



(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : **91403083.8**

(51) Int. Cl.⁵ : **H01Q 13/10**

(22) Date de dépôt : **15.11.91**

(30) Priorité : **23.11.90 FR 9014621**

(43) Date de publication de la demande :
27.05.92 Bulletin 92/22

(84) Etats contractants désignés :
DE GB IT

(71) Demandeur : **THOMSON-CSF**
51, Esplanade du Général de Gaulle
F-92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeur : **Commault, Yves**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense (FR)
Inventeur : **Bonnet, Georges**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense (FR)
Inventeur : **Roquencourt, Jacques**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense (FR)
Inventeur : **Sehan, Alain**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense (FR)

(74) Mandataire : **Chaverneff, Vladimir et al**
THOMSON-CSF SCPI
F-92045 PARIS LA DEFENSE CEDEX 67 (FR)

(54) **Antenne hyperfréquence à fente à structure de faible épaisseur.**

(57) L'antenne de l'invention a une structure "triplaque suspendu" à deux plaques métalliques (26, 27) enserrant un film diélectrique (28). Dans cette structure on pratique un canal pour une ligne d'alimentation (31) d'une fente (34), l'extrémité du conducteur central (32) de la ligne pénétrant dans une cavité dont l'épaisseur est sensiblement égale à celle du canal, la fente étant pratiquée dans la paroi supérieure de la cavité.

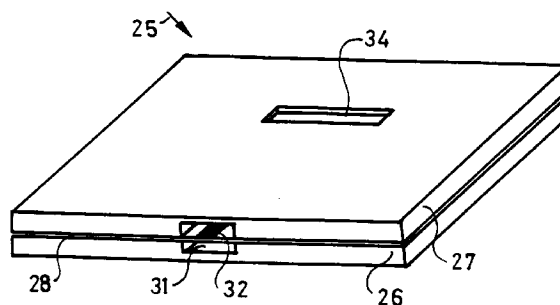


FIG. 7

La présente invention se rapporte à une antenne hyperfréquence à fente à structure de faible épaisseur.

On sait réaliser depuis longtemps des antennes plates à fentes rayonnantes. Basées sur une structure d'alimentation à guides d'ondes, de nombreuses réalisations industrielles ont vu le jour. Ce mode de réalisation présente d'indéniables qualités au niveau des performances radioélectriques. Par contre, la difficulté de la réalisation mécanique conduit à un coût de fabrication élevé. Chercher à réduire ce coût va à l'encontre des performances (réduction de la bande de fréquences, ...) et de la disponibilité de fonctions complexes si on reste dans la même technologie.

Il est possible de réaliser des antennes plates avec un faible coût de fabrication. On utilise pour cela la technologie microruban ("microstrip") dans laquelle les éléments rayonnants sont formés de discontinuités du ruban : on les désigne sous le nom de pavés ("patches" en anglais) rayonnants. La réalisation est simple puisque l'on peut réaliser une surface rayonnante directement par photogravure. Par contre, les performances sont médiocres comparées à celles obtenues avec des guides d'ondes : pertes non négligeables, rayonnement parasite des lignes d'alimentation, etc.

Il existe une autre technologie dans laquelle on peut mettre en oeuvre des procédés de photogravure (et par là, une réduction du coût). Il s'agit des lignes triplaques ("stripline"). Dans ce cas, l'élément rayonnant est une fente photogravée dans un plan métallique et excitée par une ligne selon le processus indiqué par la figure 1 (proposé par RM. Barret et MH. Barnes en 1951 : "Survey of design techniques for flat profiles microwave antennas and arrays", PS. Hall et JR James, The Radio and Electronic Engineer, vol. 48 N° 11 p. 545 - 565, Nov. 78, et : "Microwave printed circuits", RM. Barret et MH. Barnes, Radio and TV News, vol. 46, 1951, p. 16). La modélisation et la caractérisation de ce type d'élément rayonnant ont été faites successivement par AA. Oliner en 1954 ("The radiation conductance of a series slot in strip transmission line", AA. Oliner, IRE National Convention Record, 2, Part 8, p. 89 - 90 (1954)), RW. Breithaupt en 1968 ("Conductance data for off-set series slots in stripline" RW. Breithaupt, IEEE Trans - on Microwave Theory and technique, Nov 68, p. 969) et FS. Rao et BN Das en 1978 ("Impedance of off-centered stripline fed series slot", JS. Rao et BN. Das, IEEE Trans. on Antennas and Propagation AP26, Nov. 78, N° 6, P. 893). En première approximation le schéma équivalent communément admis est celui de la figure 2, décrite ci-dessous.

