

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: **88401730.2**

51 Int. Cl.4: **H 01 J 25/02**

22 Date de dépôt: **04.07.88**

30 Priorité: **17.07.87 FR 8710126**

43 Date de publication de la demande:
01.02.89 Bulletin 89/05

84 Etats contractants désignés: **DE IT**

71 Demandeur: **THOMSON-CSF**
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cédex 08 (FR)

72 Inventeur: **Mourier, Georges**
Thomson-CSF SCPI-19, avenue de Messine
I-75008 Paris (FR)

74 Mandataire: **Courtellemont, Alain et al**
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

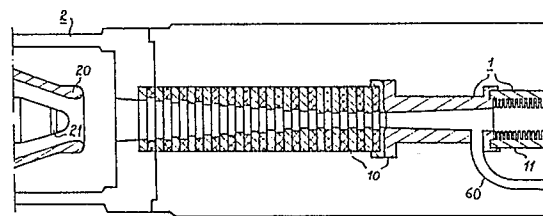
54 **Gyrotron à ondes progressives protégé contre les modes indésirés.**

57 Gyrotron à ondes progressives, protégé contre les modes TE_{mn} , où m et n sont des nombres entiers supérieurs à zéro.

Le but recherché est d'atténuer tous les modes TE_{mn} mais de ne pas atténuer les modes TE_{0n} et tout particulièrement le mode TE_{01} , car ces derniers permettent un fonctionnement optimal du gyrotron. Pour cela le guide d'ondes (1) qui couple le canon à électrons (2) au collecteur (4), comporte, au moins dans une partie de la zone située entre l'accès pour l'onde à amplifier et le collecteur, un ensemble répétitif, périodique de corrugations. Une matière absorbante pour les ondes électromagnétiques peut être placée dans ces corrugations.

Application aux gyrotrons de forte puissance.

FIG_8



Description

GYROTRON A ONDES PROGRESSIVES PROTEGE CONTRE LES MODES INDESIREES

Les gyrotrons à ondes progressives aussi appelés gyro-TOP peuvent produire des dizaines de kilowatts en régime continu, à 100 GHz et au-delà.

Dans la suite de la description chaque fois qu'il sera question d'un gyrotron, sans autre précision, il faudra entendre gyrotron à ondes progressives.

Ces gyrotrons à ondes progressives, de type connu, lorsqu'ils fonctionnent sur le mode TE 01, ont leur faisceau qui peut également interagir avec les modes TE 21 et TE 11, donnant lieu à des ondes se propageant dans le sens inverse du faisceau ; c'est un régime de fonctionnement qui permet théoriquement une puissance de sortie élevée mais avec lequel, du fait des risques d'instabilité dus aux intersections avec les modes TE 21 et TE 11, il est nécessaire de limiter l'amplification.

La présente invention a pour but d'éviter ou, pour le moins, de limiter cet inconvénient.

Ceci est obtenu, en particulier, en atténuant la propagation des modes indésirés.

Selon l'invention, un gyrotron à ondes progressives fonctionnant en mode TE01 et comportant un canon à électrons, un collecteur, un guide d'ondes ayant une première et une seconde extrémité couplées respectivement au canon et au collecteur et un accès situé entre les deux extrémités du guide d'ondes et destiné à introduire une onde à amplifier dans le guide d'ondes, est caractérisé en ce que, entre l'accès et la seconde extrémité, le guide comporte un ensemble répétitif, périodique de corrugations transversales dont les dimensions sont telles qu'elles laissent passer le mode TE01 et modifient la propagation des modes indésirés de manière à éviter leur action sur le faisceau électronique du gyrotron.

La présente invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des figures s'y rapportant qui représentent :

- la figure 1, un schéma d'un gyrotron à ondes progressives de type connu ;
- la figure 2, un diagramme relatif au gyrotron selon la figure 1 ;
- les figures 3, 4, 5 et 6, des coupes de guides d'ondes destinés à des gyrotrons selon l'invention ;
- la figure 7, un diagramme relatif à un gyrotron selon l'invention ;
- la figure 8, une vue partielle d'un gyrotron selon l'invention.

Sur les différentes figures les éléments correspondants sont désignés par les mêmes repères.

