

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Numéro de publication:

0 122 186
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21)

Numéro de dépôt: 84400613.0

(51)

Int. Cl.³: H 01 J 25/44

(22)

Date de dépôt: 27.03.84

(30)

Priorité: 06.04.83 FR 8305602

(71)

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

(43)

Date de publication de la demande: 17.10.84
Bulletin 84/42

(72)

Inventeur: Mourier, Georges, THOMSON-CSF
SCPI 173, bld Haussmann, F-75379 Paris Cedex 08 (FR)

(84)

Etats contractants désignés: CH DE GB LI

(74)

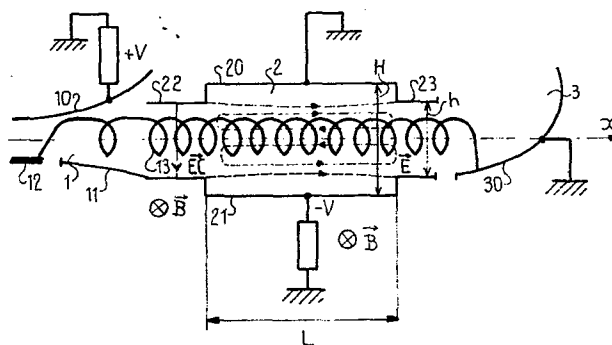
Mandataire: Ruellan, Brigitte et al, THOMSON-CSF
SCPI 173, boulevard Haussmann, F-75379 Paris
Cedex 08 (FR)

(54)

Générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences.

(57) Le générateur conforme à la présente invention est basé sur une interaction de type cyclotronique entre un faisceau d'électrons se propageant entre un canon à électrons (1) et un collecteur (3) et un champ électromagnétique haute fréquence dans une structure résonnante (2). Il est caractérisé principalement en ce que le faisceau d'électrons (3) se déplace selon une trajectoire cycloïdale dans un champ magnétique ($\vec{B}$) transversal sous l'effet d'une vitesse de dérive créée par un champ électrique continu ($\vec{E}_c$).

Les applications de ce générateur sont identiques à celles du gyrotron.



EP 0 122 186 A1

GENERATEUR D'ONDES RADIOELECTRIQUES POUR HYPERFREQUENCES

La présente invention concerne un générateur d'ondes radio-électriques pour hyperfréquences, plus particulièrement un générateur d'ondes millimétriques et infra-millimétriques du type maser à résonnance cyclotronique.

5 Comme générateurs de ce type, on connaît en particulier les générateurs appelés gyrotrons. Dans ces générateurs, un faisceau d'électrons provenant d'un canon à électrons se propage selon des trajets hélicoïdaux en étant guidé par un champ magnétique uni-
forme dirigé suivant l'axe de l'hélice. Le faisceau traverse alors une
10 cavité électromagnétique résonnant à une fréquence f_0 voisine d'un multiple de la fréquence cyclotronique, cavité dans laquelle les composantes de vitesse transversales des électrons interagissent avec une composante de champ électrique transversale de l'onde pour lui céder leur énergie. Dans ce cas, le faisceau se propage
15 essentiellement parallèlement au champ magnétique. Or l'interaction ayant lieu avec la composante de vitesse transversale $v_{\perp}$ des électrons, la composante de vitesse parallèle $v_{\parallel}$ correspond donc à une énergie inutilisée dans l'interaction. On cherche donc, en général, à limiter la valeur de cette vitesse parallèle. Toutefois,
20 dans les générateurs du type ci-dessus, il n'est pas possible de fonctionner avec des valeurs de $v_{\parallel}$ faibles, car dans ce cas on obtient un faisceau d'électrons instable. En conséquence, les valeurs de $v_{\perp} / v_{\parallel}$ doivent être choisies de telle sorte que

$$0,5 < \frac{v_{\perp}}{v_{\parallel}} < 2.$$

25

La présente invention a donc pour but de remédier à cet inconvénient en présentant un nouveau générateur du type maser à résonnance cyclotronique dans lequel la composante de vitesse parallèle des électrons peut être égale à zéro ou sensiblement égale à zéro.

