

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 6 avril 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 41 du 12 octobre 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF, société  
anonyme. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Georges Mourier.

⑦3 Titulaire(s) :

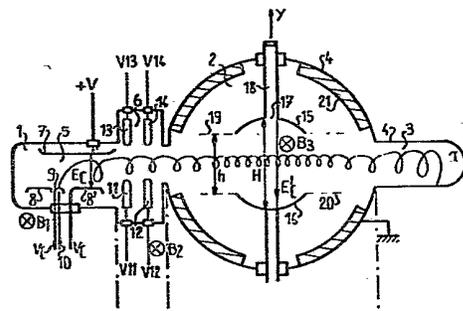
⑦4 Mandataire(s) : Philippe Guilguet.

⑤4 Dispositif d'injection d'un faisceau d'électrons pour générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences.

⑤7 La présente invention concerne un dispositif d'injection  
d'un faisceau d'électrons se propageant suivant un axe  $x$  selon  
une trajectoire cycloïdale sous l'action d'un champ électrique  
continu et d'un champ magnétique statique  $B$  perpendiculaire à  
l'axe de propagation et au champ électrique.

Le dispositif d'injection comporte un canon à électrons 5  
placé dans un champ magnétique faible  $B_1$  et des moyens 6,  
placés dans un champ magnétique  $B_2$  croissant progressivement  
selon l'axe  $x$ , pour créer dans cette zone un champ  
électrique continu présentant deux composantes dans le plan  
perpendiculaire au champ magnétique.

Le dispositif d'injection est utilisé dans certains types de  
masers à résonance cyclotronique.



DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FAISCEAU D'ELECTRONS  
POUR GENERATEUR D'ONDES RADIOELECTRIQUES POUR  
HYPERFREQUENCES

La présente invention concerne un dispositif d'injection d'un faisceau d'électrons pour générateurs d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences. Elle concerne plus particulièrement un dispositif d'injection d'un faisceau d'électrons se propageant suivant un axe selon une trajectoire cycloïdale sous l'action d'un champ électrique continu et soumis à un champ magnétique statique perpendiculaire à l'axe et au champ électrique.

Ce type de dispositif d'injection peut être utilisé, en particulier, dans les nouveaux masers à résonance cyclotronique proposés par la demanderesse dans la nouvelle demande de brevet déposée le même jour que la présente et ayant pour titre "générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences". Dans ces générateurs basés 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, générateurs dans lesquels 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, le dispositif d'injection est constitué uniquement par un canon à électrons soumis à un champ magnétique élevé, identique à celui régnant dans la structure résonnante.

Le canon à électrons utilisé dans ce générateur est constitué par deux électrodes se faisant face dont l'une, l'anode, est portée à un potentiel positif et dont l'autre, la sole, est portée à un potentiel négatif ou nul et par une cathode positionnée dans le plan de la sole et portée au même potentiel que celle-ci, au moins une des électrodes présentant un profil divergent tel que la distance entre électrodes soit croissante de la cathode vers l'extérieur. Or avec ce type de canon à électrons, pour obtenir un faisceau d'électrons se

propageant selon une trajectoire cycloïdale avec un rayon de rotation  $r_L$  sensiblement constant, la tension à appliquer sur l'anode doit être sensiblement plus élevée que la tension d'alimentation donnant l'énergie du faisceau d'électrons.

5 La présente invention a pour but de remédier à cet inconvénient en proposant un nouveau type de dispositif d'injection.

Elle permet en outre d'utiliser dans le canon un champ magnétique plus petit que dans la structure résonnante.

