



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Numéro de publication:

0 252 779
A1

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Numéro de dépôt: 87401252.9

Int. Cl.4: **H 01 Q 21/06**

Date de dépôt: 04.06.87

H 01 Q 21/24, H 01 Q 13/18

Priorité: 05.06.86 FR 8608106
09.01.87 FR 8700181

Date de publication de la demande:
13.01.88 Bulletin 88/02

Etats contractants désignés:
AT BE CH DE ES FR GB IT LI LU NL SE

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

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

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

Elément d'antenne à microruban suspendu entre deux plans de masse autoporteurs percés de fentes rayonnantes superposées, et procédé de fabrication.

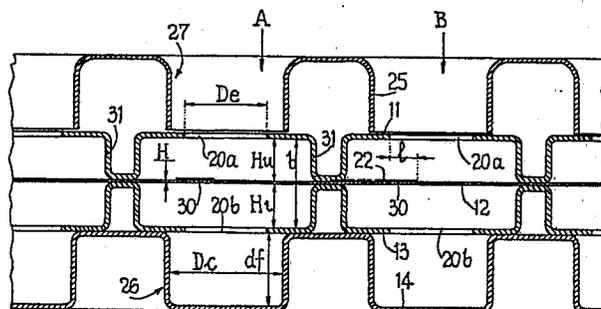
Le domaine de l'invention est celui des antennes planes à réseau avec conducteurs d'alimentation imprimés couplés à des fentes et cavités rayonnantes.

L'objectif de l'invention est de fournir une antenne efficace à faibles conditions de tolérancement dimensionnel.

Cet objectif est atteint notamment à l'aide d'un module d'antenne constitué d'une plaque support (12), d'un conducteur d'excitation (22), suspendue entre au moins deux plaques de masse embouties (11, 13) percées de fentes rayonnantes (20a, 20b) superposées par paires, et de cavités fermées (26) et/ou des cavités ouvertes (27) formant guides d'onde, alignées en avant et/ou en arrière respectivement d'au moins certaines desdites paires de fentes rayonnantes (20a, 20b).

L'invention trouve une application préférentielle pour les antennes hyperfréquence en bande -S ou -X.

FIG.10



EP 0 252 779 A1

Description

Élément d'antenne à microruban suspendu entre deux plans de masse autoporteurs percés de fentes rayonnantes superposées, et procédé de fabrication".

L'objet de l'invention est de fournir un procédé de fabrication bon marché d'une antenne hyperfréquence du type destinée notamment à la réception terrestre d'émissions télévisées par satellites.

On sait que le marché des antennes hyperfréquences, notamment fonctionnant en bande S ou X, est appelé à se développer de façon importante, du fait entre autre des nombreux projets d'émission de programmes de télévision par satellites. Or, jusqu'à présent, les antennes à réseau susceptibles d'être utilisées pour la réception de telles émissions ont été conçues sur des critères d'efficacité maximale, en utilisant des réalisations sophistiquées peu compatibles avec une production de masse à coût réduit.

Ainsi, l'antenne décrite dans la demande de brevet français 81 08 780 du 4 mai 1981 (LEP) concerne une antenne de type "stripline" destinée à fonctionner en polarisation circulaire, et présente l'inconvénient d'impliquer l'utilisation d'un matériau diélectrique solide onéreux.

D'autre part, dans le cas où l'on souhaite fonctionner en double polarisation, le dispositif antérieur décrit propose de réaliser deux lignes d'alimentation séparées situées dans le même plan. Or, un tel système d'alimentation n'est possible que lorsque le réseau planaire n'est constitué que d'un petit nombre d'éléments. Il existe en effet une incompatibilité géométrique à réaliser un tel réseau lorsque par exemple il doit être constitué de seize éléments sur seize, du fait que certaines des lignes doivent se croiser.

Le système décrit est donc relativement onéreux et incapable de servir de principe à la réalisation d'un réseau pour satellite DBS (satellite de télécommunication directe pour la radiodiffusion ou la télédiffusion), qui comporte couramment des systèmes de 500 à 1000 éléments.

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). Une tentative récente de s'affranchir des contraintes de tolérancement est exposée dans la demande de brevet 83 06 650 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).

Pour résumer l'état d'esprit de l'homme de l'Art en matière d'antennes hyperfréquence, il apparaissait impensable jusqu'à ce jour de réaliser une antenne réseau hyperfréquence 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.

En conséquence, la présente invention se propose de réaliser une antenne à réseau permettant notamment de remédier aux inconvénients mentionnés ci-dessus des dispositifs connus.

A cet effet, un premier objet de l'invention est de réaliser une antenne réseau de construction simple, grâce à la disposition originale des lignes d'alimentation, et avec de faibles exigences de tolérancement.

Un deuxième objet de l'invention est de réaliser les éléments rayonnants intégrés à la structure des lignes d'alimentation, également pour des raisons de simplicité de construction.

Un autre objet de l'invention est de réaliser une telle antenne à réseau qui fonctionne sur une large bande, grâce au groupement, par paires (ou en nombre plus grand), de fentes rayonnantes couplées électromagnétiquement aux lignes d'alimentation.

Un objet complémentaire de l'invention est de réaliser une antenne de grande efficacité (grâce à un système d'alimentation à faible perte), qui puisse aussi fonctionner en double polarisation circulaire.

La présente invention expose également plusieurs variantes d'un procédé de fabrication simple et bon marché de telles antennes faisant intervenir des processus de mise en forme et d'assemblage à tolérancement peu sévère adaptés à une production de masse.

Un autre objet de l'invention est de fournir de tels procédés de fabrication permettant une standardisation maximale des éléments constitutifs de chaque antenne.

Un objet complémentaire de l'invention est de fournir des procédés de fabrication et d'assemblage de plusieurs modules d'antenne standardisés, dans le but de réaliser des surfaces rayonnantes importantes à faible prix de revient.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite sont atteints au moyen d'une antenne ou élément d'antenne du type comprenant un conducteur central interposé entre deux plans de masse, et coopérant avec des fentes circulaires ménagées dans les plans de masse et alignées par paires, caractérisé en ce que ledit conducteur central est un

conducteur microruban porté par une feuille support diélectrique suspendue entre les plans de masse supérieur et inférieur, en ce que lesdits plans de masse sont réalisés par des plaques métalliques autoportantes, et en ce que l'espacement entre le conducteur central suspendu et les plaques métalliques est maintenu au moyen de plots de positionnement espacés.

Cette structure caractérisant l'antenne selon l'invention permet alors d'obtenir un fonctionnement sur une large bande, notamment si les deux évidements d'une même paire ne présentent pas tout à fait le même diamètre, et si la structure triplaque est surmontée d'une plaque supplémentaire également évidée.

En tout état de cause, du fait de l'utilisation de l'air comme diélectrique et de l'espacement des plots de positionnement, la feuille support du microruban peut être réalisée dans un diélectrique bon marché sans inconvénient.

Avantageusement, la structure triplaque A, formée de ladite feuille support du circuit d'alimentation et des deux plaques métalliques est complétée par une plaque inférieure réfléchissante, ladite plaque inférieure réfléchissante étant séparée de la structure triplaque A d'une distance équivalant approximativement à un quart de longueur d'onde.

De façon avantageuse, l'antenne comprend également des cavités arrière fermées et/ou des cavités avant ouvertes, en alignement avec au moins certaines des paires de fentes rayonnantes, lesdites cavités étant réalisées par des procédés de mise en forme à faible tolérancement.

Selon une autre caractéristique essentielle, les modules d'entrée adjacents d'un ensemble modulaire d'antenne suivant l'invention coopèrent avec des entrées/sorties communes du signal en forme de guides d'onde à faibles pertes.

Les objectifs de l'invention sont également atteints à l'aide d'un procédé de fabrication des antennes caractérisé en ce qu'on réalise la mise en forme de chacune desdites plaques de masse par une opération de matriçage/emboutissage pour d'une part percer lesdites fentes rayonnantes et d'autre part repousser des butées d'espacement sur la face des plaques tournée vers le diélectrique supportant le conducteur central, en ce qu'on assemble ladite antenne en faisant simplement reposer des zones non conductrices de la plaque support diélectrique du conducteur imprimé contre les repoussements se faisant face des plaques de masse inférieure et supérieure de façon à faire saillir des terminaisons du circuit conducteur entre des paires de fentes alignées, et en superposant par entrecroisement ledit triplaque ainsi réalisé au-dessus d'une plaque métallique de fond située à l'arrière de l'antenne, et en ce qu'on immobilise l'un par rapport à l'autre et solidarise la plaque métallique de fond et les éléments dudit triplaque ainsi assemblés par des moyens de fixation.

Selon une caractéristique importante de l'invention, le procédé inclut une étape de fabrication de cavités, et une étape d'assemblage de chaque cavité à l'arrière de l'antenne en correspondance

avec une paire de fentes rayonnantes.

De façon avantageuse, on réalise lesdites cavités notamment par une opération de matriçage/emboutissage d'une plaque métallique, ou par construction d'une grille formée d'un entrecroisement de lamelles sur champ définissant entre elles des alvéoles rectangulaires fermées par la plaque de fond, ou encore par montage de troncs de cylindre sur la plaque de fond, ou enfin par pose d'une garniture métallique contre les parois d'alvéoles formées dans un bloc de matériau non métallique.

Ces différents procédés de fabrication constituent autant de variantes aisées à mettre en oeuvre, peu onéreuses, et conférant de façon surprenante une précision de mise en forme et de montage acceptable.

Selon un mode de réalisation avantageux du procédé suivant l'invention, les moyens de fixation des éléments de l'antenne assurant leur immobilisation relative et leur solidarisation sont constitués par un jeu de boulons de serrage de l'ensemble, ou encore par un boîtier de réception des éléments superposés de l'antenne, dont les bords relevés font corps avec la plaque de fond de l'antenne.

Selon une autre caractéristique avantageuse de l'invention, le procédé inclut une étape de fabrication d'une couronne supplémentaire de couplage constituée de cavités sans fond réalisées notamment de façon analogue aux cavités fermées situées à l'arrière de l'antenne, et une étape d'assemblage de ladite couronne sur la face rayonnante de l'antenne, de façon à aligner chaque cavité sans fond avec une paire de fentes rayonnantes.

Le procédé suivant l'invention inclut également une étape d'assemblage de plusieurs modules d'antenne fabriqués selon l'une des méthodes précédentes, dans laquelle on juxtapose plusieurs éléments de plaques de masse, et éventuellement plusieurs éléments de cavités arrière et/ou couronnes avant en couplage avec un circuit conducteur unique. Ce procédé de fabrication, en diminuant la dimension des éléments métalliques à mettre en forme, et en permettant leur standardisation, permet de réduire encore le prix de revient de l'antenne. A cet égard, la modularité de l'antenne est particulièrement avantageuse pour les applications de réception d'émissions télévisées par satellites, pour lesquelles la surface réceptrice avoisine par exemple 0,3 m² (antenne individuelle), comme présenté ci-après.

Selon un autre principe d'antenne modulaire selon l'invention, chaque module est constitué d'un circuit conducteur indépendant coopérant avec des plaques de masse, des cavités arrière et des couronnes avant spécifiques. Le procédé de couplage des modules est alors par exemple caractérisé en ce qu'on réalise l'entrée/sortie de l'antenne par guide d'onde, soit en couplant les circuits conducteurs d'au moins deux modules par liaison en "T" avec terminaison unique sur guide d'onde commun, soit en réalisant de manière séparée les entrées/sorties de chaque module sur des guides d'onde indépendants couplés par diviseur(s) de puissance en guide(s) d'onde.

La standardisation de fabrication des circuits

conducteurs modulaires est avantageusement obtenue lorsque le procédé de fabrication des antennes consiste à utiliser des plaques support du circuit conducteur identiques pour chaque module, les plaques support étant alternativement tournées au recto et au verso lors de leur insertion entre les plaques de masse embouties de modules adjacents.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de modes de réalisation préférentiels de l'invention, donnés à titre illustratif et non limitatifs, et des dessins annexés dans lesquels:

- la Fig.1 représente une vue éclatée de la version de base de l'antenne suivant l'invention ;

- la Fig.2 représente une vue détaillée en coupe et en perspective de deux éléments rayonnants de l'antenne de la figure 1 ;

- la Fig.3 représente un diviseur en T de la ligne d'alimentation de l'antenne suivant l'invention ;

- les Figs.4a, 4b et 5 représentent le tracé théorique de l'impédance et des pertes de l'antenne suivant l'invention en fonction de la distance entre les plaques contenant les fentes rayonnantes et qui forment les plans de masse de la ligne d'alimentation, et en fonction du centrage du circuit d'alimentation dans le cas d'un fonctionnement typique en bande S et/ou en bande X du prototype de la Fig.22.

- la Fig.6 représente un second mode de réalisation de l'antenne suivant l'invention permettant une double polarisation linéaire.

- les Figs. 7 et 8 schématisent deux versions de l'antenne suivant l'invention comportant respectivement un patch additionnel de couplage électromagnétique, et une fente additionnelle de couplage électromagnétique ;

- la Fig. 9 représente un mode de réalisation de l'antenne suivant l'invention dont le circuit d'alimentation est formé d'un circuit imprimé inversé.

- La figure 10 est une section schématique transversale d'une portion d'un module d'antenne suivant l'invention, avec plaques de masse, cavités arrière et couronnes avant embouties;

- La figure 11 représente une vue éclatée d'un module d'antenne suivant l'invention dont toutes les plaques sont réalisées par emboutissage;

- La figure 11 bis illustre une variante de réalisation des cavités sous forme de cabochons emboutis;

- La figure 12 représente un module d'antenne suivant l'invention avec cavités à anneaux;

- Les figures 13A et 13B représentent un module d'antenne suivant l'invention, à cavités définies par une grille d'entrecroisement de lames sur champ;

La figure 14 schématise un module d'antenne selon l'invention avec blocs non métalliques percés de cavités intérieurement métallisées;

- La figure 15 représente un assemblage de

plusieurs modules de plaques de couplage suivant l'invention avec un circuit conducteur unique;

- Les figures 16, 17 et 18 représentent des exemples de réalisation du circuit conducteur dans le cas du circuit unique de la figure 15 (figure 16) et dans le cas de la juxtaposition de deux circuits conducteurs de deux modules adjacents (figures 17 et 18);

- Les figures 19, 20, 21 représentent trois procédés de recombinaison du signal de sortie (ou encore de division du signal d'entrée), dans des guides d'onde, pour deux modules d'antennes adjacents;

- La figure 22 représente un élément d'antenne suivant l'invention réalisé pour en tester les conditions de fonctionnement;

- Les figures 23A, et 23B représentent les résultats de mesure effectués sur les éléments d'antenne de la figure 22, et correspondent respectivement à la mesure du TOS, et du diagramme de rayonnement à 10 GHz dans le plan H, en polarisation nominale et en polarisation croisée;

- La figure 24 représente la géométrie typique du circuit conducteur d'un module d'antenne à 16 éléments suivant l'invention réalisé pour effectuer les tests de fonctionnement;

- Les figures 25A, 25B et 25C représentent les résultats de mesure de tests effectués sur le module d'antenne à 16 éléments correspondant au dessin du conducteur central de la figure 24, et correspondent respectivement aux mesures de gains, de TOS et à la détermination du diagramme de rayonnement en polarisation nominale et en polarisation croisée dans le plan H à 11 GHz;

Comme représenté en figures 1, 2 et 10, l'antenne selon l'invention est du type à ligne à microruban suspendu, constituée d'un conducteur central 22 porté par une feuille support diélectrique 12 suspendue entre deux plaques métalliques supérieure 11 et inférieure 13. Les plaques 11, 13 sont chacune munies d'évidements 20a, 20b alignés par paires au niveau de terminaisons saillantes 30 du conducteur 22. La structure d'antenne est également complétée par une plaque de fond métallique 14 réfléchissante.

