

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑲ Numéro de dépôt: **88402848.1**

⑥ Int. Cl.⁴: **H 01 Q 21/24**
H 01 Q 21/06, H 01 Q 21/00

⑳ Date de dépôt: **14.11.88**

⑳ Priorité: **13.11.87 FR 8715742**

⑦ Demandeur: **Rammos, Emmanuel**
Floris Versterlaan 1
OEGSTGEEST (NL)

④ Date de publication de la demande:
24.05.89 Bulletin 89/21

⑧ Inventeur: **Rammos, Emmanuel**
Floris Versterlaan 1
OEGSTGEEST (NL)

⑧ Etats contractants désignés: **DE ES FR GB**

⑦ Mandataire: **Rodhain, Claude et al**
Cabinet Claude Rodhain 30, rue la Boétie
F-75008 Paris (FR)

⑤ **Antenne plane à microruban suspendu, et plans de masse autoporteurs à fentes rayonnantes épaisses, sans plots de positionnement.**

⑥ Structure et procédé de fabrication bon marché pour une antenne plane hyperfréquences du type destiné notamment à la réception directe terrestre d'émissions télévisées par satellites.

L'espacement entre le circuit d'alimentation et les plans de masse est maintenu, pour l'essentiel, par la structure même des fentes rayonnantes.

Cet objectif est atteint en prévoyant qu'au moins certaines desdites fentes rayonnantes (20a, 20b) sont des fentes épaisses présentant chacune une paroi sensiblement verticale (31a, 31b) sur au moins une partie de la périphérie de la fente.

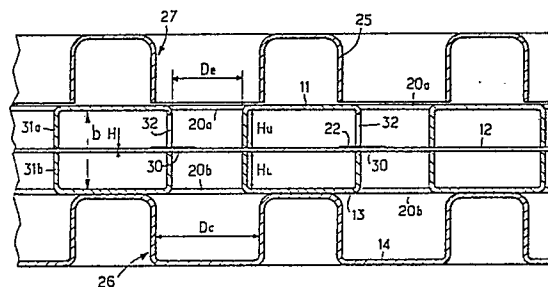


FIG. 2

Description

Antenne plane à microruban suspendu, et plans de masse autoporteurs à fentes rayonnantes épaisses, sans plots de positionnement.

La présente invention constitue un perfectionnement apporté à l'antenne plane ayant fait l'objet de la demande de brevet principale en France n°86 08106 du 05/06/86, et de la demande de certificat d'addition en France, n°87 00181 du 09/01/87 rattachée à la demande principale précédente.

L'objet de la présente invention est de fournir une structure et un procédé de fabrication bon marché pour une antenne plane hyperfréquences du type destiné notamment à la réception directe terrestre d'émissions télévisées par satellites.

On sait que, jusqu'à présent, les antennes planes du type des antennes à réseau susceptibles d'être utilisées dans ce but sont conçues sur des critères d'efficacité maximale, en utilisant des réalisations sophistiquées peu compatibles avec une production de masse à coût réduit.

L'antenne de la demande de brevet française n°81 08780 du 4 mai 1981 (LEP) concerne une telle antenne du type "stripline". Cette antenne présente l'inconvénient d'impliquer l'utilisation d'un matériau diélectrique onéreux, et sa conception interdit pratiquement la réalisation de réseaux à grands nombres d'éléments rayonnants.

En outre, pour un certain nombre de raisons, liées notamment à la multiplicité des paramètres et à la complexité des phénomènes intervenant lors de la mise au point des antennes réseau, les spécialistes de ces antennes se sont jusqu'à présent systématiquement imposé des conditions très strictes de tolérancement pour la mise en forme et le montage des différents éléments des antennes réseau (circuits conducteurs, plaques de masse, matériaux diélectriques, guides d'ondes, etc.). Cette prudence ou plus précisément ce préjugé, étaient particulièrement répandus en ce qui concerne la réalisation d'antenne à conducteur microruban suspendu, comme l'atteste l'article "Guides multiconducteurs" de l'ouvrage "les Techniques de l'Ingénieur" (E621-10). Pour résumer l'état d'esprit de l'homme de l'art en matière d'antennes hyperfréquences, il apparaissait impensable jusqu'à ce jour de réaliser une antenne réseau hyperfréquences en suspendant un circuit conducteur entre deux tôles embouties comme décrit ci-après. Pourtant, contre toute attente, l'efficacité et le rendement d'une antenne apparemment aussi rudimentaire sont non seulement surprenants, mais encore peu sensibles aux imprécisions de mise en forme et de montage inhérents à un procédé de fabrication en masse.

Une tentative récente de s'affranchir des contraintes de tolérance est exposée dans la demande de brevet 83 06650 du 22 avril 1983 (LEP), qui décrit un microruban suspendu par plots de positionnement entre deux plaques métalliques. Ces plaques métalliques sont usinées de façon à former des guides d'onde couplés à des terminaisons du conducteur central. Toutefois, les modes de réalisation décrits dans ce brevet antérieur impliquent toujours une opération d'usinage dans une plaque

métallique de forte épaisseur (de l'ordre de 7 à 10 mm, à 12 GHz).

On connaît également l'antenne plane à guides d'ondes externes décrite dans la demande de brevet européen du 16/12/86, (RTC-COMPELEC) désignant la RFA, la France, et la Grande-Bretagne, et publiée sous le n° AI-0228 742. L'antenne décrite comporte des tôles souples formant supports de fabrication de plots sérigraphiés interposés entre le circuit d'alimentation et les guides d'ondes externes. Ce mode de réalisation est manifestement encore très onéreux, du fait de la nécessité de fabriquer les guides d'ondes, et d'utiliser des tôles supports distinctes, subissant de plus un traitement de sérigraphie pour la formation des plots associés.

L'antenne plane hyperfréquence des demandes de brevet principal et de certificat d'addition mentionnées en préambule résoud avantageusement les inconvénients ci-dessus, en prévoyant l'utilisation de plans de masse autoporteurs percés de fentes rayonnantes, dans lesquelles sont repoussés par emboutissage, des plots de positionnement. Les plots de positionnement repoussés sont destinés à venir reposer sur des portions non conductrices du substrat suspendu. Toutefois, on peut rencontrer, pour certains modes de réalisation ou pour certaines applications à circuit conducteur dense, le besoin d'avoir un nombre élevé de plots, posant des problèmes de logement des plots sur le substrat. D'autre part, le perçage des fentes d'une part, et le repoussage des plots de positionnement d'autre part impliqueraient l'utilisation d'un outil d'emboutissage plus complexe, voire de deux outils distincts.

Ces considérations, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, ont conduit l'inventeur à rechercher un mode de réalisation sans plots de positionnement pour ce type d'antenne plane.

Un autre objet de l'invention est plus généralement de réaliser une antenne réseau de construction simple, avec de faibles exigences de tolérance, compatible avec un procédé de fabrication en masse, sous faible coût de revient.

Un autre objet de l'invention est de réaliser une antenne plane à fentes rayonnantes, et non à guides d'ondes, de façon à s'affranchir des problèmes d'épaisseur des plaques d'usinage et de tolérance.

Un objectif complémentaire de l'invention est de maintenir l'espacement entre le circuit d'alimentation et les plans de masse, non plus au moyen de plots spécifiques, mais au contraire, pour l'essentiel, par la structure même des fentes rayonnantes, ce qui permet de maintenir le conducteur au niveau des terminaisons d'excitation, c'est-à-dire à l'endroit le plus critique de l'antenne à fentes rayonnantes. Ceci permet en outre de multiplier la densité des points de maintien du circuit d'alimentation.

Un objectif complémentaire de l'invention est de conformer les plans de masse selon un procédé de mise en forme économique. Ainsi, dans certains modes de réalisation, la mise en forme des plans de

masse consiste simplement à réaliser une double opération, combinée ou non, de découpage/emboutissage des fentes. En outre, cette mise en forme est parfaitement identique pour les plaques métalliques supérieure et inférieure formant plans de masse.

