



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① CH 672 566 A5

⑤ Int. Cl.⁴: H 02 K 21/14

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑲ Numéro de la demande: 2417/87

⑦ Titulaire(s):
Portescap, La Chaux-de-Fonds

⑳ Date de dépôt: 26.06.1987

⑧ Inventeur(s):
Oudet, Claude, Besançon (FR)

㉑ Brevet délivré le: 30.11.1989

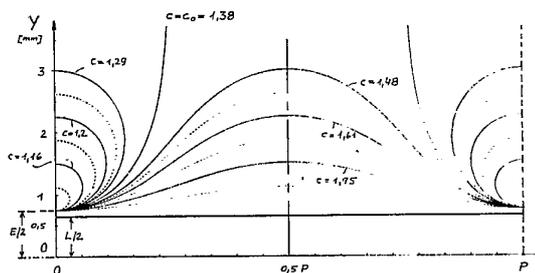
④ Fascicule du brevet
publié le: 30.11.1989

⑦ Mandataire:
William Blanc & Cie conseils en propriété
industrielle S.A., Genève

⑤ Moteur synchrone à aimant permanent mobile.

⑦ Le moteur comporte un aimant mobile multi-plane d'épaisseur L , dont les pôles de même nom sont espacés de P et se déplacent dans un entrefer de hauteur $2Y$ variant le long du chemin de déplacement des pôles, selon la fonction illustrée à la Fig. 2.

Dans cette figure, différentes formes de l'entrefer sont représentées, chaque forme correspondant à un paramètre respectif C , choisi pour le moteur.



REVENDEICATIONS

1. Moteur électrique synchrone à aimant permanent mobile, ayant un stator et un organe mobile, le stator comportant un circuit magnétique ou un ensemble de circuits magnétiques en un matériau de très bonne perméabilité magnétique, couplé avec une bobine électrique de commande, et l'organe mobile comportant un aimant permanent multipolaire ayant deux surfaces planes disposées parallèlement au sens du déplacement de l'organe mobile et espacées d'une distance sensiblement plus petite que les dimensions de l'aimant dans lesdites surfaces planes, ledit aimant ayant une caractéristique de désaimantation pratiquement linéaire dans son domaine de travail et étant aimanté perpendiculairement auxdites surfaces planes parallèles de façon à présenter sur chacune de celles-ci, dans le sens du déplacement de l'organe mobile, au moins une série de pôles magnétiques de même polarité, dont les centres sont espacés de P le long de leur chemin de déplacement, ledit circuit magnétique comportant des parties polaires opposées formant un entrefer dans lequel est disposé ledit aimant multipolaire, ledit entrefer étant symétrique par rapport au plan médian des deux surfaces planes de l'aimant et ayant une hauteur variable le long du chemin de déplacement X d'un point dudit plan médian, cette hauteur ayant une valeur 2 Y mesurée dans le sens perpendiculaire audit plan médian de l'aimant et présentant une série de minima E, caractérisé en ce que les parties polaires sont réalisées de façon que la valeur théorique de Y soit racine de l'équation

$$\text{LN} \left[\frac{\text{ch}(2\pi Y/P + c) - \cos(2\pi X/P)}{\text{ch}(2\pi Y/P - c) - \cos(2\pi X/P)} \right] - 2 \text{LN} \left[\frac{\text{sh}(c/2 + \pi E/2 P)}{\text{sh}(c/2 - \pi E/2 P)} \right] = 0$$

dans laquelle c représente un paramètre de forme, et que l'erreur maximale de Y par rapport à ladite valeur théorique soit de +/- 0,05 P, au moins dans le domaine $E/2 \leq Y \leq (E/2 + 0,4 P)$.

