne change pas leur nombre si bien que la simplicité du montage est conservée.

On peut toutefois fendre plus d'une fois chaque pièce du circuit magnétique mais alors on augmente le nombre de pièces à assembler sans diminuer les pertes supplémentaires. Si chaque pièce du circuit magnétique, c'est-à-dire si chacun des deux flasques 5, 6 et de la culasse 8 est

fendu deux fois, chacune de ces pièces est constituée de deux secteurs qui doivent être assemblés et qui posent de ce fait des problèmes d'assemblage et de tenue mécanique.

Pour réduire les pertes supplémentaires on peut aussi effectuer une multitude d'entailles dans les pièces du circuit magnétique statorique 2. Ainsi qu'il est représenté sur la figure 3, l'un des flasques tel que le flasque 6, par exemple, ou les deux flasques peuvent comporter une succession d'entailles radiales 12 débouchant dans le bord circulaire interne du flasque annulaire 6 et/ou une succession d'entailles radiales 13 débouchant dans le bord circulaire externe de ce flasque. Une telle disposition à entailles 12, 13 permet d'augmenter la résistance électrique apparente des spires s, ce qui entraîne une réduction des pertes supplémentaires mais il faut en fait beaucoup d'entailles 12, 13 pour obtenir une réduction importante. La symétrie de révolution est conservée mais la rigidité mécanique est alors beaucoup plus faible. Cet effet est cumulable avec le fait de fendre complètement les pièces 5, 6 et 8 du circuit magnétique.

D'une manière plus générale tout procédé qui permet d'augmenter la résistance électrique du circuit magnétique vu par les courants induits circulaires, contribue à la diminution des pertes supplémentaires.

On décrira maintenant, en se référant plus particulièrement aux figures 4 à 7, des perfectionnements apportés à la réalisation des dents polaires 4, dans le but d'accroître additionnellement le rendement du moteur.

La figure 5 illustre la façon dont le flux magnétique circule entre deux dents polaires 4 voisines. Le flux s'épanouit dans l'entrefer entre les deux dents 4 mais également à l'extérieur de cet entrefer. Du côté de la bobine 3 il donne lieu à un flux qui est inutile tandis que du côté de l'aimant 1 passe le flux utile qui permet d'exercer le couple sur cet aimant 1. Suivant l'invention chacune des dents 4 présente, sur sa surface interne 4a tournée vers la bobine d'alimentation 3 et le long de chacun de ses côtés convergeant vers la face frontale 4b qui est la petite base

du trapèze constituant la dent, des faces tronquées 4c,4d qui s'étendent entre la face interne 4a de la dent proches de la bobine 3 et qui sont indiquées en trait mixte sur la figure 5.

Du fait de la suppression des angles du côté de la bobine 3 le flux inutile est réduit alors que le flux utile demeure inchangé, ce qui entraîne une diminution du flux total qui circule dans le moteur. L'induction en tous les points du circuit magnétique statorique 2 se trouve donc réduite dans le même rapport et par conséquent les pertes fer (pertes par hystérésis et pertes par courants induits) qui sont approximativement proportionnelles au carré de l'induction, sont corrélativement diminuées.

En pratique la largeur de l'entrefer c'est-à-dire la distance entre deux dents polaires voisines 4, est de 1 à 1,5 fois l'épaisseur des dents, c'est-à-dire l'épaisseur de la tôle constituant les dents 4 et les autres pièces 5, 6, 8 du circuit magnétique. Suivant l'invention, en supprimant les angles du côté de la bobine 3 on peut diminuer la perméance du circuit magnétique de 20 à 30% et le flux statorique diminue dans le même rapport, sans altérer la puissance mécanique fournie par le moteur.

Les faces tronquées 4c, 4d peuvent présenter, en coupe transversale, un profil rectiligne comme il est illustré sur la figure 5 ou encore polygonal comme il est illustré sur la figure 6 ou encore courbe comme il est illustré sur la figure 7. En effet il faut et il suffit que le profil de la section droite des dents polaires 4 soit tel qu'il diminue la perméance du circuit magnétique sans trop altérer la surface de la section de la dent.