On connaît par ailleurs ("Nouvelles structures d'antennes planes à rendement élevé" en lignes triplaque et lignes triplaque suspendu", E. Ramos, Colloque radar, Versailles, Mai 1984, et : "Une antenne plane à lignes sur substrat suspendu pour les

applications de réception satellite à 12 GHz", E. Ramos, Acta Electronica, Revue du LEP/Philips, Vol. 27, N° 1/2 1985, p. 77-83) une antenne alimentée par des guides dont une extrémité est en court-circuit à environ un quart de longueur d'onde de l'extrémité de l'âme du triplaque et l'autre extrémité est ouverte sur un demi espace libre en s'évasant en forme de cornet (voir figure 6). Cette disposition conduit à une épaisseur non négligeable pour l'ensemble de la structure ; en effet, au tronçon quart d'onde, déjà mentionné, doit s'ajouter un tronçon de filtrage de modes évanescents (générés par l'extrémité libre de l'âme du triplaque) vers l'ouverture rayonnante.

La présente invention a pour objet une antenne hyperfréquence dont l'épaisseur soit la plus faible possible (par exemple inférieure à 1/4 de longueur d'onde), qui présente des pertes hyperfréquences le plus faibles possible, de faible coût de fabrication, et présentant le minimum possible de rayonnement parasite de ses lignes d'alimentation, et dont la directivité puisse être ajustée dans de larges limites.

La présente invention a également pour objet un réseau d'antennes hyperfréquences à fente qui puisse intégrer un grand nombre d'antennes élémentaires dans l'espace le plus restreint possible et présentant le minimum possible d'interférences mutuelles entre les circuits hyperfréquences et lignes d'alimentation des antennes élémentaires, et qui puisse être intégrable dans une surface métallique.

L'antenne hyperfréquence à fente de l'invention est formée avec sa ligne d'alimentation dans une structure de type "triplaque suspendu", à deux plaques en matériau électriquement conducteur enserrant un film diélectrique, l'extrémité de l'âme de la ligne pénétrant dans une cavité dans laquelle est pratiquée au moins une fente, la profondeur de la cavité étant sensiblement égale à l'épaisseur du canal de la ligne d'alimentation.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description de plusieurs modes de réalisation, pris comme exemples non limitatifs et illustrés par le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est une vue schématisée en perspective d'une antenne à fente alimentée par une ligne triplaque, selon l'art antérieur ;
- la figure 2 est un schéma électrique équivalent de l'antenne de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue schématisée en perspective d'un autre mode de réalisation connu d'antenne à fente à structure triplaque ;
- la figure 4 est une vue partielle en perspective d'une antenne à fente connue à cavité arrière ;
- la figure 5 est une vue partielle en perspective d'une ligne "triplaque suspendu", connue en soi et utilisée par l'invention ;
- la figure 6 est une vue en coupe d'une antenne à guide rayonnant, en technologie "triplaque suspendu" à cavité arrière ;

– les figures 7 et 8 sont respectivement une vue en perspective et une vue en coupe axiale d'une antenne conforme à l'invention ;
 – les figures 9 à 17 sont des vues schématiques de dessus de différents modes de réalisation d'une antenne à fente conforme à l'invention ;
 – la figure 18 est un schéma électrique équivalent de l'antenne de la figure 17 ;
 – la figure 19 est une vue schématique en coupe d'une antenne conforme à l'invention, avec un réflecteur partiel ;
 – les figures 20 et 21 sont des vues en coupe d'autres modes de réalisation de l'antenne conforme à l'invention ;
 – la figure 22 est un schéma électrique équivalent d'une antenne conforme à l'invention ;
 – la figure 23 est une vue en perspective d'une variante de l'antenne conforme à l'invention ;
 – la figure 24 est une vue simplifiée de dessus d'un réseau d'antennes conforme à l'invention,
 – la figure 25 est une vue simplifiée en coupe d'un détail de réalisation du réseau de la figure 24, et
 – la figure 26 est une vue simplifiée en perspective d'une installation de chauffage par micro-ondes comportant des antennes conformes à l'invention.

