ROYAUME DE BELGIQUE

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

BREVET D'INVENTION

NUMERO DE PUBLICATION : 1010528A5

NUMERO DE DEPOT : 09500322

Classif. Internat. : H01Q

Date de délivrance le : 06 Octobre 1998

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d'invention, notamment l'article 22;

Vu l' arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d'invention, notamment l'article 28;

Vu le procès verbal dressé le 07 Avril 1995 à 11H35 à l 'Office de la Propriété Industrielle

ARRETE:

ARTICLE 1.- Il est délivré à : INSTITUT SCIENTIFIQUE DE SERVICE PUBLIC rue du Chéra 200, B-4000 LIEGE(BELGIQUE)

représenté(e)(s) par : VANDERPERRE Robert, BUREAU VANDER HAEGHEN, Avenue Rogier 1 Bte 13 - 4000 LIEGE.

un brevet d' invention d' une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : LIGNE HAUTE FREQUENCE RAYONNANTE.

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l'invention, sans garantie du mérite de l'invention ou de l'exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeurs(s).

Bruxelles, le 06 Octobre 1998
PAR DELEGATION SPECIALE :

L. WUYTS
CONSEILLER

LIGNE HAUTE FREQUENCE RAYONNANTE

L'invention concerne une ligne haute fréquence rayonnante particulièrement appropriée pour l'établissement de liaisons radioélectriques avec des appareils mobiles le long d'un axe et, en particulier, dans les milieux confinés tels que tunnels, galeries souterraines, métros, ainsi que dans les bâtiments.

L'utilisation de lignes haute fréquence rayonnantes dans ces milieux présente un intérêt sans cesse accru en raison du développement rapide des systèmes de communications mobiles (liaisons radio, téléphones cellulaires, téléphones sans fil, ...).

Par ailleurs, de telles lignes haute fréquence rayonnantes peuvent également être utilisées lorsqu'on tente de guider des ondes radioélectriques le long d'un axe en surface, généralement une voie de transport, route ou chemin de fer.

Une ligne haute fréquence rayonnante est constituée d'un câble ou d'un guide d'ondes capable de rayonner vers l'extérieur une partie de l'énergie électromagnétique qu'elle transporte. Dans ce qui suit, on considérera plus particulièrement les câbles rayonnants.

On connaît différents types de câbles rayonnants; ils sont généralement constitués d'un câble coaxial comprenant un conducteur intérieur entouré d'un diélectrique et d'un conducteur extérieur (blindage) de forme tubu-

laire, percé d'ouvertures pour le passage du rayonnement électromagnétique. L'ensemble est recouvert d'une gaine extérieure isolante.

Les ouvertures pratiquées dans le conducteur extérieur peuvent être de divers types, par exemple une fente longitudinale sur toute la longueur du câble, ou encore de nombreux petits trous très rapprochés les uns des autres. Il existe également des câbles dont le conducteur extérieur est constitué d'une tresse lâche, ou parfois d'une nappe de fils enroulés en hélice autour du diélectrique. La caractéristique commune de ces câbles est de posséder des ouvertures sur la totalité de la longueur du conducteur extérieur ou des ouvertures séparées par une distance nettement inférieure à la longueur d'onde du signal rayonné.

Tous les câbles mentionnés ci-dessus fonctionnent en mode dit "couplé". Dans leur principe, l'énergie rayonnée se propage parallèlement au câble et décroît rapidement lorsqu'on s'éloigne dans la direction perpendiculaire à l'axe du câble. De plus, ce champ fluctue fortement lorsqu'on déplace l'antenne de réception parallèlement au câble.

On connaît également (BE-A-834291) une forme de réalisation constituée d'un câble coaxial non rayonnant dans lequel sont insérés des tronçons rayonnants de longueur très courte par rapport à l'espacement entre tronçons. Cette réalisation appartient également à la catégorie des câbles à mode couplé, car lesdits tronçons fonctionnent en mode couplé.

Une technique plus récente a proposé un câble dit "à mode rayonné" dans lequel le conducteur extérieur com-

porte des ouvertures (ou groupes d'ouvertures) qui forment un motif reproduit avec un pas régulier, le pas du motif étant du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal à rayonner.

Pour les longueurs d'onde supérieures à la plus grande longueur d'onde à partir de laquelle le câble fonctionne en mode rayonné, le câble fonctionne en mode couplé. C'est donc le rapport entre la longueur d'onde du signal transmis et le pas du motif qui détermine le mode de fonctionnement.

Le rayonnement produit par ces câbles est émis dans une direction radiale, formant un angle avec l'axe du câble qui est compris entre 0° et 180°.

Les principaux avantages du câble à mode rayonné sont:

. une décroissance du champ lorsqu'on s'éloigne du câble dans la direction radiale (qui est plus faible que dans le cas des câbles à mode couplé);

. de faibles fluctuations du champ lorsqu'on se déplace parallèlement à l'axe du câble.

Toutefois, le second avantage cité ci-dessus (faibles fluctuations du champ) n'existe que dans une bande de fréquences allant de f_{min} à 2 x f_{min}, dans laquelle il n'y a qu'un mode rayonné prépondérant, également appelé mode rayonné principal. Ce mode principal correspond à un diagramme de rayonnement présentant un lobe prépondérant unique.

Au-delà de 2 x f_{min}, des lobes secondaires sont émis suivant des directions différentes du lobe principal.

Ces modes sont d'autant plus nombreux que la fréquence augmente. L'amplitude des lobes secondaires est comparable à celle du lobe principal. Ces différents lobes interfèrent entre eux. Il en résulte d'importantes fluctuations du champ lorsqu'on se déplace le long du câble et, par conséquent, il est impossible de prévoir, avec précision, le niveau du champ rayonné à une certaine distance du câble. Ceci oblige le concepteur de l'installation à augmenter les puissances émises afin de garantir que le champ électromagnétique atteint bien les niveaux requis. Un tel câble n'est donc intéressant que dans la mesure où il n'émet que le mode rayonné principal, ce qui limite la bande de fréquences utile à une octave.

Pour des raisons économiques, il est indispensable de pouvoir retransmettre plusieurs signaux sur un même câble. Les fréquences de ces signaux sont presque toujours étalées sur une bande supérieure à une octave, ce qui limite évidemment l'intérêt d'une telle solution.

Un élargissement de la bande de fréquences utile n'est pas possible avec un motif périodique simple. On doit alors utiliser un motif périodique plus complexe afin d'éliminer ou atténuer un certain nombre de modes secondaires. Dans ce but, diverses solutions ont été proposées. Elles ont chacune leurs inconvénients.

DE-A-2 812 523 décrit un motif qui, dans le but de réaliser une allure périodique de l'intensité de rayonnement dans le sens de l'axe de la ligne, est constitué d'ouvertures de même grandeur et de même forme et dont la densité varie périodiquement le long du câble. La répartition des ouvertures est telle que, dans les zones de plus grande intensité de rayonnement,

le nombre des ouvertures par unité de surface, situées côte à côté dans le sens périphérique et/ou dans le sens axial, est plus élevé que dans les zones de moindre intensité de rayonnement. Comme l'indique le titulaire du brevet précité, le but d'un tel motif est de réaliser une allure périodique de l'intensité de rayonnement dans le sens de l'axe de la ligne. D'autre part, ce document ne donne pas l'étendue de la bande de fréquences dans laquelle les lobes secondaires sont atténués.

GB-A-1 481 485 décrit un motif périodique constitué de deux fentes principales et de quatre fentes auxiliaires. Les fentes auxiliaires sont disposées de part et d'autre de chacune des fentes principales. Dans ce dispositif, les lobes secondaires apparaissant aux fréquences comprises entre f_{min} et 5 x f_{min} sont négligeables ou quasiment nuls. De plus, un motif de taille supérieure comporterait dix fentes et, par conséquent, serait difficilement réalisable en pratique, car la longueur totale des ouvertures serait telle qu'elle affaiblirait la résistance mécanique du conducteur extérieur.

FR-A-2 685 549 décrit un motif comportant N ouvertures et dont la bande de fréquences utile est comprise entre f_{min} et N x f_{min}.