Le positionnement relatif des plans 11, 12, 13, 14, le dimensionnement des évidements 20a, 20b, et la longueur 1 de la terminaison saillante 30 du conducteur 22 sont choisis de façon que les évidements 20a, 20b jouent le rôle de fentes rayonnantes couplées électromagnétiquement, pour une bande de fréquence de fonctionnement relativement large.

Les évidements 20a, 20b d'une même paire ont leurs centres alignés sur un axe vertical, et peuvent présenter un diamètre égal. Toutefois, il est préférable que les diamètres des évidements d'une même paire soient légèrement différents pour améliorer la largeur de bande.

En fait, la fréquence de fonctionnement de chaque élément dépend essentiellement de ses dimensions, et si les deux évidements d'une même paire ont une fréquence centrale de fonctionnement

légèrement différente, la largeur de bande totale est augmentée. Le diamètre des évidements est de l'ordre de 0,3 à 0,7 longueur d'onde.

Avantageusement, l'espacement entre deux évidements consécutifs sur une ligne ou une colonne peut être égal à 0,7 à 0,9 longueur d'onde.

La plaque réfléchissante de fond 14 permet de donner une direction à l'énergie rayonnée, et se trouve à une distance de la structure triplaque A de l'ordre d'un quart de longueur d'onde. La distance entre cette plaque réfléchissante de fond et la structure du triplaque est très importante car elle donne la possibilité d'optimiser le fonctionnement conjointement aux dimensions de la ligne d'alimentation 22.

La figure 10 représente un autre mode de réalisation d'un mode d'antenne suivant la présente invention, constitué de l'empilement successif d'une plaque de fond emboutie 14 formant des cavités fermées 26, d'une plaque inférieure de masse 13 emboutie, d'une plaque support 12 du circuit conducteur 22 et d'une feuille supérieure de masse 11 emboutie et d'une couronne supérieure 25 emboutie formant des cavités ouvertes 27.

On notera que ce mode de réalisation de l'antenne fait exclusivement intervenir une technologie d'emboutissage de tôle métallique pour la fabrication des quatre plaques 11, 13, 14, 25. L'opération d'emboutissage permet d'une part de dégager les évidements 20a, 20b formant chaque paire rayonnante, et de former des renflements ou butées 31 formant plots de positionnement. Ces renflements 31 viennent prendre appui sur la plaque intermédiaire diélectrique 12, et définissent l'espacement entre les trois plaques de la structure A. On obtient ainsi un circuit d'alimentation du type "suspendu", tout en réalisant les éléments rayonnants eux-mêmes. Ce type d'antenne est donc particulièrement approprié à une fabrication de masse, à coût de revient réduit.

On notera également que la tôle emboutie 25 peut aussi être placée à l'envers (sens dessus dessous), par rapport à sa position en fig.10).

La figure 10 ne rend compte en aucune façon de la proportion des espacements et des épaisseurs des plaques. En effet les distances H_U et H_I notamment ont été considérablement surdimensionnées pour des raisons de clarté.

Bien entendu, les deux problèmes qui se posent à propos d'une antenne à circuit imprimé intégralement suspendu de ce type, sont d'une part les conditions permettant d'avoir une bonne adaptation de chaque élément aux fréquences de travail et d'autre part les conditions garantissant une bonne efficacité de l'antenne, c'est-à-dire une valeur acceptable du gain par unité de surface.

De façon surprenante, la technologie utilisée permet d'obtenir sans difficultés des valeurs satisfaisantes pour ces deux paramètres.

Si l'on considère un élément rayonnant de l'antenne, constitué et une terminaison conductrice 30 lié à une paire de fentes 20a, 20b et à une cavité inférieure fermée 26, l'adaptation de cet élément est fonction de la longueur 1 de pénétration de la terminaison 30 entre les fentes 20a, 20b, de la distance d_f entre le triplaque 11, 12, 13 et le fond de

la cavité 26, du diamètre D_C de la cavité, du diamètre D_e des fentes 20a, 20b, et de l'impédance Z_0 du conducteur d'alimentation. A son tour Z_0 dépend de la largeur w du conducteur central, de l'épaisseur H de la plaque diélectrique 12, et des distances H_U et H_I séparant la plaque de support électrique 12 et la plaque de masse supérieure 11 et inférieure 13 respectivement, ainsi que de la constante diélectrique ϵ_R de la plaque support 12.

Ces différents facteurs influençant l'adaptation de l'antenne ont une importance relative inégale. Notamment, la distance d_f séparant le triplaque de la plaque de fond (ou du fond de la cavité fermée 26), ainsi que le positionnement relatif du conducteur 22 entre les plaques de masse 11, 13, ont une certaine plage de variations à l'intérieur de laquelle l'adaptation est peu affectée. Ainsi, la figure 5 représente les calculs effectués sur une ligne de l'antenne (par le programme de C.A.O. "Supercompact"), dans lequel on a déplacé le conducteur central entre les deux plaques de masse, en maintenant constante la distance b séparant les plaques de masse. Les caractéristiques dimensionnelles de l'élément rayonnant étudié sont les suivantes (en référence aux notations de la figure 10) :

$$\begin{aligned} w &= 1,2 \text{ mm} \\ H_U + H_I &= 1,6 \text{ mm} \\ H &= 0,075 \text{ mm} \\ \epsilon_R &= 2,2 \\ f &= 12,1 \text{ GHz.} \end{aligned}$$

On s'aperçoit que la variation de l'impédance Z_0 obtenue ne varie qu'à l'intérieur d'une fourchette de 10% environ lorsqu'on déplace le circuit conducteur dans un intervalle centré entre les plans de masse 11, 13 et correspondant au tiers de l'espacement b entre les deux plans de masse. Cette courbe est l'un des éléments démontrant la faible sensibilité de l'antenne revendiquée aux imprécisions de fabrication et de montage, et donc la parfaite faisabilité de l'invention.

Ces résultats théoriques sont corroborés par les mesures expérimentales effectuées sur prototype.

Comme on le voit en figures 4a et 4b, la distance d séparant les plans de masse 11 et 13 n'est pas très critique non plus pour l'impédance résultante du système, que ce soit pour la bande S ou la bande X.

Le deuxième paramètre important est l'efficacité de l'antenne, c'est-à-dire son gain par unité de surface. De façon surprenante, et comme confirmé par les mesures effectuées sur un prototype et présentées ci-après, l'antenne revendiquée présente un gain à peu près constant sur une largeur de bande très importante (12,5% sur le prototype à 4x4 éléments). Or, on ne demandera aux antennes de réception par satellite utilisables en Europe qu'une largeur de bande de 7% environ (de 11,7 à 12,5 GHz). En conséquence, il existe une marge confortable d'adaptation de l'antenne, qui tolère aisément les imprécisions de mise en forme et de montage dues à la rusticité des technologies de fabrication employées pour l'invention.

L'efficacité de l'antenne est en outre accrue en limitant les pertes dans chaque élément rayonnant.

La technologie revendiquée se prête parfaitement à une optimisation dans ce domaine. En effet, le fait

d'utiliser de l'air comme diélectrique entre la plaque support 12 et les deux plans de masse 11, 13 permet de réduire les pertes en comparaison d'une antenne équivalente du type "stripline" ou "microstrip", où le conducteur central est séparé de deux plans de masse ou d'un plan de masse unique respectivement, par un matériau solide diélectrique onéreux. Selon l'invention, le diélectrique de la plaque support peut être aussi peu épais que possible sans nuire à sa stabilité mécanique. A titre d'exemple, on a constaté qu'une épaisseur de 25 à 75 microns convient parfaitement. Les pertes telles qu'elles sont présentées en figures 4a et 4b pour un fonctionnement en bande S (2,0 GHz) et en bande X (12,1 GHz) sont tout à fait réduites du fait qu'il n'existe aucun rayonnement parasite grâce à l'isolement du circuit 22. (Les graphes de perte sur les figures 4a, 4b correspondent à l'utilisation d'un diélectrique à faible tangente de pertes ($\tan \delta = 0,0009$)).

La concentration de plusieurs éléments sur une même surface, dans le but d'augmenter le gain de l'antenne, est réalisable dans la limite où le couplage intervenant entre chaque ligne adjacente ne dépasse pas une certaine limite préjudiciable. Or, l'utilisation de fentes rayonnantes d'une part, et le soin apporté aux dessins géométriques du conducteur d'autre part, confèrent à l'invention de bonnes performances de ce point de vue.

L'utilisation de paires de fentes rayonnantes 20a, 20b a pour effet de concentrer l'énergie rayonnante dans une zone inférieure par exemple à celle obtenue dans des modes de réalisation où chaque terminaison conductrice 30 est seulement couplée à des cavités formant guide d'onde.

En effet, la largeur d'un guide d'onde D_L est supérieure à la largeur D_e des fentes rayonnantes. Du fait de la localisation de l'effet rayonnant provoqué par les fentes rayonnantes, la distance entre deux éléments adjacents (par exemple l'élément A et l'élément B du module d'antenne de la figure 10) peut être réduite pour une valeur de découplage minimale entre lignes tolérable.

De plus, pour limiter l'influence des plots de positionnement 31 sur les éléments ou lignes adjacents, on peut réduire leur nombre au minimum et les placer dans des plans décalés par rapport aux fentes comme représenté en figure 1.

La géométrie des lignes revêt également une importance capitale. Un exemple de réalisation du circuit d'alimentation 22 est représenté en figure 3.

L'impédance du circuit d'alimentation 22 dépend de la largeur qu'il présente en chacune de ses portions conductrices, pour une distance b donnée entre les plaques 11 et 13.

Les diviseurs de puissance du circuit 22, comme représenté en figure 3, peuvent être facilement réalisés de façon à obtenir que les deux sorties découplées 41, 43 soient adaptées. Ceci est réalisé si le ratio de puissance dégagée par les deux sorties 41, 43 est égal à ou proche de l'unité. Il n'est alors pas nécessaire de prévoir une quatrième sortie (par exemple sous la forme d'une résistance Wilkinson pontée entre les deux sorties découplées).

Le diviseur de puissance de la figure 3 est par

exemple du type à deux sections de sortie 44, 45 adaptées, d'un quart de longueur d'onde, avec une largeur W des portes produisant une impédance Z_0 et une largeur W' desdites sections présentant une impédance caractéristique égale à $2^{1/2} Z_0$.

Les figures 16, 17, 18 présentent des modes de réalisation optimisés pour des modules de 16×16 éléments (deux modules adjacents sont représentés sur chaque figure). Chacun des modes de réalisation représentés est particulièrement avantageux dans la mesure où chacun des 512 éléments de l'antenne se trouve exactement à la même distance électrique de l'entrée/sortie de l'antenne, et le dessin obtenu dégage, sur la plaque support du conducteur, des zones non conductrices 90 où peuvent reposer sans inconvénient les plots de positionnement repoussés 31 des plans de masse.

L'adjonction d'une cavité arrière fermée 26, et éventuellement d'une cavité avant ouverte 27, à un élément de l'antenne permet de récupérer le maximum d'énergie rayonnée dans la direction d'émission/réception de l'antenne.

La polarisation de l'antenne selon l'invention dépend de la polarisation de chacun des éléments rayonnants.

Dans le cas où une seule ligne d'excitation est utilisée, la polarisation 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 du triplaque.

Une autre méthode d'obtention d'une polarisation circulaire consiste à exciter deux polarisations linéaires perpendiculaires dans chacun des éléments rayonnants.

La figure 6 représente un mode de réalisation de l'invention, dans lequel les deux lignes d'alimentation indépendantes servant à l'excitation de chacun des éléments rayonnants du réseau se trouvent à deux niveaux différents 51, 52.

La structure A de l'antenne est en conséquence constituée de cinq plaques superposées, à savoir trois plaques métallisées 53, 54, 55 percées d'évidements alignés 20A, 20B, 20C, entre lesquelles sont insérées les deux feuilles diélectriques 51, 52 porteuses des circuits d'alimentation 56, 57.

L'excitation en polarisation "verticale" est par exemple fournie par le circuit 56, et la polarisation "horizontale" est fournie par le circuit 57.

Toutefois, bien que cette structure à cinq plaques se justifie dans le cas d'un réseau à nombreux éléments rayonnants, il est également possible de former les deux circuits 56, 57 sur une même plaque diélectrique, entre seulement deux plaques métallisées à évidements.

Dans le mode de réalisation de la figure 6, la plaque de masse 54 médiane est utilisée par les deux circuits 56, 57. De préférence, les deux évidements 20A, 20C externes présentent le même diamètre.

L'adaptation de chaque ligne d'excitation est obtenue en ajustant la longueur de leur terminaison s'avancant en regard desdits évidements, et de la distance à la plaque de fond réfléchissante 58. En

conférant un déphasage à $+90^\circ$ ou -90° , aux lignes d'excitation, on peut obtenir une polarisation circulaire droite ou gauche. Si l'on utilise un hybride - 3dB pour combiner les signaux provenant des deux sorties de polarisation linéaire, on peut obtenir une double polarisation circulaire.

Les modes de réalisation représentés en figures 7 et 8 présentent des variantes de l'antenne représentée en figure 1.

Le triplaque suspendu A, en figure 7, est surmonté d'un élément additionnel de couplage 60. Dans le cas de la figure 8, le triplaque A est surmonté d'une plaque supplémentaire 70 pourvue d'un évidement 71 sensiblement en alignement avec les évidements 20A, 20B.

Dans ce dernier cas, la plaque supplémentaire 71 peut également être matricée, et séparée du triplaque A par des entretoises diélectriques 72 ou des butées formées par matricage.

Ces deux modes de réalisations des figures 7 et 8 permettent d'augmenter la largeur de bande, celui de la figure 8 étant probablement meilleur d'un point de vue électrique.

Il est à noter que pour tous les modes de réalisation représentés, il est possible d'augmenter la rigidité mécanique de l'ensemble de l'antenne par exemple en remplaçant le diélectrique formé par l'air entre les plaques de la structure A, ou entre cette structure A et la plaque de fond B, au moyen d'un diélectrique en nid d'abeilles inséré entre les plaques.

Pour des raisons de compacité et de simplicité de structure, il est également envisageable que la plaque diélectrique 12 portant le circuit d'alimentation 22 ne se trouve pas entre les deux plaques métallisées 11, 13. Ce mode de réalisation est réalisé en figure 9. L'antenne à réseau est alors constituée d'une succession des plaques dans un ordre différent de celui de la figure 1, la plaque supérieure 11 et la plaque inférieure 13 étant séparées par une entretoise 80. La plaque diélectrique 12 portant le circuit 22 est ensuite accolée à l'extérieur de la double plaque ainsi formée, du côté de la plaque de fond 14. De façon avantageuse, le circuit d'alimentation 22 est sous forme de circuit imprimé inversé. En tout état de cause, la plaque 12 diélectrique empêche tout contact entre le circuit 22 et la plaque métallisée 13.

Les figures 11, 12, 13, 14 illustrent quatre technologies de fabrication des cavités avant et arrière, pour un module d'antenne à plans de masse 11, 13 emboutis.