10 Le dispositif d'injection conforme à la présente invention est un dispositif d'injection d'un faisceau d'électrons suivant une trajectoire cycloïdale pour générateurs d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences utilisant un faisceau d'électrons se propageant suivant un axe sous l'action d'un champ électrique continu et soumis à un champ magnétique statique perpendiculaire à l'axe de propagation et au champ électrique, ainsi qu'au champ électromagnétique  
15 d'au moins une structure résonnante disposée le long de l'axe. Ce dispositif est caractérisé en ce qu'il comporte un canon à électrons placé dans un champ magnétique faible et des moyens placés dans un champ magnétique croissant progressivement pour créer entre le  
20 canon à électrons et la structure résonnante placée dans un champ magnétique fort, un champ électrique continu présentant deux composantes dans un plan perpendiculaire au champ magnétique.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description de deux modes de  
25 réalisation de générateurs d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences munis d'un dispositif d'injection conforme à la présente invention.

Cette description est faite avec référence aux dessins ci-annexés dans lesquels :

30 - la figure 1a est une vue en coupe schématique, dans un plan perpendiculaire au champ magnétique, d'un générateur d'ondes radioélectriques pour hyperfréquences comportant un dispositif d'injection conforme à la présente invention et la figure 1b est une courbe représentant la variation du champ magnétique appliqué,

selon l'axe de propagation ;

- la figure 2a est une vue semblable à celle de figure 1a d'un autre mode de réalisation du générateur et la figure 2b est une courbe semblable à celle de figure 1b.

5 Dans les dessins, les mêmes éléments portent les mêmes références.

Le générateur représenté à la figure 1a comporte essentiellement trois parties, à savoir un dispositif d'injection 1, une structure résonnante 2 et un collecteur 3, l'ensemble étant placé à l'intérieur d'une enceinte à vide 4 portée à un potentiel nul. Conformément à la présente invention, le dispositif d'injection 1 est constitué par un canon à électrons 5 produisant un faisceau d'électrons suivant la direction x suivi de moyens 6 pour créer un champ électrique E sans composante dans la direction z mais présentant deux composantes  $E_x$  et  $E_y$  dans le plan de la figure. Le dispositif d'injection 1 est placé dans un champ magnétique statique perpendiculaire au plan de la figure, c'est-à-dire de direction z. Le champ magnétique appliqué dans la présente invention est tel que le canon à électrons 5 soit soumis à un champ magnétique  $B_1$  de faible valeur et les moyens 6 à un champ magnétique  $B_2$  croissant progressivement de la valeur  $B_1$  jusqu'à une valeur  $B_3$  représentant le champ magnétique régnant au niveau de la structure résonnante 2, comme représenté respectivement par les parties I, II, III sur la figure 1b. De manière plus précise, le canon à électrons 5 est constitué par deux électrodes planes 7, 8 se faisant face dont l'une 7 appelée anode est portée à un potentiel positif V et l'autre appelée sole est formée de deux parties 8, 8' et est portée à un potentiel négatif  $V_c$  et d'une cathode 9 chauffée par un filament 10 et portée au même potentiel  $V_c$  que la sole 8. Ce type de canon à électrons fournit de manière connue un faisceau d'électrons suivant, selon la direction x, une trajectoire cycloïdale. Dans le mode de réalisation représenté, les moyens 6 sont réalisés par quatre électrodes 11, 12, 13, 14 portées à des potentiels continus tels que, par exemple,

$$V_c < V_{11} < V_{12} < V_{13} < V_{14} < 0$$

Dans cette partie, comme expliqué de manière plus détaillée ci-après, les électrons se trouvant dans un champ électrique présentant deux composantes  $E_x$  et  $E_y$  et étant soumis à un champ magnétique statique uniformément croissant de direction  $z$ , sont amenés à suivre une trajectoire cycloïdale dont le rayon de rotation diminue progressivement comme représenté sur la figure 1a.