Les faces tronquées 4c, 4d peuvent être usinées dans les dents 4 avant que celles-ci ne soient repliées par rapport aux flasques adjacents 5, 6 dont elles sont issues, ou bien encore après leur pliage.

REVENDICATIONS

1.-Moteur électrique rotatif à aimant permanent rotorique et à circuit magnétique statorique réalisé en tôles embouties, ce circuit magnétique ayant la forme d'un anneau creux de section droite rectangulaire enveloppant la bobine d'alimentation en courant électrique alternatif et qui présente, en regard de l'aimant rotorique, des dents polaires imbriquées les unes dans les autres, caractérisé en ce que le circuit magnétique est fendu c'est-à-dire que les pièces à symétrie de révolution (5,6,8) du circuit magnétique sont fendues suivant au moins un plan longitudinal ou sensiblement longitudinal de manière à réduire ou empêcher une circulation des courants induits dans les spires conductrices élémentaires (s) que forment les pièces à symétrie de révolution (5,6,8) du circuit magnétique.

2.- Moteur électrique rotatif suivant la revendication 1 caractérisé en ce que les pièces (5,6,8) du circuit magnétique statorique (2) sont fendues dans un plan radial ou sensiblement radial.

3.- Moteur électrique rotatif suivant la revendication 1 caractérisé en ce que les pièces (5,6,8) du circuit magnétique statorique (2) sont fendues dans des plans différents et sont isolées electriquement entre elles.

4.- Moteur électrique rotatif suivant l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le circuit magnétique comprend deux flasques annulaires transversaux (5,6) et une culasse (8), des fentes radiales ou sensiblement radiales (9,10) étant prévues respectivement dans les deux flasques annulaires transversaux (5,6) et une fente longitudinale ou sensiblement longitudinale (11) étant prévue dans la culasse (8).

6.- Moteur électrique rotatif suivant l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les pièces du circuit magnétique statorique (2) présentent une multitude d'entailles.

7.- Moteur electrique rotatif suivant la revendication 6 caractérisé en ce que l'un au moins des flasques annulaires transversaux (5,6) et de la culasse (8) faisant

partie du circuit magnétique statorique (2) présente au moins une succession d'entailles radiales telles que des entailles radiales (12) débouchant dans le bord circulaire interne du flasque annulaire et/ou des entailles radiales (13) débouchant dans le bord circulaire externe de ce flasque.

8.- Moteur électrique rotatif suivant l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que chacune des dents polaires du circuit magnétique statorique qui s'étendent longitudinalement, en étant imbriquées les unes dans les autres, et qui ont en général une forme trapézoïdale, présente, sur sa face interne (4a) tournée vers la bobine d'alimentation (3) et le long de chacun de ses côtés convergeant vers la petite base (4b) du trapèze que constitue la dent, des faces tronquées (4c,4d) s'étendant entre la face interne (4a) de la dent et ses deux faces latérales convergentes (4e,4f), de manière à supprimer les angles de la dent (4) situés du côté de la bobine (3).

9.- Moteur électrique rotatif suivant la revendication (8) caractérisé en ce que les faces tronquées (4c,4d) présentent en coupe transversale un profil rectiligne, polygonal ou courbe.