La présente invention a en conséquence pour objet un générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences basé sur une interaction de type cyclotronique entre un faisceau d'électrons se propageant entre un canon à électrons et un collecteur et un champ électromagnétique haute fréquence dans une structure résonnante caractérisé en ce que le faisceau d'électrons se déplace selon une trajectoire cycloïdale dans un champ magnétique transversal sous l'effet d'une vitesse de dérive créée par un champ électrique continu.

La présente invention concerne aussi de nouvelles structures résonnantes et de nouveaux collecteurs pour ce type de générateurs.

Ainsi selon un mode de réalisation préférentiel, la structure résonnante est constituée par deux électrodes se faisant face entre lesquelles passent transversalement le faisceau d'électrons, les deux électrodes étant portées à des potentiels continus différents et étant, au moins dans leur partie centrale, espacées d'une distance H , légèrement supérieure à $n \frac{\lambda}{2}$, n étant un entier et λ la longueur d'onde correspondant à la fréquence de résonance.

De même, le collecteur est constitué par un réflecteur courbe porté au potentiel de l'électrode supérieure de la structure résonnante et positionné dans le prolongement de l'électrode inférieure.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description de divers modes de réalisation faite ci-après avec référence aux dessins ci-annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe schématique de l'ensemble canon électronique-cavité résonnante-collecteur d'un générateur conforme à la présente invention ;
- la figure 2 est une vue en perspective de l'ensemble du générateur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue en coupe schématique des dispositifs d'entrée et de sortie de l'onde à amplifier lorsque le générateur de la figure 1 est utilisé en amplificateur ;
- la figure 4 est une vue schématique de dessus d'une variante

de réalisation de l'amplificateur.

Sur les figures, les mêmes éléments portent les mêmes références mais pour des raisons de clarté les cotes et proportions ne sont pas respectées.

5 Le mode de réalisation du générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences représenté à la figure 1 est constitué essentiellement d'un canon à électrons 1 fournissant un faisceau d'élec-
trons se déplaçant sous l'effet d'un champ électrostatique continu $\overline{E}_c$, perpendiculairement à un champ magnétique constant $\overline{B}$, suivant
10 la direction x, selon une trajectoire cycloïdale, d'une structure 2 résonnant à une fréquence f_0 égale à un multiple de la fréquence cyclotronique et d'un ensemble collecteur 3 pour recevoir et évacuer les électrons en sortie de la structure résonnante.

Le canon à électrons 1 est un canon à électrons du type de
15 celui décrit dans la demande de brevet au nom de la demanderesse déposée le même jour que la présente demande et ayant pour titre "canon à électrons pour générateurs d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences". Il comporte essentiellement deux électrodes se
faisant face dont l'une, à savoir l'anode 10 est portée à un potentiel positif tandis que l'autre, à savoir la sole 11 est portée à un
20 potentiel négatif ou nul et une cathode 12 portée au potentiel de la sole et située dans son plan. L'anode 10 et la sole 11 présentent un profil incurvé divergent, de la gauche vers la droite sur la figure 1, de telle sorte que le champ électrique continu $\overline{E}_c$ créé entre les
25 deux électrodes 10, 11 diminue dans cette direction. Lorsque l'ensemble est placé dans un champ magnétique constant $\overline{B}$ dirigé perpendiculairement au plan de la figure, les électrons issus de la cathode se déplacent selon la direction x perpendiculaire au champ magnétique sous l'effet de la vitesse de dérive due au champ
électrique continu régnant entre les deux électrodes 10, 11 selon une
30 trajectoire cycloïdale due à la diminution de la vitesse de dérive résultant de la diminution du champ électrique continu $\overline{E}_c$.