Les motifs décrits dans ces deux derniers documents ont comme inconvénient la présence d'ouvertures sur la quasi totalité de la longueur du câble, ce qui a pour effet de réduire la résistance mécanique. Il est en effet bien connu que des déformations du câble ou des ouvertures pratiquées dans le conducteur extérieur peuvent affecter fortement les performances obtenues. Les phénomènes généralement constatés sont :

09500399

. une augmentation de l'atténuation linéique du câble,

. une modification du rayonnement produit par les ouvertures déformées, ce qui va contrecarrer le principe à la base de l'annulation des modes secondaires,

. la naissance d'un mode couplé qui engendre d'importantes fluctuations du champ lorsqu'on se déplace parallèlement au câble.

Un autre inconvénient de ces solutions connues est la difficulté de réaliser des fentes obliques (inclinaison différente) sur certains types de constructions de câbles : c'est notamment le cas lorsque le conducteur extérieur est ondulé.

Le document DE-G-9 318 420 décrit une solution qui utilise un conducteur extérieur ondulé. Il n'y est pas fait mention de l'élimination de lobes secondaires.

La présente invention a pour but d'éviter les inconvénients des câbles rayonnants connus. A cet effet, elle propose une ligne haute fréquence rayonnante comprenant un conducteur extérieur tubulaire qui comporte des ouvertures agencées pour former un motif périodique répété le long dudit conducteur extérieur avec un pas prédéterminé. Le pas est une fraction d'une longueur d'onde maximum qui correspond à la fréquence minimum précitée, ladite fraction étant égale à $1/((\epsilon_r)^{\frac{1}{2}}+1)$, où ϵ_r est la constante diélectrique relative de la ligne. Le motif périodique (M) a une longueur (L) égale à $p/2 \pm \Delta$, suivant une direction parallèle à la direction axiale de la ligne. Le motif périodique consiste par exemple en une fente s'étendant suivant la génératrice du conducteur extérieur, en une fente oblique par rap-

port à la génératrice du conducteur extérieur, ou encore en plusieurs ouvertures identiques rapprochées dont les projections sur un plan contenant l'axe longitudinal de la ligne sont équidistantes.

L'invention est exposée plus en détail dans ce qui suit à l'aide des dessins joints.

Les figures 1 à 3 illustrent quelques types de câble rayonnant représentant l'état antérieur de la techni-

que.

La figure 4 représente quelques modes de réalisation exemplaire de l'invention.

Les figures 5 et 6 sont des diagrammes de champ électrique relatifs à des modes de réalisation de l'invention.

La figure 7 représente le diagramme de rayonnement obtenu avec une ligne rayonnante à motif périodique.

La figure 8 est un diagramme explicitant les paramètres intervenant pour la détermination de la longueur d'un motif suivant l'invention.

Les figures 9 et 10 représentent la fonction du champ produit par une fente ayant des longueurs différentes.

Les figures 11 à 13 sont des diagrammes illustrant des résultats obtenus avec un câble rayonnant suivant l'invention.

Avant de décrire l'invention, on se référera brièvement aux figures 1 à 3 qui illustrent l'état de la technique. La figure 1 montre quatre types de câble rayonnant comportant soit des ouvertures réparties sur toute la longueur du conducteur extérieur, soit une fente longitudinale sur toute la longueur du conducteur extérieur. La figure 2 représente un tronçon de câble rayonnant dont le motif périodique comporte deux fentes obliques principales F et F', et quatre fentes auxiliaires obliques Fa, Fb, Fa', Fb' comme divulgué par GB-A-1481485 mentionné plus haut. La figure 3 représente un tronçon de câble rayonnant dont le conducteur extérieur comporte également un motif périodique constitué de fentes obliques dont les inclinaisons sont différentes. Les inconvénients de ces câbles rayonnants connus ont été exposés plus haut.

Conformément à l'invention, le motif comporte une seule

section rayonnante dont la longueur L est égale à p/2. On peut montrer que l'effet recherché est obtenu tant que L est compris dans une fourchette d'environ 10 %, de part et d'autre de cette valeur.

Le conducteur extérieur comporte ainsi un motif périodique de pas p qui est déterminé par la relation :

$$p = \frac{\lambda_{début}}{\sqrt{\epsilon_r} + 1} \qquad (1)$$

dans laquelle :

$\lambda_{début}$: plus grande longueur d'onde à partir de laquelle le câble fonctionne en mode rayonné

ϵ_r : constante diélectrique relative du câble.

Le motif comprend une seule section rayonnante de longueur L = p/2 (± 10 %) et une section non rayonnante de longueur égale. La longueur des sections rayonnantes et non rayonnantes, ainsi que la distance entre les ouvertures de la section rayonnante, sont toujours mesurées dans la direction parallèle à l'axe du câble.

La section rayonnante de longueur L peut être réalisée de diverses manières (figure 4). Elle peut consister en une fente de longueur L pratiquée dans la génératrice du conducteur extérieur (figure 4a). Cette fente peut aussi être oblique par rapport à l'axe du câble (figure 4b); dans ce cas, c'est la longueur de sa projection dans un plan contenant l'axe de la ligne qui doit être égale à p/2.

Avec un tel motif, la bande de fréquences dans laquelle les lobes secondaires sont totalement annulés est comprise entre f_{min} et 3 x f_{min}.

Au-delà de 3 x f_{min}, les lobes secondaires, bien que fortement atténués, engendrent une certaine dégradation des performances. Néanmoins, les fluctuations sont moins fortes qu'avec un câble à mode couplé.

Dans d'autres formes de réalisation, la section rayonnante peut être constituée d'un groupe d'ouvertures identiques, régulièrement espacées et assez rapprochées dont les projections sur un plan contenant l'axe longitudinal de la ligne sont équidistantes.

Les figures 4c à 4g illustrent quelques exemples. On notera que les ouvertures ne doivent pas nécessairement être alignées suivant la direction axiale de la ligne; elles peuvent avoir une forme quelconque (carrée, rectangulaire, circulaire, elliptique, ...). La longueur de la section rayonnante ainsi que la distance entre les ouvertures de ladite section sont toujours mesurées dans la direction parallèle à l'axe du câble. De préférence, la section rayonnante devrait comporter au minimum six ouvertures. Le conducteur extérieur peut être de n'importe quel type (plat, ondulé, martelé, ...).

Il est connu de l'homme de l'art que le type de fente, et plus particulièrement son inclinaison, détermine la direction de polarisation du signal rayonné. Par exemple, une ouverture parallèle à l'axe du câble (figure 4a) produit un champ électrique dont la composante dominante est également parallèle au câble. C'est également le cas des motifs constitués de petits trous rapprochés (figure 4c) ou comportant des fentes transversales (figure 4d).

En revanche, une fente oblique par rapport à l'axe du câble, comme représenté en figure 4b, impo-

se un trajet oblique aux lignes de courant se propageant le long du conducteur extérieur. Ces lignes de courant obliques génèrent un champ électrique comportant une composante axiale et une composante azimutale (figure 5). Pour les mêmes raisons, le motif de la figure 4g, qui est constitué de petites fentes obliques rapprochées, génère également un champ ayant une composante axiale et une composante azimutale.

Du point de vue pratique, il est intéressant que la ligne rayonnante produise une composante axiale et une composante azimutale. En effet, si la composante axiale existait seule, il faudrait obligatoirement orienter l'antenne de l'équipement mobile parallèlement au câble. Or, dans la plupart des applications, l'antenne de l'équipement mobile est verticale, d'où l'importance de la composante azimutale qui, dans ce cas, est la seule capable de produire un courant dans l'antenne, comme illustré à la figure 6.

Les sections constituées de plusieurs ouvertures ont comme avantage de ne diminuer que très faiblement la résistance mécanique du conducteur extérieur.

Il faut noter que le principe développé est applicable aux câbles rayonnants, ainsi qu'aux guides d'ondes rayonnants. Ces derniers sont de construction identique à celle des câbles, mais ne comportent pas de conducteur intérieur.

La longueur des fentes et la bande de fréquences utile du câble sont déterminées comme suit.

Considérons un câble rayonnant dont le conducteur extérieur comporte un motif périodique de pas p, le motif étant constitué d'une seule ouverture. Il est connu de l'homme de l'art qu'un tel câble produit un rayonnement se propageant dans la direction radiale, également appelé mode rayonné, pour les fréquences égales ou supérieures à une fréquence $f_{début}$ qui est donnée par la relation (2)

$$f_{début} = \frac{c}{p\ (\sqrt{\epsilon_r} + 1)} \qquad (2)$$

où c représente la vitesse de la lumière dans l'air.

A cette fréquence correspond une longueur d'onde donnée par :

$$\lambda_{début} = p\ (\sqrt{\epsilon_r} + 1) \qquad (3)$$

La direction de propagation du rayonnement forme avec l'axe du câble un angle θ qui est compté positivement en partant du générateur vers la fin du câble.