2. Moteur électrique synchrone à aimant permanent mobile, ayant un stator et un organe mobile, le stator comportant un circuit magnétique ou un ensemble de circuits magnétiques en un matériau de très bonne perméabilité magnétique, couplé avec une bobine électrique de commande, et l'organe mobile comportant un aimant permanent multipolaire ayant deux surfaces planes disposées parallèlement au sens du déplacement de l'organe mobile et espacées d'une distance sensiblement plus petite que les dimensions de l'aimant dans lesdites surfaces planes, l'organe mobile comportant en outre une partie de culasse en un matériau magnétiquement perméable disposée en contact avec l'une desdites surfaces planes de l'aimant, ledit aimant ayant une caractéristique de désaimantation pratiquement linéaire dans son domaine de travail et étant aimanté perpendiculairement auxdites surfaces planes parallèles de façon à présenter sur sa surface libre, dans le sens de son déplacement, au moins une série de pôles magnétiques de même polarité, dont les centres sont espacés de P le long de leur chemin de déplacement, ledit circuit magnétique comportant une partie polaire formant avec ladite partie de culasse un entrefer ayant une hauteur variable le long du chemin de déplacement X d'un point de l'aimant, cette hauteur ayant une valeur Y mesurée dans le sens perpendiculaire auxdites surfaces planes de l'aimant entre la surface d'une partie polaire et la surface de contact entre l'aimant et la partie de culasse, cette hauteur présentant une série de minima E/2, caractérisé en ce que la partie polaire est réalisée de façon que la valeur théorique de Y soit racine de l'équation

$$\text{LN} \left[\frac{\text{ch}(2\pi Y/P + c) - \cos(2\pi X/P)}{\text{ch}(2\pi Y/P - c) - \cos(2\pi X/P)} \right] - 2 \text{LN} \left[\frac{\text{sh}(c/2 + \pi E/2 P)}{\text{sh}(c/2 - \pi E/2 P)} \right] = 0$$

dans laquelle c représente un paramètre de forme, et que l'erreur maximale de Y par rapport à ladite valeur théorique soit de +/- 0,05 P, au moins dans le domaine $E/2 \leq Y \leq (E/2 + 0,4 P)$.

3. Moteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la ou les parties polaires sont réalisées par emboutissage ou par usinage d'un assemblage de tôles.

4. Moteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la ou les parties polaires sont constituées par des assemblages de tôles planes orientées perpendiculairement au sens du déplacement X et découpées de façon à réaliser une approximation par paliers de ladite valeur théorique de Y.

DESCRIPTION

La présente invention concerne un moteur électrique synchrone à aimant permanent mobile, ayant un stator et un organe mobile, le stator comportant un circuit magnétique ou un ensemble de circuits magnétiques en un matériau de très bonne perméabilité magnétique, couplé avec une bobine électrique de commande, et l'organe mobile comportant un aimant permanent multipolaire ayant deux surfaces planes disposées parallèlement au sens du déplacement de l'organe mobile et espacées d'une distance sensiblement plus petite que les dimensions de l'aimant dans lesdites surfaces planes, ledit aimant ayant une caractéristique de désaimantation pratiquement linéaire dans son domaine de travail et présentant sur chacune desdites surfaces, dans le sens de son déplacement, au moins une série de pôles magnétiques de même polarité, dont les centres sont espacés de P le long de leur chemin de déplacement, ledit circuit magnétique comportant des parties polaires opposées formant un entrefer dans lequel est disposé ledit aimant multipolaire, ledit entrefer étant symétrique par rapport au plan médian des deux surfaces planes de l'aimant et ayant une hauteur variable le long du chemin de déplacement X d'un point dudit plan médian, cette hauteur ayant une valeur 2 Y, mesurée dans le sens perpendiculaire audit plan médian de l'aimant, et présentant une série de minima E.

L'invention concerne également un moteur similaire, à entrefer asymétrique, dans lequel l'organe mobile comporte une partie de culasse en un matériau magnétiquement perméable, disposée en contact avec l'une desdites surfaces planes de l'aimant. Dans ce cas, l'entrefer est formé entre une partie polaire et la partie de culasse. La hauteur de l'entrefer est de Y et les minima de celle-ci ont une valeur de E/2.