Le faisceau d'électrons est alors injecté dans la structure résonnante 2 dans laquelle il interagit avec un champ électromagnétique haute fréquence. Au niveau de la structure résonnante 2, l'enceinte 4 présente la forme d'un cylindre d'axe  $z$  à l'intérieur duquel le champ magnétique statique  $B_z$  est à peu près uniforme. La structure résonnante 2 est constituée, de manière connue, par deux miroirs sphériques 15, 16 se faisant face et positionnés de telle sorte que la distance  $H$  vérifie la relation

$$H \simeq n \frac{\lambda}{2}$$

avec  $n$  un entier et  $\lambda$  la longueur d'onde de fonctionnement.

Dans ce cas, les deux miroirs 15, 16 constituent un résonateur "quasi-optique". L'un des miroirs, à savoir le miroir 15, est pourvu d'un orifice 17 relié à un guide d'onde 18. Ce guide d'onde 18 est utilisé pour envoyer vers l'extérieur, l'énergie électromagnétique cédée par le faisceau d'électrons au faisceau électromagnétique qui se présente comme une onde stationnaire dans la direction  $y$  avec un champ électrique haute fréquence polarisé dans la direction  $x$ . Pour assurer la propagation du faisceau d'électrons suivant la direction  $x$  dans la partie cylindrique de l'enveloppe 4, les deux miroirs 15, 16 sont précédés et suivis par des grilles 19, 20 non réfléchissantes à la fréquence de fonctionnement du résonateur et écartées d'une distance  $h$  telle que

$$h < H$$

D'autre part, les deux miroirs 15 et 16 sont portés respectivement à la masse et à un potentiel négatif de manière à créer entre eux un champ électrique continu  $E_c$  de direction  $y$  qui assure la dérive du faisceau d'électrons suivant la direction  $x$ .

La partie cylindrique de l'enveloppe 4 est, de préférence, recouverte de substances absorbantes 21 à la fréquence de fonctionnement pour éviter les résonnances parasites. Ces substances sont, par exemple, en "carberlox".(marque)

5 Les électrons ayant cédé leur énergie sont alors évacués vers un collecteur 3 constitué par une partie de l'enveloppe 4 présentant une section en coupe dans le plan x y en forme de U.

10 La figure 2a représente une variante de réalisation du générateur de la figure 1a qui constitue alors un amplificateur. Dans ce mode de réalisation, seule la structure résonnante a été modifiée, les autres parties restant identiques.

15 La nouvelle structure est formée de deux plaques parallèles planes 22, 23 écartées l'une de l'autre d'une distance H' telle que  $H' \approx n \frac{\lambda}{2}$  de manière à guider dans la direction x une onde progressive haute fréquence ayant au moins une composante de champ électrique haute fréquence dans le plan x y. L'onde progressive est injectée dans la structure par l'intermédiaire du guide d'onde d'entrée 24 et elle est évacuée, après avoir reçu l'énergie cédée par le faisceau d'électrons, par l'intermédiaire du guide d'onde de sortie 25. D'autre part, pour obtenir la dérive du faisceau d'électrons suivant la direction x, les deux plaques sont polarisées de manière à créer entre elles un champ électrique continu de direction y.

25 On mentionnera, de plus, que tous les éléments représentés en coupe dans le plan x y sont très allongés dans la direction z. Cette caractéristique des générateurs de ce type constitue un avantage par rapport aux structures axiales du type gyrotron. En effet, la dimension des divers éléments dans la direction z peut correspondre à un grand nombre de longueurs d'onde, ce qui permet d'obtenir, pour une tension cathodique donnée, un courant très important avec une densité de courant et une densité de puissance au collecteur limitées.

30 En ce qui concerne la figure 2b elle est identique à la figure 1b et donne la variation du champ magnétique statique B selon la direction x. Le champ magnétique est créé de manière connue à

l'aide de bobines supraconductrices, par exemple.

On expliquera maintenant le fonctionnement des deux modes de réalisation des figures 1a et 2a, en particulier le fonctionnement du dispositif d'injection objet de la présente invention.

5 Le fonctionnement du dispositif d'injection est basé sur des principes connus que nous rappellerons brièvement ci-après.