La structure du gyrotron à ondes progressives est illustrée sur la figure 1 qui représente la coupe d'un tube à vide à l'intérieur d'un solénoïde S qui excite un champ magnétique.

Le canon à électrons 2 du type MIG (magnétron injection gun dans la littérature anglo-saxonne) comprend une cathode chaude 21 portée à un potentiel négatif de -50 kV, entourée d'une anode 20 portée à un potentiel de -40 kV qui extrait un faisceau électronique tubulaire dans lequel les

électrons possèdent des trajectoires hélicoïdales telles que T1, T2, guidées par le champ magnétique ; le faisceau se déplace concentriquement à une structure tubulaire en guides d'ondes 1'.

Ce faisceau traverse une partie rétrécie, 10, de la structure tubulaire 1', puis un guide d'ondes à peu près cylindrique 11 comportant une région atténuée 7 et se terminant sur un cornet 3 suivi d'un collecteur 4 fermé par une fenêtre, 5, étanche au vide et transparente aux ondes de haute fréquence. Le long de la structure tubulaire, entre la partie rétrécie 10 et le guide 11, se trouve un circuit d'excitation 6 permettant à l'onde à amplifier, acheminée dans un guide d'ondes 60, d'exciter dans le guide 11 une onde qui sera amplifiée par le faisceau électronique et sortira par la fenêtre 5 vers un organe d'utilisation tel qu'une antenne de radar.

Le faisceau électronique est caractérisé par son diamètre, son courant I, les vitesses longitudinale, u, et transversale, v, de ses électrons.

L'onde électromagnétique est caractérisée par la fréquence f, le mode de propagation, la vitesse de phase V, qui dépend du mode, de la fréquence et du diamètre du guide. Le nombre d'onde $\beta = 2\pi f/V = \omega/V$ est souvent utilisé de préférence à V.

La figure 2 est un diagramme de Brillouin qui illustre la variation de $\omega a/c$ en fonction de βa (où c est la vitesse de la lumière et où βa et ωa sont variables réduites pour β et ω , c'est-à-dire des variables sans dimensions) pour trois modes différents dont les lignes de champ sont schématisées à droite de la figure 2.

Le comportement du faisceau d'électrons est caractérisé par la fréquence de résonance cyclotronique f_i , ou par $\omega_i = 2\pi f_i$; il est à noter que la fréquence de résonance cyclotronique est d'habitude indiquée f_c mais, pour ne pas confondre avec la vitesse de la lumière, c, l'indice i a été préféré. Cette grandeur i est la vitesse angulaire qui caractérise les orbites des électrons dans le champ magnétique, c'est-à-dire les projections sur un plan perpendiculaire à l'axe des hélices.

Elle est donnée par l'équation :

$$\omega_i = \frac{eB}{m} \gamma$$

où B est la valeur du champ magnétique, e la charge de l'électron, m la masse au repos de l'électron, le facteur relativiste égal numériquement à

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2 + v^2}{c^2}}}$$

où c est la vitesse de la lumière, u la vitesse longitudinale des électrons et v la vitesse transversale des électrons.

La résonance ω' , c'est-à-dire l'amplification des mouvements transversaux des électrons sous l'effet du champ électrique de l'onde, se produit lorsque $\omega/2\pi$ est égal à une fréquence voisine de la fréquence de l'onde vue par les électrons, c'est-à-dire, à cause de leur vitesse longitudinale u :

$$\omega' = \omega - \beta u$$

soit, avec $\omega' = \omega_i$

$$\omega = \beta u + \omega_i$$

Sur le diagramme de la figure 2, les points qui correspondent à cette équation sont sur une droite, D, passant par l'axe vertical à l'ordonnée $\omega_i a/c$ et de pente u/c .

Lorsque cette droite D coupe la courbe caractéristique d'un mode de propagation, il en résulte que le mécanisme de résonance des électrons peut se produire avec l'onde correspondante et il en résulte la possibilité d'oscillations ou d'amplification autour du point d'intersection dans un système tel que celui de la figure 1.

Les modes possèdent différentes propriétés en ce qui concerne l'interaction. La droite D de la figure 2 est tangente en A à la courbe du mode TE₀₁ et permet l'amplification dans une bande de fréquences autour de la fréquence correspondante au point A.