Dans les moteurs de ce type, décrits par exemple dans la demande internationale WO85/02503, il n'était jusqu'à présent pas possible de réaliser un couple dû au courant variant de façon sinusoïdale en fonction de la position de l'organe mobile avec une approximation suffisante. Or, on sait d'après la théorie qu'une telle variation est nécessaire pour réaliser un couple total constant dans un moteur diphasé.

Les approximations tentées dans le passé visaient à réduire les harmoniques du couple dû au courant par la recherche empirique de formes adéquates des parties polaires ou par des mesures de compensation d'harmoniques qui, toutefois, ne permettaient pas d'atteindre le but visé de façon satisfaisante.

Pour remédier à cet inconvénient, l'invention a pour but de fournir un moteur perfectionné du type susmentionné dans lequel le couple produit par un courant constant dans chaque phase présente une variation pratiquement purement sinusoïdale. L'invention vise notamment à fournir un tel moteur qui puisse être fabriqué en grandes séries et à des prix de revient relativement faibles, malgré les très hautes performances obtenues grâce à cette propriété.

A cet effet, le moteur selon l'invention est caractérisé en ce que la ou les parties polaires sont réalisées de façon que la valeur théorique de Y soit racine de l'équation

$$\text{LN} \left[\frac{\text{ch}(2\pi Y/P + c) - \cos(2\pi X/P)}{\text{ch}(2\pi Y/P - c) - \cos(2\pi X/P)} \right] - 2 \text{LN} \left[\frac{\text{sh}(c/2 + \pi E/2 P)}{\text{sh}(c/2 - \pi E/2 P)} \right] = 0 \quad 5$$

dans laquelle c représente un paramètre de forme, et que l'erreur maximale de Y par rapport à ladite valeur théorique soit de +/- 0,05 P, au moins dans le domaine $E/2 \leq Y \leq (E/2 + 0,4 P)$.

Les parties polaires d'un tel moteur peuvent être réalisées par emboutissage ou par usinage d'un assemblage de tôles planes orientées perpendiculairement au sens du déplacement ou sont constituées, de préférence, par un tel assemblage de tôles découpées de façon à réaliser une approximation par paliers de la forme théorique du profil.

L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description de différentes formes de réalisation indiquées à titre d'exemples et illustrées dans le dessin annexé dans lequel:

la figure 1 est une vue en coupe axiale d'un moteur rotatif diphasé à deux étages auquel l'invention peut être appliquée,

la figure 2 est un graphique représentant les différentes formes théoriques du profil des parties polaires du moteur selon l'invention,

la figure 3 est une vue schématique d'une partie polaire réalisée sous la forme d'un paquet de tôles découpées, au niveau du bord extérieur d'un aimant annulaire selon la figure 1,

la figure 4 est une vue semblable à celle de la figure 3 au niveau du bord intérieur de l'aimant,

la figure 5 est une vue latérale du paquet de tôles des figures 3 et 4, et

la figure 6 est une vue partielle d'une partie polaire réalisée par usinage d'un assemblage de tôles et noyée dans un support.

Le moteur représenté à la figure 1 comporte un ensemble de stator 1 et un organe rotatif 2 dont un arbre 3 est supporté, par rapport à l'ensemble 1, au moyen de deux paliers 4, 5 tels que des roulements à billes.

L'ensemble de stator 1 comporte, dans cette forme d'exécution, deux circuits magnétiques 6, 7 ayant une section axiale en forme de C, de manière à former deux entrefers 8, 9, de hauteur variable dans le plan de cette section. Ainsi que cela sera décrit plus en détail ci-après, ces circuits peuvent être réalisés sous forme de paquets de tôles en fer-silicium insérés dans des fentes d'un support également en un matériau de très bonne perméabilité magnétique. Selon une autre forme d'exécution, chaque circuit 6, 7 peut être constitué d'un ensemble de circuits élémentaires, les paquets de tôles étant par exemple insérés dans un support en un matériau non magnétique.

Les circuits 6, 7 sont couplés avec des bobines électriques de commande respectives 10, 11 de façon à créer dans les entrefers 8, 9 des champs magnétiques en fonction des ampères-tours d'excitation. Chaque bobine correspond à une phase du moteur diphasé représenté.