Un objectif ou avantage supplémentaire de l'invention est d'éviter la propagation intempestive, le cas échéant, de modes parasites de rayonnement entre les plaques de l'antenne.

Ces objectifs ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite sont atteints à l'aide d'un élément d'antenne du type comprenant un conducteur central et au moins un plan de masse, ledit conducteur central coopérant avec des fentes rayonnantes ménagées dans le plan de masse et alignées par paires, ledit conducteur central étant un conducteur microruban porté par une feuille support diélectrique suspendue sur ledit plan de masse,

caractérisé en ce qu'au moins certaines desdites fentes rayonnantes sont des fentes-plots présentant chacune une paroi sensiblement verticale sur au moins une partie de la périphérie de la fente, ladite paroi ou portion de paroi jouant le rôle de plot de positionnement maintenant l'espacement entre ledit conducteur central et lesdits plans de masse.

Avantageusement, la feuille support diélectrique est suspendue entre deux plaques métalliques minces autoportantes formant plans de masse supérieur et inférieur.

Lesdites parois sensiblement verticales des fentes épaisses sont avantageusement constituées par repoussement des plaques métalliques minces formant plans de masse. Ainsi, pour chaque fente, une seule opération d'emboutissage pourrait réaliser à la fois le perçage de la fente, et le repoussement des parois ou portions de paroi d'espacement.

Dans un autre mode de réalisation, les parois ou portions de paroi de fentes épaisses sont rapportées par collage, soudage, montage en force ou autre.

Pourvu que le principe général soit maintenu, chaque fente-plot peut être réalisée suivant plusieurs variantes, en ce qui concerne sa forme (circulaire, rectangulaire,...), la disposition des parois ou portions de parois (portions interrompues, symétriques,...), et la conformation des parois (bords arrondis au contact du support diélectrique du conducteur central).

Bien entendu, selon une caractéristique essentielle de l'invention, chaque paroi verticale doit être interrompue au niveau du passage de la terminaison conductrice d'excitation de la fente rayonnante.

Selon l'invention, des variantes sont également envisageables en ce qui concerne le mode de réalisation des parois des fentes-plots (formant corps avec les plaques métalliques, ou y étant rapportées), et leur répartition dans l'antenne (formation systématique à chaque fente, ou encore à certaines fentes seulement). Des plots complémentaires peuvent également, le cas échéant, être formés en d'autres endroits des plaques métalliques autoportantes, par exemple sous forme de repoussements, ou encore de fentes ouvertes non rayonnantes réalisées dans les plaques métalliques de façon à reposer sur le substrat en dehors du

conducteur central.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, les fentes-plots présentent des parois autorisant le passage de deux terminaisons d'excitation, pour un fonctionnement en polarisation(s) circulaire(s), ou encore en polarisations linéaires.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de quelques modes de réalisation préférés de l'invention donnés à titre d'illustration, et des dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe et en perspective d'un élément d'antenne selon l'invention muni d'une paire de fentes-plots, repoussées par emboutissage dans des plaques métalliques minces autoportantes formant plans de masse,

- la figure 2 est une vue en coupe verticale d'un jeu de deux éléments rayonnants formés dans un même module d'antenne, avec couronne avant à cavités ouvertes et structure arrière à cavités fermées,

- la figure 3 est une vue en coupe verticale d'un module complet de cinq éléments d'antenne en ligne, selon l'invention, montés en boîtier fermé avec cavités arrière et polariseurs,

- la figure 4 est une vue de dessus, en coupe schématique, de la conformation des parois sensiblement verticales de fentes-plots appartenant à deux éléments rayonnants adjacents,

- la figure 5 est une vue de dessus, en coupe schématique, de portions de parois symétriques, pour des fentes-plots de quatre éléments rayonnants adjacents,

- la figure 6 est une représentation schématique en perspective de deux fentes-plots rayonnantes, à portions de parois symétriques embouties,

- la figure 7a, 7b représente la courbe (fig.7a) de la variation d'impédance Z_0 , pour une ligne SSL typique (FIG.7b), en fonction de la largeur de son conducteur extérieur,

- la figure 8 est une vue en coupe, en perspective, d'un mode de réalisation avantageux des parois de fentes-plots suivant l'invention, avec bords de contact arrondis,

- la figure 9 est une vue éclatée illustrant un autre mode de réalisation de l'invention, dans lequel les fentes-plots sont réalisées en rapportant des anneaux ou portions d'anneaux aux plaques métalliques formant plans de masse,

- la figure 10 est une vue en coupe, en perspective, d'un mode de réalisation des fentes-plots selon l'invention pour un élément d'antenne à polarisation(s) circulaire(s), ou à polarisation linéaires.

- les figures 11 et 12 représentent, en coupe verticale, deux variantes de l'invention dans laquelle on ne prévoit qu'une plaque métallique inférieure de masse,

- la figure 13 est une vue en coupe verticale d'une variante d'une variante du mode de réalisation de la figure 2 qui ne comporte pas de plaque métallique supérieure,

- la figure 14 est une vue en coupe verticale

représentant une variante de réalisation qui ne comporte qu'une plaque métallique supérieure, et

- la figure 15 représente une variante de réalisation comprenant deux circuits imprimés indépendants destinés à la création de polarisations

La figure 1 représente un mode de réalisation de l'invention comprenant une feuille support mince diélectrique 12 portant un conducteur microruban 22 et suspendue, entre deux plaques métalliques minces autoportantes 11, 13, formant respectivement plans de masse supérieur et inférieur. La structure 11, 12, 13 ainsi formée présente des paires de fentes rayonnantes 20a, 20b, superposées au niveau d'une terminaison d'excitation 30 du conducteur 22. Chaque paire de fentes 20a, 20b et la terminaison 30 associée forment un élément rayonnant de l'antenne.

L'élément rayonnant représenté en figure 1 devient ainsi en quelque sorte une unique fente-plot plus épaisse, dans la mesure où chacune des fentes 20a, 20b comporte une paroi sensiblement verticale 31a, 31b. Dans le mode de réalisation de la figure 1, la paroi verticale fait corps avec les plaques métalliques 11, 13, et constitue les bords rabattus des fentes 20a, 20b, conformées par exemple à la suite d'une opération d'emboutissage.

L'épaisseur totale de la fente-plot ainsi formée dépend de la distance des plans de masse 11, 13, qui elle est définie principalement par l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation. Cette impédance est principalement définie par le rapport w/b , w représentant la largeur du conducteur imprimé, et b la distance entre les plans de masse 11, 13 (fig.2). Dans le cas pratique d'une épaisseur du conducteur imprimé 22, et d'une épaisseur du support diélectrique 12 faibles, le rapport w/b est sensiblement égal à 1, pour des impédances de la ligne d'alimentation 11, 12, 13 de l'ordre de 60 Ohm qui nous intéressent. Etant donné que w doit être suffisamment faible, de préférence inférieur à 2 mm dans le cas d'une antenne à 12 GHz, pour que les lignes d'alimentation 22 puissent passer entre les fentes sans être trop près des fentes, ou l'une de l'autre, pour éviter les couplages parasites, on voit que l'épaisseur totale des fentes-plots 20a, 20b doit être inférieure à environ 2 mm, c'est-à-dire inférieure à 0,1 fois la longueur d'ondes approximativement ("Stripline circuit design" H.HOWE Jr, Artech House, 1974).

Ce raisonnement exclut la réalisation de fentes plus épaisses, ou encore l'utilisation de guides d'ondes, par définition également plus épais.

La paroi 31a de la fente supérieure 20a présente une échancrure ou interruption 32 dégageant un passage pour la terminaison d'excitation 30. Les dimensions du passage doivent être suffisantes pour neutraliser toute influence parasite de la paroi verticale 31a sur la terminaison 30, comme on le verra ci-après.

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, ce sont les parois verticales 31a, 31b des fentes rayonnantes qui assurent le positionnement et l'espacement relatifs des plans de masse 11, 13 par

rapport au diélectrique central 12, et donc au conducteur d'excitation 22, 30.