Sur la figure 2 est représenté, en traits interrompus, une droite D' ; cette droite D', qui est tangente en A' à la courbe du mode TE₁₁, permet l'interaction avec la mode TE₁₁ à une fréquence de résonance plus basse dans le même guide ($f_A/f_{A'} \approx 2,08$, rapport des "nombres propres" des modes) où à la même fréquence dans un guide 2,08 fois plus petit.

L'interaction avec le mode TE₀₁ correspond donc à un guide de plus grande section qui permet aussi un courant électronique plus élevé que le mode TE₁₁.

Il est à remarquer que le faisceau électronique correspondant à la droite D peut également interagir avec les modes TE₂₁ et TE₁₁ (points M et N) dans la région négative de βa , qui correspond à des ondes se propageant en sens inverse du faisceau électronique. Ces interactions parasites correspondent à des oscillations analogues à celles des carnotrons ou "backward wave oscillators" bien connus.

Le régime en A' est stable et permet une amplification élevée à une puissance modérée.

Le régime en A permet une puissance élevée mais il est potentiellement instable ; l'amplification des tubes fonctionnant sur ce régime doit donc être limitée.

Comme il va être vu, à l'aide des figures 3 à 8, il est possible d'augmenter la stabilité de gyrotrons fonctionnant sur le mode TE₀₁, ou plus généralement sur un mode TE_{on}.

Pour cela il est proposé, en particulier, d'utiliser des guides dont la paroi interne est creusée d'ensembles répétitifs, périodiques de rainures ou fentes circonférentielles appelées corrugations ; ces corrugations seront principalement utiles dans la zone située entre l'accès du guide 60 et le collecteur 4. Les figures 3 et 4 montrent un tel guide, G,

respectivement en coupe longitudinale et en coupe transversale. Dans un guide de ce type, lorsque la largeur, d , des fentes circonférentielles est sensiblement inférieure à une demi longueur d'onde à la fréquence de fonctionnement, les modes TE_{on}, dont le champ magnétique est parallèle aux fentes comme indiqué par une flèche K sur la figure 4, ne pénètrent pas loin dans la région intérieure aux fentes, car ils sont atténués exponentiellement comme dans un guide d'ondes en-dessous de la fréquence de coupure. Tous les autres modes, qui possèdent une composante radiale et/ou longitudinale de champ électrique, pénètrent dans les corrugations.

En disposant au fond des corrugations une substance absorbante H, il y a donc possibilité d'atténuer très fortement la propagation de tous les modes à l'exception des modes TE_{on} dont la propagation dépend uniquement, en première approximation, du rayon intérieur, r , des corrugations. Mais les corrugations seules peuvent suffire dans certaines applications car elles assurent déjà une forte atténuation des modes indésirés.

Les figures 5 et 6 montrent respectivement en coupe longitudinale et en coupe transversale, un autre guide d'ondes corrugé, 1. Le guide 1 des figures 5 et 6 est dessiné en traits interrompus de manière à mieux faire voir comment une substance absorbante, H, est placée au fond de ses corrugations. A l'aide d'une mortaiseuse quatre entailles longitudinales, à quatre vingt dix degrés l'une de l'autre, ont été effectuées dans la paroi externe du guide G puis quatre plaques allongées, H₁ à H₄, de substance absorbante, H, ont été disposées dans les entailles et chaque entaille a alors été refermée par un capot allongé, C₁ à C₄, de même matière que le reste du guide G et qui est soudé aux bords de l'entaille qu'il recouvre.

La figure 7 est un diagramme de Brillouin d'un guide du type de ceux des figures 3 à 6 pour les courbes en traits pleins et, à titre de rappel, d'un guide du type lisse pour les courbes en trait discontinu ; l'une de ces courbes, celle pour le mode TE₀₁ étant la même pour les deux types de guides a simplement été représentée en traits pleins. Cette figure montre que les courbes de dispersion des modes autres que TE_{on} (en fait ici seulement TE₀₁, mais ce serait la même chose pour n entier supérieur à 1) sont fortement modifiées par les corrugations avec substance absorbante et que ceci permet de repousser en M' la région d'interaction parasite M et de supprimer l'interaction N. Cette modification qui vient en plus de l'atténuation des modes indésirés, c'est-à-dire des modes autres que TE_{on}, est donc également favorable au bon fonctionnement du gyrotron.