Les deux circuits magnétiques sont assemblés autour d'un support central 12, 13, 14 pour les paliers 4, 5, au moyen de vis telles que 15, l'ensemble 1 comportant en outre des parties de fermeture et de montage telles que 16, 17.

L'arbre 3 de l'organe rotatif 2 est solidaire de deux organes de support d'aimant 18, 19 sur lesquels sont fixés, au moyen de parties annulaires intermédiaires respectives 20, 21, des aimants 22, 23 ayant la forme de disques minces annulaires et étant réalisés en un matériau tel que le samarium-cobalt, à caractéristique de désaimantation pratiquement linéaire dans le domaine de travail de l'aimant.

Chaque disque 22, 23 est aimanté parallèlement à son axe de façon à présenter, sur chacune de ses faces, au moins une série de pôles de même nom et de préférence deux séries de pôles de polarités alternantes. Les centres de deux pôles de même nom sont espacés de P le long du chemin de leur déplacement. Les zones aimantées des disques 22, 23 sont disposées à l'intérieur des entrefers respectifs 8, 9 de manière à permettre un fonctionnement comme moteur diphasé, d'une manière bien connue dans ce domaine.

Selon le présent perfectionnement de ces moteurs, l'entrefer tel que l'entrefer 8, par exemple, présente une forme qui est proche, avec une approximation bien définie, de la forme idéale illustrée à la figure 2. Cette forme idéale est donnée par la relation

$$\text{LN} \left[\frac{\text{ch}(2\pi Y/P + c) - \cos(2\pi X/P)}{\text{ch}(2\pi Y/P - c) - \cos(2\pi X/P)} \right] - 2 \text{LN} \left[\frac{\text{sh}(c/2 + \pi E/2 P)}{\text{sh}(c/2 - \pi E/2 P)} \right] = 0 \quad 10$$

dans laquelle X et Y sont les coordonnées du profil des parties polaires, ce profil étant développé dans le cas d'un moteur rotatif comme dans le présent exemple, P correspond à l'espacement des pôles de l'aimant et représente le pas du moteur, E est la valeur minimale de l'entrefer et c un paramètre de forme. Dans l'exemple d'un moteur rotatif, on notera que P est une fonction linéaire du rayon considéré de l'aimant.

La figure 2 montre qu'à partir d'une valeur $c = c_0$, les parties polaires, symétriques par rapport à $X = 0$ et $X = P$, deviennent discontinues, la valeur du paramètre $c = c_0 = \text{arc ch exp}(E/P)$ correspondant à des valeurs de Y allant jusqu'à l'infini. Lorsque le paramètre c est choisi plus grand que c_0 , l'on se trouve dans le cas de parties polaires continues selon le profil idéal représenté.

Les différentes formes possibles pour le profil des parties polaires, telles qu'elles sont définies par la relation susmentionnée en fonction des valeurs de P et de E et du paramètre de forme c choisi selon la conception du moteur, s'avèrent être critiques, surtout dans les régions qui influencent le plus fortement la forme du champ magnétique au voisinage de l'aimant mobile. Ainsi, l'erreur maximale admissible pour Y est de +/- 0,05 P, au moins dans le domaine $E/2 \leq Y \leq (E/2 + 0,4 P)$.

Dans la figure 2, la ligne $Y = 0$ représente le plan de symétrie d'un aimant en forme de disque selon la figure 1, dont l'épaisseur serait de L.

Y est indiqué en millimètres, le pas P peut par exemple être égal à 3,14 mm pour un rayon de 25 mm, et le paramètre $c_0 = c_0(E, P) = 1,38$.

Dans le cas d'un moteur à entrefer asymétrique, la ligne $Y = 0$ de la figure 2 représente la surface de contact entre l'aimant, dont l'épaisseur serait de $L/2$, et la partie de culasse, l'entrefer minimal ayant la valeur de $E/2$.

Les figures 3 à 5, d'une part, et 6, d'autre part, illustrent deux formes de réalisations pratiques de parties polaires d'un moteur selon l'invention.