Le faisceau d'électrons 13 animé d'un mouvement cycloïdal suivant la direction x est alors envoyé dans une structure résonnante

2. Cette structure 2 est constituée par deux électrodes 20, 21 se faisant face, portées à des potentiels continus différents assurant entre les électrodes l'existence d'un champ électrique continu $\vec{E}_c$. Cette structure contient une énergie électromagnétique haute fréquence correspondant à une oscillation à une fréquence f_0 voisine d'un multiple de la fréquence cyclotronique f_c . Pour que les ondes de fréquences f_0 puissent osciller dans la structure résonnante, la distance H entre les deux électrodes 20, 21 est choisie de manière à être au moins dans la partie centrale des plaques, légèrement supérieure à un nombre entier de demi-longueur d'ondes. De plus, la longueur L des électrodes est choisie pour être égale à quelques longueurs d'onde, leur dimension suivant le champ magnétique $\vec{B}$ dépendant de la dimension correspondante de l'anode qui peut être grande par rapport aux autres dimensions.

D'autre part, l'injection et l'évacuation du faisceau d'électrons dans et hors de la structure résonnante 2 sont réalisées à l'aide d'éléments du type tube de glissement 22, 23 présentant une hauteur h telle que :

$$(n-1) \frac{\lambda}{2} < h < n \frac{\lambda}{2} \text{ avec } \lambda = c/f_0$$

de manière à éviter toute résonance indésirable.

Ainsi, le faisceau d'électrons est évacué hors de la structure résonnante à travers le tube 23 vers la partie collecteur 3. Cette partie collecteur 3 se compose d'un réflecteur incurvé 30 qui prolonge l'électrode inférieure 21 de la structure résonnante et qui est porté au potentiel de l'électrode supérieure 20 de ladite structure. Ce réflecteur 30 collecte l'énergie électromagnétique et la rayonne selon une direction sensiblement verticale dans la figure 1, vers une fenêtre transparente étanche au vide qui n'a pas été représentée sur cette figure.

En ce qui concerne le fonctionnement de ce type de générateur, on peut dire que le comportement des électrons y est à peu près identique à celui observé dans les gyrotrons. En effet, dans le système de référence se déplaçant à la vitesse de dérive, le champ électrique continu est supprimé par le champ magnétique continu et

le champ électrique haute fréquence n'est pas modifié car il est longitudinal à la vitesse de déplacement. Ainsi, en utilisant la transformation de Lorentz et en désignant par prime les grandeurs mesurées dans le système de référence, on obtient.

$$\begin{aligned} \bar{E}'_x &= \bar{E}_x \text{ (champ haute fréquence)} \\ \bar{E}'_y &= \gamma \left[\bar{E}_y - \bar{v}_x \bar{B}_z \right] \text{ (champs continus)} \\ \text{car } v_x &= v_D \\ \text{avec } \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - v_D^2 / c^2}} \end{aligned}$$

Cependant, il existe une transformation des champs magnétiques

$$\bar{B}'_z = \gamma \left[\bar{B}_z - \frac{\bar{v}_D}{c^2} \bar{E}_y \right] = \gamma \bar{B}_z \left(1 - \frac{\bar{v}_D^2}{c^2} \right) = \bar{B}_z \sqrt{1 - \frac{\bar{v}_D^2}{c^2}}$$

Cette transformation entrainera donc une correction de la valeur du champ magnétique nécessaire à l'interaction optimale. Toutefois, la valeur de cette correction reste très faible.

D'autre part, comme représenté sur la figure 2, le champ magnétique $\bar{B}$ est obtenu à l'aide de deux bobines supraconductrices B_1 et B_2 disposées suivant la règle de Helmholtz et situées à l'intérieur de deux tambours T_1 et T_2 remplis d'hélium liquide. Les deux tambours T_1 et T_2 sont reliés par un tube creux C_1 qui contient aussi les connexions électriques entre les deux bobines. L'ensemble est alimenté en hélium liquide et en courant électrique par un tube C_2 .

L'ensemble canon à électrons-structure résonnante-collecteur décrit ci-dessus avec référence à la figure 1 sont contenus dans une enceinte métallique E. Cette enceinte comporte, dans le mode de réalisation représenté, quatre sorties isolées E_1, E_2, E_3, E_4 reliées respectivement à la cathode, à son filament chauffant, à l'anode et éventuellement à la sole ou à la partie négative de la structure résonnante. Sur la partie supérieure de l'enceinte est placée la fenêtre transparente F, de préférence circulaire, permettant la sortie du rayonnement.