Il est également connu, de l'homme de l'art, que ce rayonnement radial donne lieu à des lobes (également appelés modes) comme illustré en figure 7. Les maxima de ces lobes forment avec l'axe du câble, un angle $\theta_{max,k}$ qui est donné par la relation suivante :

$$\cos \theta_{max,k} = \frac{k\lambda}{p} - \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{avec } k = 1,2,3, \ldots \qquad (4)$$

où $\theta_{max,k}$ correspond au maximum du lobe d'ordre k.

En tenant compte de la relation (1), on a :

$$\cos \theta_{max,k} = \frac{k\lambda(\sqrt{\epsilon_r} + 1)}{\lambda_{début}} - \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{avec } k = 1,2,3,... \quad (5)$$

Tant que λ reste supérieur à $\lambda_{début}/2$, l'expression (5) n'a de solution que pour $k = 1$.

Dès que λ devient inférieure à $\lambda_{début}/2$, l'expression (5) à deux solutions qui sont :

$$\cos \theta_{max,1} = \frac{\lambda(\sqrt{\epsilon_r} + 1)}{\lambda_{début}} - \sqrt{\epsilon_r} \quad (6)$$

$$\cos \theta_{max,2} = \frac{2\lambda(\sqrt{\epsilon_r} + 1)}{\lambda_{début}} - \sqrt{\epsilon_r} \quad (7)$$

dans lesquelles :

$\theta_{max,1}$ = angle donnant la direction du maximum du lobe primaire ($k = 1$)

$\theta_{max,2}$ = angle donnant la direction du maximum du lobe secondaire ($k = 2$).

De la même manière, lorsque λ devient inférieur à $\lambda_{début}/3$, apparaissent un lobe primaire ($k = 1$) et deux lobes secondaires ($k = 2$ et $k = 3$). Si λ continue à diminuer, d'autres lobes secondaires apparaissent et leur direction de rayonnement est donnée par les relations (4) ou (5).

Un tel câble rayonnant n'est intéressant que dans la bande de fréquences $[f_{début}, 2 \times f_{début}]$. Pour les fréquences au-dessus de cette bande, les lobes secondaires interfèrent avec le lobe primaire, ce qui engendre des fluctuations importantes du champ lorsqu'on se dé-

place parallèlement au câble.

La plage utile ne peut être élargie qu'en éliminant ou en atténuant un certain nombre de lobes secondaires (en commençant par le lobe k = 2).

La solution suivant l'invention consiste à exploiter la directivité d'une ouverture ou d'un groupe d'ouvertures rapprochées.

Déterminons le diagramme de rayonnement, dans le plan axial du câble, d'une fente de longueur L pratiquée suivant une génératrice du conducteur extérieur comme illustré en figure 7a. Prenons comme origine des abscisses, l'extrémité de la fente située du côté du générateur et représentons en figure 8 l'axe des abscisses (qui coïncide avec l'axe du câble) et la fente de longueur L.

Dans la direction θ, le champ produit par un tronçon infinitésimal dx situé à l'abscisse x présente par rapport à celui issu d'un même tronçon infinitésimal situé en x = 0 un retard de propagation τ donné par la relation suivante :

$$\tau = \frac{x}{v} + \frac{x\cos\theta}{c} = \frac{x}{c}\left(\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta\right) \qquad (8)$$

dans laquelle, v est la vitesse de propagation du signal dans le câble et qui vaut $c/\sqrt{\epsilon_r}$.

Pour un courant sinusoïdal, l'expression du champ produit par ce tronçon dx est du type :

$$ds = \sin\omega \left[t - \frac{x}{c} (\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta) \right] dx \qquad (9)$$

Le champ total produit par la fente complète est obtenu en intégrant les contributions de chacune des sections infinitésimales, c'est-à-dire :

$$s = \int_0^L \sin\omega \left[t - \frac{x}{c} (\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta) \right] dx \qquad (10)$$

En négligeant le signe négatif et en tenant compte que:

$$\frac{c}{\omega} = \frac{\lambda}{2\pi} \qquad (11)$$

on obtient :

(12)

$$s = \frac{\lambda}{\pi(\sqrt{\epsilon_r}+\cos\theta)} \sin\left[\frac{\pi L}{\lambda}(\sqrt{\epsilon_r}+\cos\theta) \right] \sin\omega \left[t - \frac{L}{2c}(\sqrt{\epsilon_r}+\cos\theta) \right]$$

Le dernier facteur de cette expression dépend du temps et n'affecte pas l'amplitude du signal.

Le diagramme de rayonnement ne dépend donc que des deux premiers facteurs, qui peuvent être exprimés sous la forme suivante :

$$f(\theta) = L \frac{\sin\left[(\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta)\ \pi L/\lambda \right]}{(\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta)\ \pi L/\lambda} \qquad (13)$$

De manière à simplifier l'étude de cette fonction, posons :

$$\alpha = (\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta)\ \pi L/\lambda \qquad (14)$$

Dans ce cas, $f(\theta) = L \frac{\sin\alpha}{\alpha}$ (15)

Dans un diagramme de rayonnement, compte tenu de la symétrie de révolution, θ varie entre 0 et 180°.

Pour $\theta = 0°$ et $\theta = 180°$, α est donné par les expressions suivantes :

$$\alpha_{0°} = (\sqrt{\epsilon_r} + 1)\ \pi L/\lambda \quad (16)$$

$$\alpha_{180°} = (\sqrt{\epsilon_r} - 1)\ \pi L/\lambda \quad (17)$$

On constate que α est toujours positif et décroît lorsque θ augmente.

Déterminons les zéros de $f(\theta)$. Une fonction $\sin\alpha/\alpha$ s'annule pour :

$$\alpha = l\pi \text{ avec } l = 1, 2, 3, \ldots \quad (18)$$

A noter d'une part, que la valeur $l = 0$ est à rejeter car α est strictement positif et, d'autre part, que l'intervalle d'existence de α est assez grand étant donné la valeur du rapport suivant :

$$\frac{\alpha_{0°}}{\alpha_{180°}} = \frac{(\sqrt{\epsilon_r} + 1)}{(\sqrt{\epsilon_r} - 1)} \quad (19)$$

Dans le cas du polyéthylène, par exemple $\epsilon_r = 1{,}29$, ce rapport vaut environ 15,7. Ceci signifie que l'intervalle d'existence de α peut englober plusieurs zéros de la fonction $f(\theta)$ comme cela est représenté à la figure 9.

En choisissant L suffisamment petit, il est possible de réduire l'intervalle d'existence de α, en sorte que la fonction $\sin\alpha/\alpha$ ne puisse s'annuler qu'une seule fois (voir figure 10).

La valeur de θ correspondant au zéro de $\sin\alpha/\alpha$ est donnée en résolvant l'équation suivante :

$$(\sqrt{\epsilon_r} + \cos\theta)\ \pi L/\lambda = \pi \qquad (20)$$

qui a pour solution :

$$\cos\theta = \frac{\lambda}{L} - \sqrt{\epsilon_r} \qquad (21)$$

Revenons à l'expression (7) donnant la direction du maximum du premier lobe secondaire k = 2. En faisant coïncider les zéros du diagramme de rayonnement de la fente avec le maximum de ce lobe, on arrive à l'éliminer.

Pour ce faire, identifions les termes des expressions (21) et (7). On en déduit qu'il est possible d'annuler le premier lobe secondaire, quelle que soit la valeur de λ, si L obéit à la relation suivante :

$$L = \frac{\lambda_{début}}{2(\sqrt{\epsilon_r} + 1)} \qquad (22)$$

qui, compte tenu de la relation (2), peut s'écrire :

$$L = p/2 \qquad (23)$$

Calculons la réponse de la fente pour le lobe principal (k = 1) ; on l'obtient en remplaçant $\cos\theta_{max,1}$ par sa va-

leur (6) dans la relation (13) :

$$f(\theta_{max,1}) = 2L/\pi \qquad (24)$$

De même, pour les lobes secondaires k = 3 et les suivants, les expressions (5) et (13) donnent :

$$f(\theta_{max,k}) = L \frac{\sin k\pi/2}{k\pi/2} \qquad (25)$$

Cette expression est nulle lorsque k est pair, il en résulte que tous les lobes secondaires d'ordre pair sont totalement annulés. Les lobes secondaires d'ordre impair sont, quant à eux, fortement atténués. Le cas le plus défavorable se produit pour k = 3, auquel correspond :

$$f(\theta_{max,3}) = - 2L/3\pi \qquad (26)$$

L'amplitude de ce lobe vaut donc le tiers de l'amplitude du lobe principal, soit 9,5 dB en dessous du lobe principal, si l'on compare les niveaux de puissance.