Plus particulièrement, les figures 3 et 4 montrent le développement du profil d'une partie polaire à deux distances différentes de l'axe du moteur, la figure 3 correspondant à un rayon de 34 mm et la figure 4 à un rayon de 25 mm. Pour un moteur à 50 paires de pôles, le pas est respectivement de $P_1 = 4,27$ mm et de $P_2 = 3,14$ mm. Les lignes 31 et 41 représentent la forme idéale du profil selon la figure 2 au-dessus d'un aimant 30. Une partie polaire est formée par des paquets de tôles 32 en FeSi, de façon à suivre le profil idéal selon une approximation par paliers dans le sens du déplacement de l'aimant. L'approximation doit respecter les limites mentionnées plus haut et donc être très bonne au voisinage des sommets des parties polaires. En revanche, les paquets de tôles peuvent être des paquets discrets, limités en épaisseur et être logés dans un support en un matériau synthétique ou, de préférence, en un matériau à bonne perméabilité magnétique.

La forme des différentes tôles 33 à 37 d'un paquet 32 ressort de la vue latérale selon la figure 5. Deux paquets tels que 32, opposés dans le sens axial, présentent une surface de contact 38 formant un joint magnétique d'un circuit en forme générale de C. Les branches de C qui définissent l'entrefer ont la forme illustrée par les figures 3 à

5 de manière à tenir compte du fait que le pas est fonction du rayon considéré. Ainsi, P_1 (fig. 3) correspondant au plus grand rayon R_1 et P_2 (fig. 4) au plus petit rayon R_2 , les tôles latérales de chaque paquet présentent une inclinaison de l'extérieur vers l'intérieur du disque aimanté 30.

La figure 6 montre une variante d'exécution dans une vue semblable à celle des figures 3 ou 4, selon laquelle les paquets de tôles 62 sont usinés de façon à suivre rigoureusement le profil théorique 63 au voisinage des sommets du profil. Les paquets sont par exemple 5 noyés dans une résine synthétique 64.