Cette conception de la structure d'un élément rayonnant est tout à fait avantageuse. La mise en forme de chacune des plaques métalliques 11, 13 se résume en effet essentiellement, par exemple, à une opération d'emboutissage des fentes, suivie ou précédée d'une opération de découpage ou autre destinée à aplanir le bord de contact des parois 31a, 31b, et à dégager l'interruption 32 de passage de la terminaison d'excitation 30 du conducteur. Du fait que les fentesplots ainsi réalisées assurent le maintien et l'espacement des plans de masse, il n'est donc pas nécessaire dans le cas général de prévoir des plots d'espacement supplémentaires. En outre, le fait que les parois d'espacement des plaques 11, 13 soient situées au niveau des terminaisons d'excitation des fentes rayonnantes garantit le maintien d'un espacement nominal aux points les plus critiques.

Ce mode de réalisation permet également l'utilisation de plaques métalliques autoportantes 11, 13 de très faible épaisseur, du fait que la rigidité de chaque plaque métallique 11, 13 est renforcée par la multiplicité des parois repoussées 31a, 31b, et de la multiplicité de points d'appui le long des bords de contact des parois 31a, 31b.

A titre d'exemple non limitatif, pour une ligne d'impédance $Z_0 = 70$ ohms, le support diélectrique mince peut être de 25 à 75 microns, et les parois 31a, 31b repoussées dans les plaques métalliques 11, 13 doivent ménager chacune un espacement de 0,8 mm environ entre les plans de masse et le conducteur central 22. Pour un fonctionnement à 12 GHz, chaque fente rayonnante peut présenter un diamètre de 15,5 mm environ. L'interruption 32 présente avantageusement une largeur $1 \geq 4$ à 5 mm, pour dégager le passage de la terminaison d'excitation.

Les évidements 20a, 20b d'une même paire de fentes ont leurs centres alignés sur un axe vertical, et peuvent présenter un diamètre égal. Toutefois, les diamètres des évidements d'une même paire pourraient être légèrement différents, par exemple pour améliorer la largeur de bande. Le diamètre des évidements est de l'ordre de 0,3 à 0,7 longueur d'onde, de préférence aux alentours de 0,6 longueur d'onde.

Il est à noter que les formes épaisses de l'invention se distinguent très clairement des modes de réalisation à guides d'onde.

En effet, l'utilisation de paires de fentes rayonnantes 20a, 20b a pour effet de concentrer l'énergie rayonnante dans une zone inférieure à celle des modes de réalisation où chaque terminaison conductrice est uniquement couplée à des cavités formant guides d'onde, du fait notamment que la largeur d'un guide d'onde est supérieure à la largeur D_0 des fentes rayonnantes correspondantes, pour une fréquence de travail donnée.

On notera plus précisément que le fonctionnement des fentes-plots telles que préconisées dans la présente invention, diffère fondamentalement du mode de fonctionnement caractéristique des guides d'onde. En effet, selon la théorie, les guides d'onde

ne peuvent fonctionner de façon satisfaisante qu'au delà d'une certaine fréquence, appelée fréquence de coupure f_c . Dans le cas d'un guide circulaire, la valeur de la fréquence f_c est donnée par la relation : f_c (GHz) = 175,8/d (mm), pour le mode fondamental DE₁₁ ("Principals of microwave circuits" C.G. MONTGOMERY, Dover Pub., 1965).

Tout au contraire, dans la conception de l'antenne suivant l'invention, avec fentes-plots, les mesures effectuées sur prototype (voir plus loin) ont montré que la fente fonctionne à partir de 10 GHz, avec un T.O.S. inférieur à 1,4. Ceci est à comparer avec la fréquence de coupure d'un guide circulaire de même diamètre (16,5 mm) est égale à 10,65 GHz. Un tel guide ne fonctionnerait donc correctement qu'au delà de 10,65 GHz, et donc en dehors de la plage de travail des fentes-plots rayonnantes de la présente invention.

Toutefois, l'utilisation des fentes-plots de l'invention n'exclut pas qu'on puisse, de façon optionnelle, pourvoir les éléments rayonnants de cavités avant ouvertes 27 et/ou arrière fermées 26, comme représenté en figure 2.

Il est à noter également que les lignes suspendues de l'invention permettent de réduire substantiellement les pertes susceptibles de se produire entre le conducteur central et les plans de masse, du fait de l'utilisation de l'air comme diélectrique, à la différence des antennes équivalentes du type "stripline" ou "microstrip" utilisant un matériau diélectrique solide et onéreux.

Les figures 2 et 3 sont relatives à des modes de réalisation de l'antenne suivant l'invention sous forme de modules de plusieurs éléments rayonnants.

Chaque module comporte ainsi avantageusement un réseau d'éléments rayonnants, agencés régulièrement en lignes et colonnes.

Les vues des figures 2 et 3 correspondent à des coupes verticales de modules, suivant un axe d'alignement d'éléments rayonnants, mais on peut imaginer que le module comporte une pluralité d'alignements d'éléments identiques dans d'autres plans parallèles au plan de coupe. Avantagusement, l'espacement entre deux éléments rayonnants consécutifs sur une ligne ou une colonne peut être égal à 0,7 à 0,9 longueur d'onde.

Le fait de réaliser une pluralité d'éléments rayonnants dans un même module présente bien évidemment l'avantage de simplifier le processus de fabrication des antennes : chaque plaque métallique mince autoportante 11, 13 subit ainsi une opération de découpage/emboutissage comme défini ci-dessus formant simultanément une pluralité de fentes-plots. De même, le support diélectrique 12 de la ligne conductrice d'excitation 22 comporte une pluralité de terminaisons d'excitation 30 ménagées en regard des paires de fentes-plots correspondant à chaque élément rayonnant. Cette conception est particulièrement appropriée à un mode de fabrication en masse des antennes.

De façon avantageuse, une antenne peut être réalisée par combinaison de plusieurs modules. Dans le cas d'antennes de dimensions relativement grandes, cette technique présente l'avantage de

diminuer le coût de fabrication, en diminuant la taille des outils utilisés. Dans le mode de réalisation à plaques embouties, les économies réalisées peuvent être importantes ; en outre, la diminution de la taille des outils permet de mieux maîtriser la précision de mise en forme des plaques embouties. Enfin, l'avantage est encore plus déterminant si chaque antenne est réalisée par addition de plusieurs modules identiques.

Dans le cas d'une combinaison de plusieurs modules, les moyens de liaison entre modules peuvent être réalisés par guides d'ondes d'entrée/sortie, ou par connexion de terminaisons d'entrée/sortie de modules adjacents (voir fig. 12, 13, 14 du Certificat d'Addition en France n°87 00181, correspondant aux fig. 19, 20, 21 de la demande de brevet européen correspondante 87-401252.9).

Dans le mode de réalisation de la figure 2, la structure 11, 12, 13 est complétée par une plaque de fond emboutie 14 formant des cavités fermées 26, et par une couronne supérieure 25 emboutie formant des cavités ouvertes 27.

Le mode de réalisation représenté comporte une cavité par élément rayonnant. Toutefois, il est également envisageable de réaliser des cavités, notamment des cavités arrière fermées, communes à plusieurs éléments rayonnants, par exemple quatre éléments rayonnants adjacents en "carré". Il est aussi possible de munir le module d'antenne d'une simple plaque de fond plane dépourvue de cavités.

On notera que ce mode de réalisation de l'antenne fait exclusivement intervenir une technologie d'emboutissage de tôles métalliques pour la fabrication des quatre plaques 11, 13, 14, 25. L'opération d'emboutissage permet d'une part de former les fentes-plots 20a, 31a ; 20b, 31b, et d'autre part, de former la couronne 25 à cavités ouvertes 27, et la plaque de fond emboutie 14 à cavités fermées 26. On remarquera que, du simple point de vue du procédé de fabrication, la mise en forme de la couronne supérieure 25 s'apparente fort à la mise en forme des fentes-plots de la présente invention, et que la mise en forme des cavités fermées 26 dans la plaque de fond 14 peut être analogue au procédé de conformation des renforcements ou butées formant plots de positionnement dans les modes de réalisation des demandes de brevets antérieurs en France n°86 08106, 87 00181, et de la demande européenne n°87 401252.9.