Ainsi lorsqu'un électron est soumis à un champ magnétique axial lentement variable, on montre que la trajectoire s'enroule sur des tubes de force et que l'on se trouve dans un régime dit "adiabatique" pour lequel

$$B r_L^2 = \text{cste} \quad (1)$$

$r_L^2$  étant le rayon de gyration du faisceau.

15 On montre aussi qu'il existe une propriété analogue dans le cas d'une injection transversale dans un champ magnétique non uniforme.

Ainsi, dans le plan  $x, y$ , la composante  $B_z$  est une fonction de  $x$  et  $y$ , en principe seulement de  $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ . Toutefois, on démontre que pour un système de grandes dimensions devant le rayon d'orbite des électrons, l'équation (1) reste valable.

20 D'autre part, dans le plan  $x, y$ , le centre de l'orbite des électrons de coordonnées  $X(t), Y(t)$  se déplace suivant les équations.

$$\frac{dX}{dt} = \frac{E_y}{B} - \left( \frac{qB}{m} \frac{r_L^2}{2} \right) \frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial x} \quad (2)$$

$$25 \quad \frac{dY}{dt} = - \frac{E_x}{B} + \left( \frac{qB}{m} \frac{r_L^2}{2} \right) \frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial x} \quad (3)$$

avec  $B$  correspondant à  $B_z$ .

30 Dans le dispositif d'injection 1 de la présente invention, le canon à électrons 5 placé dans une région de champ magnétique  $B_1$  peu intense, produit un faisceau d'électrons progressant vers la région centrale dudit champ, où il est maximum, en se déplaçant perpendiculairement à sa direction. La progression suivant une trajectoire cycloïdale est assurée par les électrodes placées au

voisinage de sa trajectoire et portées à des potentiels appropriés, ce qui crée entre les électrodes un champ électrique continu uniforme donnant aux électrons une vitesse de dérive.

Le faisceau d'électrons est ensuite soumis dans la région des moyens 6 à un champ magnétique de direction  $B_z$  croissant progressivement. De plus, les différents potentiels des électrodes 11, 12, 13, 14 ont été choisis de manière à créer un champ électrique présentant des composantes selon les directions  $x$  et  $y$  et à satisfaire les équations ci-après.

$$\frac{\partial B}{\partial y} = 0 \quad \frac{dX}{dt} = \frac{E_y}{B} \quad (4)$$

$$\frac{dY}{dt} = 0 \quad E_x = \left( \frac{qB}{m} \frac{r_L^2}{2} \right) \frac{\partial B}{\partial x} \quad (5)$$

avec  $\frac{E_y}{B} > 0$  pour que le faisceau d'électrons se propage dans la direction  $x$ .

Dans ce cas, le faisceau d'électrons sera amené dans la zone du champ magnétique croissant à suivre une trajectoire cycloïdale dont le rayon diminue progressivement du fait de l'équation (1) selon la direction  $x$  avec une vitesse de dérive constante si la composante  $E_y$  croît comme  $B_z$  dont la variation le long de  $x$  est donnée sur les figures 1b et 2b. En effet, la condition donnée par l'équation (5) évite une dérive transversale et permet aux électrons d'entrer dans le champ magnétique croissant qui tend normalement à repousser les électrons doués d'une vitesse de rotation vers les régions où  $B$  est plus petit, à savoir vers le canon.

Avec le dispositif d'injection ci-dessus on obtient donc en entrée de la structure résonnante, un faisceau d'électrons se déplaçant selon une trajectoire hélicoïdale suivant la direction  $x$  dans un champ magnétique transversal fort de manière à ce que la vitesse de rotation des électrons soit égale à

$$\omega = \frac{e}{m_0} \frac{B}{\gamma}$$

avec  $e$  = charge de l'électron

$m_0$  = masse au repos de l'électron

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

= énergie relativiste réduite de l'électron

pour pouvoir obtenir l'interaction souhaitée dans la structure résonnante 2.