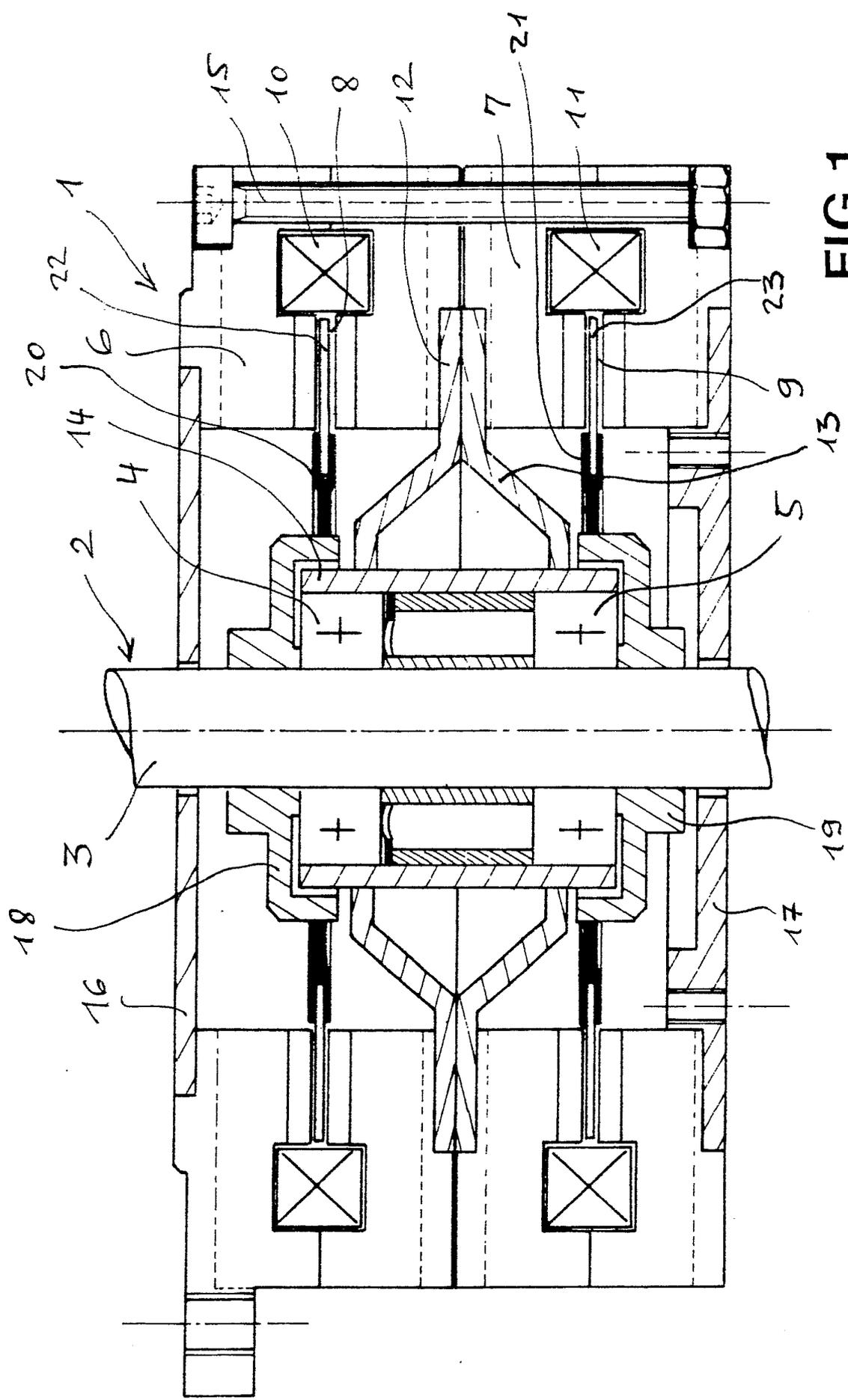


FIG. 1

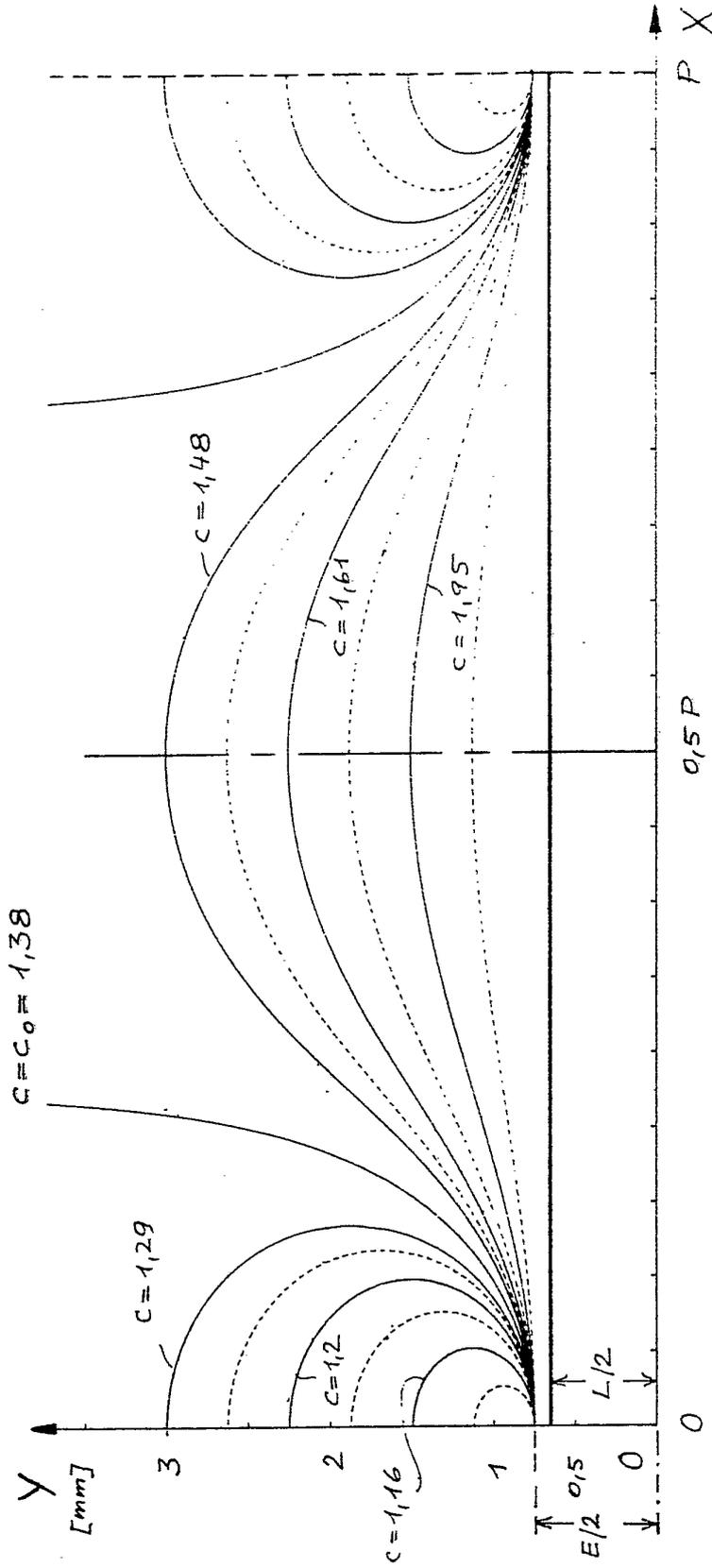


FIG. 2