L'antenne connue 1 représentée en figure 1 est du type triplaque à substrats diélectriques. Elle comporte un assemblage de deux plaques de substrat diélectrique 2, 3. Les grandes faces extérieures de cet assemblage sont métallisées. Une fente 4 est photogravée dans l'une des surfaces métallisées. Une bande métallique 5 est formée sur la grande face intérieure de l'une des plaques, avant leur assemblage. Cette bande 5 forme la ligne d'excitation de la fente 4. En première approximation, le schéma électrique équivalent d'une telle antenne est celui représenté en figure 2 : une inductance L_1 , en série dans une ligne d'impédance caractéristique Z_c , couplée à une inductance L_2 qui est en parallèle avec une réactance jB et une résistance pure Y_0 . Par ailleurs, on a montré la dépendance de l'impédance présentée par la fente à la ligne en fonction de la position relative de l'une par rapport à l'autre (excentrement).

Un inconvénient majeur de ce type d'élément résulte dans la génération de mode pair TEM entre les plans conducteurs (faces extérieures métallisées des plaques 2, 3), due à la charge asymétrique présentée par la fente. On ne peut s'affranchir de cet inconvénient que par le blindage de la zone de couplage par des piliers métalliques 6 rapportés ou des trous métallisés comme le montre la figure 3. Le blindage formé par ces trous constitue une cavité ("boxed stripline"). Par fermeture complète de cette cavité en dehors de la ligne d'alimentation, l'élément rayonnant ainsi constitué devient une fente à cavité arrière ("cavity backed slot") qui a fait l'objet d'une première description par AT. Adams ("Design of transverse slot arrays

fed by a boxed stripline" R. Shavit, RS. Elliot, IEEE Trans. on Antennas and Propagation vol. AP31 N° 4, Juillet 83 P. 545). Ces fentes (7) à cavité arrière (8) classiquement alimentées par une sonde axiale (9) (figure 4) ont fait l'objet de nombreuses études : théorique ("The input impedance of the rectangular cavity-backed slot antenna", CR. Cokrell, IEEE Trans. on antennas and propagation, vol. AP24, No. 3, Mai 76, p. 288, et : "Electromagnetic fields coupled into a cavity with a slot-aperture under resonant conditions", CC. Liang et DK. Cheng, IEEE Trans. on Antennas and propagation, Vol. AP30, No. 4, Juillet 82, page 664), expérimentale ("Experimental study of the impedance of cavity-backed slot antenna", SH. Long, IEEE Trans. on antennas and propagation, vol. AP23 No. 1, Janvier 75), d'optimisation ("Optimisation of cavities for slot antennas", ROE. Lagerlöf, Microwave journal, vol. 16, No. 10, Oct. 73, p. 12c), à bande élargie ("Cavity backed wide slot antennas", J. Hirokawa et co-auteurs, IEE Proc. vol. 136, Pt. H No. 1 Février 89, p. 29), et un ouvrage récent leur est consacré ("Microwave cavity antennas", A. Kumar et HD. Hristov, Artech House, 1989, Chap 2).

La figure 5 représente un tronçon de ligne 10 "triplaque suspendu" telle qu'utilisée par la présente invention. Cette ligne 10 est formée dans une structure métallique comportant deux plaques 11, 12 en matériau électriquement conducteur appliquées l'une contre l'autre. Dans les faces en vis-à-vis de chacune de ces plaques, on forme une rainure 13, 14 respectivement, ces deux rainures se faisant face. Entre les deux plaques, on insère un film 15 en matériau diélectrique sur au moins une face duquel est formé un ruban 16 en matériau électriquement conducteur. Ce ruban 16 est moins large que les rainures 13, 14 et, de préférence, son axe longitudinal est confondu avec l'axe longitudinal des rainures. Une telle ligne présente, par rapport à la ligne à substrats diélectriques de la figure 1, deux avantages importants : de plus faibles pertes grâce à la suppression des substrats diélectriques, et un blindage entre lignes adjacentes grâce à la structure métallique et grâce à la possibilité de pratiquer des trous métallisés dans le film 15. Cette combinaison réalise pour chaque ligne un canal fermé autour de chaque ruban.

On a représenté en figure 6 une antenne connue 17 à ouverture rayonnante. Cette antenne 17 est alimentée par une ligne 18 en "triplaque suspendu", semblable à celle de la figure 5. La ligne 18 débouche dans une cavité 19 à section circulaire de diamètre supérieur à $1/2$ longueur d'onde. Cette cavité 19 comporte, en allant de la ligne 18 vers son orifice de sortie, un tronçon cylindrique 20 de longueur T voisine ou peu différente de $1/4$ d'onde et une ouverture 21 s'évasant en cornet. Du côté opposé par rapport à la ligne 18, la cavité 19 se termine par une cavité cylindrique 22 fermée à son extrémité, de profondeur P voisine ou peu différente de $1/4$ de longueur d'onde.