Plus précisément, la figure 11 est une vue éclatée d'un module à 4 x 4 éléments d'une antenne du type représenté en figure 10. Le module est simplement constitué de l'empilement de tôles embouties 14, 13, 11, 25, au milieu desquelles est placée la plaque support 12 du circuit conducteur 22.

De façon avantageuse, en rajoutant par emboutissage des plots de positionnement dans la plaque 14 et dans la plaque 25, positionnées à l'envers, les plaques 11 et 13 peuvent être supprimées.

La pile ainsi réalisée peut être maintenue en place soit à l'aide de boulons 26 traversant toutes les plaques (figure 2), soit en réalisant la plaque de fond

14 sous forme d'un boîtier. L'empilement peut être soit posé sur le boîtier, soit introduit au moins partiellement à l'intérieur du boîtier. Dans tous les cas, il faut obtenir un espacement d_f prédéterminé entre le triplaque et le fond du boîtier. Le boîtier peut être embouti, ou usiné par tout autre moyen, voire réalisé par métallisation d'un boîtier non métallique. La fixation et le verouillage de l'ensemble sont réalisés par vissage, collage, soudage ou autre.

Bien entendu, le mode de réalisation de l'invention représenté à la figure 11 peut, le cas échéant, être réalisé avec une plaque de fond 14 plane, formant éventuellement boîtier support, et maintenue à distance du triplaque 11, 12, 13. La couronne 25 à cavités ouvertes 27 est optionnelle. Dans le cas où l'on utilise des cavités arrière fermées, un boîtier support B non métallique (par exemple : en matière plastique) peut être utilisé.

Les cavités arrière fermées 26 peuvent également être sous forme de cabochons individuels emboutis 72 (figure 11bis) et rapportées par points de soudure, collage ou autres à la plaque de masse inférieure 13, en regard des paires de fentes rayonnantes.

La figure 12 représente un autre mode de réalisation d'un module d'antenne selon l'invention dans lequel les cavités fermées arrière 26, et les cavités avant 27 sont réalisées par des anneaux métalliques 150, montés par tout moyen sur la plaque de fond pleine 14, et une plaque ajoutée 151 respectivement. De façon avantageuse, la fixation des anneaux 150 sur la plaque métallique de fond 14 est réalisée par soudure, collage ou équivalent. La plaque ajourée 151 peut être métallique ou non métallique, et les anneaux 150 peuvent être également collés ou autres sur les plaques 14, 151.

Dans un mode de réalisation légèrement différent de celui de la figure 12, mais utilisant toujours des anneaux métalliques, le boîtier B sert de logement à un ensemble d'anneaux métalliques cylindriques 150 sur lesquels viendra reposer le triplaque 11, 12, 13. Les plaques 14 et 25 sont devenues inutiles. Les anneaux 150 sont montés par tout moyen sur la plaque de fond du boîtier et/ou sur la plaque de masse inférieure 13.

De façon avantageuse, la fixation des anneaux 150 sur la plaque métallique ou métallisée du fond du boîtier et/ou sur la plaque de masse 13 est réalisée par soudure, collage ou équivalent.

Dans le mode de réalisation des figures 13A, 13B, le boîtier B sert de logement à un jeu de lames entre-croisées 160 posées sur champ, et formant une grille sur laquelle viendra reposer le triplaque 11, 12, 13. De façon avantageuse, la grille est formée de lames munies d'encoches 161, et destinées à s'embôter les unes dans les autres comme représenté en figure 13B.

L'entrecroisement des lames définit des cavités 162 correspondant chacune à un des éléments rayonnants du triplaque. On peut noter à cet égard que la forme des cavités du module d'antenne n'est pas une caractéristique limitative de l'invention, de même que la forme des fentes rayonnantes 20a, 20b. Des sections circulaires, carrées, elliptiques, rectangulaires, polygonales suivant le besoin peuvent

convenir. A cet égard, on pourra noter que dans certains cas, les ouvertures rectangulaires sont intéressantes pour dégager davantage de place au passage du conducteur 22.

La figure 14 illustre un quatrième mode de réalisation de l'invention, selon lequel les cavités arrière fermées 26 sont réalisées en plaçant un revêtement métallique sur les parois d'évidement non débouchant 170 pratiquées dans un bloc de fond non métallique 171. A titre d'exemple non limitatif, le bloc de fond peut être réalisé en matière plastique, et la métallisation des cavités peut être effectuée au moyen de feuilles d'aluminium. Dans le cas d'un bloc de fond non débouchant, le boîtier support B de la figure 14 peut être supprimé. Le bloc de fond peut également être remplacé par une juxtaposition de blocs élémentaires, présentant chacun une ou plusieurs cavités. Dans le cas où les évidements sont débouchants, la plaque métallique de fond ferme les cavités.

Il est entendu que les modes de réalisation des figures 11 à 14 peuvent être combinés et notamment que les modules d'antenne des figures 13 et 14 peuvent être munis d'une couronne avant du type à plaques embouties, ou à anneaux 150. L'adjonction de cavités avant ouvertes 27 permet d'augmenter le gain de l'antenne. La hauteur de cavité est de préférence supérieure à 0,1 fois la longueur d'onde d'émission. A titre d'exemple, une hauteur de cavités ouvertes 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.

Quels que soient les moyens utilisés pour l'immobilisation relative et la solidarisation des plaques des différents modes de réalisation, du module d'antenne suivant l'invention (boulons de serrage, boîtier B ou autres), les modules peuvent être ensuite 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.

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.

De plus, l'avantage est encore plus considérable si chaque antenne est réalisée par addition de plusieurs modules identiques, comme présenté ci-après.

La figure 15 présente un premier mode de réalisation d'une antenne modulaire, dans laquelle le circuit conducteur unique 80 couvre deux modules 81, 82 réalisés selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits précédemment. Plus précisément, la partie gauche de la plaque support 80 est insérée par exemple entre une plaque de masse

supérieure 11A, et une plaque de masse inférieure 13A montée dans un boîtier Ba pour ce qui est du premier module 81, et entre des composants correspondants 11B, 13B, B_b pour ce qui est du second module 82.

Le circuit conducteur 80 est par exemple du type représenté en figure 16.

Ce mode de réalisation est relativement satisfaisant, mais présente l'inconvénient que la section 83 d'entrée/sortie du conducteur de l'antenne court le long de l'intersection des modules. Pour éviter d'éventuels effets défavorables provoqués par l'effet de fente provoqué par une jonction approximative des plaques des modules, du fait de la technologie choisie, on peut fermer l'intervalle de jonction par une mince feuille de métal, par exemple du cuivre auto-collant ou autres.

Toutefois, il est plus satisfaisant, pour pallier cet éventuel inconvénient, de réaliser le circuit conducteur lui-même en deux parties. Des modes de réalisation avantageux du circuit conducteur en deux parties sont représentés en figure 17 (polarisation verticale) et 18 (polarisation horizontale). On notera que, dans les deux modes de réalisation, les deux circuits adjacents sont identiques et permettent une standardisation de leur production.

Dans ces figures 17 et 18, le conducteur 83 est donc réalisé sous la forme de deux lignes parallèles découplées, de part et d'autre du plan de jonction de deux modules d'antennes adjacents. Dans ces modes de réalisation, chaque élément d'antenne se trouve à une distance électrique identique du point d'entrée/sortie du circuit conducteur.

Dans la figure 18, les deux modules comportent des circuits conducteurs identiques orientés dans le même sens (sans présenter de symétrie par rapport à la ligne de jonction). De façon avantageuse (non représentée), les tronçons d'alimentation 110 longent la totalité du bord concerné des plaques-support 22a, 22b, afin de standardiser leur fabrication; dans ce cas, les demi-tronçons parasites sont déconnectés par entaille sur toute leur largeur, de préférence à 45°, au niveau de leur connection avec les lignes verticales.

L'entrée/sortie des modules adjacents s'effectue préférentiellement dans des guides d'onde tels que représenté en figure 19 ou 20. L'utilisation d'une sortie directement en guide d'onde est avantageuse par rapport à l'utilisation d'un coaxial qui constitue une solution plus onéreuse.

La figure 19 illustre un guide d'onde d'entrée/sortie dans le cas où les deux circuits conducteurs adjacents sont électriquement reliés par diviseur en T pour présenter une terminaison 120 unique. A cet effet, des ouvertures 121a, 121b, 122a, 122b sont réalisées sur les bords de jonction des plaques supérieures 11a et 11b et inférieures 13a, 13b des modules adjacents. La paire d'ouvertures ainsi réalisée après jonction des modules est complétée par un couvercle supérieur 123 formant un élément de guide d'onde fermé, et renvoyant vers un guide d'onde d'entrée/sortie 124 situé de l'autre côté du triplaque.

Le couvercle supérieur réfléchissant 123 est réalisé par exemple en plastique métallisé, ou en

feuille métallique emboutie. Sa hauteur est par exemple de l'ordre d'un quart de longueur d'onde.

De façon à limiter l'effet de la fente de jonction, et améliorer la jonction électrique des plaques adjacentes 11a, 11b et 13a, 13b respectivement, il est possible de placer une feuille mince de métal 125, 126 autour de chaque ouverture 121a, 121b, 122a, 122b, par collage ou autre.

Le guide d'onde 124 d'entrée/sortie peut par exemple être vissé, collé ou autre sur les plaques de masse métalliques inférieures 13a, 13b.

Ce mode de réalisation convient aussi bien au cas d'un circuit imprimé unique coopérant avec deux modules (cas de la figure 15) qu'au cas de deux modules distincts, dont les circuits conducteurs respectifs ne sont qu'ultérieurement connectés électriquement sur une terminaison unique.

La connexion électrique des deux conducteurs peut par exemple être réalisée comme représenté en figure 21, ou les deux plaques support 12a, 12b des modules adjacents se chevauchent au niveau de leur jonction, de façon à faire se chevaucher la terminaison d'entrée/sortie de leur circuit conducteur respectif 22a, 22b.

Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, et comme représenté en figure 17, les circuits conducteurs 22a, 22b de deux modules adjacents sont réalisés à partir de deux plaques supports imprimées identiques, dont l'une est employée au recto, et l'autre au verso. Dans ce cas, le circuit imprimé d'une des plaques support se trouve sur la face supérieure, alors que l'autre circuit imprimé est sur la face inférieure. Le léger décalage qui en résulte ne présente toutefois aucun inconvénient, puisqu'on a noté plus haut la faible sensibilité de l'impédance Z_0 de l'antenne suivant l'invention, et donc de son adaptation aux faibles variations de position du circuit imprimé entre les deux plans de masse. Or, la plaque support en matériau diélectrique qui porte le circuit conducteur imprimé 22a, 22b peut être très fine, par exemple de l'ordre de 50 microns.

Dans le cas où les deux circuits adjacents sont inversés l'un par rapport à l'autre, la connexion électrique de la figure 21 peut être réalisée par perçage de part en part des plaques support 12a, 12b au niveau des terminaisons d'entrée/sortie 140a, 140b des circuits conducteurs correspondant, puis soudure des circuits à travers lesdits perçages.

La figure 20 représente un autre mode de réalisation du dispositif d'entrée/sortie combiné des circuits conducteurs de deux modules adjacents. Dans ce cas, aucune connexion électrique n'est effectuée, et la combinaison s'effectue à travers un diviseur de puissance 130, en guide d'onde coudé, de façon à renvoyer le signal le long du fond de l'antenne.

Chaque triplaque adjacent est alors pourvu d'une paire de fentes de sortie (131a, 131b), sur lesquelles est rapporté un couvercle fermé double 132.

De façon avantageuse, le couvercle double 132, ainsi que le couvercle simple 123 de la figure 19 peuvent être réalisés au moins partiellement par emboutissage des plaques supérieures 11a, 11b des modules adjacents de l'antenne.

Enfin, il est toujours possible de stabiliser les plaques supports 12a, 12b des deux modules adjacents en appliquant un ruban adhésif, de préférence non métallique, sur les bords des plaques supports qui se jouxtent, notamment le long de leur demi-profondeur libre de conducteur central.

Le couplage parasite des deux modules adjacents peut également être efficacement évité en ménageant entre les modules un intervalle supérieur à la longueur d'onde entre les éléments rayonnants (84, 85) voisins de l'un et l'autre modules (81, 82). Cet intervalle libre permet avantageusement le passage des conducteurs centraux d'alimentation, en éliminant les risques de couplage et sans affecter le diagramme de rayonnement de façon trop importante.

EXEMPLE DE REALISATION

Des tests ont été effectués sur un module d'antenne formé d'un seul élément tel que représenté en figure 22 dans le but de déterminer la largeur de bande obtenue avec la mise en oeuvre de l'invention.

L'élément de test est formé de deux plaques en aluminium de 0,8 millimètre d'épaisseur, formant les plaques de masse 11, 13. Chacune des plaques présente une ouverture rayonnante de 16,5 mm. La distance entre les plaques de masse 11, 13 est de 1,7 mm. Une feuille mince de "Kapton" de 75 microns d'épaisseur soutient le conducteur central imprimé 22. La largeur du conducteur central correspond à une impédance de lignes de $Z_0 = 50$ ohms pour l'écartement des plaques de masses 11, 13 de 1,7 mm.

La terminaison d'excitation 30 du conducteur pénètre de 5,0 mm entre les fentes 20a, 20b. Enfin, une cavité cylindrique fermée 26 de diamètre 20 mm et de hauteur 9,2 mm a été alignée sous la paire de fentes rayonnantes 20a, 20b.

Cet élément de démonstration est optimisé pour fonctionner autour des fréquences voisines de 11 GHz.

Les tolérances de fabrication de cet élément ont été volontairement maintenues très grossières. A cet effet, trois tests successifs ont été réalisés.

Pour le premier test, d'une part, le TOS a été mesuré sur la bande 10,4 GHz-12,4 GHz pour un conducteur standard fabriqué par lithographie. La figure 23a restitue les mesures obtenues, qui démontrent un comportement remarquable de l'élément présentant un TOS inférieur à 1,4 sur une largeur de bande supérieure à 20%.

D'autre part, la figure 23b démontre que la polarisation croisée mesurée est très faible (inférieure à -30 dB) dans la direction perpendiculaire au plan de l'antenne élémentaire. Le rayonnement utile de l'élément s'effectue en polarisation linéaire avec un champ électrique parallèle à la ligne d'excitation.

Le second test effectué sur l'élément a consisté à remplacer le conducteur d'excitation 22 fabriqué par lithographie, par un conducteur découpé à la main (au scalpel) pour une impédance de 75 ohms à partir d'une ligne de 50 ohms. La mesure du TOS n'a pas montré de différence par rapport à la ligne standard réalisée par lithographie.

Dans le troisième test effectué sur l'élément rayonnant de la figure 22, les cavités cylindriques 26 ont été remplacées par une cavité réalisée à la main en papier d'aluminium de cuisine. Les tests effectués n'ont pas montré une augmentation notable du TOS.

Les spécialistes des antennes du laboratoire néerlandais C.H.L. qui ont effectué ces mesures ont exprimé leur surprise devant la qualité des résultats de tests obtenus, alors qu'ils étaient habitués à travailler avec des précisions de l'ordre du micron.

Une deuxième série de tests a été réalisée sur un module d'antenne à 16 éléments, avec un dessin des circuits conducteurs tel que représenté en figure 24.

Comme il n'était pas économique de réaliser le modèle de test par emboutissage, on a utilisé des troncs de cylindres collés pour former les cavités arrière fermées. Les plots d'espacement 31 n'ont pas été formés par emboutissage, mais par collage de plots de tôle sur les plaques de masse 11, 13.