L'amplitude du lobe secondaire k = 5 vaut :

$$f(\theta_{max,5}) = - 2L/5\pi \qquad (27)$$

L'amplitude est donc cinq fois plus faible que le mode principal, soit 14 dB si l'on compare les niveaux en puissance.

L'expression (25) montre que les lobes secondaires sont d'autant plus atténués qu'ils sont d'ordre élevé.

Un motif conforme à l'invention permet donc d'obtenir

une bande de fréquences sans lobe secondaire qui est du type $[f_{début}, 3 \times f_{début}]$. Si on accepte une certaine dégradation des performances évaluée en niveau d'interférence entre le lobe primaire et les lobes secondaires (qui ne sont pas totalement éliminés), le câble rayonnant ainsi réalisé peut être utilisé au-dessus de $3 \times f_{début}$, car les fluctuations sont néanmoins plus faibles qu'avec un câble à mode couplé.

Il existe une grande variété de motifs permettant d'obtenir l'effet recherché. En effet, le calcul de diagramme de rayonnement d'une fente parallèle à l'axe de la ligne a été obtenu en intégrant les contributions de segments infinitésimaux de longueur dx.

On obtiendrait un diagramme de forme similaire (dans le plan de l'axe du câble) si la fente était oblique, et pour autant que sa projection dans le plan de l'axe du câble ait une longueur égale à p/2. A noter que, dans ce cas, toutes les fentes doivent être parallèles afin que le motif soit parfaitement répétitif.

De même, au lieu d'utiliser une fente continue parallèle ou oblique par rapport à l'axe, l'effet recherché pourrait être obtenu en réalisant plusieurs ouvertures rapprochées et produisant un diagramme de rayonnement semblable à celui d'une fente continue. En fait cela reviendrait à remplacer l'intégrale (10) par la somme des contributions de chacune des ouvertures. On obtiendra un résultat équivalent pour autant que les ouvertures soient nombreuses (au moins six), toutes identiques, et que leurs projections dans le plan contenant l'axe de la ligne soient équidistantes. Il n'est pas nécessaire que les ouvertures soient alignées le long d'une même génératrice, car on ne considère que le dia-

gramme de rayonnement dans le plan contenant l'axe du câble.

La figure 4 représente plusieurs motifs réalisant l'effet recherché. Le choix de l'un ou l'autre de ces motifs permet de contrôler l'intensité du rayonnement émis par le câble.

Les figures 11, 12 et 13 présentent des résultats expérimentaux obtenus avec un câble rayonnant construit suivant l'invention. Ces figures donnent la valeur de la puissance captée par une antenne dipôle sur un trajet parallèle au câble et distant de 4 m. L'axe des abscisses correspond à la distance parcourue (en m) et l'axe des ordonnées représente la puissance captée par l'antenne, exprimée en dBm (unité logarithmique). Le câble testé est calculé pour fonctionner en mode rayonné aux fréquences égales ou supérieures à 350 MHz; il est compris entre les abscisses 6 et 39 m. En fonction de ce qui a été dit précédemment, un mode secondaire devrait apparaître au-dessus de 700 MHz, donnant lieu à de fortes fluctuations de la puissance captée par l'antenne. La figure 11 correspond à la fréquence de 450 MHz, où seul le mode k = 1 existe. Les figures 12 et 13 correspondent respectivement aux fréquences de 800 et 900 MHz. On constate que l'amplitude des fluctuations (valeur de crête à crête) est, dans les trois cas, de l'ordre de quelques dB. Pour rappel, lorsqu'un mode secondaire interfère avec le mode primaire, les fluctuations (valeur crête à crête) sont comprises entre 30 et 40 db. Les figures 12 et 13 démontrent donc bien l'efficacité de l'invention.

095500322

REVENDICATIONS

1. Ligne haute fréquence rayonnante destinée à rayonner l'énergie électromagnétique sur une bande de fréquences déterminée, ladite bande de fréquences s'étendant en fréquence à partir d'une fréquence minimum à laquelle la ligne rayonne de l'énergie électromagnétique dans une direction radiale, laquelle ligne comprend un conducteur extérieur tubulaire comportant des ouvertures agencées pour former un motif périodique (M) répété le long dudit conducteur extérieur avec un pas (p) prédéterminé, caractérisée en ce que ledit pas est une fraction d'une longueur d'onde maximum qui correspond à la fréquence minimum précitée, ladite fraction étant égale à $1/((\epsilon_r)^{\frac{1}{2}}+1)$, où ϵ_r est la constante diélectrique relative de la ligne, et en ce que le motif périodique (M) a une longueur (L) égale à $p/2 \pm \Delta$, suivant une direction parallèle à la direction axiale de la ligne.

2. Ligne suivant la revendication 1, caractérisée en ce que Δ = 10 % environ de p/2.

3. Ligne suivant la revendication 1, caractérisée en ce que le motif périodique (M) consiste en une fente s'étendant suivant la génératrice du conducteur extérieur.

4. Ligne suivant la revendication 1, caractérisée en ce que le motif périodique consiste en une fente oblique par rapport à la génératrice du conducteur extérieur.

5. Ligne suivant la revendication 1, caractérisée en ce que le motif périodique consiste en plusieurs ouvertures identiques rapprochées dont les projections sur un plan contenant l'axe longitudinal de la ligne sont

0950032 2

équidistantes.