La figure 8 est une vue partielle d'un gyrotron à ondes progressives dont la structure tubulaire en guides d'ondes, 1, est du même type que celle, 1', du gyrotron selon la figure 1 mais comporte, en plus, des ensembles répétitifs, périodiques de corrugations avec substance absorbante, comme les guides G selon les figures 3 à 6 ; dans l'exemple décrit la substance est de l'oxyde de magnésium. Sur cette figure ont été représentés : un canon à électrons, 2,

et la structure tubulaire, 1, depuis une partie rétrécie, 10, qui fait suite au canon 2, jusqu'à environ le milieu d'un guide d'ondes à peu près cylindrique, 11 ; le guide 11, comme dans le cas de la figure 1, est prolongé par un cornet suivi d'un collecteur fermée par une fenêtre, ces trois derniers éléments n'ont pas été représentés sur la figure 8. La figure 8 montre également une partie d'un guide d'ondes 60 destiné, comme le guide 60 de la figure 1, à acheminer l'onde à amplifier par le faisceau électronique.

Il est à noter que, dans le gyrotron partiellement représenté sur la figure 8, les corrugations de la structure tubulaire 1 vont pratiquement du canon à électrons 2 jusqu'aux trois quarts de la longueur du guide, avec une interruption au niveau de la portion de la partie rétrécie 10 où débouche le guide 60. Une telle répartition des corrugations s'est avérée largement suffisante pour atteindre les performances qui étaient recherchées. Il est entendu que, dans d'autres applications, en fonction des performances recherchées, les corrugations devront être présentes sur une plus grande portion de la structure tubulaire ou pourront n'être présentes que sur une plus petite portion de cette structure tubulaire.

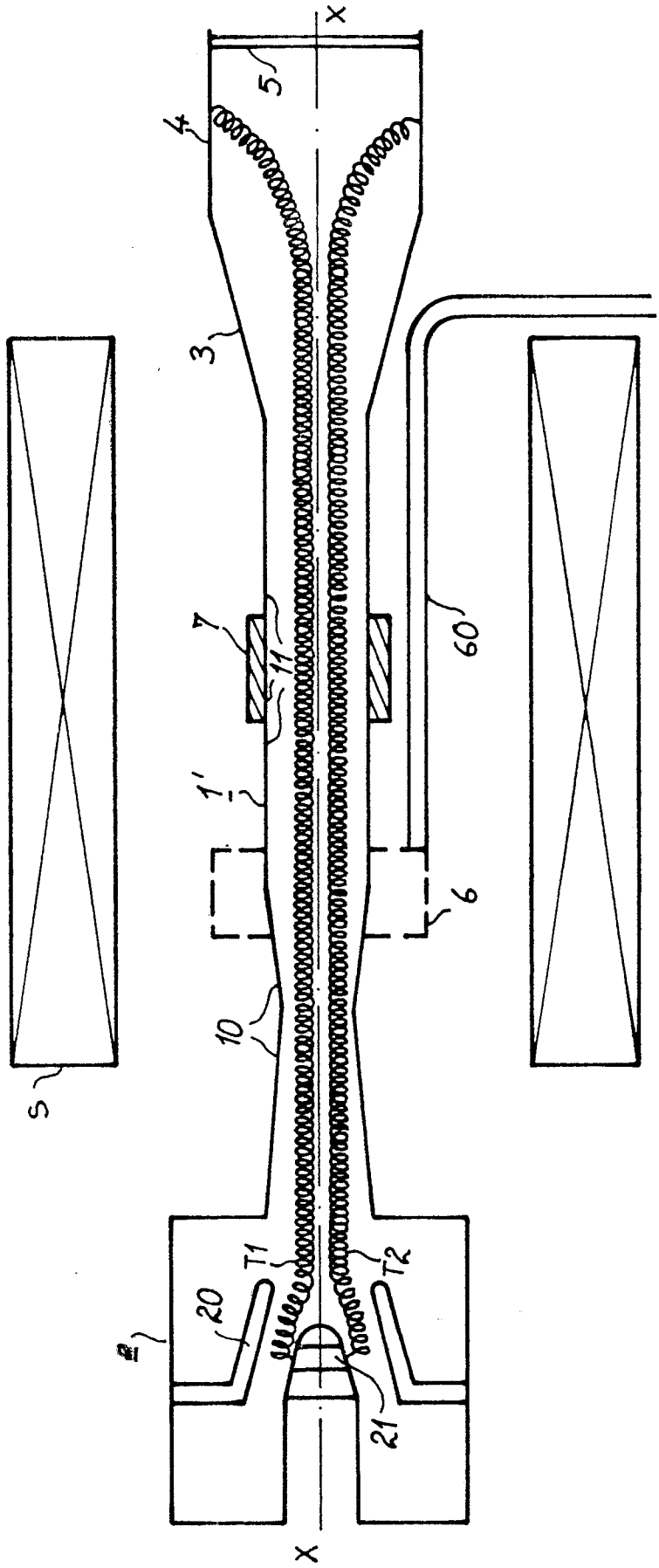
Il est à remarquer, sur la figure 8, que les corrugations de l'ensemble situé entre le canon 2 l'accès du guide 60 sont plus grandes que celles de l'ensemble situé de l'autre côté de cet accès ; c'est que les corrugations doivent être suffisamment petites dans le guide 11 pour éviter que le mode TE01 puisse y pénétrer et être atténué ; par contre, entre le canon et l'accès du guide 60, là où, dans la structure 1, l'onde acheminée par le guide 60 n'a pas lieu de se propager, le mode TE01 peut lui aussi être atténué.