Toutefois, l'analogie entre la mise en forme par emboutissage de la couronne supérieure (27) et des plans de masse (11, 13) s'arrête ici : en effet, l'objectif fonctionnel poursuivi n'est pas le même dans les deux cas : alors que la conformation des cavités ouvertes 27 vise à obtenir une sorte de guide d'ondes de hauteur et de diamètre donnés, le repoussage des parois sensiblement verticales 31a, 31b dans les plans de masse 11, 13, a pour objet de permettre un positionnement relatif avec espacement adéquat des plaques 11, 12, 13 de la structure, sans entraîner d'influences parasites sur le fonctionnement des fentes rayonnantes.

La figure 2 ne rend compte en aucune façon de la proportion des espacements et des épaisseurs des

plaques, qui ont été considérablement déformées pour des raisons de clarté.

L'adjonction de la plaque de fond 14, et des cavités 26, 27 présente les avantages suivants.

La plaque réfléchissante de fond 14 permet de donner une direction à l'énergie rayonnée, et se trouve à une distance de la structure de l'ordre d' $1/4$ de la longueur d'onde dans la cavité arrière. Cette distance est un paramètre de réglage du fonctionnement de l'antenne conjointement aux dimensions de la ligne d'alimentation 22 et des dimensions des fentes-plots.

La conformation de la plaque de fond 14 pour présenter des cavités arrière fermées 26, et l'adjonction éventuelle de cavités avant ouvertes 27, permet d'optimiser encore davantage la récupération et la canalisation dans la direction d'émission/réception de l'antenne de l'essentiel de l'énergie rayonnée.

L'adjonction de cavités avant ouvertes 27 permet d'augmenter le gain de l'antenne. La hauteur des cavités est de préférence supérieure à 0,1 fois la longueur d'onde d'émission. A titre d'exemple, une hauteur des cavités ouvertes 27 de 5 mm à 10 mm donnerait une augmentation de gain de l'ordre de 2 dB, suivant la géométrie, pour une fréquence de fonctionnement de 12 GHz.

Dans le mode de réalisation de la figure 2, les plaques 14, 13, 12, 11 et 25 peuvent être assemblées par simple empilage, avec solidarisation par boulonnage, ou par insertion dans un boîtier B à couvercle C, comme représenté en figure 3.

On notera toutefois que les cavités 26, 27 peuvent également être réalisées sous forme de cabochons individuels emboutis, par anneaux métalliques, par jeux de lames entrecroisées posées sur champ, ou encore par revêtement métallique appliqué sur un matériau non métallique préformé, comme décrit dans les demandes de brevets antérieurs précitées.

On notera à cet égard que la réalisation des fentes-plots 20a, 31a ; 20b, 31b selon l'invention peut également être effectuée en rapportant des anneaux métalliques, ou des lames entrecroisées posées sur champ, sur les plaques métalliques minces autoportantes 11, 13, comme décrit plus loin à propos de la figure 9.

Dans le mode de réalisation de la figure 3, le module d'antenne représenté comporte des alignements de 5 éléments rayonnants. La figure 3 est une vue en coupe verticale selon l'un de ces alignements.

Le module représenté comporte des cavités arrière fermées 26, mais est dépourvu de couronnes avant à cavités ouvertes.

En revanche, le module est pourvu d'un polariseur P.

Dans le cas où une seule ligne d'excitation est utilisée, la polarisation (sans polariseur) est linéaire avec un champ électrique E parallèle aux lignes d'excitation.

Une polarisation circulaire peut être obtenue en utilisant un polariseur plan imprimé (par exemple un polariseur à lignes en méandres) placé au-dessus des éléments rayonnants.

Une autre méthode d'obtention d'une polarisation circulaire consiste à exciter deux polarisations

linéaires perpendiculaires, déphasées de $\pm 90^\circ$ dans chacun des éléments rayonnants, comme représenté en figure 10.

5 Ce même mode de réalisation de la figure 10 permet également d'obtenir une polarisation linéaire double.

Les figures 4 et 5 sont des vues de dessus illustrant des modes de réalisation préférentiels de la conformation des fentes-plots selon l'invention.

10 Dans la figure 4, les terminaisons 30 du conducteur central 22 pénètrent en regard des paires de fentes à travers des interruptions 32 de la paroi sensiblement verticale 31a de chaque fente 20a.

15 Comme déjà mentionné, pour le mode de réalisation représenté, et dans le cas d'un fonctionnement aux environs de 12 GHz, la largeur 1 de l'interruption 32 doit être supérieure à 4 à 5 mm, pour un diamètre de fente approximativement égal à 15,5 mm.

20 La justification de la valeur choisie pour la largeur 1 peut être trouvée en figures 7a, 7b.

Des calculs ont été effectués pour une ligne suspendue typique (par le programme de C.A.O "Supercompact"), sur une ligne SSL telle que représentée en figure 7b.

25 Le conducteur 22 de la ligne a été placé dans les conditions de l'antenne à fentes-plots, c'est-à-dire entre deux parois horizontales supérieure 70 et inférieure 71 respectivement, représentant les plans de masse, et entre deux parois verticales 72, 73 représentant les parois sensiblement verticales des fentes-plots.

Les parois 70, 71, 72, 73 forment le conducteur extérieur de cette ligne de type coaxial.

30 Les dimensions retenues dans cet exemple sont :
 - espacement vertical $H_u = H_1 = 0,8$ mm;
 - largeur du conducteur $W = 1,4$ mm;
 - épaisseur du diélectrique $H = 0,075$ mm;
 - constante diélectrique de la plaque 74 : $\epsilon_R = 2,2$.

40 On a calculé la variation de l'impédance Z_0 de la ligne ainsi définie en fonction de la distance verticale A des parois latérales 72, 73 entre lesquelles est centré le conducteur 22.

45 Le conducteur 22 est monté sur support diélectrique 74. Les parois 70, 71, 72, 73 sont en matériau conducteur.

La valeur de l'impédance Z_0 est un paramètre crucial déterminant la performance de l'antenne et l'adaptation de chaque élément rayonnant.

50 La courbe $Z_0 - f(A)$ en figure 7a, indique clairement que l'impédance Z_0 se stabilise au-delà d'une valeur de 4 à 5 mm pour la variable A. En conséquence, à condition de respecter cet espacement minimal, les performances de l'antenne sont stables et parfaitement maîtrisées. Une valeur de 7 mm par exemple pour la largeur 1 des échancrures 32 pratiquées dans les parois sensiblement verticales des fentes-plots, serait tout à fait satisfaisante. Cette valeur de 7 mm n'est toutefois pas une caractéristique limitative de l'invention, mais permet de tolérer par avance d'éventuelles imprécisions de montage et d'assemblage des éléments emboutis de l'antenne suivant l'invention.

60 Des mesures expérimentales sur prototypes sont également en cours de réalisation. D'ores et déjà, les mesures relevées pour le T.O.S. ont révélé une

adaptation des éléments rayonnants au moins égale et semble-t-il meilleure dans le cas de fentes-plots, par rapport à un mode de réalisation à fentes sans parois verticales.

Pour un élément de référence tel que celui de la figure 1, et muni d'une cavité arrière, on a trouvé que le T.O.S. était inférieur à 1,4 environ entre 10 et 11,5 GHz, soit sur une largeur de bande de 1,5 GHz, pour un diamètre de la fente-plot de 16,5 mm.

Ces mesures confirment donc que non seulement la structure de l'antenne proposée est très peu sensible à des imprécisions de fabrication par emboutissage et de montage par empilement ou équivalent, mais encore que les performances d'une telle antenne sont parfaitement compatibles avec les conditions standards de réception d'émissions télévisées par satellites.