L'enceinte E est placée entre les deux tambours T_1 et T_2 de telle sorte que le faisceau d'électrons se propage parallèlement aux tambours, à savoir selon la direction x.

On décrira maintenant avec référence aux figures 3 et 4, les modifications à apporter au mode de réalisation décrit ci-dessus pour l'utiliser comme amplificateur. La figure 3 représente schématiquement une coupe parallèle au plan zoy dans la partie médiane de la structure résonnante 2, illustrant un mode de réalisation particulier des circuits d'entrée et de sortie du signal à traiter. Comme dans le mode de réalisation de la figure 1, le faisceau d'électrons se propage dans la direction x avec une vitesse de dérive V_D et des orbites d'axe z entre les deux électrodes 20, 21 qui contiennent l'énergie électromagnétique.

Dans le mode de réalisation de la figure 3 l'électrode 21 est mobile, ce qui permet le réglage de la hauteur H en fonction de la fréquence d'oscillation f_0 de telle sorte que

$$H \gtrsim n \frac{\lambda}{2} \text{ avec } \lambda = c/f_0$$

Toutefois, dans le mode de réalisation de la figure 3, l'énergie électromagnétique est transportée dans la direction z sous forme d'une onde progressive excitée dans le mode voulu par une source haute fréquence extérieure. Cette onde passe à travers la fenêtre d'entrée 26 puis est adaptée à l'impédance de la cavité résonnante formée par les deux électrodes 20, 21 par l'intermédiaire d'un cornet 24. L'onde amplifiée est alors envoyée dans un guide non représenté aboutissant par exemple à une antenne, par l'intermédiaire d'un cornet 25 et d'une fenêtre 27. Dans ce cas, le collecteur 3 est constitué par un réflecteur reformé sur la partie supérieure de la structure résonnante.

L'amplificateur décrit ci-dessus présente l'inconvénient d'être réciproque par rapport à l'entrée et à la sortie, c'est-à-dire qu'il est électriquement symétrique par rapport au sens de propagation et amplifie également les signaux réfléchis vers l'entrée du tube du fait d'une adaptation toujours imparfaite dans le guide de sortie.

La figure 4 représente un mode de réalisation permettant de

remédier à cet inconvénient.

Dans ce mode de réalisation, les électrodes 20 et 21 sont décalées d'un angle α par rapport à la direction x de telle sorte que les électrons accélérés par le canon dans la direction x' ont aussi une
 5 composante de dérive dans la direction z égale à $v_D \sin \alpha$. Le champ électromagnétique restant uniforme dans la direction x mais variant en phase suivant une expression du type $\cos(\omega t - kz + \phi)$, la condition de résonnance n'est plus donnée par

$$f_0 \simeq 1 f_c$$

10 mais par

$$f_0 - \frac{k V_d}{2\pi} \simeq 1 f_c$$

(l étant l'ordre de l'harmonique de la fréquence cyclotronique qui interagit).

15 Il résulte de cette dernière équation que la résonnance dépend du signe de k , c'est-à-dire du sens de propagation et que ladite équation, qui doit être remplie pour qu'il y ait amplification, favorisera un des sens de propagation.

Dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, les électrodes
 20 sont réalisées de préférence en cuivre et les fenêtres en un matériau diélectrique.

Les générateurs conformes à la présente invention fonctionnant comme un gyrotron, ont donc les mêmes applications que les générateurs de l'art antérieur pour ondes millimétriques. Ils
 25 peuvent être utilisés en particulier pour le chauffage dans les installations de plasma, l'émission radar, les télécommunications, etc.