Fig:1

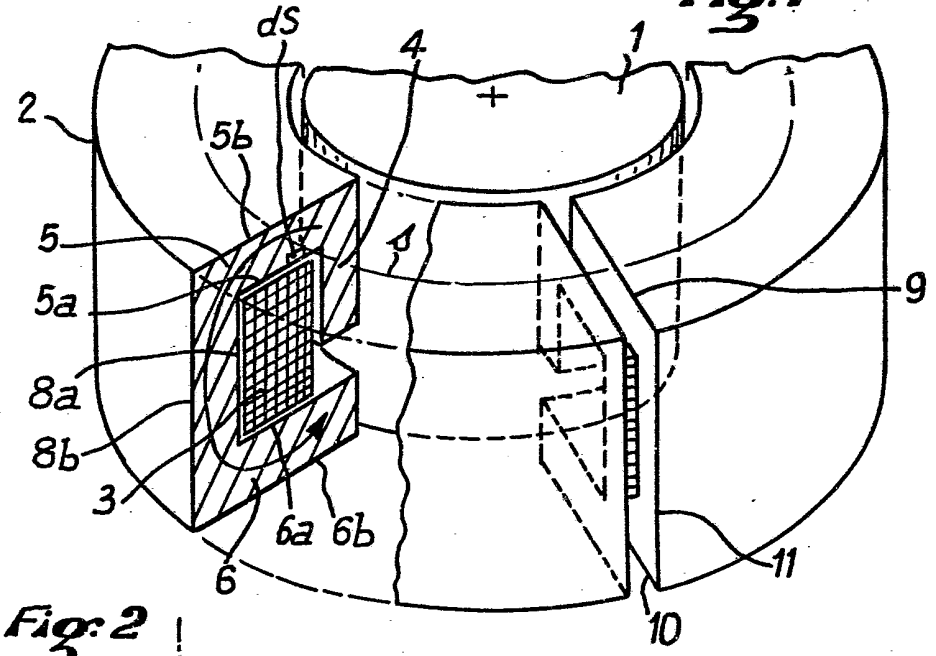


Fig:2

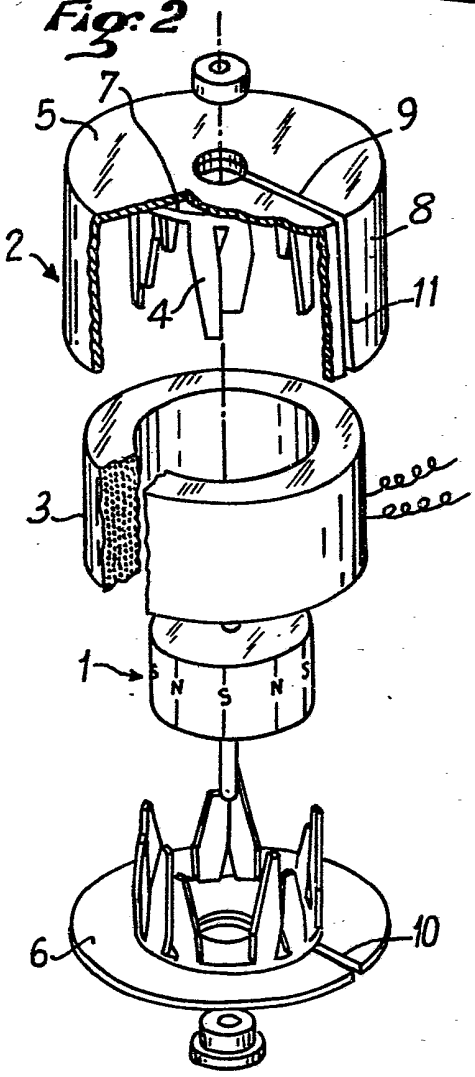


Fig:3

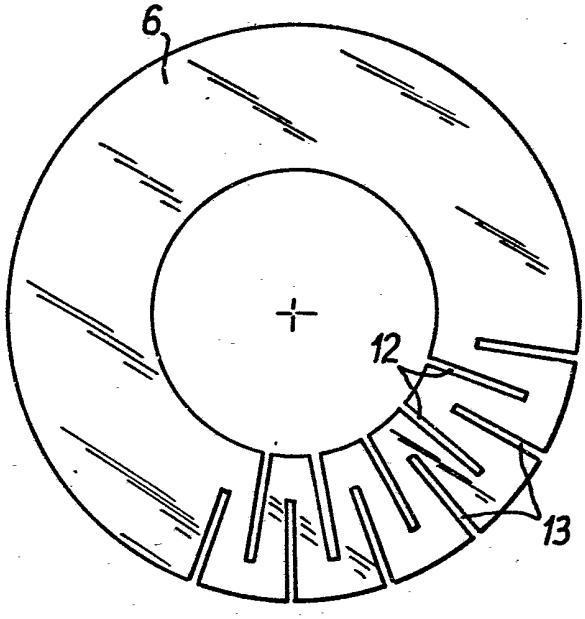