On pourra se reporter par exemple à la demande européenne n°87 401 252.9 pour constater, de façon complémentaire, que l'adaptation de l'antenne est également relativement insensible à des imprécisions des espacements H_u , H_1 de la structure, sur une plage supérieure au tolérance de mise en forme par emboutissage ($H_u = 0,8 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$). Les résultats des calculs et des mesures expérimentales effectuées montrent donc qu'il est indifférent de réaliser les parois sensiblement verticales 31a, 31b des fentes-plots, sous forme d'un bord continu (fig.4) ou d'un bord discontinu (fig.5, fig.6) pourvu que soit respectée la largeur 1 de l'échancrure 32 de passage de terminaison d'excitation 30.

Dans les modes de réalisation des figures 5, 6, les fentes-plots sont constituées de deux portions de parois sensiblement verticales 51, 52 ; 61, 62. Ces portions de parois sont placées symétriquement par rapport à l'axe de pénétration des terminaisons d'excitation 30 entre les paires de fentes.

Bien entendu, on pourra envisager que les parois sensiblement verticales des fentes-plots soient constituées d'une pluralité de petites portions réparties régulièrement ou non sur la périphérie des fentes.

Dans le cas d'un mode de réalisation avec une densité particulièrement forte de fentes rayonnantes, la portion de paroi peut se limiter à un seul élément de quelques millimètres de largeur, par exemple, voire éventuellement à aucun élément pour certaines des fentes si le maintien de l'espacement de la structure est suffisamment assuré au niveau de fentes adjacentes.

Les fentes-plots de l'invention peuvent présenter, dans certaines variantes, les caractéristiques schématisées en figures 8 et 9.

En figure 8, les parois sensiblement verticales 31a, 31b présentent un bord d'appui 81a, 81b arrondi, pour mieux soutenir le diélectrique 12. Dans ce cas, les diamètres de la fente au niveau du diélectrique 12, et au niveau des plans de masse 11, 13 ne sont pas égaux, et doivent donc être optimisés pour la fréquence de fonctionnement.

Dans la variante de la figure 9, les fentes-plots sont réalisées en rapportant un anneau ouvert 90 ou des portions d'anneau 91 entre chaque plan de masse supérieur 11 et inférieur 13 d'une part, et le diélectrique support 12. Dans ce mode de réalisa-

tion, chaque anneau 90 ou portions d'anneau 91 détermine, par son épaisseur, l'espacement de la structure.

Les anneaux ou portions d'anneaux 90, 91 peuvent être rapportés par collage, soudage, montage en force, ou autre.

Quel que soit le mode de réalisation retenu pour la réalisation des fentes-plots, il est clair que la présente invention inclut également le cas où certaines seulement des fentes rayonnantes sont des fentes-plots, et/ou le cas où des plots supplémentaires d'espacement, formés par repoussement dans les plans de masse 11, 13, ou encore formés par des éléments métalliques ou non métalliques rapportés sur les plans de masse, sont insérés dans la structure. Il est également possible de prévoir de remplir la structure d'un matériau diélectrique, par exemple sous forme de mousse, pour en augmenter la rigidité.

Les modules d'antennes suivant l'invention peuvent également être enrobés d'un matériau électromagnétiquement neutre du type d'une matière plastique expansée ou moulée, par exemple du polyuréthane expansé. Cet enrobage présente notamment l'avantage de protéger le module contre les intempéries lorsque l'antenne doit être utilisée à l'extérieur.

Le mode de réalisation à fentes-plots est également compatible avec des antennes à plusieurs niveaux du type de celles présentées en figure 6 de la demande européenne n° 87 401 252.9, ou encore avec les modes de réalisation à éléments additionnels de couplage (fig. 7 de la même demande européenne).

La solidarisation des différentes plaques superposées constituant l'antenne suivant l'invention peut être assurée par exemple par collage, au cours d'un processus de fabrication comprenant une étape d'immersion des bords d'appui des plaques dans un bain de colle, avant application de chaque plaque sur la plaque précédente.

Les figures 11 à 14 illustrent des modes de réalisation de l'invention dans lesquels l'élément d'antenne ne comporte qu'une seule plaque métallique de masse, la plaque supérieure 11 ou la plaque inférieure 13. Dans le mode de réalisation de la figure 11, l'élément d'antenne correspond à celui qui est représenté en figure 2 sans la plaque supérieure 11 et sans la couronne supérieure 25. Les conducteurs imprimés 30 ont été représentés sur la partie supérieure de la plaque diélectrique 12 ; on peut également concevoir un élément d'antenne du même type mais dans lequel ces conducteurs imprimés 30 seront disposés sur la face inférieure de la plaque 12. Dans ce cas, la plaque 12 de circuit imprimé peut constituer une couche protectrice ou radôme ; cette couche peut d'ailleurs être réalisée en mousse expansée puisque l'épaisseur du diélectrique 12 n'intervient plus dans les calculs.

La figure 12 représente une variante de réalisation de la figure 3 dans laquelle la plaque métallique supérieure a été supprimée.

Le mode de réalisation de la figure 13 correspond à celui de la figure 2 dans lequel on a supprimé la plaque de masse métallique inférieure 13.

Dans ces trois modes de réalisation, les conducteurs imprimés 30 ne doivent pas toucher les cavités, la distance minimale permise étant de l'ordre de 0,5 mm pour des dimensions d'antenne typiques fonctionnant à 12 GHz.

Par ailleurs, lorsque l'on ne dispose que d'une seule plaque métallique de masse, cette plaque peut comporter des repoussements de positionnement, avec ou sans paroi verticale des fentes rayonnantes, pour maintenir la plaque diélectrique 12.

La figure 14 représente un mode de réalisation qui comporte qu'une seule plaque métallique supérieure 11, les parois verticales étant constituées par des couronnes ou portions de couronne formées par des repoussements 102 réalisés dans un diélectrique ou une mousse diélectrique 101 sur laquelle repose le circuit imprimé mince 12. Dans ce cas, ce diélectrique ou mousse diélectrique 101 peut comporter des cavités arrière.

Enfin, la figure 15 représente une variante de réalisation comprenant deux plaques de circuit imprimé indépendantes 12a et 12b qui sont destinées à créer deux polarisations circulaires ou linéaires indépendantes. Dans ce cas, certaines fentes ont des parois verticales dirigées vers le haut et d'autres vers le bas.

Dans le cas où on réalise des éléments d'antenne selon l'invention ne comportant qu'une seule plaque de masse, il y a lieu de refaire le calcul des lignes d'alimentation en ce qui concerne l'impédance ; c'est surtout la largeur des conducteurs imprimés qui doit être recalculée.

Revendications

1) Élément d'antenne du type comprenant un conducteur central microruban (22) et au moins un plan de masse (11, 13), ledit conducteur central (22) coopérant avec des fentes rayonnantes (20a, 20b) ménagées dans le plan de masse (11, 13) et alignées par paires, ledit conducteur central étant un conducteur microruban porté par une feuille support diélectrique (12) suspendue sur ledit plan de masse, élément d'antenne caractérisé en ce qu'au moins certaines desdites fentes rayonnantes (20a, 20b) sont des fentes-plots présentant chacune une paroi sensiblement verticale (31a, 31b) sur au moins une partie de la périphérie de la fente, ladite paroi ou portion de paroi (31a, 31b ; 51, 52 ; 61, 62) jouant le rôle de plot de positionnement maintenant l'espacement (H_u , H_1) entre ledit conducteur central (22) et lesdits plans de masse (11, 13).

2) Élément d'antenne suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la feuille support diélectrique (12) est suspendue entre deux plaques métalliques minces autoportantes (11, 13) formant plans de masse supérieur (11) et inférieur (13).

3) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdites

parois sensiblement verticales (31a, 31b ; 51, 52, 61, 62) sont constituées par repoussement des bords périphériques des fentes (20a, 20b).

4) Élément d'antenne suivant la revendication 2, caractérisé en ce que lesdites parois sensiblement verticales (31a, 31b ; 51, 52, 61, 62) sont constituées par des couronnes ou portions de couronnes (90, 91) rapportées entre les plaques métalliques (11, 13) et le diélectrique support (12).

5) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdites parois verticales (31a, 31b) présentent une échancrure (32) au niveau du passage de la terminaison d'excitation (30) du conducteur (22).

6) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins certaines desdites fentes rayonnantes sont des fentes-plots présentant deux portions de parois sensiblement verticales (51, 52, 61, 62) réparties symétriquement par rapport à l'axe d'introduction de la terminaison d'excitation (30) du conducteur (22) à l'intérieur de la paire de fentes (20a, 20b).

7) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdites parois sensiblement verticales (31a, 31b ; 51, 52, 61, 62) présentent un bord d'appui (81a, 81b) essentiellement arrondi au contact du diélectrique support (12).

8) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins certaines des fentes rayonnantes (20a, 20b) présentent deux échancrures (32) dans les parois sensiblement verticales (31a, 31b), pour le passage de deux terminaisons d'excitation (101, 102) à 90°.

9) Élément d'antenne suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins certaines desdites fentes rayonnantes coopèrent avec des cavités avant ouvertes (27) et/ou des cavités arrière fermées (26).

10) Élément d'antenne suivant la revendication 3, caractérisé en ce que lesdites fentes-plots (20a, 20b) sont formées au cours d'une double opération, simultanément ou successivement, de découpage et emboutissage d'une pluralité de fentes-plots dans chacune desdites plaques minces autoportantes (11, 13) formant plans de masse.

11) Élément d'antenne suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte seulement une plaque métallique inférieure (13).

12) Élément d'antenne suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte seulement une plaque métallique supérieure (11).

13) Élément d'antenne suivant la revendication ou 12, caractérisé en ce que les parois verticales (31a, 31b) sont constituées par des repoussements réalisés dans un diélectrique ou une mousse diélectrique (101) sur laquelle repose le circuit imprimé mince (12).

14) Élément d'antenne suivant la revendication 13, caractérisé en ce que le diélectrique ou

mousse diélectrique (101) comprend des cavités arrière ou avant.

15) Élément d'antenne suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'elle comporte deux circuits imprimés indépendants (12a, 12b) destinés à créer deux polarisations circulaires ou linéaires indépendantes.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