Avec ce dispositif d'injection, on obtient les avantages suivants :

- possibilité de produire un faisceau d'électrons de grande section selon z donnant un courant et une puissance plus élevés ;
- absence d'électrons réfléchis vers le canon ;
- vitesse de dérive des électrons réglée uniquement par la tension appliquée sur les différentes plaques.

## RE V E N D I C A T I O N S

1. Un dispositif d'injection d'un faisceau d'électrons se propageant suivant un axe (x) selon une trajectoire hélicoïdale sous l'action d'un champ électrique continu et d'un champ magnétique statique (B) perpendiculaire à l'axe de propagation et au champ électrique caractérisé en ce qu'il comporte un canon à électrons (5) placé dans un champ magnétique faible ( $B_1$ ) et des moyens (6), placés dans un champ magnétique ( $B_2$ ) croissant progressivement selon l'axe de propagation du faisceau, pour créer dans cette zone, un champ électrique continu présentant deux composantes ( $E_x, E_y$ ) dans le plan perpendiculaire au champ magnétique.

2. Un dispositif d'injection selon la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens (6) sont constitués par au moins quatre électrodes (11, 12, 13, 14) se faisant face deux à deux portées à des potentiels choisis pour que les équations

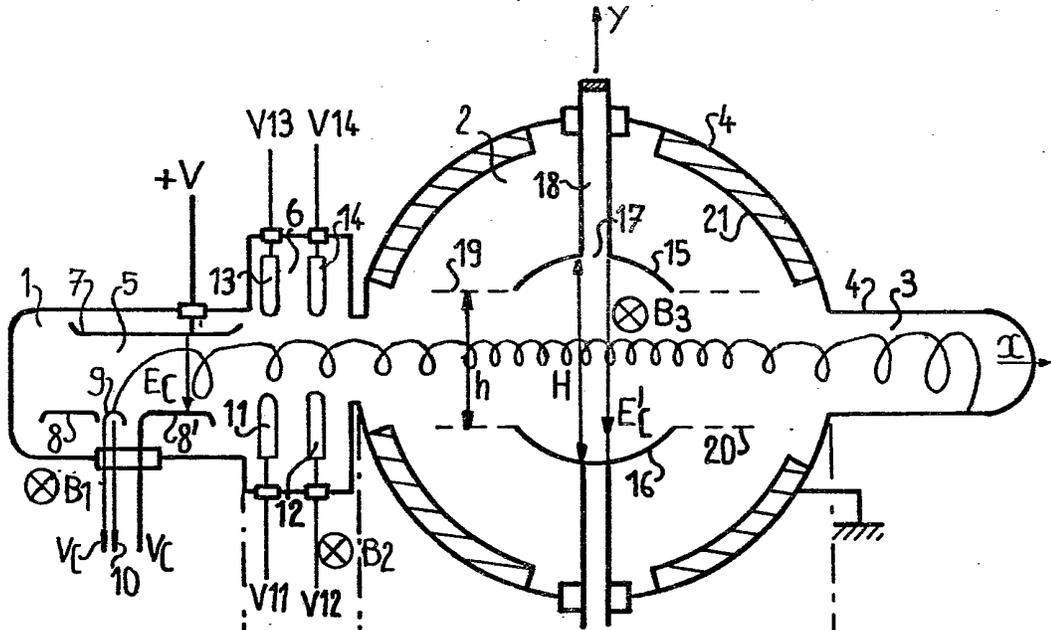
$$\frac{\partial B}{\partial y} = 0 \quad \frac{dX}{dt} = \frac{E_y}{B}$$

$$\frac{dY}{dt} = 0 \quad E_x = \left( \frac{qB}{m} \frac{r_L^2}{2} \right) \frac{\partial B}{\partial x}$$