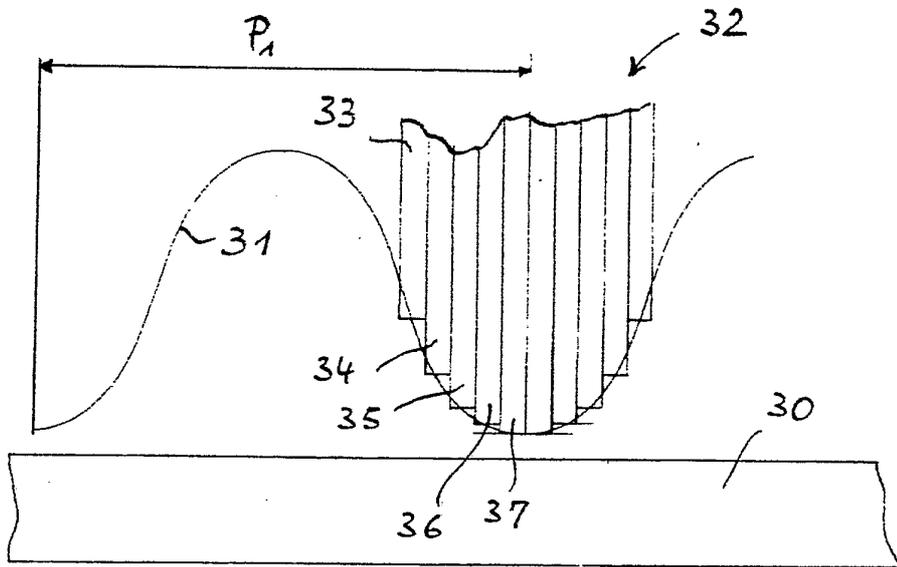


FIG. 3

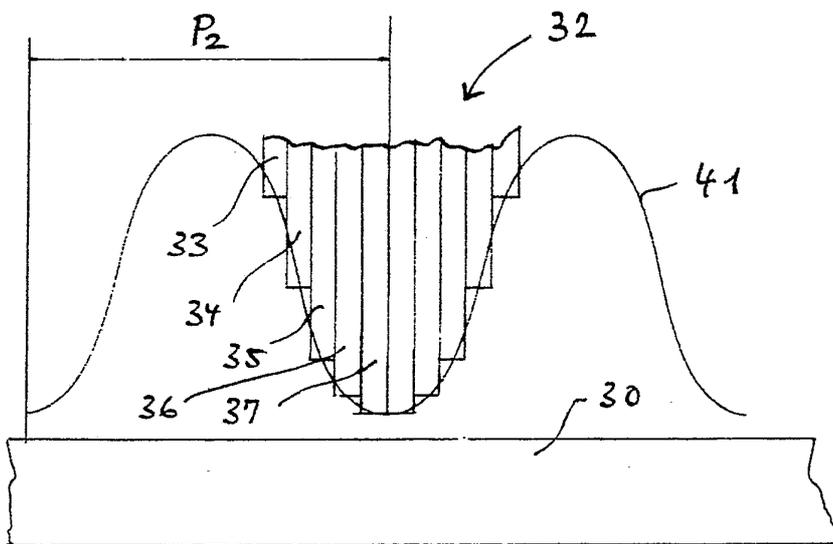


FIG. 4