9

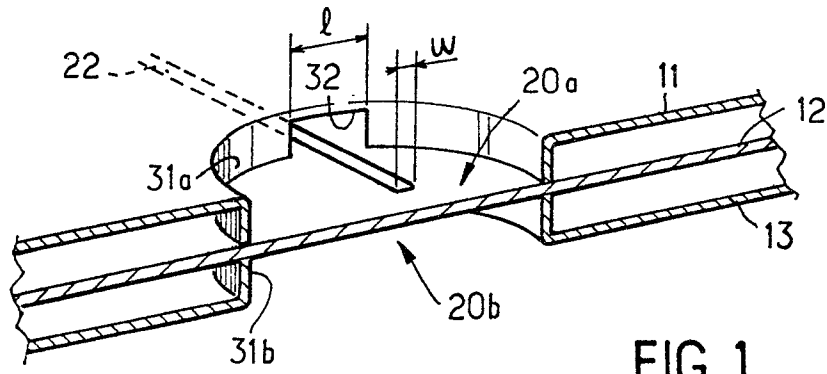


FIG. 1

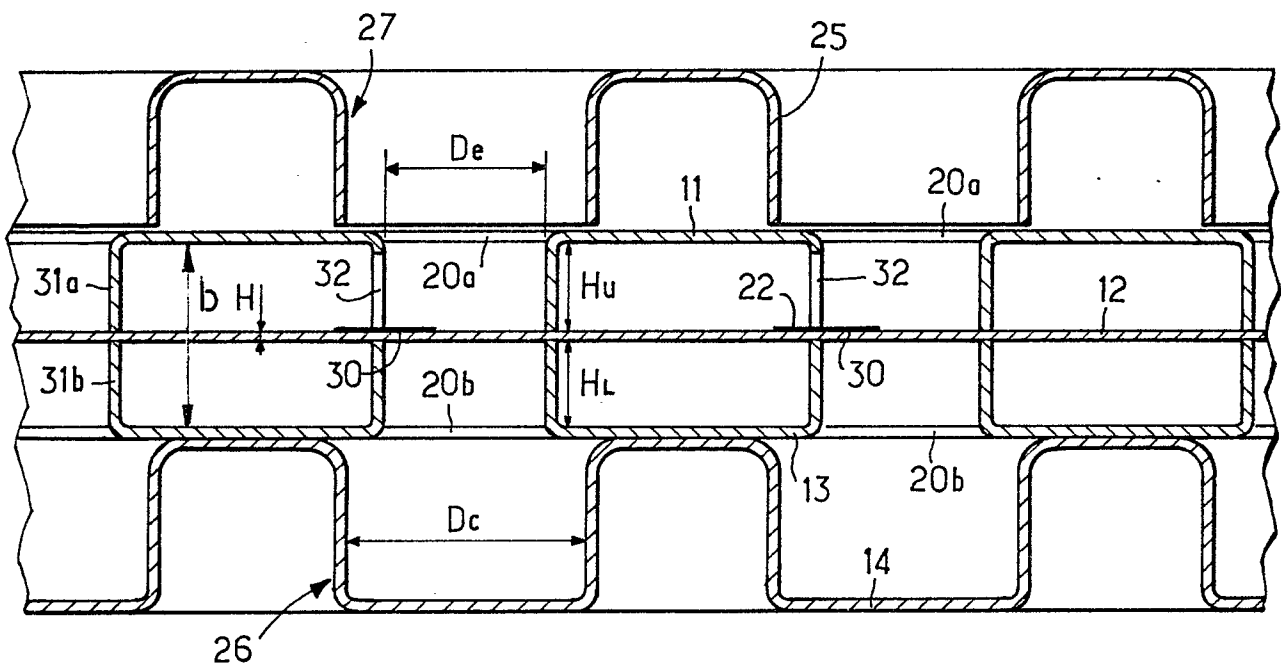


FIG. 2

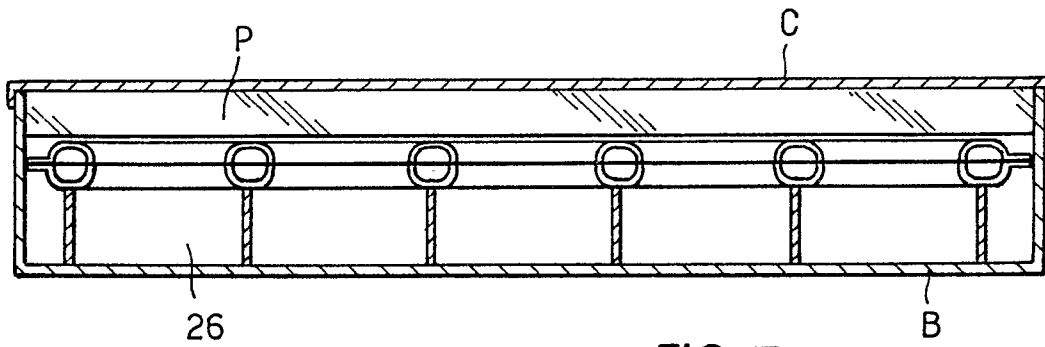


FIG. 3

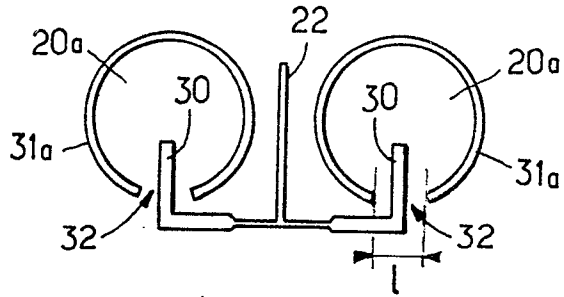


FIG. 4

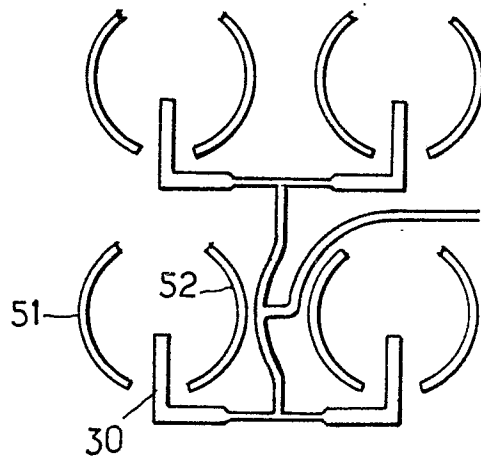


FIG. 5

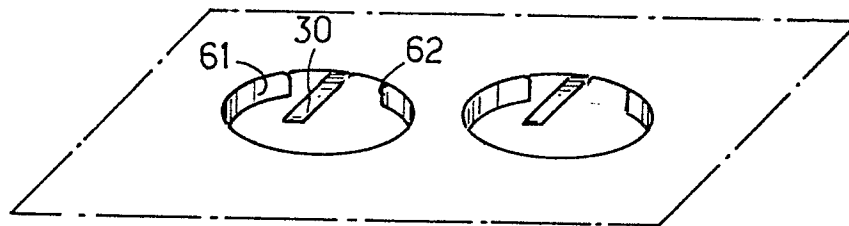


FIG. 6

FIG. 7a

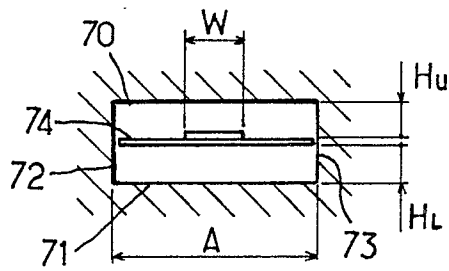
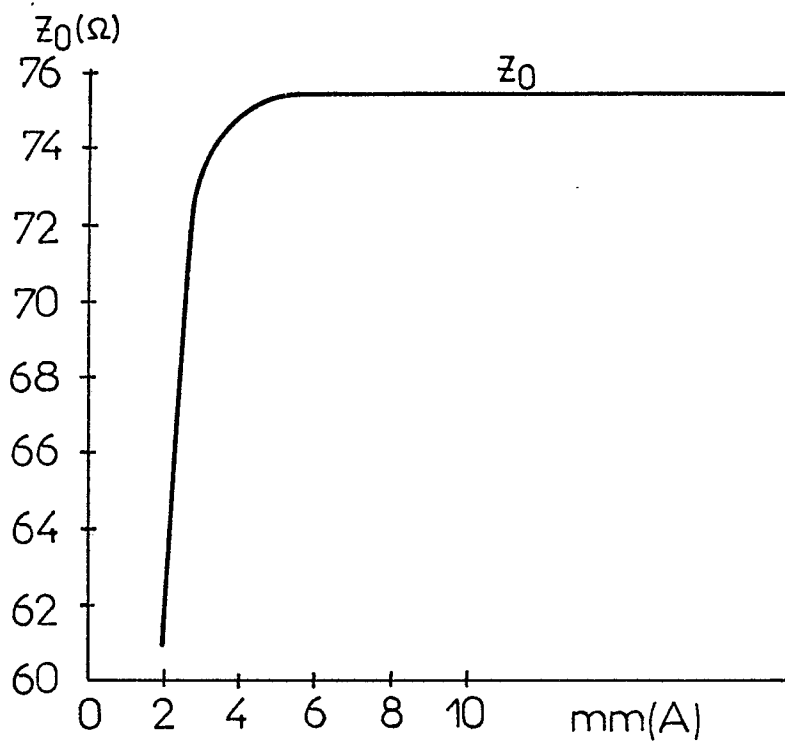