REVENDICATIONS

1. Un générateur d'ondes radioélectriques pour hyper-
fréquences basé sur une interaction de type cyclotronique entre un
faisceau d'électrons se propageant entre un canon à électrons (1) et
un collecteur (3) et un champ électromagnétique haute fréquence
dans une structure résonnante (2) dans lequel le faisceau d'électrons
5 (13) se déplace selon une trajectoire cycloïdale dans un champ
magnétique (B) transversal sous l'effet d'une vitesse de dérive créée
par un champ électrique continu (E_c), caractérisé en ce que la
structure résonnante (2) est constituée par deux électrodes (20, 21)
se faisant face entre lesquelles passe transversalement le faisceau
10 d'électrons, les deux électrodes étant portées à des potentiels
continus différents et étant, au moins dans leur partie centrale,
espacées d'une distance H légèrement supérieure à $n \frac{\lambda}{2}$, n étant un
entier et λ la longueur d'onde correspondant à la fréquence de
résonnance.

15 2. Un générateur selon la revendication 1 caractérisé en ce
que les dispositifs d'entrée et de sortie du faisceau d'électrons dans
la structure résonnante (2) sont constitués par des électrodes (22,
23) prolongeant de chaque côté les électrodes (20, 21) et espacées
d'une hauteur h telle que

$$20 \quad (n-1) \frac{\lambda}{2} < h < n \frac{\lambda}{2}$$

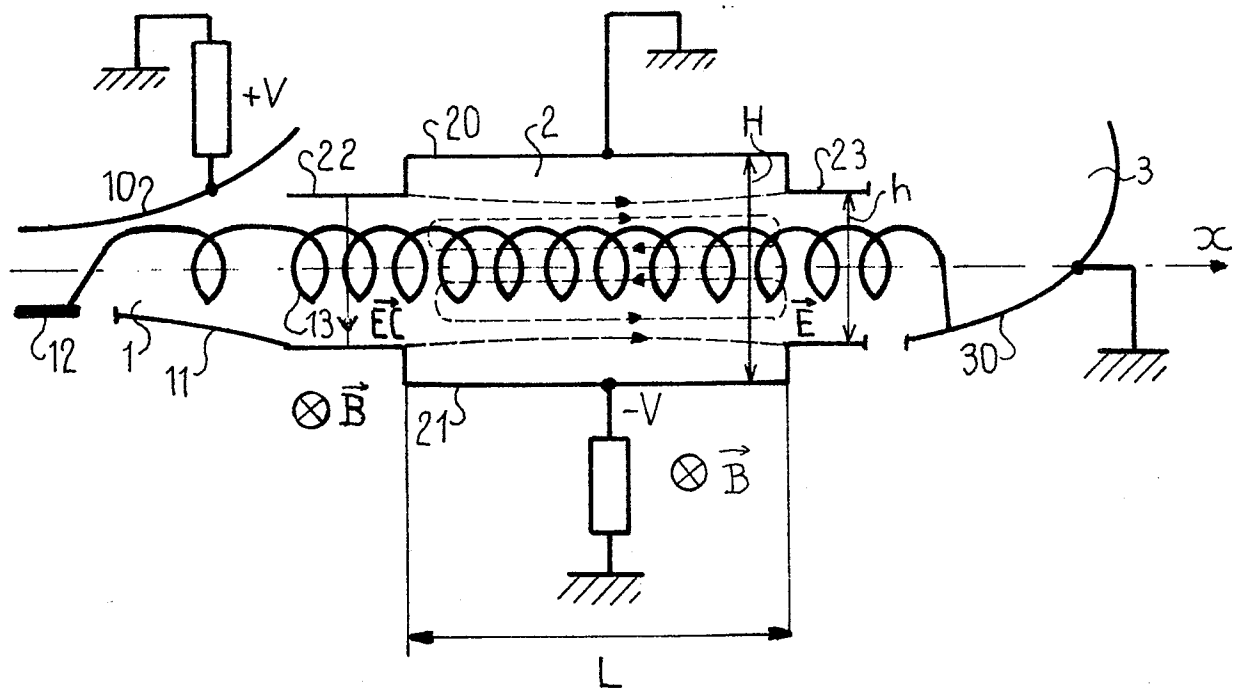
3. Un générateur selon l'une quelconque des revendications 1
et 2 caractérisé en ce que le collecteur (3) est constitué par un
réflecteur courbe porté au potentiel de l'électrode supérieure (20) de
la structure résonnante et positionné dans le prolongement de
25 l'électrode inférieure (21) de ladite structure.