6. Ligne suivant la revendication 5, caractérisée en ce que le motif périodique (M) comprend au moins six ouvertures.

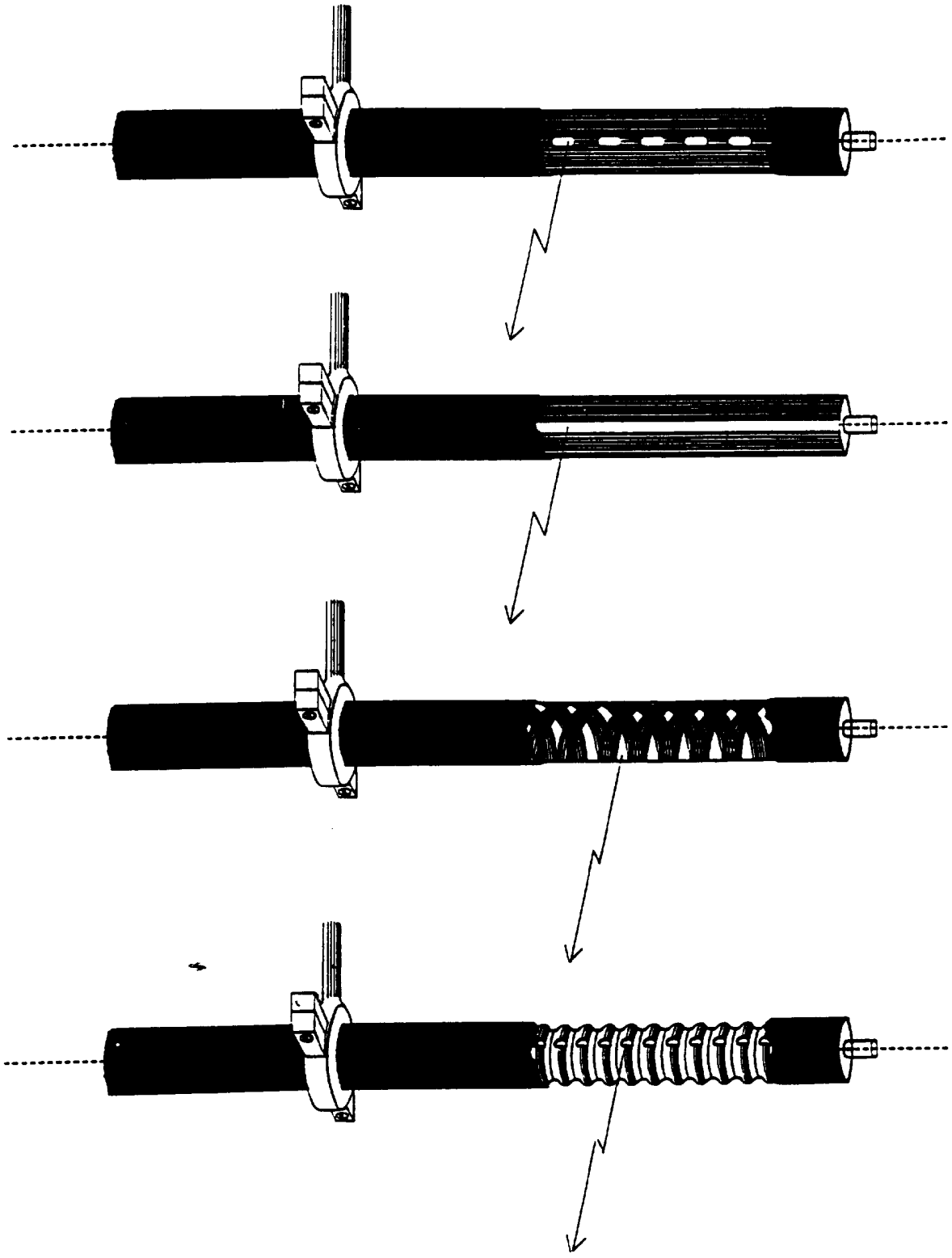


Fig. 1

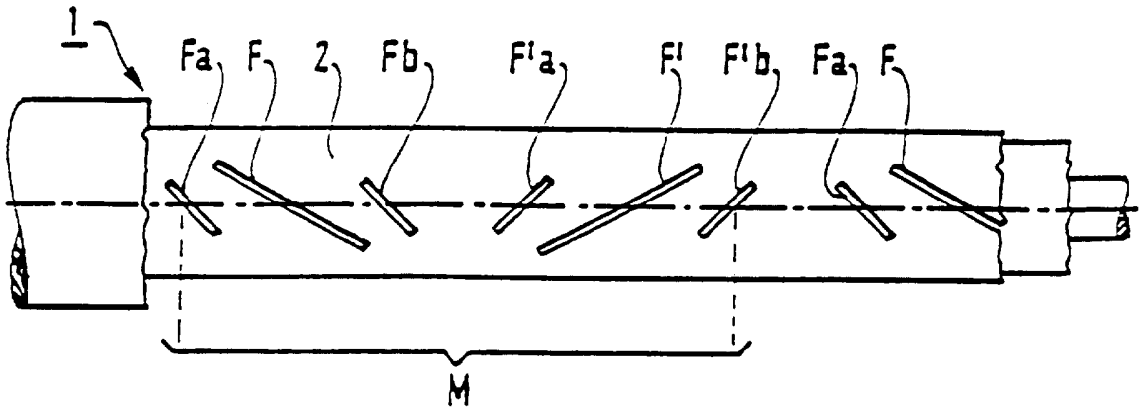


Fig. 2

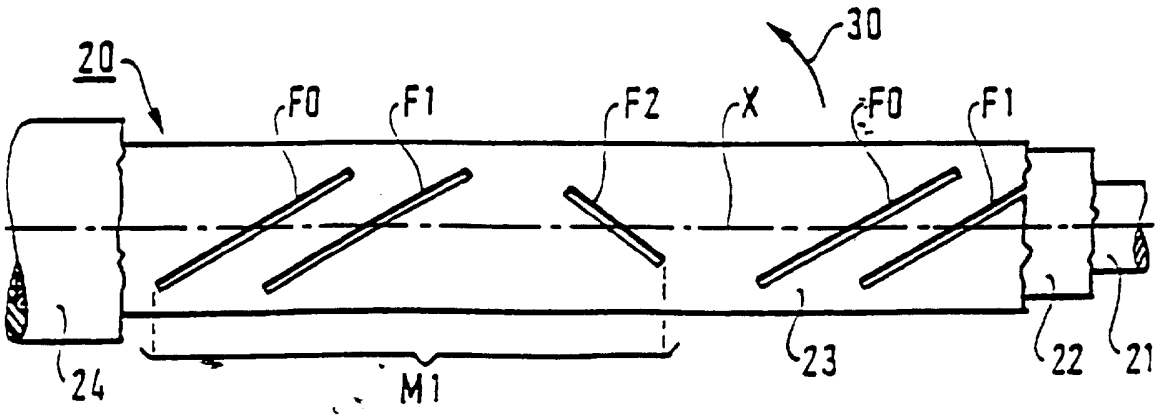