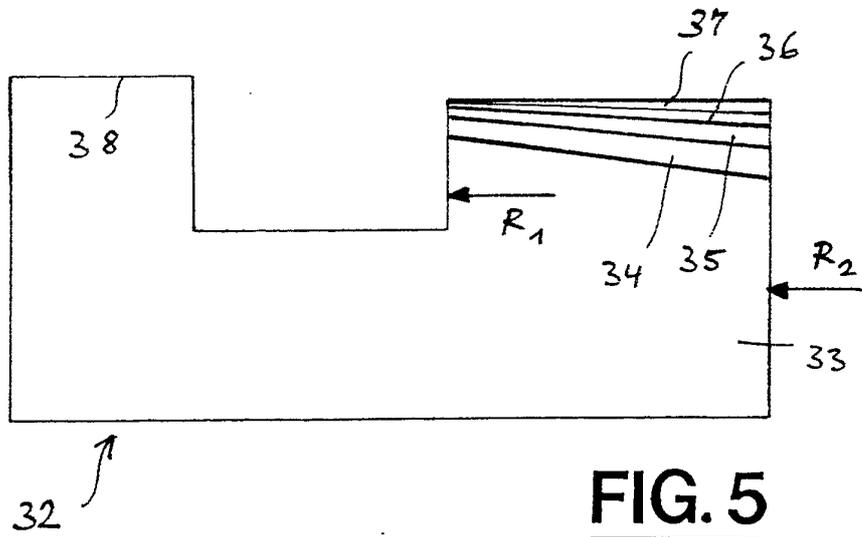


FIG. 5

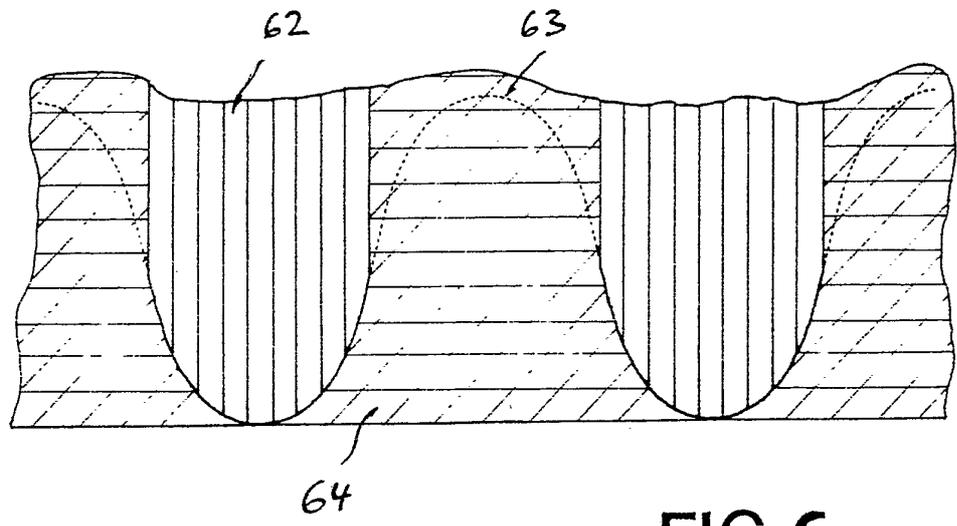


FIG. 6