FIG. 7b

FIG. 8

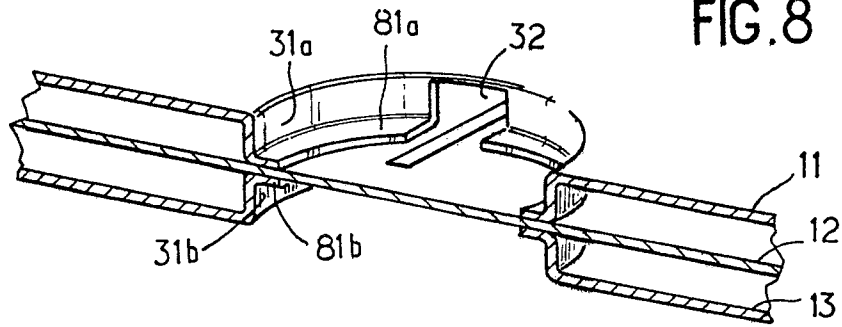


FIG. 9

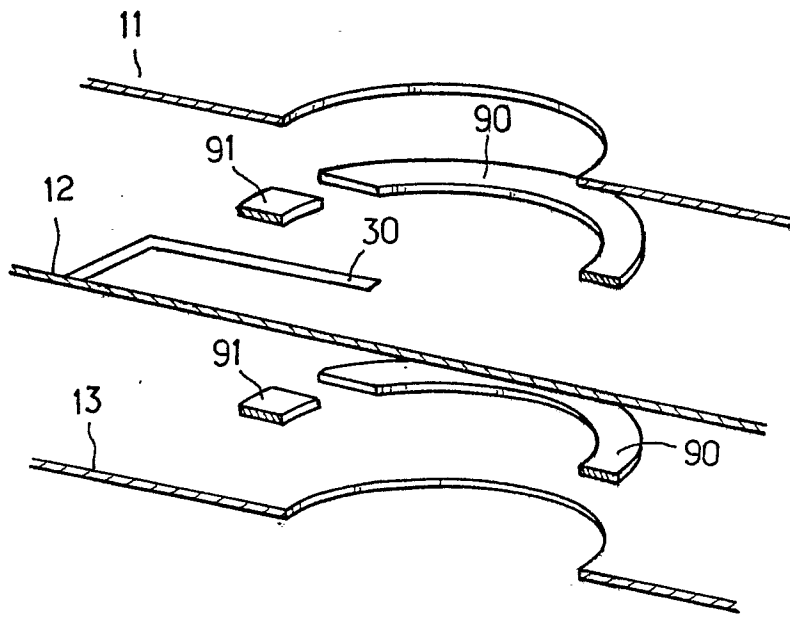


FIG. 10

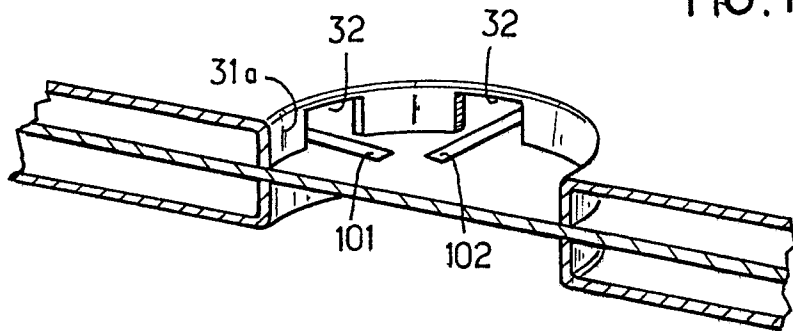


FIG.11

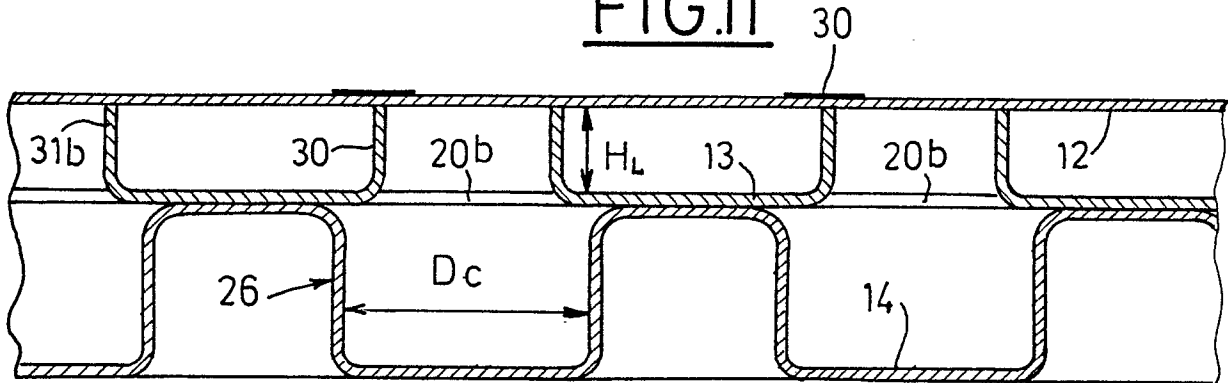


FIG.12

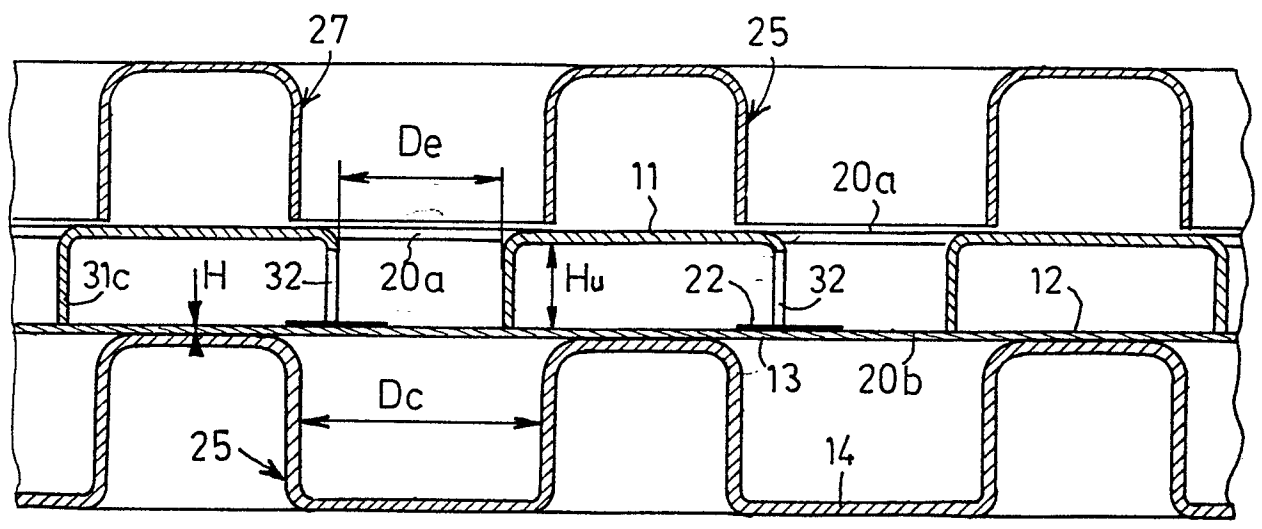
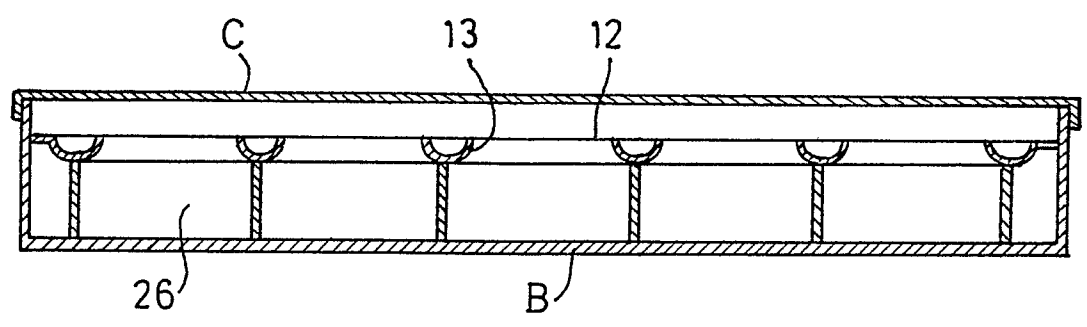


FIG.13

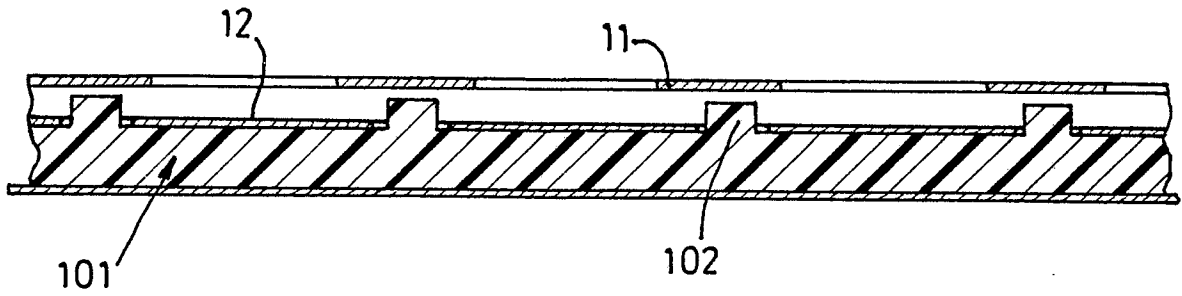


FIG.14

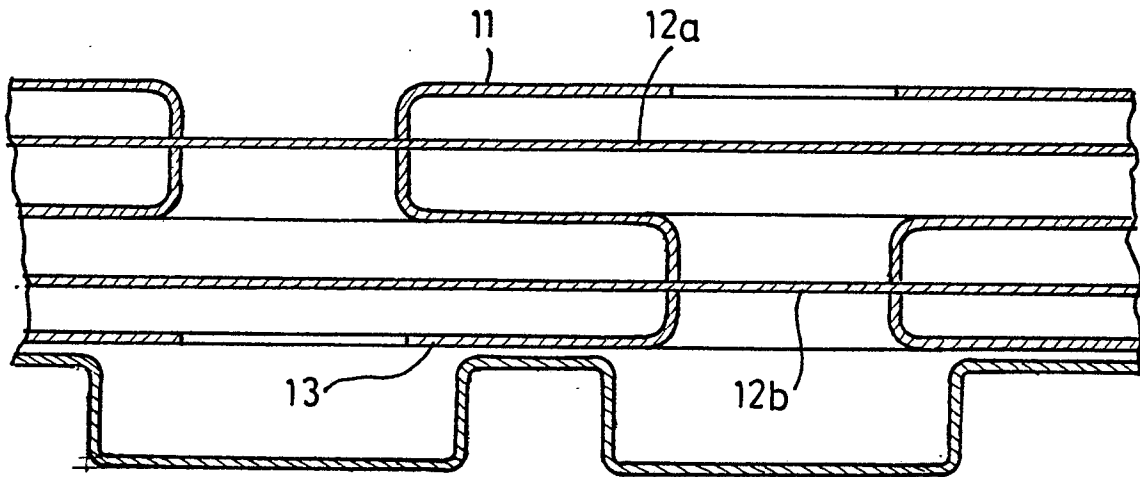


FIG.15



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)
A	AP-S INTERNATIONAL SYMPOSIUM 1985, ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. 1, 17-21 juin 1985, pages 31-34, IEEE Antennas and Propagation Society, Vancouver, CA, US; R.J. MAILLOUX: "Printed slot arrays with dielectric substrates" * En entier *	1	H 01 Q 21/24 H 01 Q 21/06 H 01 Q 21/00
A	FR-A-2 387 527 (BALL CORP.) * Figures 1,3; page 3, lignes 9-34; page 5, lignes 10-31 *	1,2,9,11	
A	EP-A-0 089 084 (L.E.P.)		
D,A	EP-A-0 228 742 (RTC COMPELEC)		
D,A	EP-A-0 123 350 (L.E.P.)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			H 01 Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 17-02-1989	Examineur CHAIX DE LAVARENE C.P.H.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			