Fig. 3

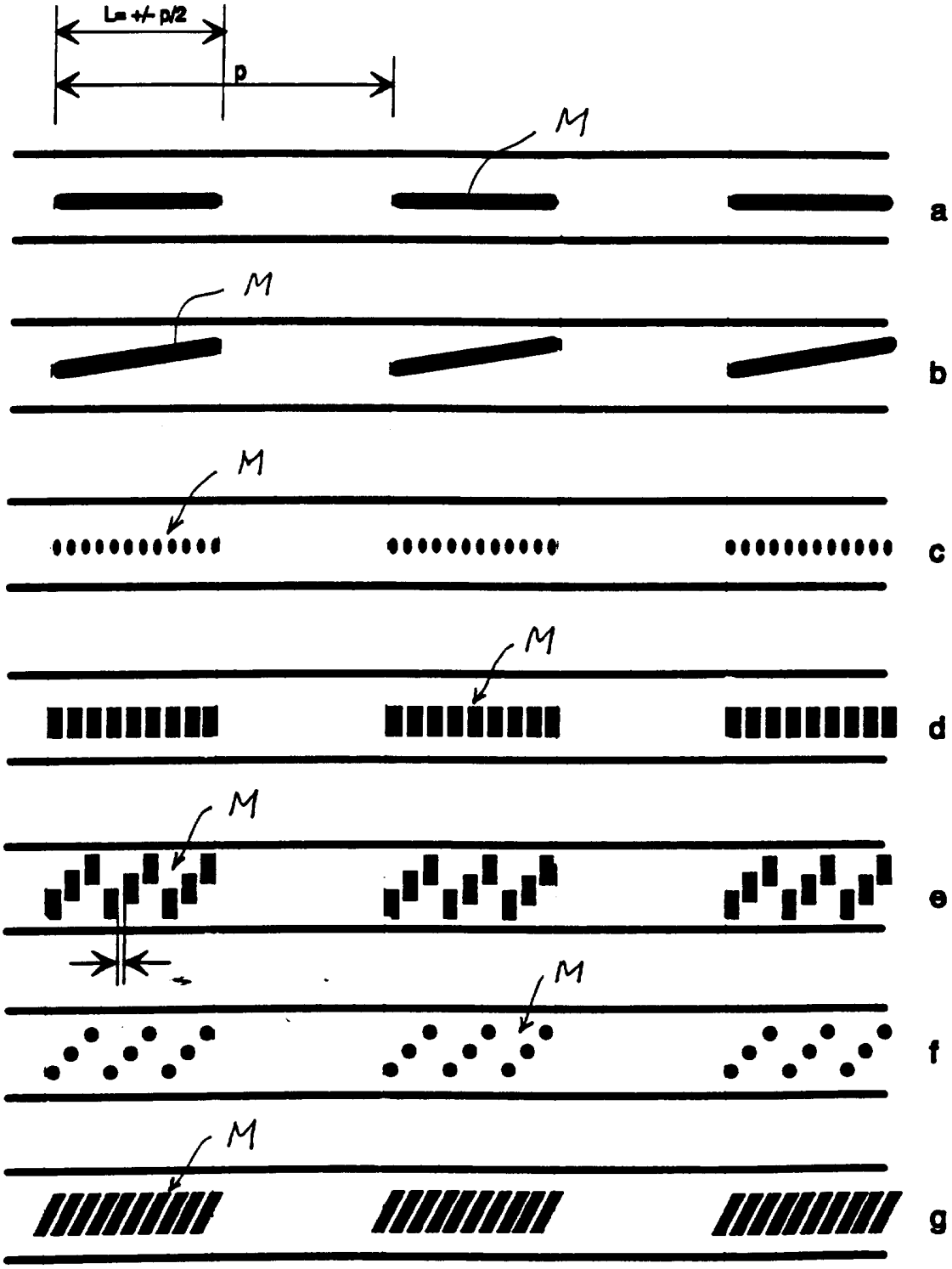


Fig. 4

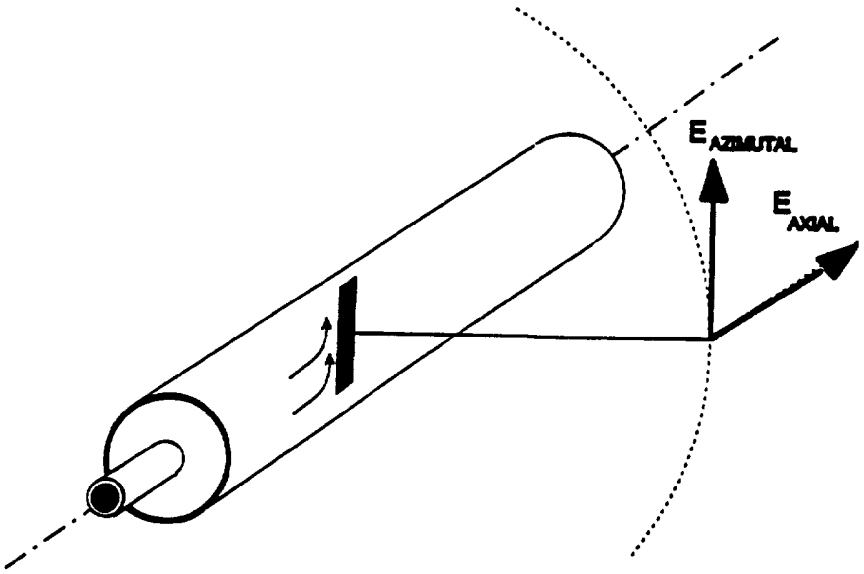


Fig. 5

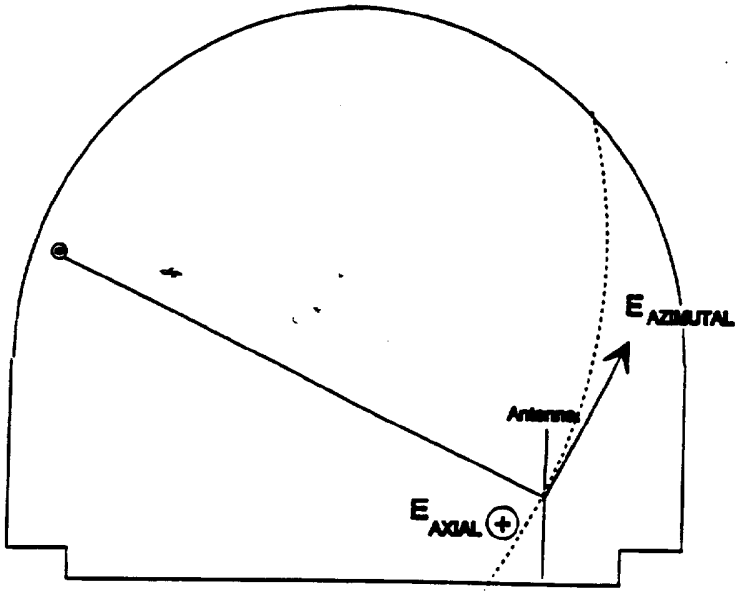


Fig. 6

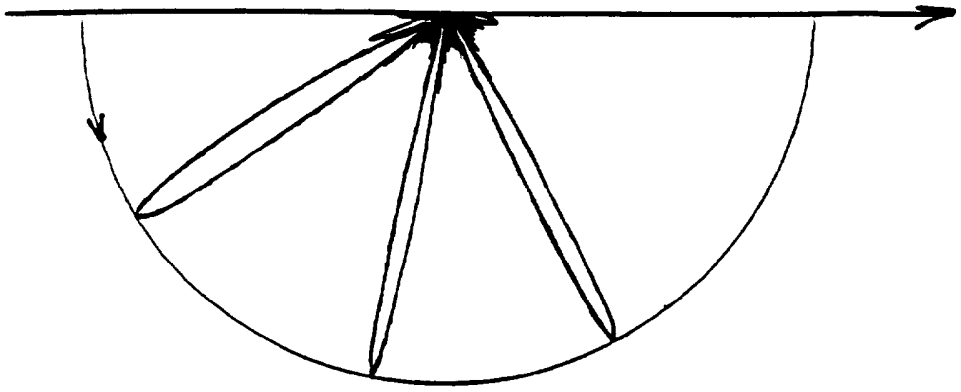


Fig. 7

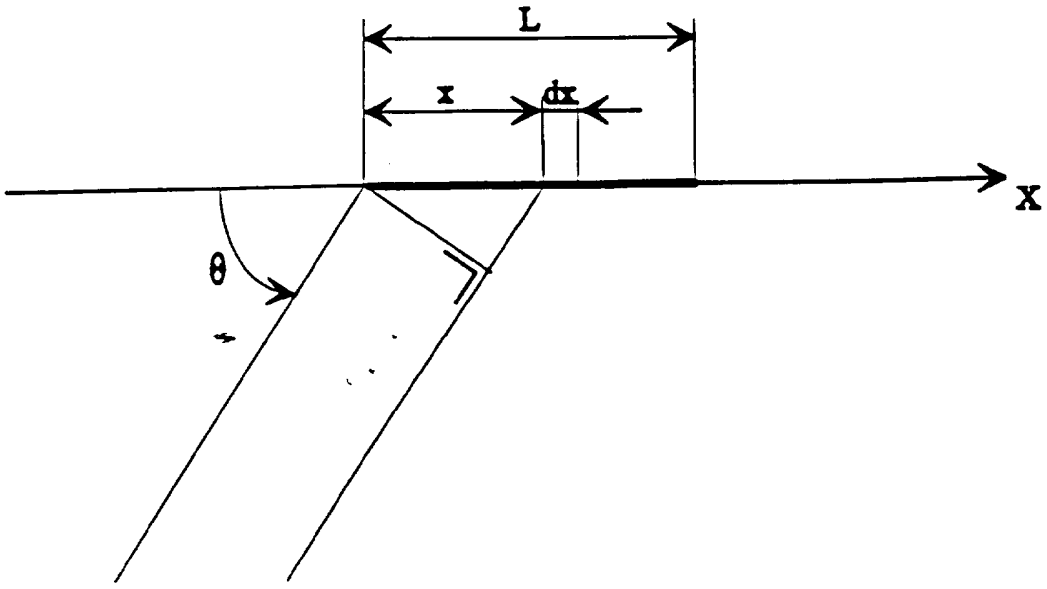


Fig. 8