Revendications

1. Gyrotron à ondes progressives fonctionnant en mode TE01 et comportant un canon à électrons (2), un collecteur (4), un guide d'ondes (1) ayant une première et une seconde extrémité couplées respectivement au canon et au collecteur et un accès situé entre les deux extrémités du guide d'ondes et destiné à introduire une onde à amplifier dans le guide d'ondes, caractérisé en ce que, entre l'accès et la seconde extrémité, le guide comporte un ensemble répétitif, périodique de corrugations transversales dont les dimensions sont telles qu'elles laissent passer le mode TE01 et modifient la propagation des modes indésirés (Fig.7) de manière à éviter leur action sur le faisceau électronique du gyrotron.

2. Gyrotron selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une substance absorbante (H ; H1-H4) est placée dans les corrugations.

FIG. 1



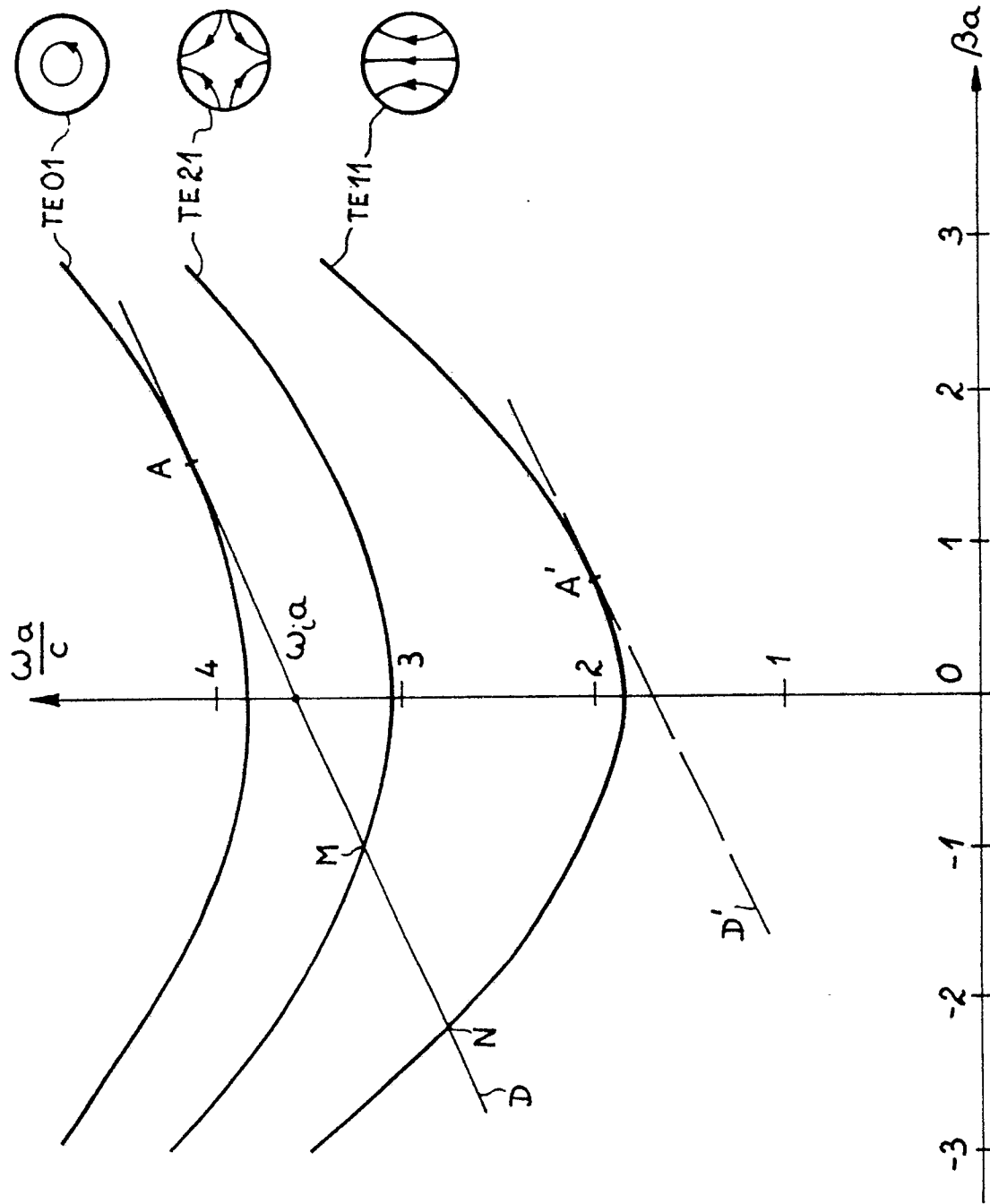
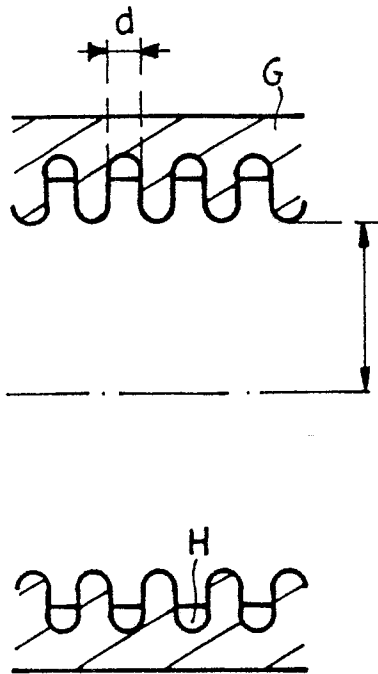
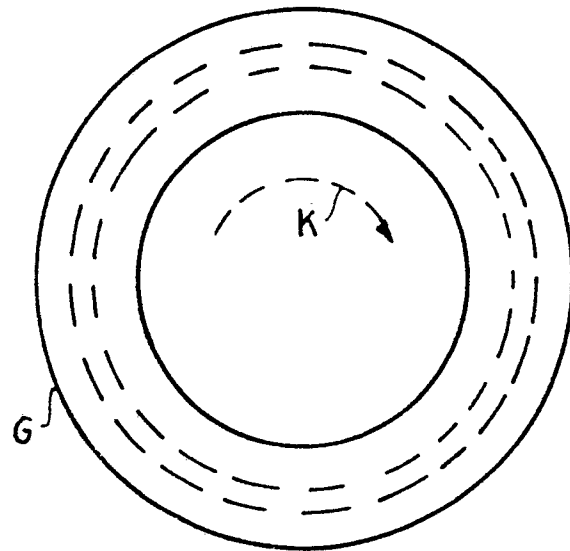