Les mesures de test ont été réalisées également dans la chambre anéchoïde du laboratoire C.H.L. Ces mesures viennent confirmer les bons résultats déjà constatés lors du test de l'élément d'antenne unique, et revêtent d'ailleurs un caractère plus fiable que les tests précédents du fait qu'un module de 16 éléments est moins sensible aux conditions de mesure qu'un élément unique.

Le graphe 25a indique que le gain maximal obtenu est de 20 dB, et que le gain est supérieur à 19 dB sur une bande de fréquence supérieure à 10% (de 10,25 à 11,5 GHz).

Le TOS mesuré est inférieur à 2 sur une bande de fréquence de largeur supérieure à 2 GHz (figure 25b).

Enfin, le diagramme de rayonnement à 11 GHz de la figure 25c confirme l'absence de polarisation croisée dans la direction principale de rayonnement. Les premiers lobes de polarisation croisée sont à -25 dB environ par rapport au rayonnement principal maximal.

En conséquence, les modules d'antenne selon l'invention permettent d'obtenir d'excellentes performances avec des procédés de fabrication à faible tolérancement correspondant à une production de masse à faible coût de revient.

A titre d'application préférentielle, l'invention peut être utilisée pour fabriquer des antennes de réception d'émissions télévisées par satellite, dans la bande X. De façon avantageuse, ces antennes sont constituées de deux modules adjacents formés chacun de 16 x 16 éléments. Cette application préférentielle correspond aux dessins du circuit conducteur représentés en figures 16, 17, 18. Dans le cas le plus fréquent où la polarisation de l'émission est circulaire, il est possible soit de lacer un polariseur plan imprimé adéquat au-dessus de l'antenne, soit de superposer à l'antenne un étage supplémentaire à terminaisons d'excitation perpendiculaires aux terminaisons 30 de l'étage de base, comme illustré en figure 6.

La bande de fréquence de fonctionnement peut par exemple être la bande X (3 cm), la bande S (1500 à 5200 MHz), ou la bande L (390 à 1550 MHz). Bien que l'antenne selon l'invention puisse également en

principe fonctionner dans des bandes de fréquences supérieures, sa structure la rend plus avantageuse pour une utilisation aux fréquences de la bande X et inférieures, du fait des contraintes de tolérancement encore moins exigeantes qui en rendent la fabrication encore plus aisée.

5

10

Revendications

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

1) Élément d'antenne du type comprenant un conducteur central (22) interposé entre deux plans de masse (11, 13), et coopérant avec des fentes circulaires ménagées dans les plans de masse (11, 13) et alignées par paires (20a, 20b), caractérisé en ce que ledit conducteur central est un conducteur microruban porté par une feuille support diélectrique (12) suspendue entre les plans de masse supérieur (11) et inférieur (13),

en ce que lesdits plans de masse (11, 13) sont réalisés par des plaques métalliques autoportantes,

et en ce que l'espacement entre le conducteur central suspendu (12) et les plaques métalliques (11, 13) est maintenu au moyen de plots de positionnement (31, 10) espacés.

2) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits plots de positionnement sont réalisés par des repoussements (31) formés par emboutissage dans lesdites plaques métalliques (11, 13).

3) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits plots de positionnement (10) sont en matériau diélectrique.

4) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que la structure triplaque A formée de ladite feuille support (12) du circuit d'alimentation (22) et des deux plaques métalliques (11, 13) est complétée par une plaque inférieure réfléchissante (14), ladite plaque inférieure réfléchissante (14) étant séparée de la structure triplaque A d'une distance équivalente approximativement à un quart de longueur d'onde.

5) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites fentes (20a, 20b) d'une même paire sont de diamètres identiques ou légèrement différents.

6) Élément d'antenne selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdites fentes (20) pratiquées dans chaque plaque métallique (11, 13) sont alignées en lignes et colonnes, le diamètre desdites fentes étant de l'ordre de 0,3 à 0,7 longueur d'onde environ, et la distance de séparation de deux fentes adjacentes d'une même ligne ou colonne étant environ de 0,7 à 0,9 longueur d'onde.

7) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour réaliser une excitation de l'élément en polarisation linéaire double, ladite feuille support (12) porte deux circuits d'alimentation indépendants.

8) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour réaliser une excitation de l'élément en polarisation linéaire double, deux structures triplaques A sont superposées de façon à former une structure à cinq plaques (51, 52, 53, 54, 55), formée de trois plaques métalliques (53, 54, 55) percées de fentes (20a, 20b, 20c) en alignement, entre lesquelles sont insérées deux feuilles support (51, 52) diélectriques portant chacune une ligne d'alimentation (56, 57) indépendante, lesdites lignes (56, 57) assurant une excitation de l'élément rayonnant selon deux polarisations perpendiculaires.

9) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite structure triplaque A, formée d'une feuille support (12) du circuit d'alimentation (22) et des deux plaques métalliques (11, 13), est surmontée d'une plaque additionnelle (60) de couplage électromagnétique.

10) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite structure triplaque A formée d'une feuille support (12) du circuit d'alimentation (22) et des deux plaques métalliques (11, 13) est surmontée d'une plaque additionnelle (70) munie d'évidements (71) en alignement avec chacune des paires de fentes (20a, 20b).

11) Élément d'antenne selon la revendication 1, caractérisé en ce que la structure triplaque A, formée d'une feuille support (12) du circuit d'alimentation (22) et des deux plaques métalliques (11, 13) est complétée par une plaque inférieure réfléchissante (14), et en ce que ladite feuille support (12) est accolée à la face externe de l'une des deux plaques métalliques (11, 13), le circuit d'alimentation (22) étant situé sur la face de ladite feuille support (12) en regard de ladite plaque de fond (14).

12) Élément d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend également des cavités fermées (26) et/ou des cavités ouvertes (27) formant guides d'onde, et alignées en arrière et/ou en avant respectivement d'au moins certaines desdites paires de fentes rayonnantes (20a, 20b).

13) Élément d'antenne suivant la revendication 12, caractérisé en ce que lesdites cavités (26, 27) sont constituées par une tôle (14, 25) emboutie.

14) Élément d'antenne suivant la revendication 12, caractérisé en ce que lesdites cavités (26, 27) sont constituées par une grille formée d'un entrecroisement de lames sur champ (160) définissant entre elles des alvéoles rectangulaires fermées par une plaque de fond (14).

15) Élément d'antenne selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdites cavités (26, 27) sont constituées par des troncs de cylindre métalliques (150) rapportés sur la plaque de masse 11, et/ou sur la plaque de masse 13 ou sur une plaque de fond métallique pleine, respectivement.

16) Élément d'antenne selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdites cavités (26, 27) sont constituées par des alvéoles (170) creusées dans au moins un bloc de matériau non métallique (171), les parois desdites alvéoles (170) étant revêtues d'une garniture métallique.

17) Élément d'antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, et destiné à coopérer avec au moins un second élément d'antenne, caractérisé en ce que les bords jointifs des plaques de masse (11a, 13a; 11b, 13b) et des modules adjacents sont munis chacun d'une ouverture rayonnante (121a, 122a; 121b, 122b) destinées à coopérer pour former une paire de fentes d'entrée/sortie au niveau d'une terminaison commune (120) des conducteurs des modules, et en ce que ladite paire de fentes (121a, 122a; 121b, 122b) ainsi constituée coopère également avec un couvercle réfléchissant (123) et un guide d'onde d'entrée/sortie (124).

18) Élément d'antenne suivant l'une quelconque des revendications 1 à 16, destiné à coopérer avec au moins un autre élément d'antenne, caractérisé en ce qu'une fente de sortie (131a, 132a; 131b, 132b) est réalisée à proximité du bord de jonction de chacune des plaques de masse des modules de façon à former deux paires de fentes d'entrée/sortie adjacentes coopérant chacune avec l'extrémité (133a, 133b) d'entrée/sortie des circuits conducteurs respectifs des modules, lesdites paires de fentes des modules adjacents coopérant d'une part avec un double couvercle réfléchissant commun (132) à l'une de leurs extrémités, et d'autre part avec un diviseur de puissance (130) à guides d'onde à l'extrémité opposée.

19) Élément d'antenne suivant l'une quelconque des revendications 17 ou 18, caractérisé en ce que lesdits couvercles (123, 132) sont réalisés par emboutissage de la plaque de masse supérieure (11a, 11b) des modules d'antenne adjacents.

20) Élément d'antenne suivant l'une quelconque des revendications 1 à 16, destiné à coopérer avec au moins un autre élément d'antenne, caractérisé en ce qu'une feuille support (12) à conducteur électrique d'excitation (22) unique est couplée à plusieurs jeux de plaques de masse (11, 13), chaque jeu correspondant à un élément d'antenne distinct.

21) Élément d'antenne suivant l'une quelconque des revendications 1 à 16, destiné à coopérer avec au moins un second élément d'antenne, caractérisé en ce que les circuits conducteurs (22) de deux éléments adjacents sont identiques et retournés l'un par rapport à l'autre de façon que le circuit imprimé (22a) d'un premier élément se trouve au recto de la plaque support (12a) correspondante, et le circuit conducteur (22b) du second élément se trouve au verso de la plaque support (12b).

22) Élément d'antenne selon l'une quelconque

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

que des revendications 12 à 16, caractérisé en ce que l'empilement du triplaque (11, 12, 13) est logé dans un boîtier (B) dont le fond comporte des cavités arrière fermées (26).

23) Elément d'antenne suivant l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les espacements entre chacune des plaques (11, 12, 13, 14 ; 51, 52, 53, 54, 55 ; A, 60 ; A, 70) sont partiellement ou totalement remplis d'un matériau diélectrique solide de rigidification, par exemple un matériau diélectrique en nid d'abeille.

24) Procédé de fabrication d'un module d'antenne réseau à large bande selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'on réalise la mise en forme de chacune desdites plaques de masse (11, 13) des éléments d'antenne par une opération de matricage/emboutissage, pour, d'une part percer lesdites fentes rayonnantes (20a, 20b) et d'autre part repousser des butées d'espacement (31) sur la face des plaques (11, 13) tournée vers la feuille-support diélectrique supportant le conducteur central,

en ce qu'on assemble ledit élément d'antenne en faisant simplement reposer des zones non conductrices de la feuille support diélectrique (12) du conducteur d'excitation (22) contre les repoussements (31) se faisant face des plaques de masse inférieure (13) et supérieure (11) de façon à faire pénétrer des terminaisons (30) du circuit conducteur (22) entre les paires de fentes (20a, 20b) alignées,

et en ce qu'on superpose ledit triplaque (11, 12, 13) ainsi réalisé à des cavités fermées arrière (26) et/ou avant ouvertes (27).

25) Procédé de fabrication d'une antenne constituée d'un ou plusieurs éléments selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'on enrobe les éléments d'un matériau électromagnétiquement neutre pour immobiliser les plaques l'une par rapport à l'autre, et protéger l'ensemble des intempéries.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