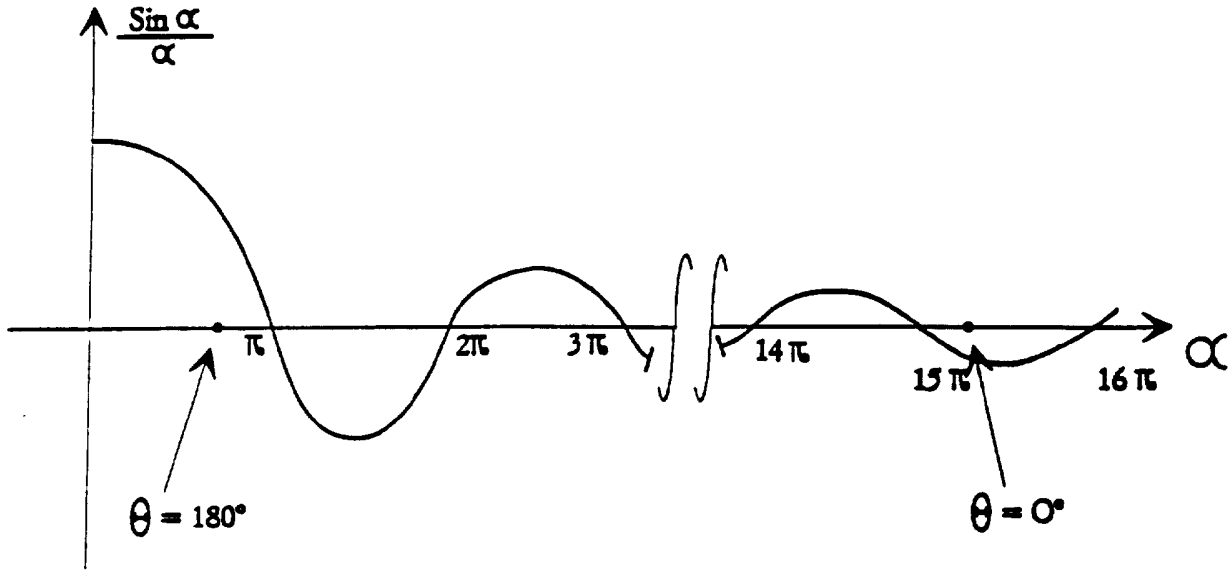


Fig. 9

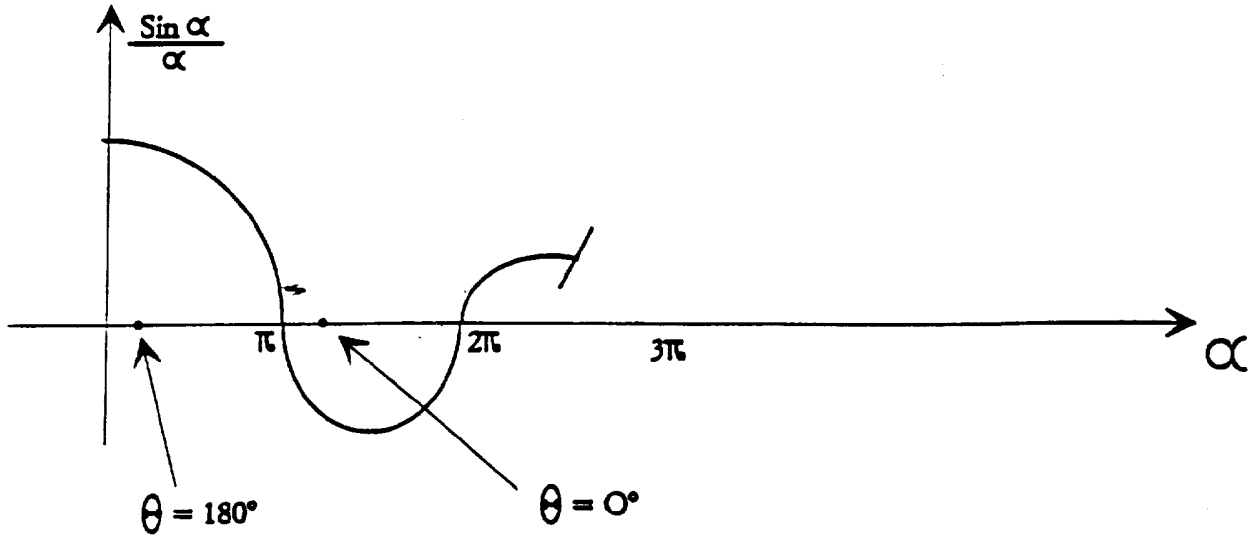


Fig. 10

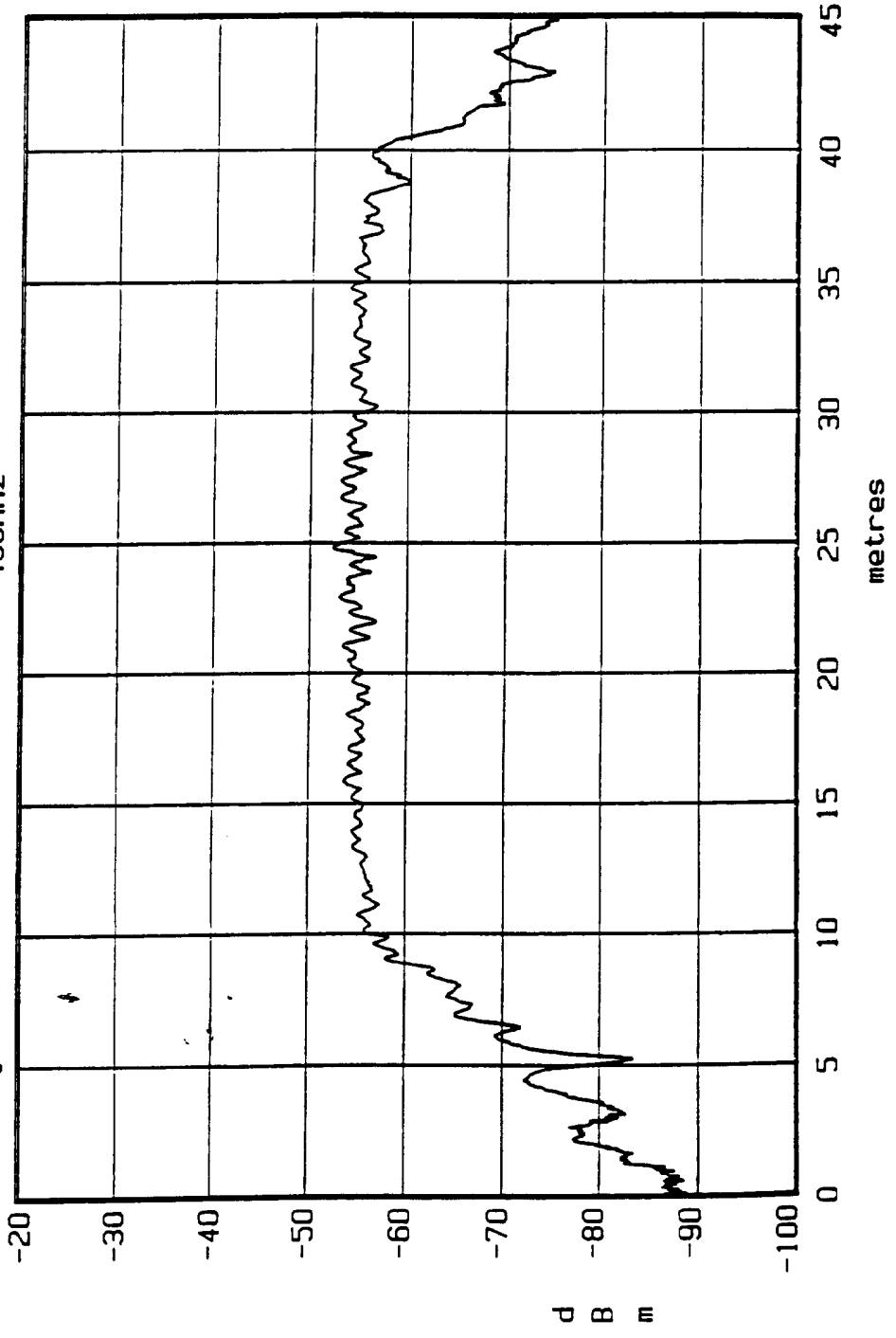

450MHz
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
dBm
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
metres