L'âme 23 de la ligne 18 se termine sensiblement au centre du cercle formé par l'intersection du film 24 de la ligne et de la cavité 19, c'est-à-dire à $1/4$ de longueur d'onde de la paroi de la cavité. Le tronçon 20 sert au filtrage des modes supérieurs évanescents générés par l'extrémité libre de l'âme 23 du triplaque suspendu dans la cavité 19 de grandes dimensions. Cette antenne 17 a donc une structure d'épaisseur importante (supérieure à $1/2$ longueur d'onde), qui en exclut l'emploi dans des applications nécessitant une structure très mince.

On a représenté en figures 7 et 8 une antenne 25 conforme à l'invention. Sur ces figures, on n'a représenté qu'une seule fente, mais il est bien entendu qu'une même structure peut comporter plusieurs fentes, soit atténuées indépendamment les uns des autres, soit alimentées à partir de la même source via des répartiteurs.

L'antenne 25 est formée dans deux plaques 26, 27, en matériau électriquement conducteur, assemblées, par tout moyen approprié, l'une contre l'autre avec interposition d'un film 28 en matériau diélectrique. Dans chacune des plaques 26, 27, on forme, sur une partie de la longueur de ces plaques, une rainure, 29, 30 respectivement. Ces rainures peuvent être rectilignes ou non. L'une des extrémités des rainures 29, 30 aboutit à l'un des côtés de la plaque correspondante. Ces rainures ont toutes deux une section rectangulaire, leur profondeur, inférieure à $1/8$ de longueur d'onde, peut être constante sur toute leur longueur, ou bien peut varier, pour au moins l'une des rainures, comme illustré en figure 20, et leurs largeurs sont égales. De préférence, les profondeurs des rainures 29, 30 sont égales entre elles. Les plaques 26, 27 sont assemblées de façon que la rainure 29 soit en vis-à-vis de la rainure 30.

On forme sur l'une des faces, ou sur les deux, du film 28, à l'intérieur du canal 31 défini par les rainures 29 et 30, un ruban 32 électriquement conducteur constituant l'âme d'une ligne triplaque 31A comprenant donc le canal 31 et l'âme 32. L'axe longitudinal du ruban 31 est, de préférence, confondu avec l'axe longitudinal du canal 31. L'âme 32 peut soit se prolonger jusqu'à l'extrémité fermée 33 du canal 31 (comme représenté en figure 8) et donc être en court-circuit avec les plaques conductrices 26, 27, soit se terminer peu avant cette extrémité, à une distance de protection contre tout claquage (comme représenté en figure 17).

Un peu avant l'extrémité 33 du canal 31, on pratique dans au moins l'une des plaques 26, 27, une fente rayonnante, référencée 34 sur les figures 7 et 8. Différentes formes de fentes sont décrites ci-après. Dans le cas le plus simple, tel que celui illustré par les figures 7 à 10, 12, 13, 15, 16, 23 et 26, la fente est rectiligne et perpendiculaire à l'axe du canal 31, au moins en ce qui concerne la partie de ce canal qui est à proximité de la fente. Cette fente est de forme rectan-

gulaire allongée, ses extrémités étant, de préférence, arrondies. Dans le cas où l'âme de la ligne triplaque est en court-circuit à l'extrémité 33 du canal (figure 8 par exemple), la fente est à une distance $d1$ de cette extrémité, $d1$ étant inférieure à $1/8$ de longueur d'onde. Dans le cas où l'extrémité de l'âme de la ligne triplaque est en circuit ouvert (figure 10), la distance $d2$ entre cette extrémité et l'extrémité fermée du canal, est simplement destinée à assurer une impédance terminale suffisamment élevée et la distance LE entre l'axe de la fente et l'extrémité de l'âme est sensiblement égale à $1/4$ de longueur d'onde. La fente présente, sur sa fibre moyenne, une longueur LF généralement comprise entre environ 0,4 et 0,6 longueur d'onde de travail. Sa largeur LA peut être comprise entre 0 et environ 0,1 longueur d'onde de travail, cette dernière valeur pouvant être plus élevée, à condition qu'un seul mode de résonance puisse exister dans la bande de fréquences d'utilisation.

Bien entendu, dans le cas le plus général (figure 9, par exemple), la longueur LF de la fente est supérieure à la largeur LC du canal 31. Par conséquent, ce dernier s'élargit en amont de la fente, de façon avantageuse mais non impérative à environ $1/4$ de longueur d'onde de la fente, et forme une cavité, référencée 35 sur les figures 8 et 9. L'âme 32 peut également s'élargir à proximité de la fente 34, en aval du début de la cavité 35. En vue de dessus, comme représenté en figure 9 par exemple, la cavité 35 peut avoir une forme sensiblement rectangulaire, mais elle peut avoir d'autres formes, comme précisé ci-dessous.