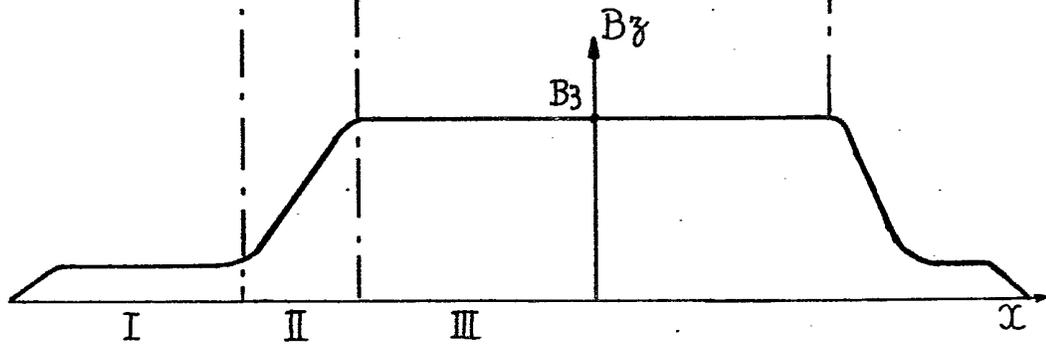
avec  $\frac{E_y}{B} > 0$  soient satisfaites.

3. Un dispositif d'injection selon la revendication 2 caractérisé en ce que la variation de la composante  $E_y$  est choisie de telle sorte que  $\frac{E_y}{B} = \text{cste}$  dans la zone de champ magnétique croissant.

FIG\_1-a

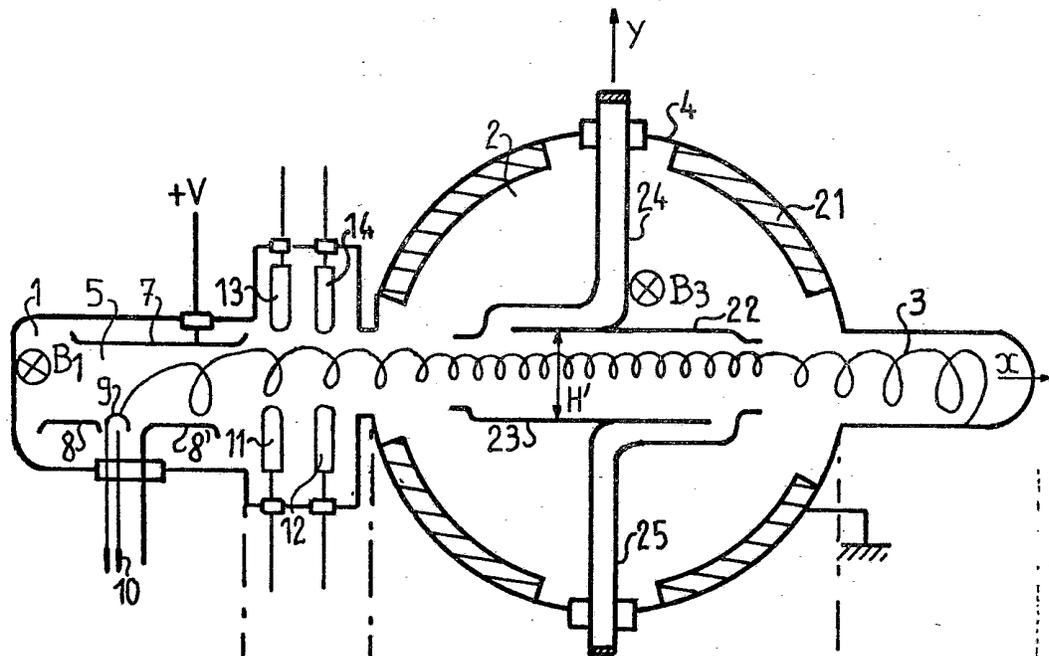


FIG\_1-b



2/2

FIG\_2-a



FIG\_2-b