Fig:4

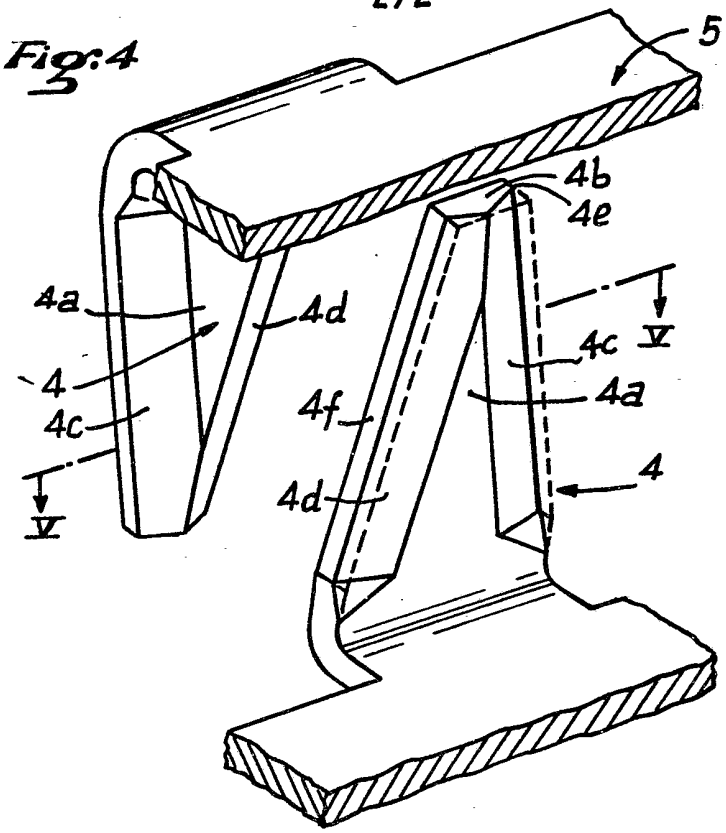


Fig:5

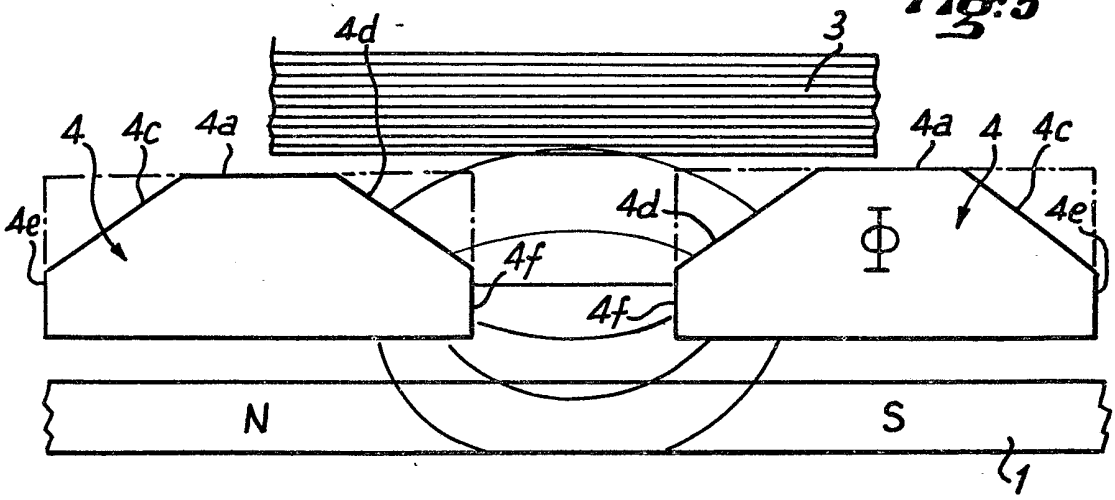


Fig:6

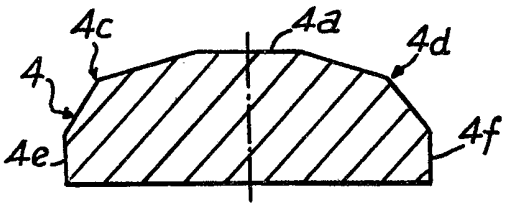


Fig:7