Bien entendu, la longueur LF de la fente 34 est fonction de la longueur d'onde utilisée, et est sensiblement égale à $1/2$ longueur d'onde. Les dimensions, formes et positions mutuelles respectives de l'extrémité de l'âme 32, de la fente 34 et de la cavité 35 sont des paramètres d'ajustement à la conception de l'antenne, d'adaptation d'impédances, et, le cas échéant, d'ajustement de réseaux d'antennes, en particulier pour des réseaux denses.

On a représenté en figure 10 le cas où l'extrémité de l'âme est un circuit ouvert, la distance LE entre l'axe de la fente et cette extrémité étant sensiblement égale à $1/4$ de longueur d'onde.

La longueur LCAV de la cavité (35 ou 37) et sa forme, la position de la fente (34, 38) par rapport à cette cavité, et la forme de l'âme sont déterminées à la conception de l'antenne pour obtenir des adaptations d'impédances correctes entre la ligne et la cavité, et entre cette cavité et la fente.

Ainsi que représenté en figures 11A et 11B, pour diminuer la surface d'encombrement de l'antenne, il est possible de replier les extrémités de la fente qui a ainsi une forme de "U". En figure 11A, la fente 41 épouse la forme de l'extrémité de la cavité 42, et la largeur $d3$ de la cavité est pratiquement égale à la distance $d4$ entre les faces extérieures des branches du

"U" formé par la fente. La longueur d5 de la cavité est également déterminée pour obtenir une adaptation correcte de l'antenne. La longueur réelle de la fente 41 est en fait la longueur de sa fibre moyenne F, entre ses deux extrémités 43, 44.

En figure 11B, la fente 41' a les mêmes formes et dimensions que celles de la fente 41, tandis que la cavité 42' est plus large, mais plus courte que la cavité 42.

Ainsi que représenté en figure 12, il peut être avantageux, pour implanter plus facilement l'antenne dans un réseau, de décentrer, d'une valeur d6, l'axe 45 de la ligne 46 par rapport à l'axe longitudinal 47 de la cavité 48 (l'axe 47 passe par le milieu M de la fente 49). En outre, pour ajuster l'impédance de la fente rayonnante par rapport à celle de la ligne, on peut excentrer, d'une valeur d7, l'extrémité 50 de l'âme de la ligne. La valeur d7 peut même être supérieure à d6.

Comme représenté en figure 13, on peut faire varier la largeur de l'âme 51 de la ligne d'alimentation de l'antenne, à proximité de la cavité 52 et/ou à l'intérieur de cette cavité. On peut, par exemple, former sur cette âme un étranglement 53 à l'entrée de la cavité, puis, sur une courte longueur, former un élargissement 54 (dont la largeur peut être soit égale à celle de l'âme de la ligne avant l'étranglement, soit différente), puis rétrécir l'extrémité 55 de l'âme. Les variations de largeur de l'âme peuvent être brusques ou progressives. De telles variations de largeur de l'âme introduisent, de façon connue en soi, soit des effets réactifs (inductifs ou capacitifs), soit des effets de transformation d'impédance (en particulier en constituant un transformateur quart d'onde).

Selon le mode de réalisation de la figure 14, afin de réaliser un court-circuit franc entre les deux plaques conductrices de la structure triplaque autour de la cavité, on peut former des trous métallisés 56 dans le film 57 de cette structure, tout autour du périmètre délimitant le canal 58 de la ligne et la cavité 59. La distance mutuelle de ces trous est inférieure à 1/8 de longueur d'onde.

Selon la figure 15, la cavité 60 a une forme sensiblement triangulaire (en vue de dessus) s'élargissant progressivement depuis le canal 61 de la ligne d'alimentation vers la fente 62. Selon la figure 16, la cavité 63 a une forme circulaire (en vue de dessus). La fente 64 peut passer par le centre de cette cavité. L'extrémité de l'âme 65 de la ligne d'alimentation peut être, comme représenté sur cette figure 16, en circuit ouvert, mais il est bien entendu que, comme pour tous les modes de réalisation de l'antenne de l'invention, cette extrémité peut aussi bien être en court-circuit.

On a représenté en figure 17 un autre mode de réalisation avec l'extrémité de l'âme 66 en circuit ouvert, la cavité 67 ayant une forme rectangulaire, et la fente 68 ayant une forme en "U". La distance d8 entre l'axe de la branche centrale (celle perpendiculaire à l'axe de l'âme 66) de la fente et l'extrémité de

l'âme 66 étant sensiblement égale à 1/4 de longueur d'onde.