12

0252779

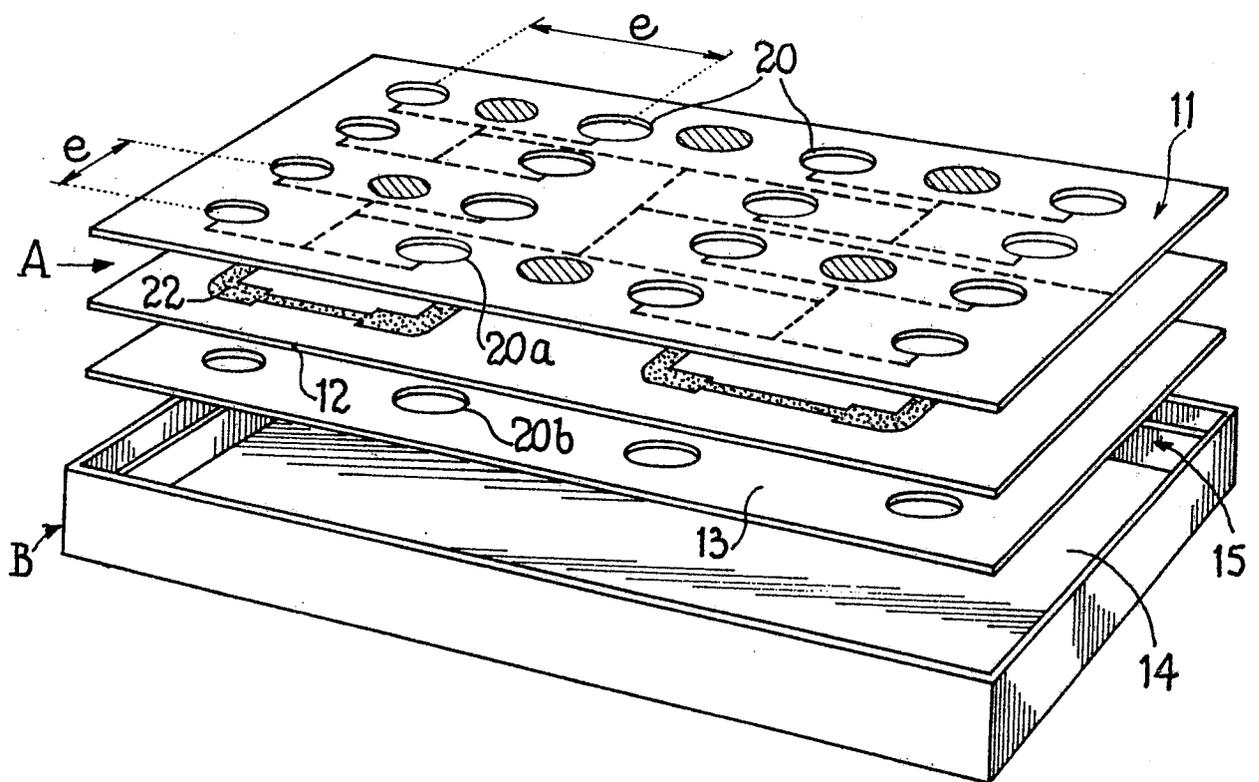


FIG.1

FIG.2

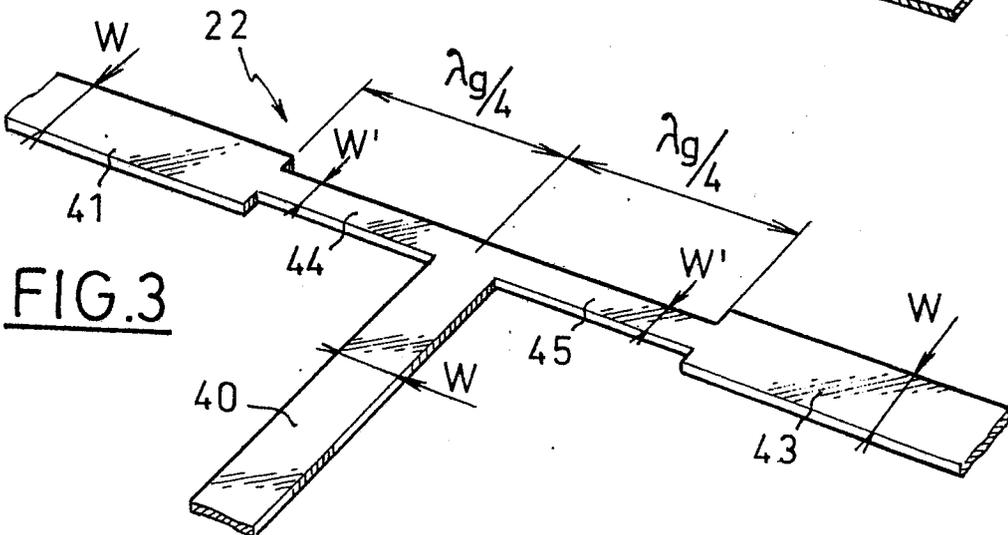
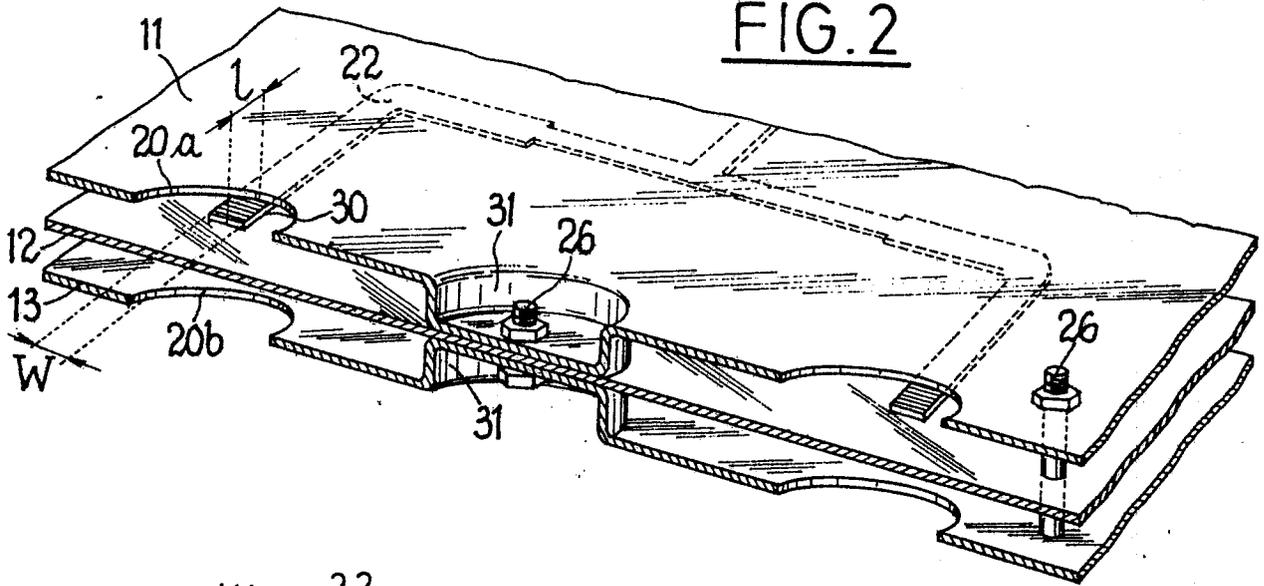


FIG.3

FIG.10

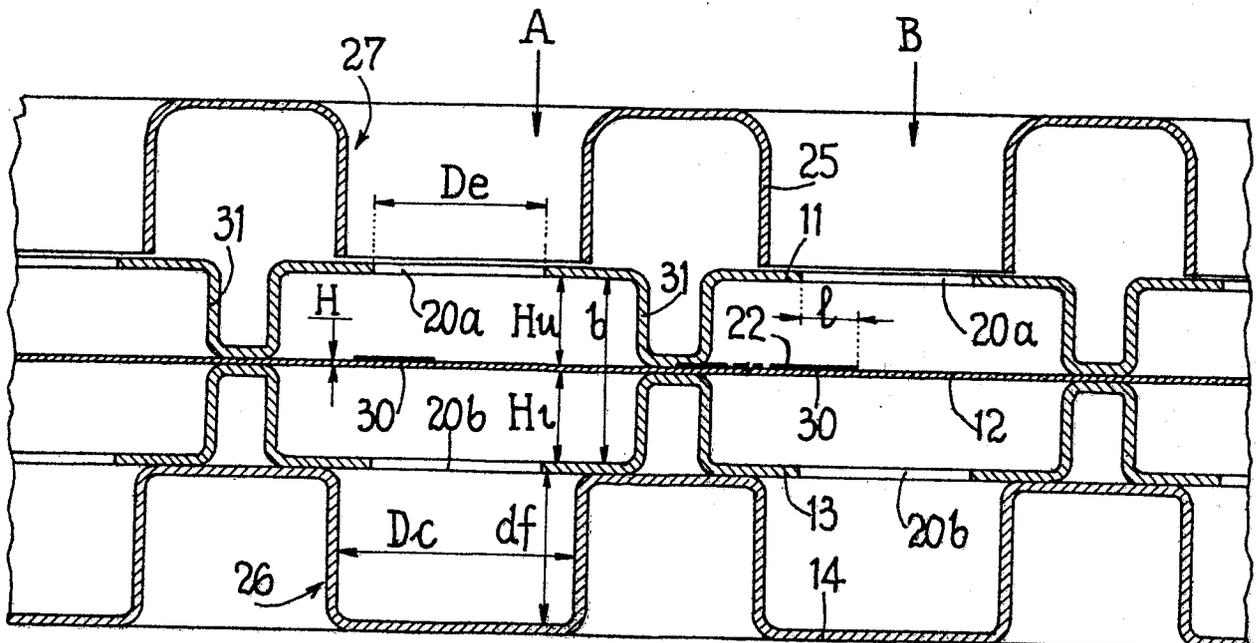


FIG 4a
(BANDE S)

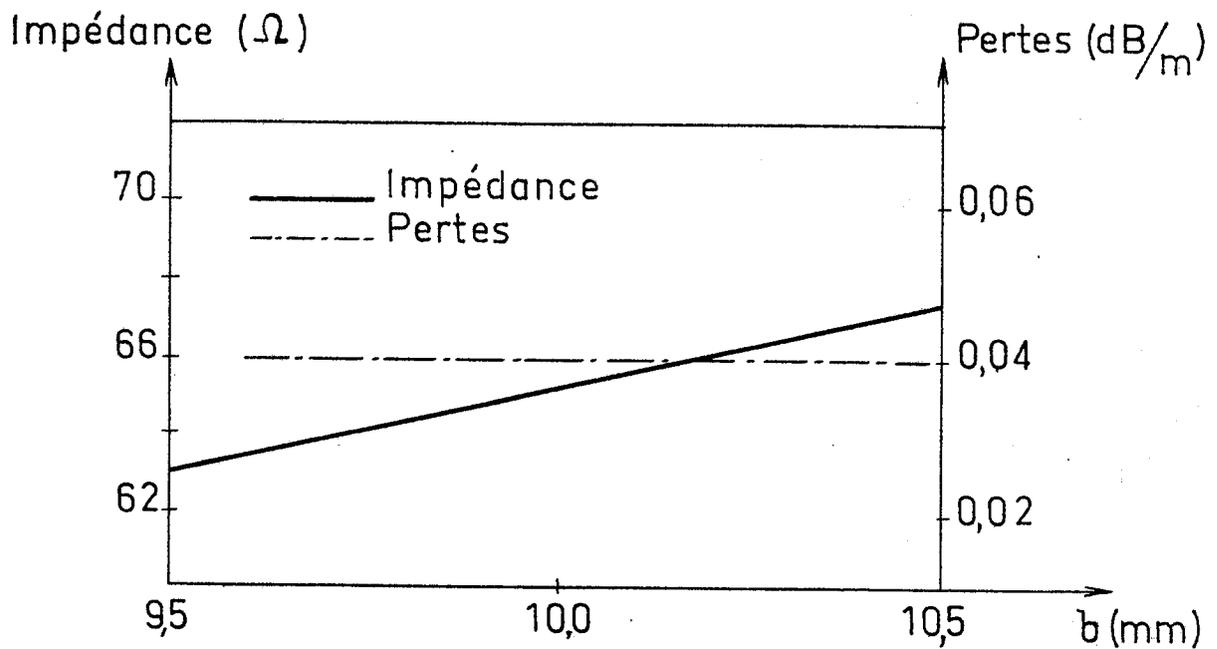
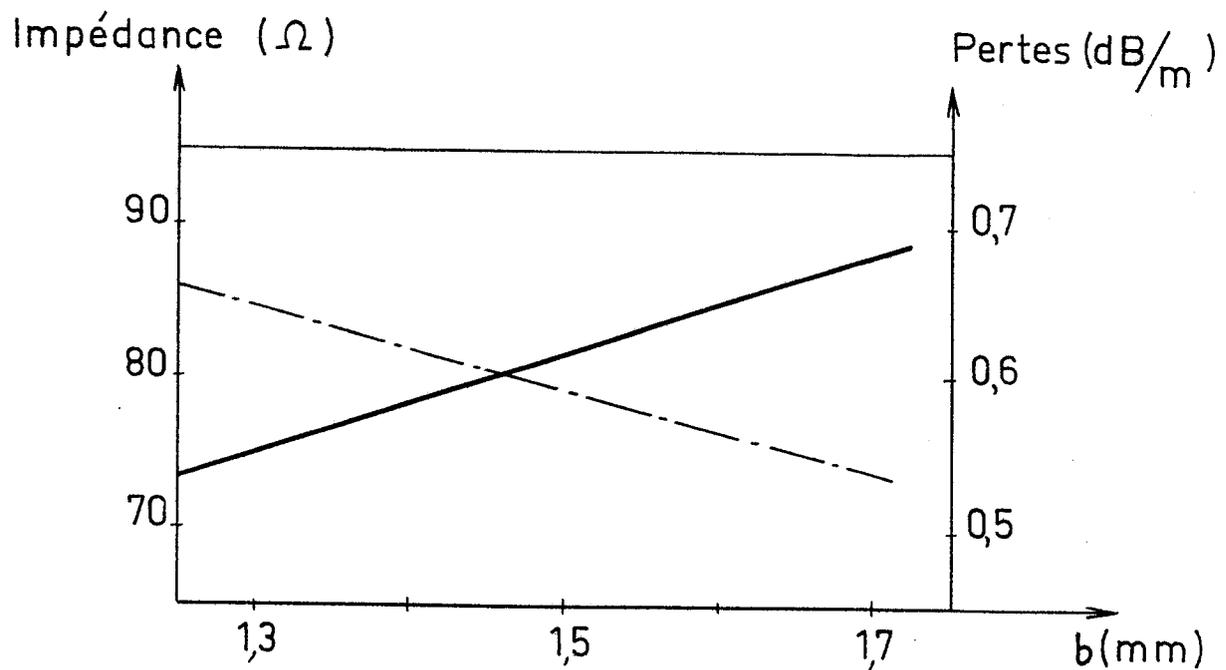
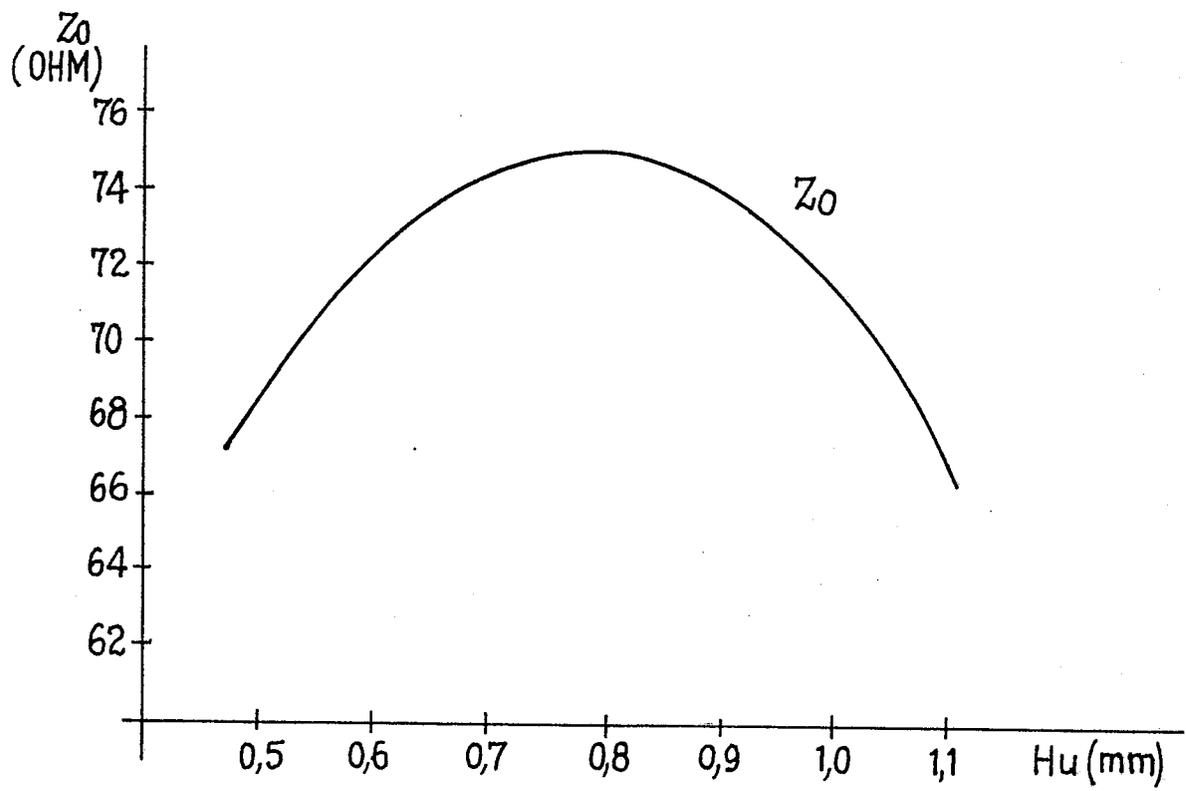


FIG.4b
(BANDE X)