4. Un générateur selon l'une quelconque des revendications 1 à
2 caractérisé en ce que, lorsqu'il est utilisé en amplificateur, l'onde
électromagnétique haute fréquence est injectée parallèlement au
champ magnétique $\vec{B}$.

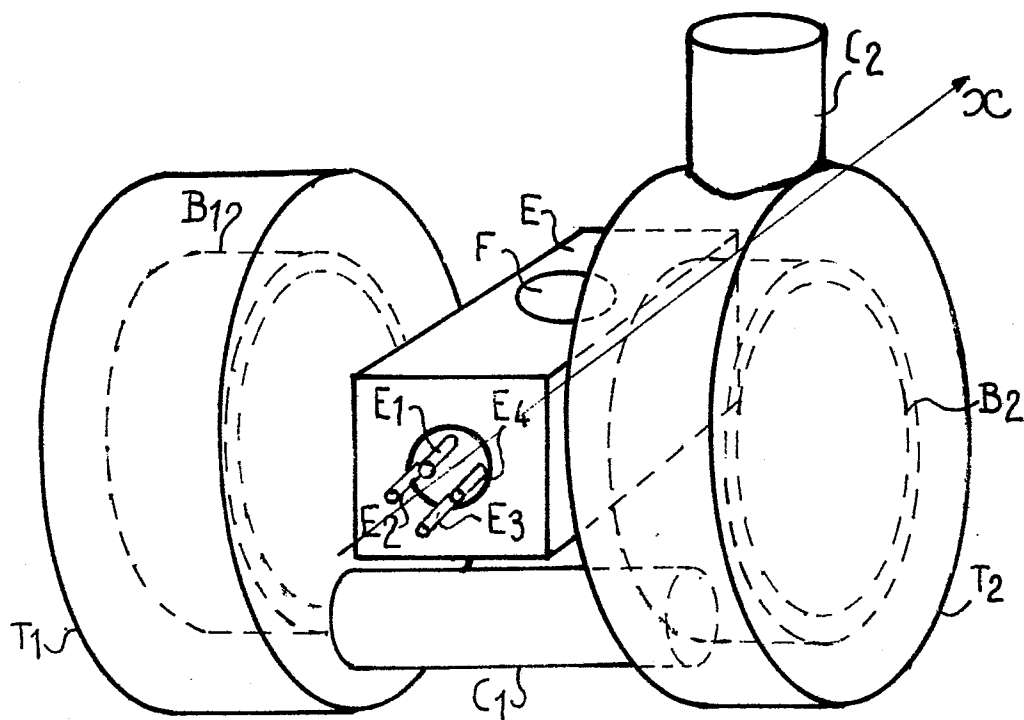
30 5. Un générateur selon la revendication 4 caractérisé en ce

que la direction de propagation du faisceau d'électrons dans un plan parallèle aux électrodes de la structure résonnante est décalée d'un angle α par rapport à la perpendiculaire au champ magnétique B .