On a représenté en figure 18 le schéma électrique équivalent simplifié des modes de réalisation à extrémité d'âme en circuit ouvert. Ce schéma comporte une ligne d'impédance caractéristique Zc, qui correspond à la ligne d'alimentation de l'antenne, et se poursuit au-delà du début 69 de la cavité 67 jusqu'à la fente 68, équivalente à une inductance 70 en série dans la ligne, couplée à une inductance 71 en parallèle avec une résistance 72. La ligne se termine par un tronçon 73 de longueur sensiblement égale à 1/4 de longueur d'onde, qui se referme sur une capacité 74 qui est équivalente à l'extrémité ouverte de la ligne, la valeur de cette capacité étant, entre autres, fonction de la distance d9 entre l'extrémité de l'âme et la cavité.

Il est possible, comme représenté en figure 19, d'associer à l'antenne de l'invention (dans l'un quelconque de ses modes de réalisation) un réflecteur partiel 75, connu en soi, disposé parallèlement au plan métallique 76 dans lequel est pratiquée la fente 77. La fente rayonnante bénéficie ainsi d'un effet d'image qui peut accroître sa directivité. On a référencé Fo le milieu de la fente, et F1, F2, F3, ... les images successives de Fo après les réflexions successives (r1, r2, r3, ...) de l'onde émise sur le réflecteur 75. Ce réflecteur partiel peut être réalisé soit avec une paroi diélectrique d'épaisseur et de permittivité appropriées (voir par exemple "Image element antenna array for a monopulse tracking system for a missile" US Patent No. 3 990 078 2 nov. 76, EC. Belee, RC. Breithaupt, DL. Godwin et SH Walker" et "A highly thinned array using the image element" BH. Sasser (Motorola), Symposium on Antennas and Propagation, Sept. 1980, Québec), soit avec une grille métallique ou son complément ("Partially reflecting sheet arrays", G. Von Trentini, IRE Transactions on Antennas and Propagation, Oct. 56, p. 666 et "Leaky-wave multiple dechroic beam formers", JR. James et co-auteurs, Electronic Letters, 31 Août 89, Vol 25 No. 18 p. 1209), soit encore en combinaisons multiples telles que décrites dans "Micro-wave cavity antennas", A. Kuwar et HD. Hristov, Artech House, 1989, Chap. 3). Bien entendu, les différents paramètres d'ajustage de l'antenne mentionnés ci-dessus doivent tenir compte de la présence de ce réflecteur partiel disposé en avant de la fente rayonnante. La distance d entre le réflecteur 75 et le plan 76 est d'environ une demi longueur d'onde.

Ainsi que représenté en figure 20, on peut modifier par endroits la hauteur du canal 78 ("marche" 79) et/ou de la cavité 80 ("marche" 81). De telles modifications locales de la hauteur du canal et/ou de la cavité produisent le même genre d'effets que les variations de largeur de l'âme, décrites ci-dessus en référence à la figure 13. On peut ainsi, en modifiant tous ces différents paramètres, optimiser le fonction-

nement de l'antenne de l'invention dans la bande de fréquences la plus large possible.

Selon la figure 21, on métallise les deux faces du film 82 d'une structure triplaque pour former l'âme 83, et on relie ensemble les deux faces 83A, 83B de cette âme en y formant des trous métallisés 84, de préférence régulièrement espacés, selon un pas inférieur à $1/8$ de longueur d'onde. Ces trous métallisés peuvent être formés seulement dans la partie de l'âme se trouvant dans la cavité 85, ou bien sur toute la longueur de l'âme.

On a représenté en figure 22 le schéma électrique équivalent de l'antenne de l'invention. La ligne d'alimentation, d'impédance caractéristique Z_c , arrive sur un quadripôle (x_1 , x_2 , x_3) qui représente le quadripôle d'entrée dans la cavité (transition entre le canal de la ligne et la cavité). Ce quadripôle est suivi d'un tronçon de ligne de longueur d_7 , représentant la distance entre l'entrée de la cavité et la fente. La fente équivaut à une inductance série L_1 couplée à une inductance L_2 en parallèle sur une réactance jB et une résistance Y_0 . En aval de la fente, un tronçon de ligne de longueur d_8 se referme sur une réactance jB_t (circuit ouvert ou court-circuit, à une distance d_7 de la fente).