FIG. 5

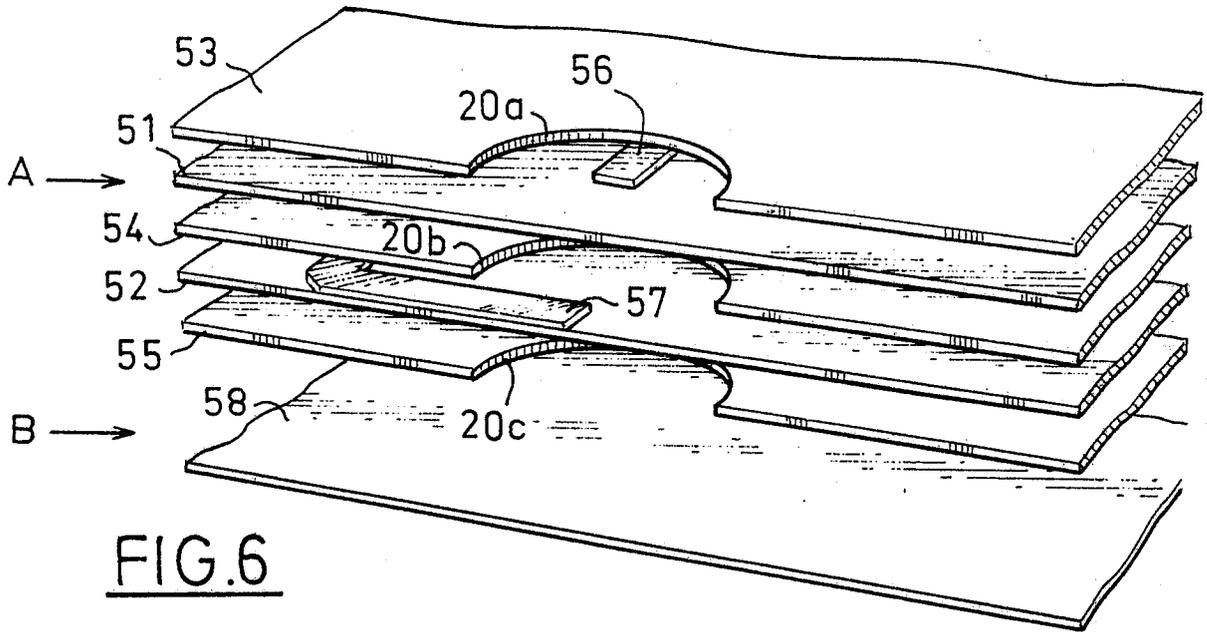


FIG. 6

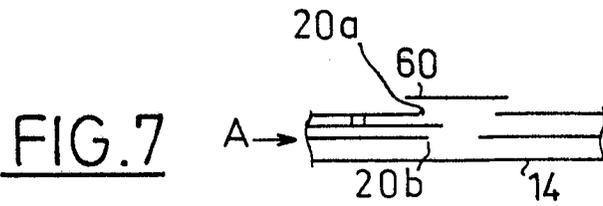


FIG. 7

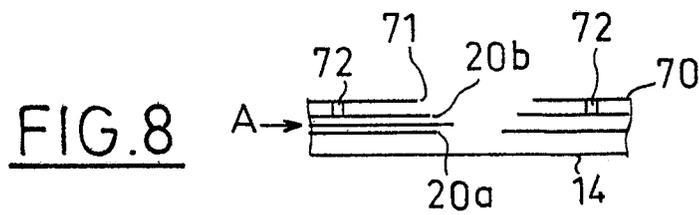


FIG. 8

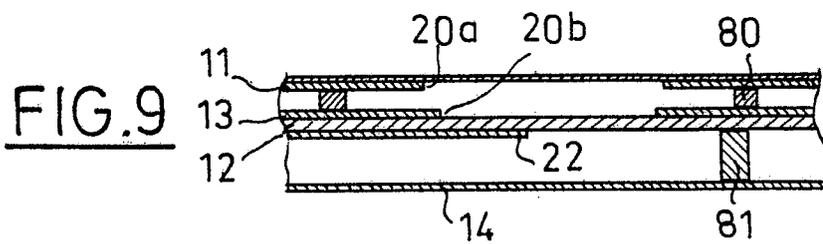


FIG. 9

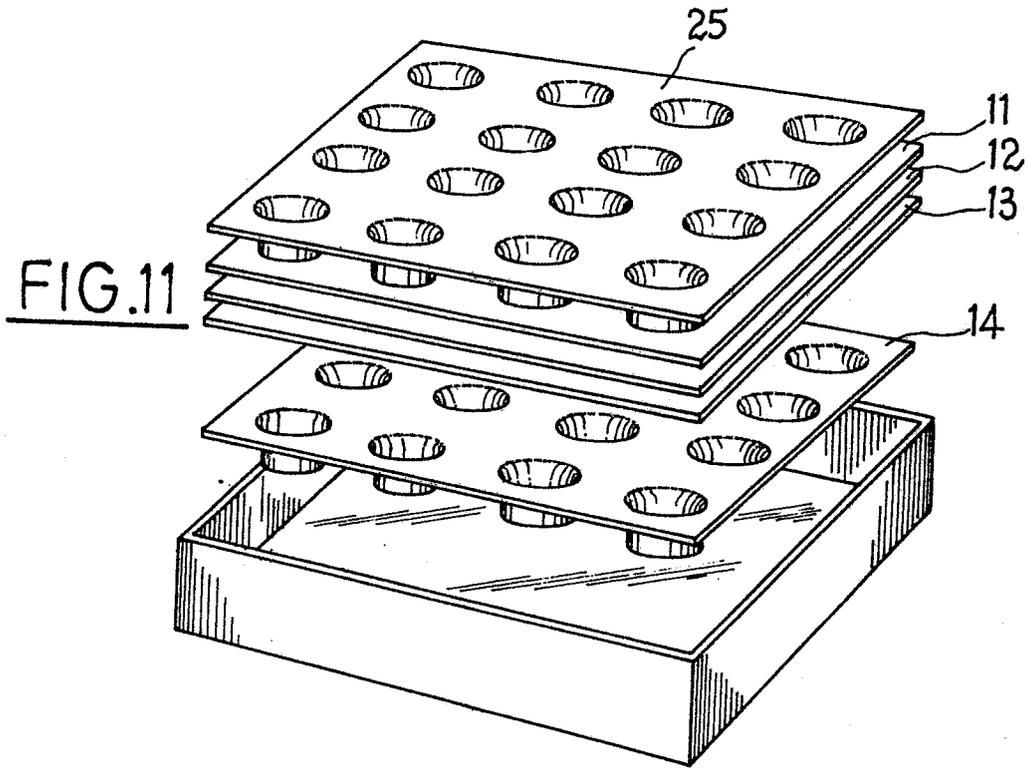
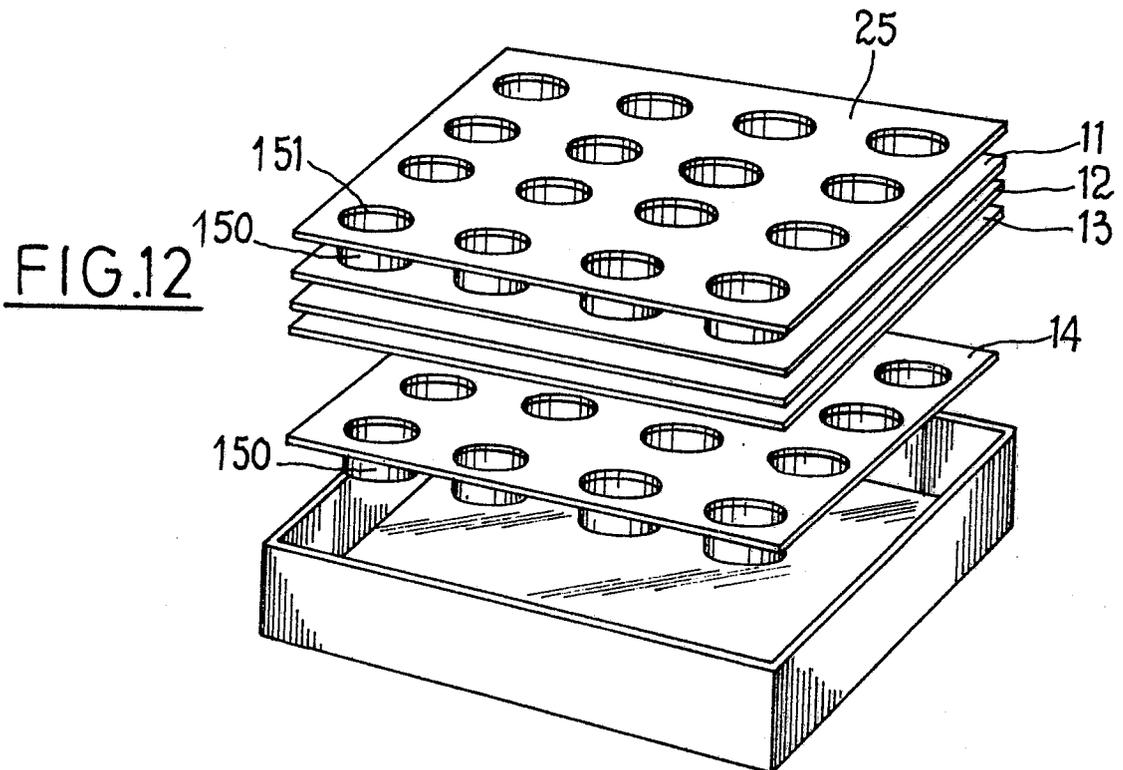
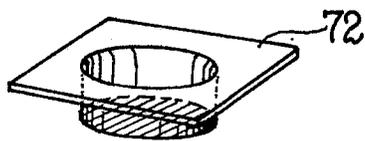


FIG.11b



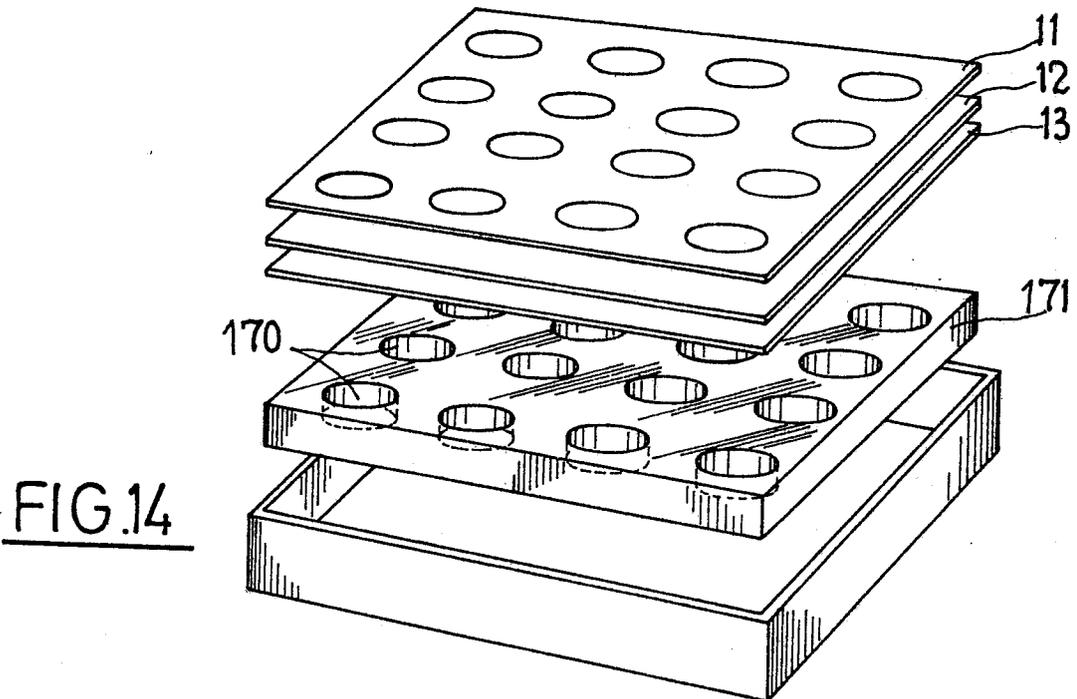
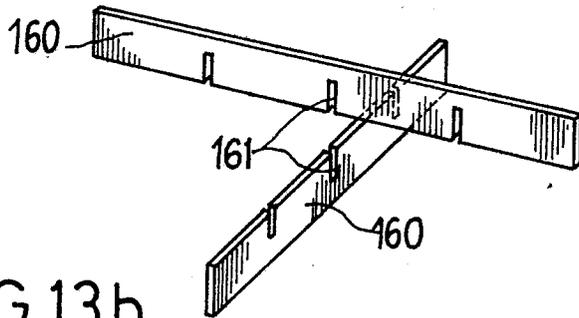
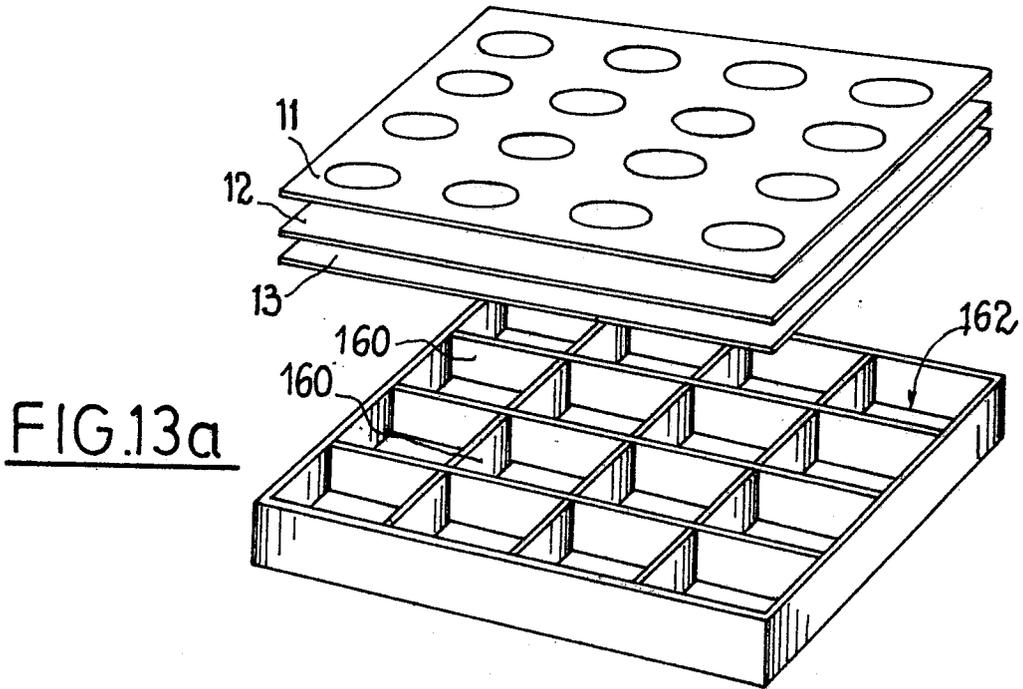
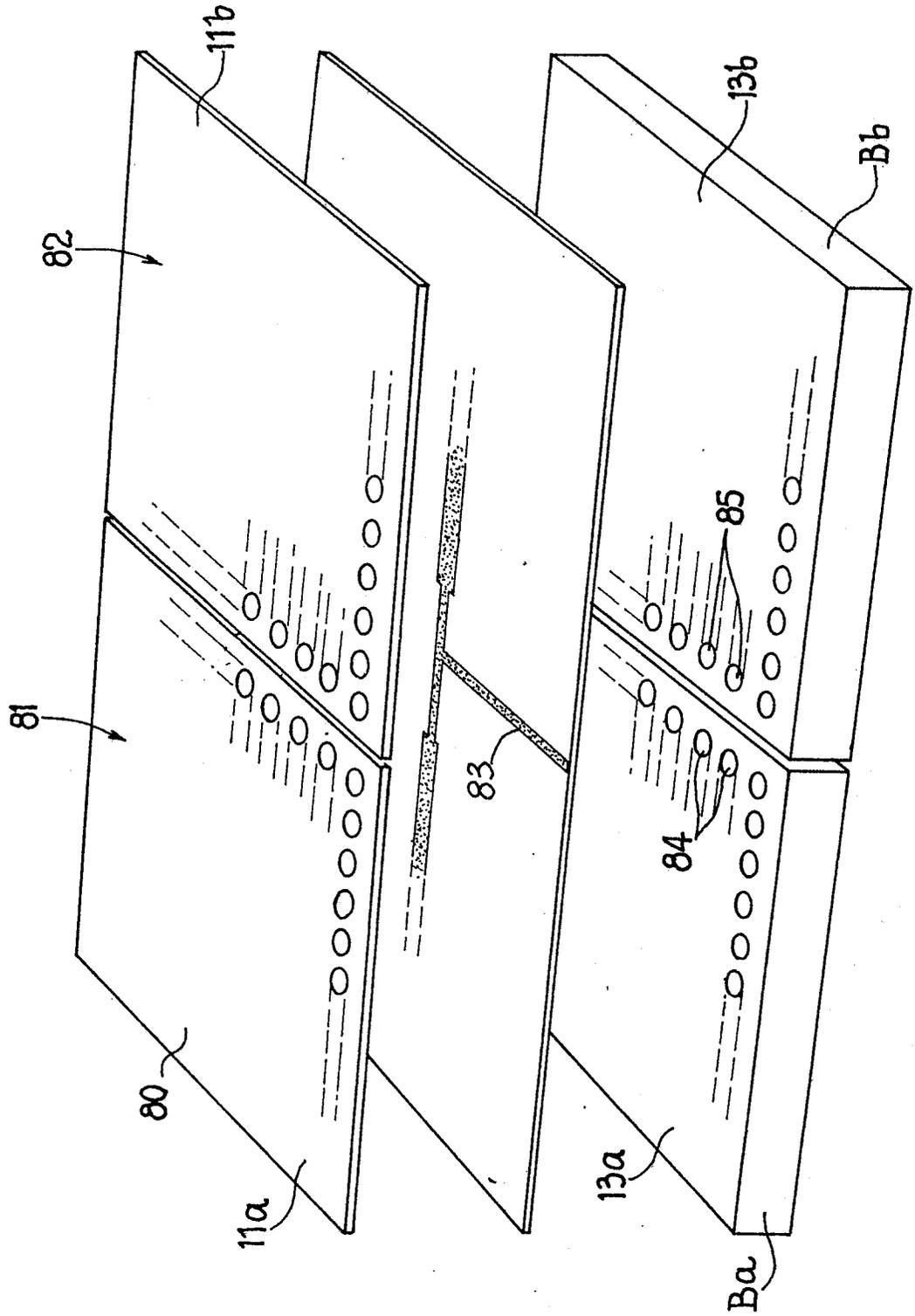