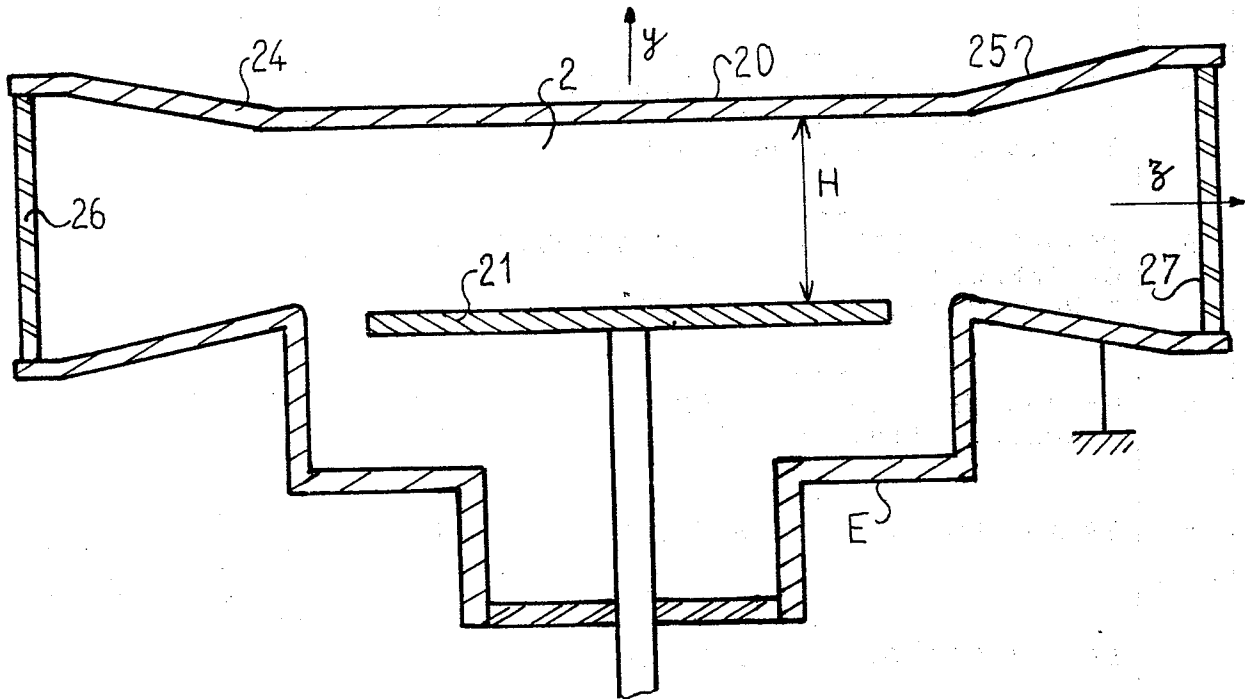
1/2
FIG_1



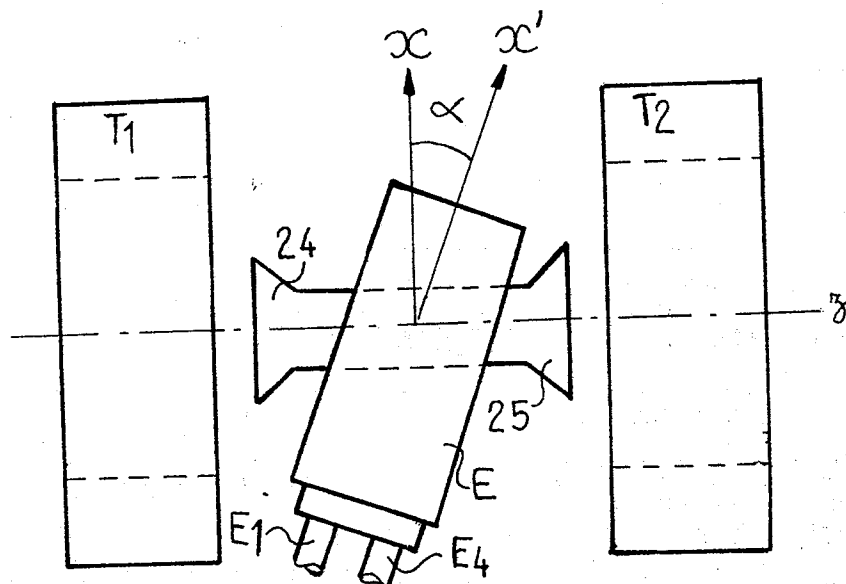
FIG_2



FIG_3



FIG_4





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0122186

Numéro de la demande

EP 84 40 0613

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. 3)
A	US-A-3 378 718 (J.M. OSEPCHUK) * En entier *	1	H 01 J 25/44

A	US-A-3 249 792 (R.H. PANTELL) * Colonne 3, ligne 38 - colonne 5, ligne 8; figures 3,4,5 *	1	

A	FR-A-2 441 917 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY) * Revendications et la figure *	3	

A	GB-A-2 025 126 (VARIAN) * Abrégé; figures 1,2 *	3	

A	FR-A- 987 573 (C.S.F.)		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)

A	FR-A-1 050 701 (PATELHOLD)		H 01 J

Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20-06-1984	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	