Le mode de réalisation de la figure 23 comporte les éléments déjà décrits ci-dessus : plaques 86, 87 et film 88 sur lequel est formée l'âme 89. La fente, pratiquée dans la plaque 87, est référencée 90. Cette fente, ainsi que la cavité (non visible sur la figure) peuvent présenter l'une quelconque des caractéristiques décrites ci-dessus. On forme ou on fixe sur la plaque 87 deux monopôles 91, 92 équidistants de l'axe 93 de la fente, et disposés sur un axe 94 perpendiculaire à l'axe 93 et passant par le milieu de la fente 90. Ces deux monopôles 91, 92 sont par exemple des troncs droits de cylindres, perpendiculaires à la plaque 87 creux ou pleins, dont le diamètre est approximativement égal au $1/10$ de la longueur de la fente 90, et dont la hauteur est sensiblement égale ou inférieure à $1/4$ de longueur d'onde. De tels monopôles sont connus en soi (par exemple d'après "An improved element for use in array antenna", A. Clavin, DA Huebner et FJ Kilburg, IEEE Transactions on antennas and propagation, AP22, No. 4, Juillet 74, p. 521). Ces monopôles permettent d'accroître la directivité de la fente rayonnante 90 et/ou de réduire son couplage à des fentes voisines, si cette fente fait partie d'un réseau.

On a représenté en figure 24 un exemple simplifié d'alimentation d'un réseau de fentes à partir d'une ligne commune 95, le réseau comportant ici quatre fentes, mais il est bien entendu que leur nombre peut être supérieur à cette valeur. La ligne 95 se subdivise en deux branches 96, 97 qui se subdivisent chacune à son tour en deux sous-branches 98, 99 et 100, 101. La ligne commune, les branches et sous-branches sont réalisées de la même façon que la ligne de la

figure 5. Ces quatre sous-branches alimentent chacune une fente, respectivement 102, 103, 104 et 105. On intercale dans chacune de ces sous-branches un circuit hyperfréquences, respectivement 106, 107, 108 et 109. Ces circuits hyperfréquences sont par exemple des déphaseurs, mais pourraient aussi bien être des amplificateurs ou des atténuateurs. Bien entendu, de tels circuits hyperfréquences pourraient tout aussi bien être intercalés dans les branches 96, 97 ou dans la ligne 95.

On a représenté en figure 25 un mode d'implantation d'un élément hyperfréquence 110 (déphaseur, amplificateur, mélangeur, atténuateur, etc...) dans une ligne 111 (telle que l'une des lignes 95 à 101) de l'invention. On coupe ou interrompt la ligne 111 sur une longueur juste suffisante pour insérer l'élément 110. Cet élément 110 peut être réalisé selon toute technologie appropriée en hyperfréquences, par exemple en technologie microstrip sur substrat d'alumine, et est enfermé dans un boîtier 112 en matériau électriquement conducteur. Les bornes d'entrée et de sortie 113, 114 de l'élément 110 sont par exemple des perles de verre traversées par des conducteurs et fixées au boîtier 112. Les extrémités 115, 116 de l'âme interrompue de la ligne 111 sont directement reliées (par exemple par soudage ou métallisation) aux bornes 113, 114 qui sont, bien entendu, disposées dans le plan de l'âme. Ainsi, on garde l'avantage des faibles pertes de la ligne triplaque suspendu et celui de la compacité de l'élément 110.

On a représenté en figure 26, de façon simplifiée, une enceinte 117 de chauffage micro-ondes (c'est-à-dire fonctionnant en hyperfréquence). Sur la paroi intérieure de l'enceinte 117, on forme une structure triplaque 118 (non représentée en détail), de façon que celle-ci épouse ces parois. Cette structure comporte plusieurs fentes 119 disposées en des endroits appropriés des parois de façon à obtenir l'homogénéité ou la répartition de puissance de chauffage souhaitée. Ces fentes sont alimentées à partir d'une ligne commune 120 via des distributeurs 121. On peut également utiliser l'antenne de l'invention dans un appareil d'hyperthermie médicale.

En pratique, la structure triplaque de l'invention est réalisée en formant deux demi-canaux dans deux platines adjacentes, celles-ci enfermant un film diélectrique métallisé. L'assemblage des deux platines est fait par vis, rivets ou tout autre procédé.

Le film peut être réalisé à partir de tout matériau du commerce spécialisé (marques : Duroïd, Cuclad, etc...) dont la composition est généralement une résine (polytétrafluoréthylène, poly-imides, etc...) chargée ou non de fibres de verre (tissées ou à répartition aléatoire). La métallisation du film peut être simple ou double face ; ce dernier choix pouvant être avantageux du point de vue des pertes et du découplage avec un canal adjacent.