FIG.15



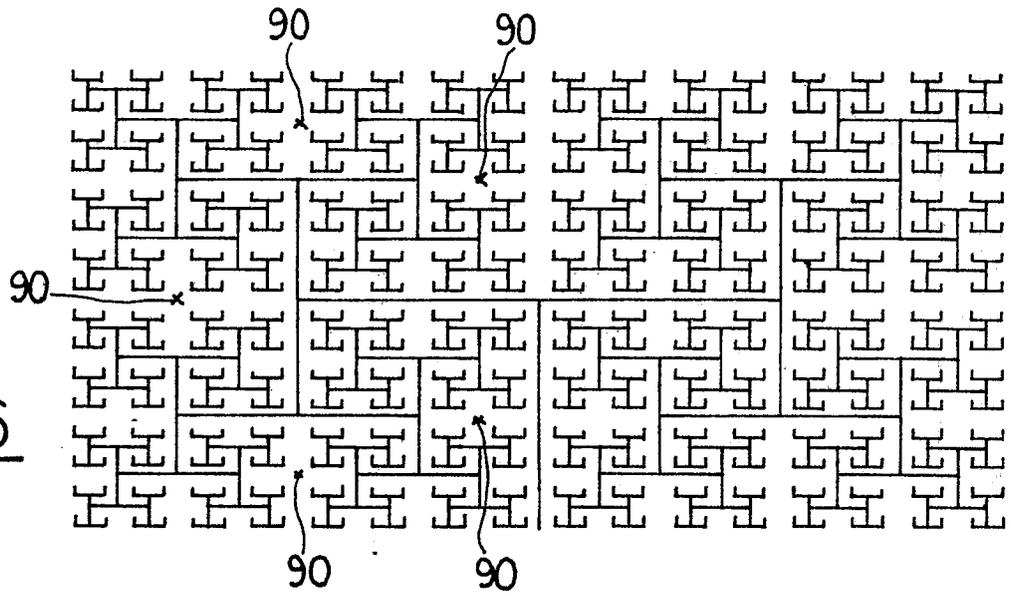


FIG. 16

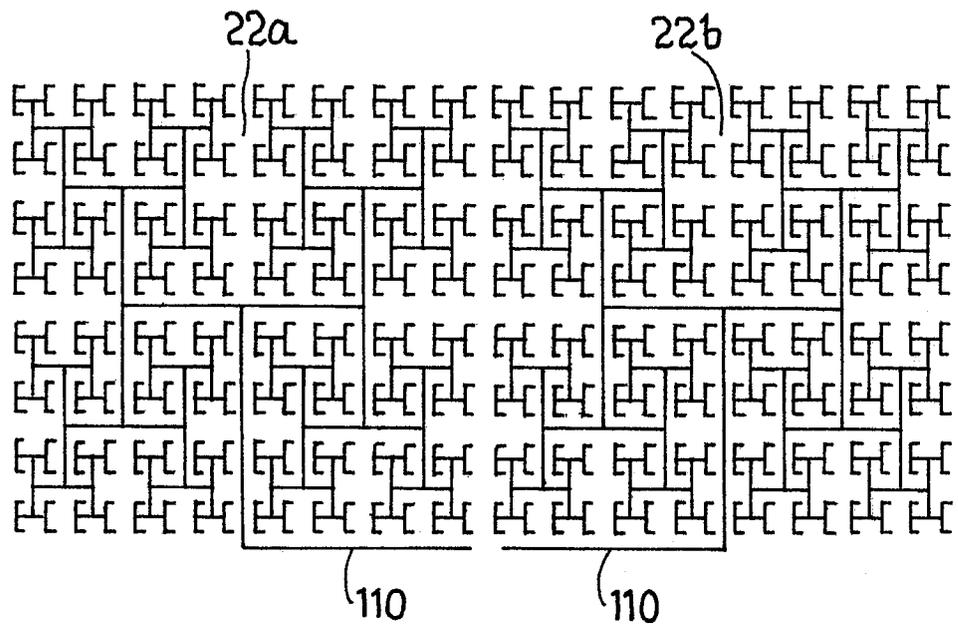


FIG. 18

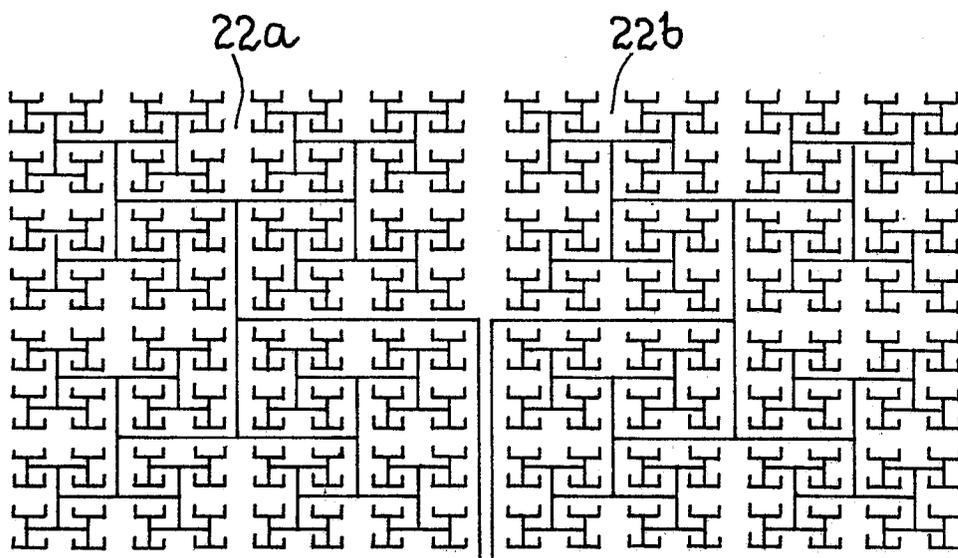


FIG. 17

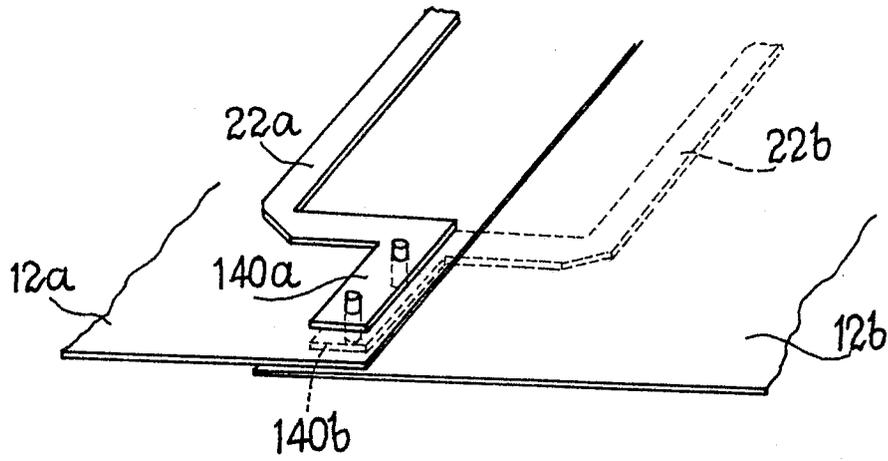


FIG. 21

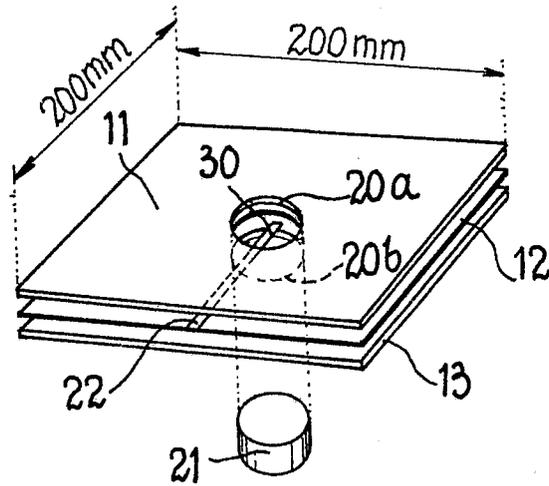


FIG. 22

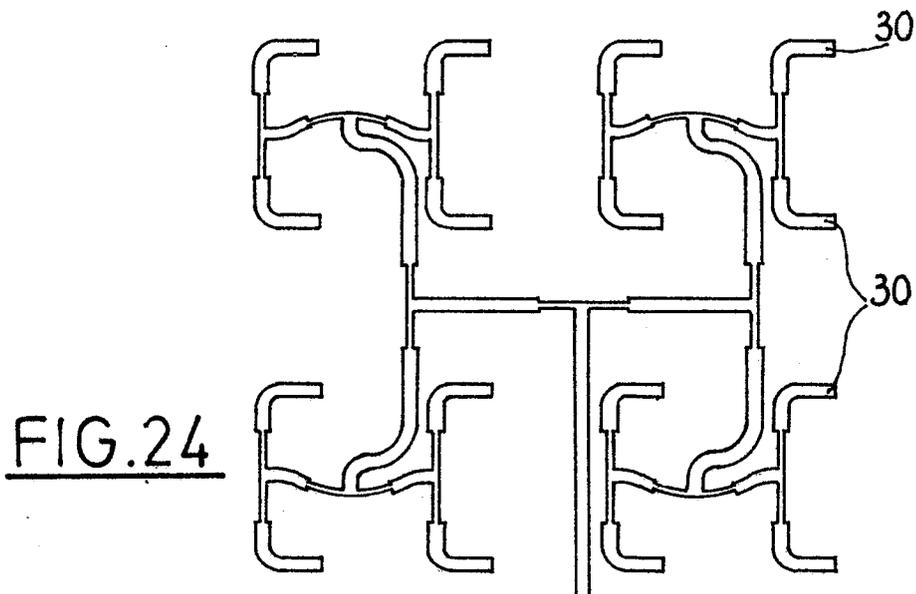
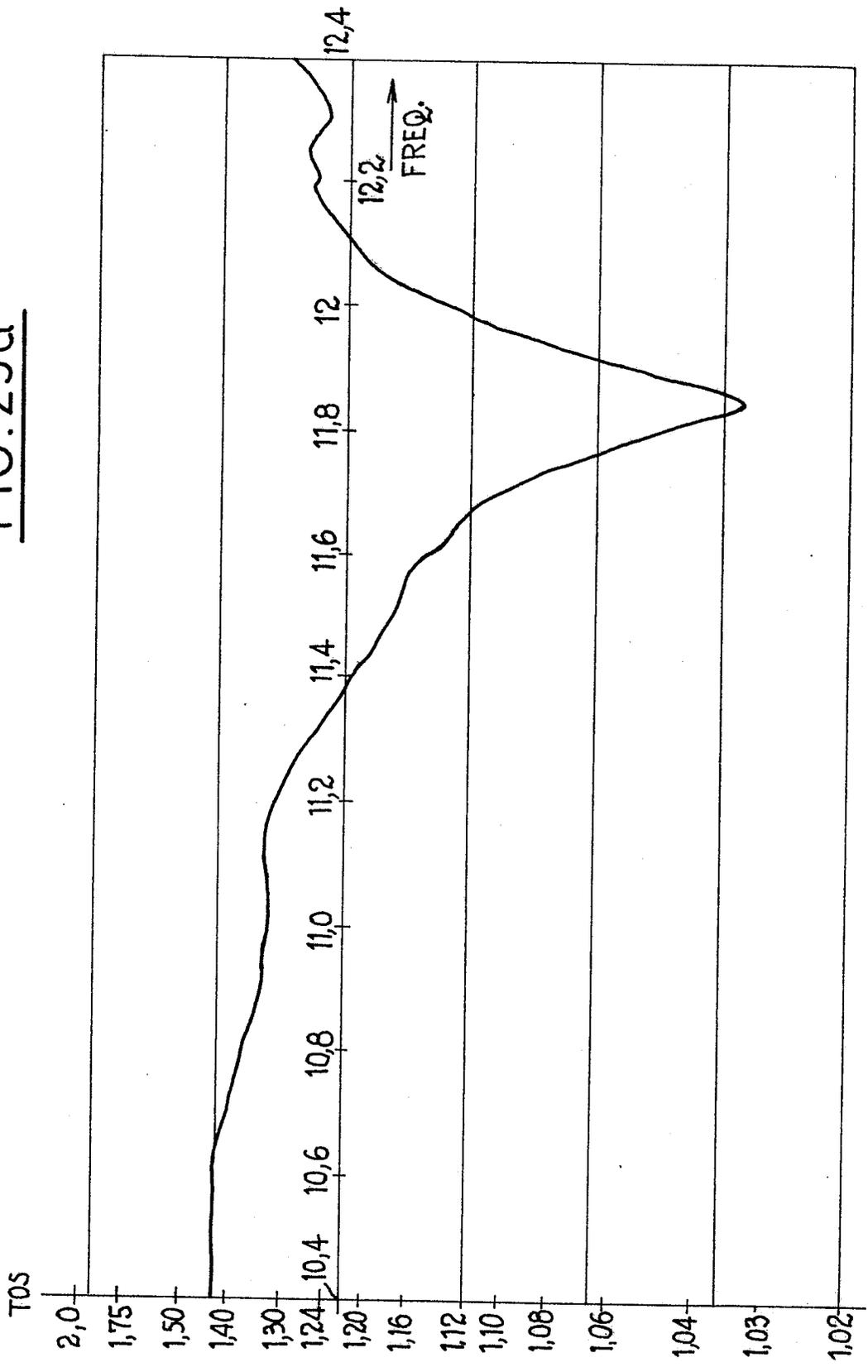