Fig. 11

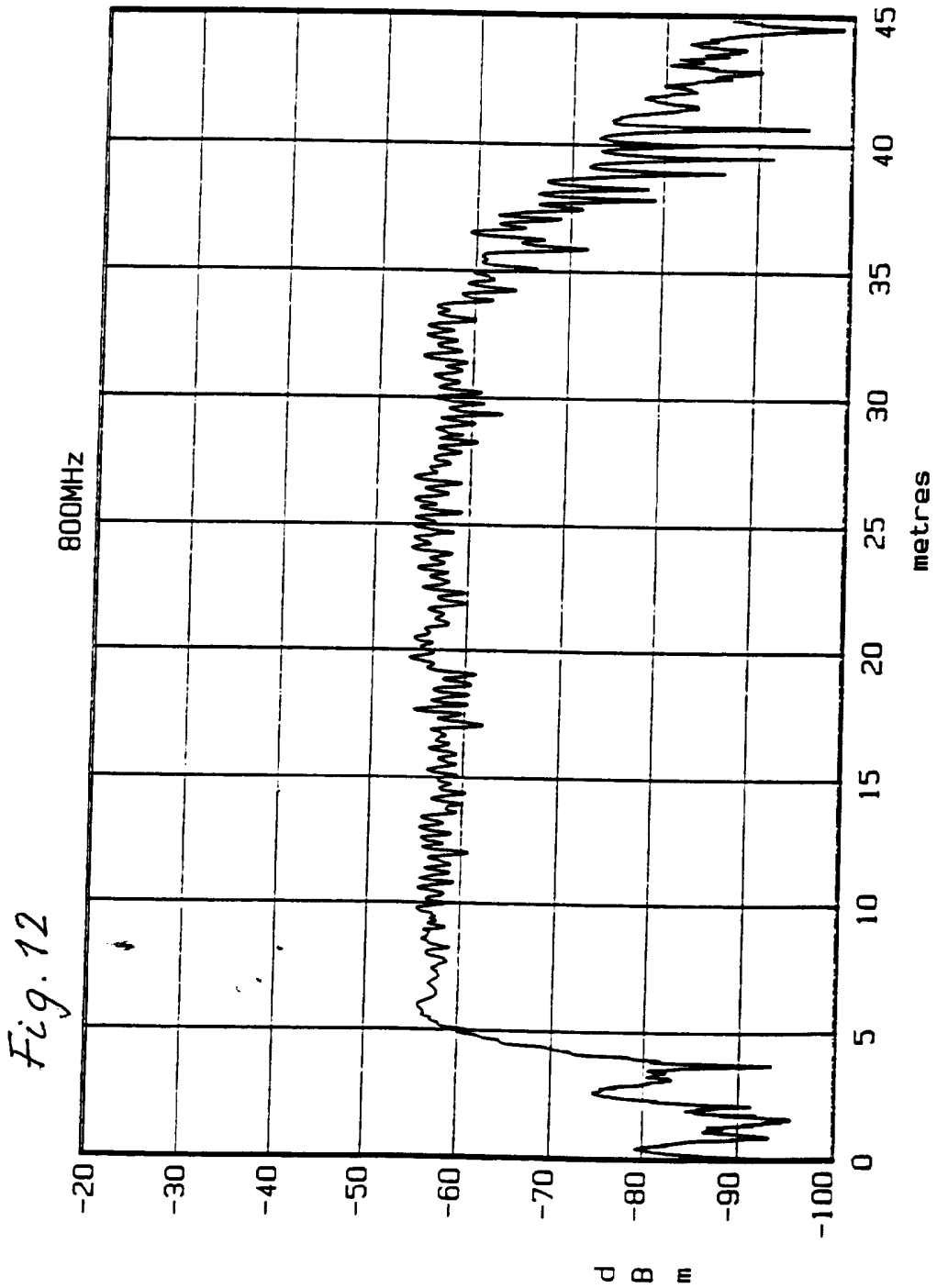

800MHz
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
dBm
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
metres

Fig. 12

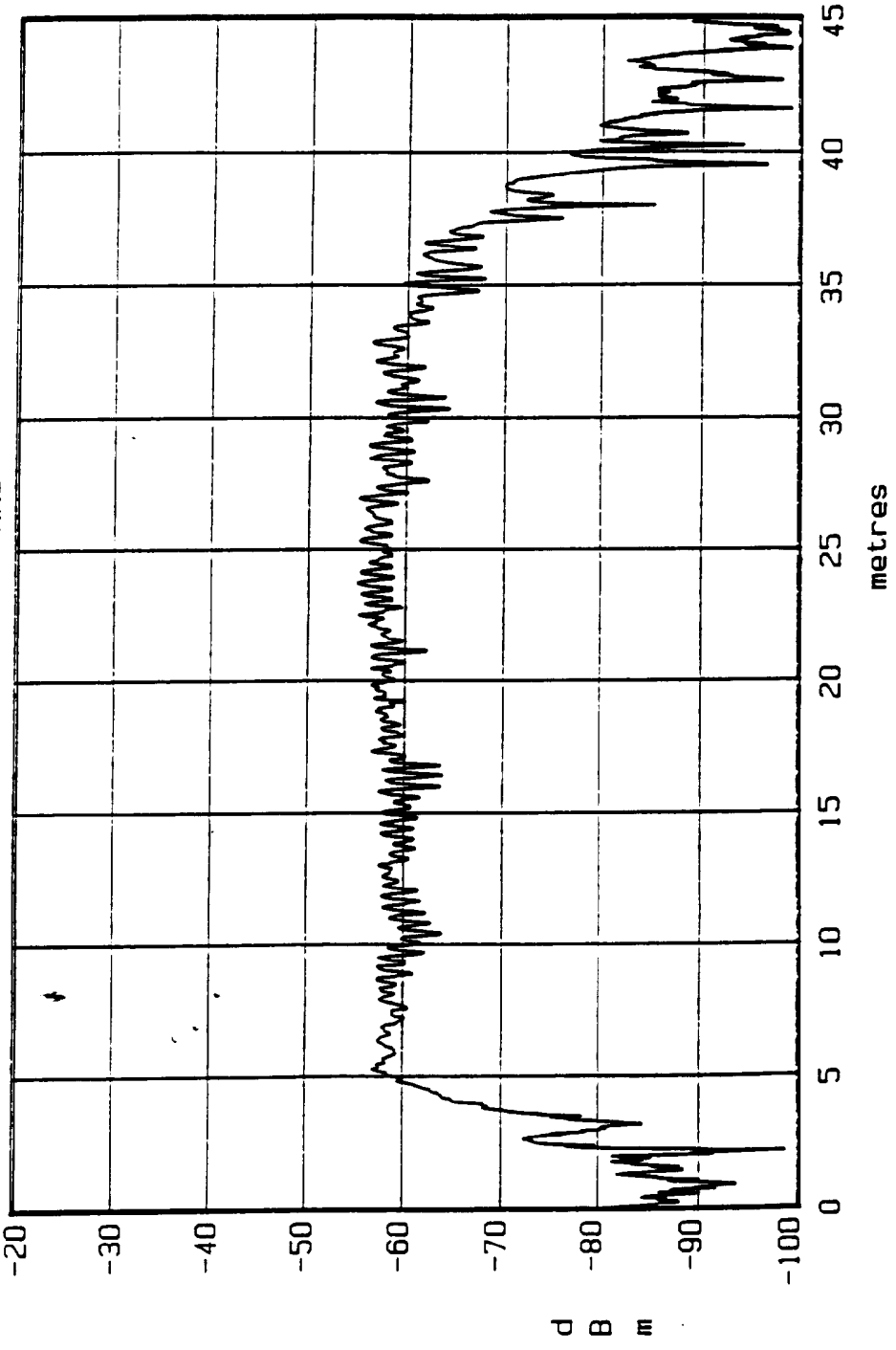

900MHz
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
dBm
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
metres

Fig. 13

Numero de la demande nationale

Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE

établi en vertu de l'article 21 § 1 et 2 de la loi belge sur les brevets d'invention du 28 mars 1984

BO 6238
BE 9500322

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.6)
Y	US 3 106 713 A (HIROSHI MURATA ET AL) 8 Octobre 1963 * colonne 1, ligne 71 - colonne 2, ligne 35; figures 1-3 *	1	H01Q13/20
Y	US 2 803 008 A (N. E. LINDENBLAD) 13 Août 1957 * colonne 2, ligne 61 - colonne 3, ligne 2; figure 1 *	1	
Y	US 3 909 757 A (MIYAMOTO YOSHIO ET AL) 30 Septembre 1975 * colonne 3, ligne 6 - ligne 14; figure 3 *	1	
A	DE 21 03 559 C (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 19 Août 1971 * colonne 4, ligne 65 - colonne 5, ligne 9; figures 1-4 *	3-5	
A,D	DE 93 18 420 U (KABELMETAL ELECTRO) 20 Janvier 1994 * figures 1,2 *	5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
A	US 2 756 421 A (G. G. HARVEY ET AL) 24 Juillet 1956 * colonne 1, ligne 49 - colonne 2, ligne 10; figure 1 *	6	H01Q H04B
A	DE 22 22 171 A (SUMITOMO ELECTRIC) 16 Novembre 1972 * page 9, alinéa 3 - page 11, alinéa 1 *	1	
A D	EP 0 547 574 A (ALCATEL CABLE) 23 Juin 1993 * le document en entier * & FR 2 685 549 A		

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
3 Juillet 1997	Breusing, J

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

EPO FORM 1503 03.82 (P04C48)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.

BO 6238
BE 9500322

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

03-07-1997

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3106713 A	08-10-63	AUCUN	
US 2803008 A	13-08-57	AUCUN	
US 3909757 A	30-09-75	JP 49116587 A	07-11-74
		DE 2412139 A	26-09-74
		GB 1415485 A	26-11-75
DE 2103559 C	19-08-71	FR 2077327 A	22-10-71
		GB 1321582 A	27-06-73
DE 9318420 U	20-01-94	AU 7890994 A	08-06-95
		NZ 264957 A	26-11-96
US 2756421 A	24-07-56	AUCUN	
DE 2222171 A	16-11-72	JP 48087379 A	16-11-73
		DE 2265101 A	05-08-76
		FR 2135358 A	15-12-72
		GB 1387001 A	12-03-75
EP 0547574 A	23-06-93	FR 2685549 A	25-06-93
		AU 658028 B	30-03-95
		AU 2999892 A	24-06-93
		BR 9205051 A	22-06-93
		DE 69214408 D	14-11-96
		DE 69214408 T	20-02-97
		JP 2561786 B	11-12-96
		JP 6125219 A	06-05-94
		US 5291164 A	01-03-94