FIG. 2

FIG_3



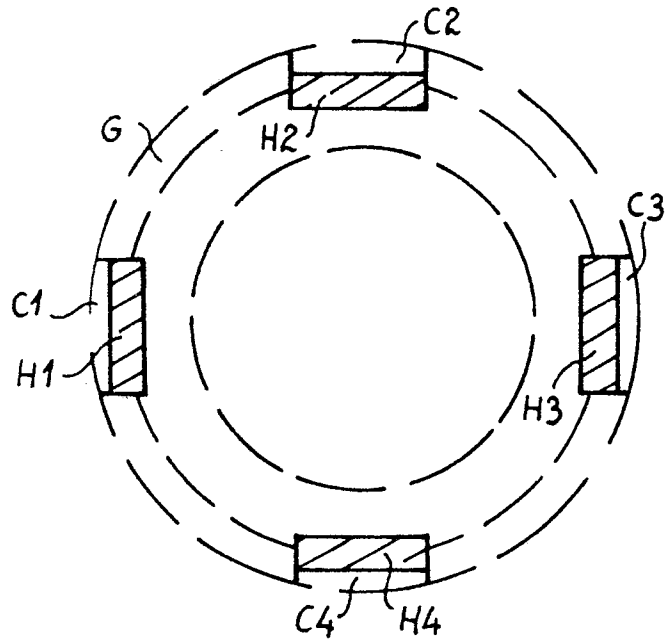
FIG_4



FIG_5



FIG_6



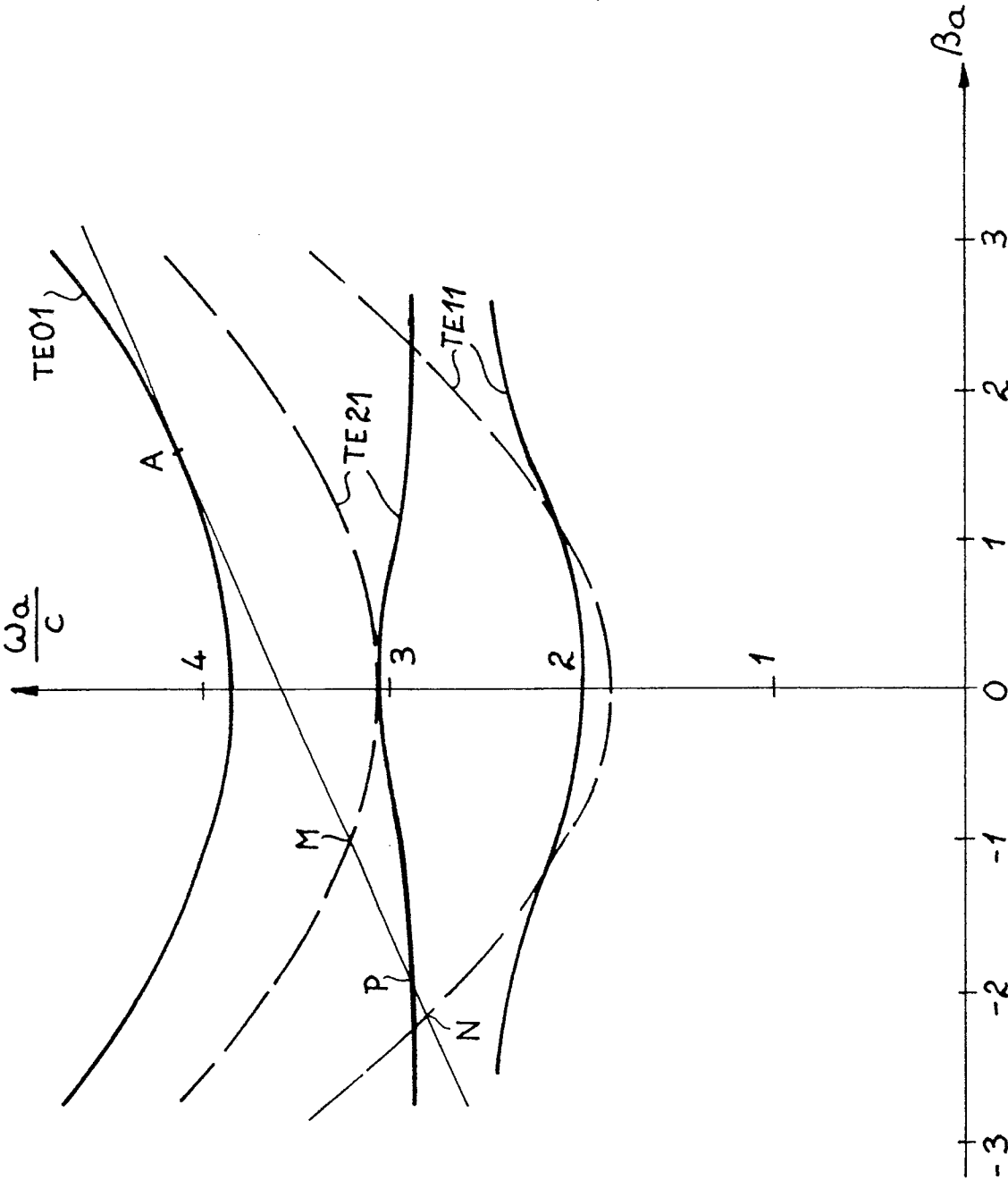
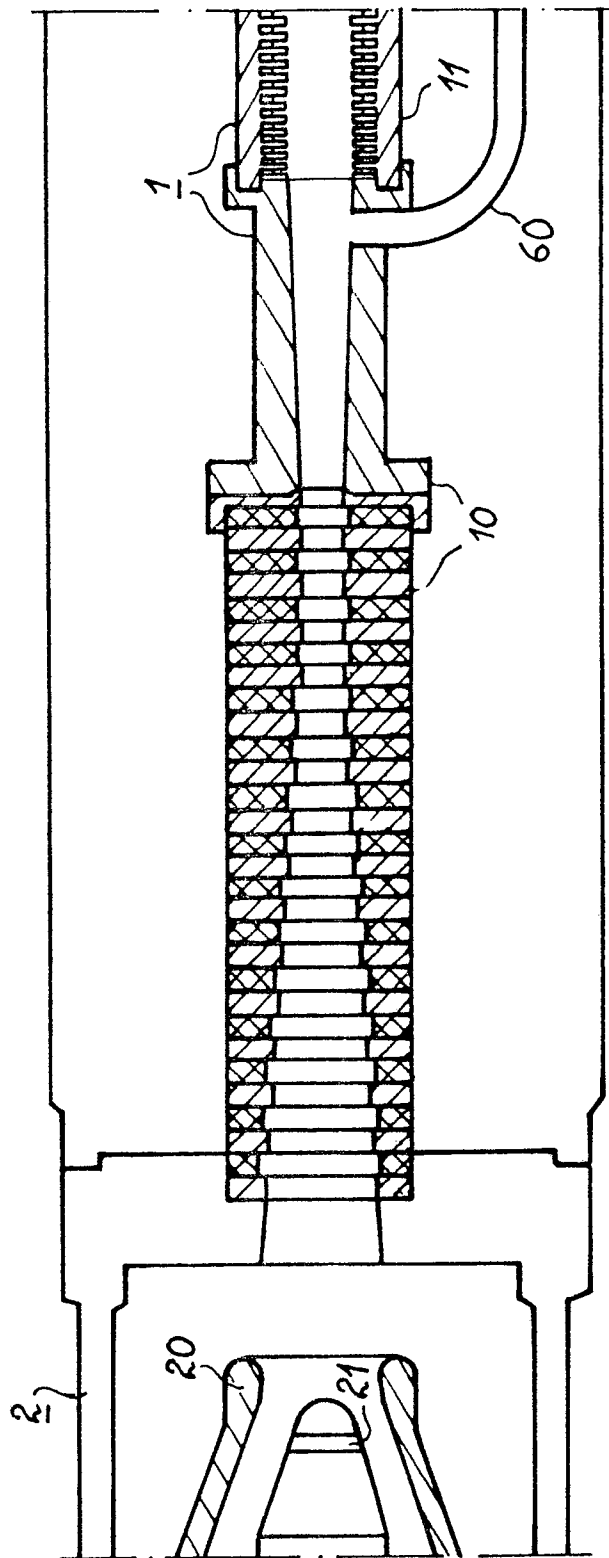


FIG. 7

FIG_8





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)
X	US-A-4 494 039 (K.J. KIM) * En entier * ---	1,2	H 01 J 25/02
X	GB-A-2 092 832 (VARIAN) * Page 2, lignes 102-104 * ---	1,2	
A	INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING, Washington, DC, 7-9 décembre 1981, pages 182-185, IEEE, New York, US; H.R. JORY: "Gyro-device developments and applications" * Page 183, colonne de droite, alinéa 2; figure 1 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			H 01 J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24-10-1988	Examineur LAUGEL R.M.L.
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	