FIG. 24

FIG. 23a



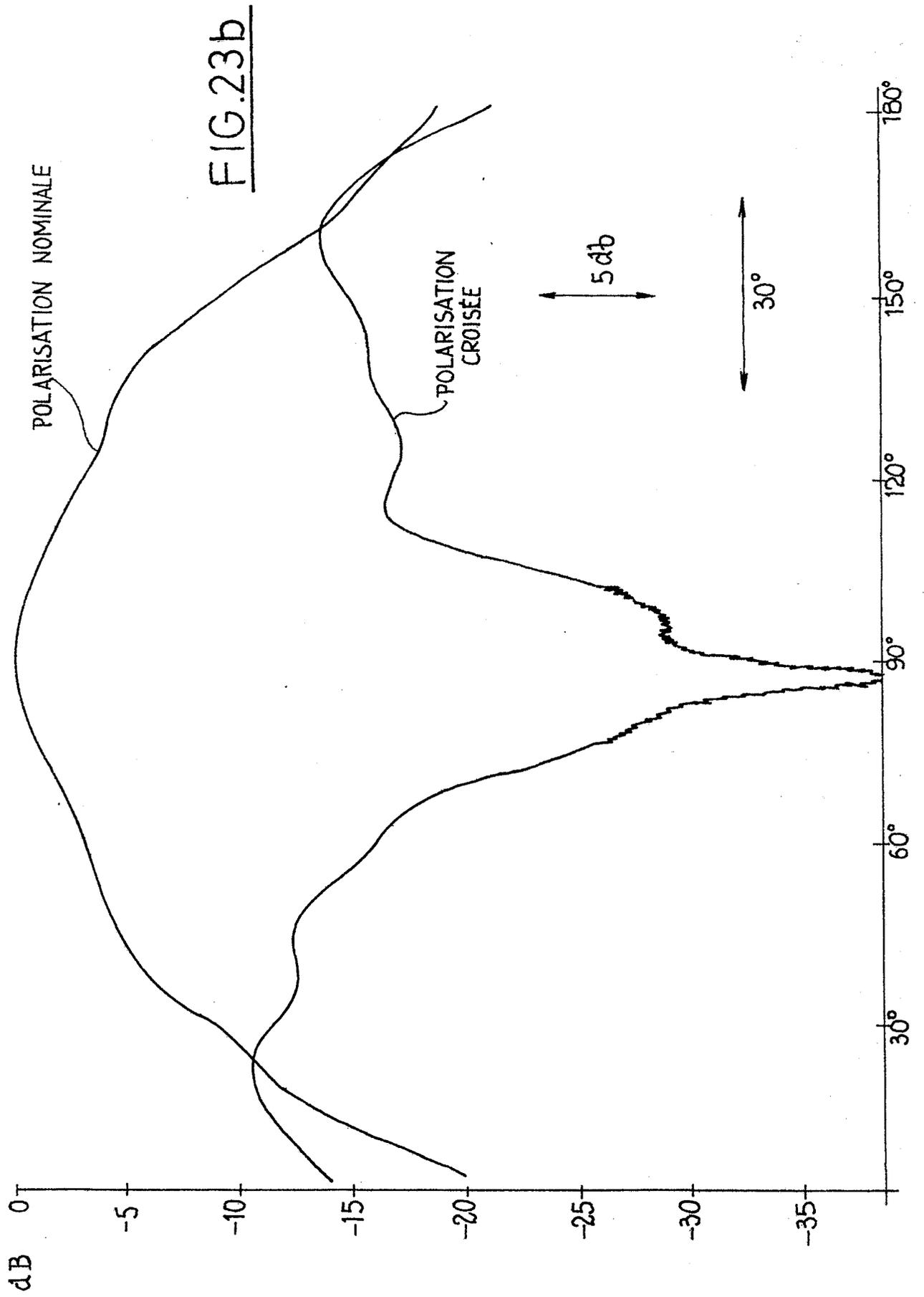


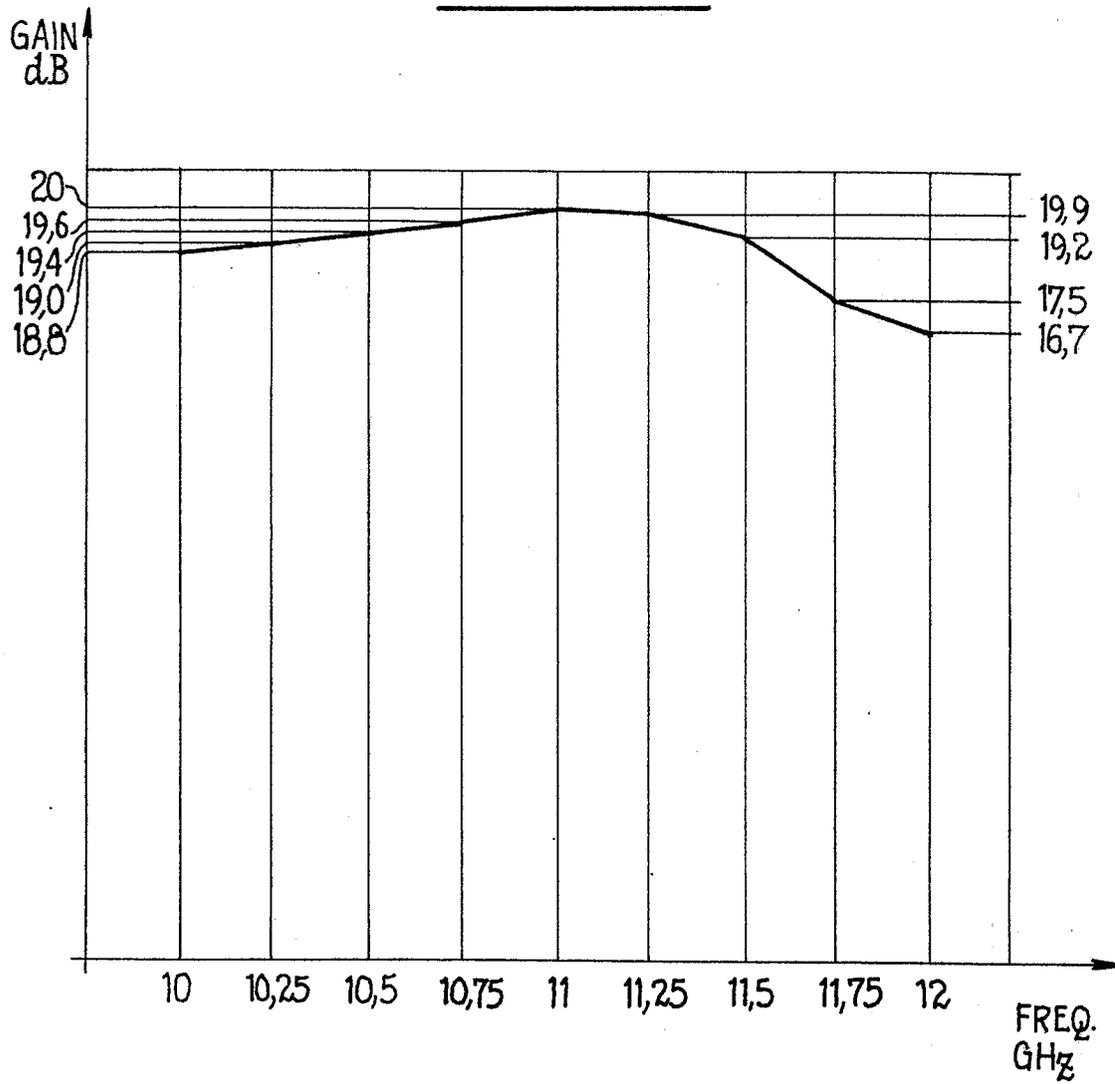
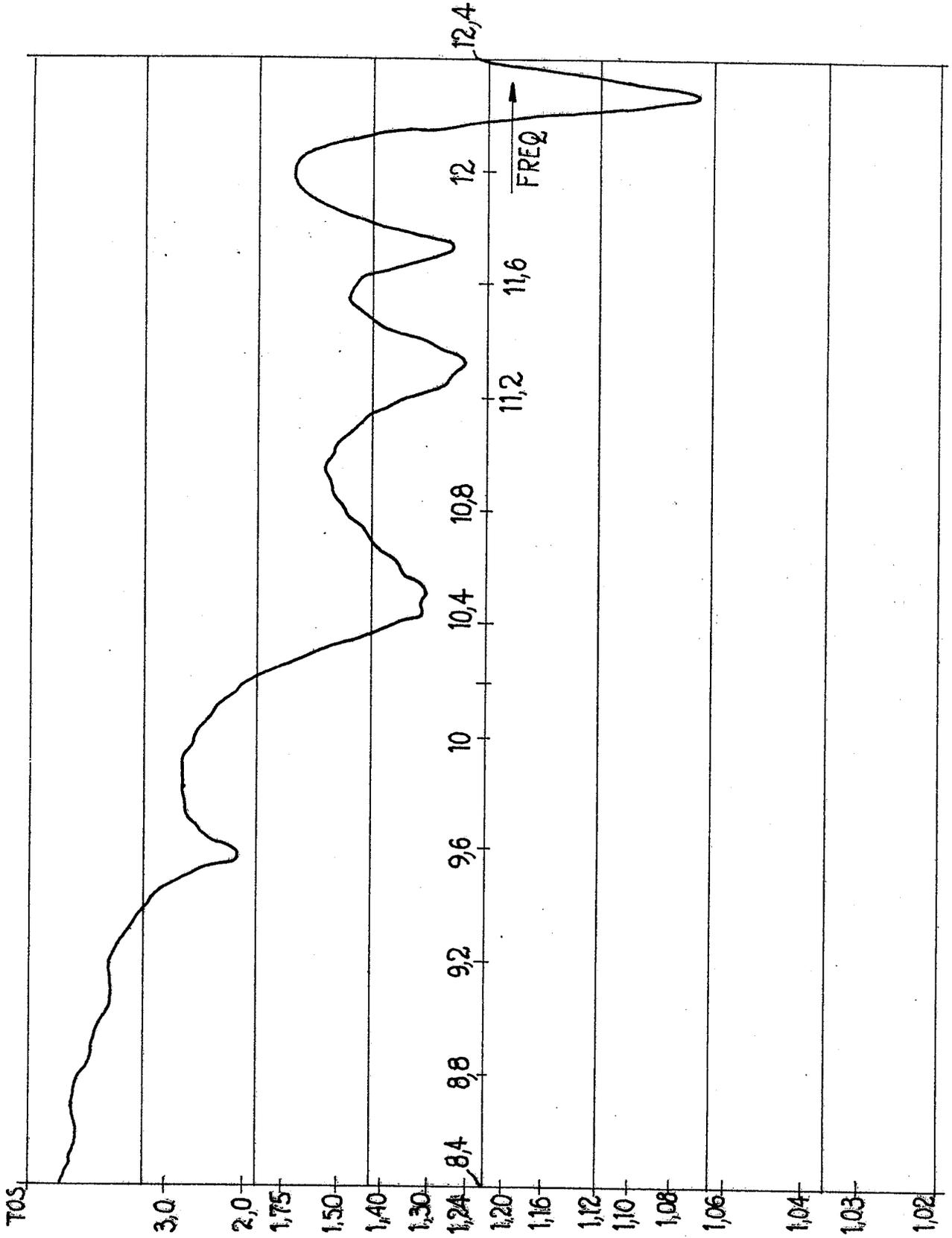
FIG.25a

FIG.25b



0252779

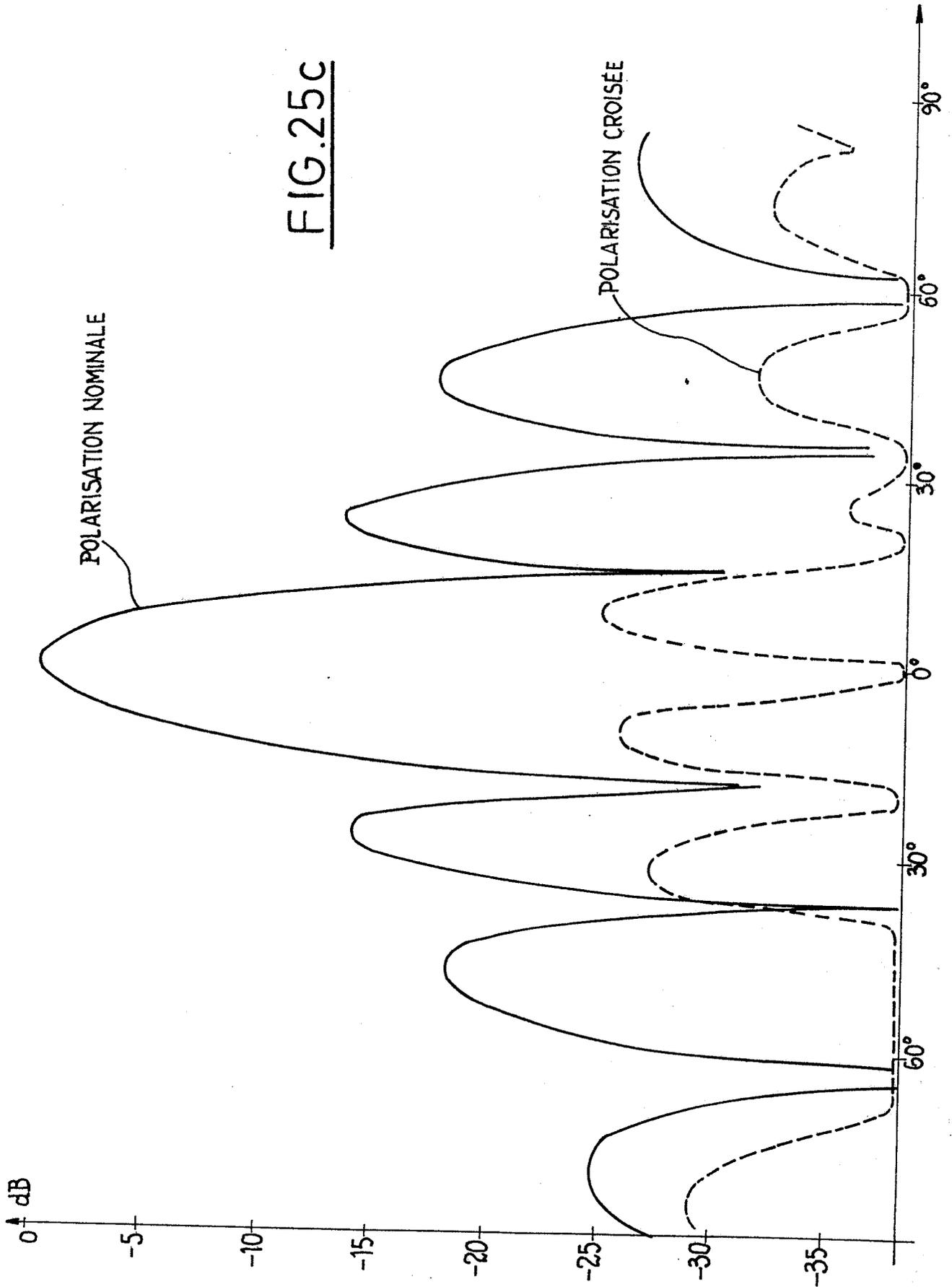


FIG.25C



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)
D, E	EP-A-0 228 742 (RTC-COMPELEC) * En entier *	1, 3-6, 8-12, 22	H 01 Q 21/06 H 01 Q 21/24 H 01 Q 13/18
A	GB-A-2 007 919 (RAYTHEON CO.) * En entier *	1, 5-7, 12, 25	
D, A	EP-A-0 064 313 (L.E.P.) * Figures 1, 3; page 4, ligne 30 - page 8, ligne 10 *	1, 5-7, 12, 25	
A	EP-A-0 089 084 (L.E.P.)		
D, A	EP-A-0 123 350 (L.E.P.)		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24-09-1987	Examinateur CHAIX DE LAVARENE C.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			