La mise en court-circuit des deux platines formant

le canal de la ligne triplaque est assurée par des trous métallisés (voir figure 14). De même, des trous métallisés peuvent être utiles pour assurer la symétrie électrique lors de l'utilisation d'une âme de triplaque double face (figure 21).

La forme de la cavité, telle qu'elle est donnée sur la figure 9, n'est pas limitative, le rayon de courbure dans les angles dépend de la technologie de réalisation des platines : il peut évoluer depuis une valeur nulle (angle vif) jusqu'à une valeur compatible avec la présence de la fente (voir figure 11a).

La fente étant taillée dans un plan transversal à la propagation, intercepte les lignes longitudinales du courant et par conséquent se modélise comme une impédance en série suivant le schéma classique de la figure 2. Dans le cas particulier à l'invention, la ligne est terminée par une impédance purement réactive, qui est un court-circuit dans le cas préférentiel de la figure 9 ou un circuit ouvert (cas des figures 10, 16 ou 17). Dans le cas général, le schéma de la figure 2 devient dans le cadre de l'invention celui de la figure 22 où l'on introduit un quadripôle de transition entre la ligne "triplaque suspendu" et la cavité couplée à la fente. Dans l'hypothèse où d'autres éléments réactifs ou transformateurs seraient utilisés afin d'ajuster l'impédance de charge à celle de la ligne, ils seraient à introduire à leur place dans ce schéma.

Pour la mise au point, trois méthodes sont possibles selon les moyens à la disposition de l'utilisateur :

1) Caractérisation des différents éléments du schéma équivalent de la figure 22 :

- on essaie d'évaluer, soit par des moyens mathématiques (analyse modale ou autre) soit par des mesures à l'analyseur de réseau, chacun des éléments du schéma : transformateur d'impédance, discontinuités réactives ...,
- on introduit chacun des éléments, dont la dépendance vis-à-vis de sa géométrie est alors connue, dans un calcul d'optimisation (le critère étant la stabilité de l'impédance relative présentée à la ligne dans une bande de fréquences déterminée). Ceci suppose qu'il n'y ait aucune interdépendance entre les termes du schéma autre que celle modélisée : ainsi sont exclus les couplages par modes évanescents, ce qui, dans une structure aussi compacte que celle visée, est insuffisant.

2) Mise au point strictement expérimentale :

Elle suppose a priori une connaissance de la dépendance de certains termes en fonction de la géométrie (exemples : longueur de résonance de la fente, impédance de la fente en fonction de l'excentrement de la ligne d'excitation, etc. . .).

Elle suppose une optimisation par approche logi-

que et convergente vers l'objectif : en anglais, méthode "try and cut".

3) Mise au point à l'ordinateur.

Pour une géométrie déterminée, la distribution du champ et des courants dans la structure peut être calculée par exemple par la méthode des éléments finis : on en déduit l'impédance relative à la ligne. Par retouches successives sur la géométrie on doit converger vers le critère optimal choisi (épaisseur la plus faible possible de la structure triplaque). C'est un "try and cut" numérique.

Dans ce qui précède, il n'a pas été fait mention du réflecteur partiel, il est sous-entendu que la définition de l'impédance de fente vue par la ligne prend en compte l'influence de ce réflecteur. Par ailleurs, la définition de ce réflecteur assurant un accroissement de directivité déterminé obéit aux règles connues concernant les parois diélectriques ou les grilles mécaniques et réseaux dichroïques.

Le dispositif de l'invention est applicable dans toutes les structures rayonnantes où l'on recherche simultanément de faibles pertes du circuit d'alimentation (emploi du "triplaque suspendu") et une faible épaisseur ("triplaque suspendu" + fente).

Cette faible épaisseur de la structure rayonnante est notamment recherchée dans les équipements aéroportés mais peut trouver son application chaque fois que son intégration s'en trouve facilitée dans un équipement où l'encombrement dans la direction du rayonnement (ou dans son voisinage) pose problème.

Revendications

1. Antenne hyperfréquence à fente à structure de faible épaisseur, caractérisée par le fait qu'elle est formée avec sa ligne d'alimentation (31A, 40, 46, 61, 98 à 101) dans une structure de type "triplaque suspendu" à deux plaques en matériau électriquement conducteur enserrant un film diélectrique (26-27-28, 86-87-88), l'extrémité de l'âme de la ligne (32, 39, 50, 51, 65, 66, 89) pénétrant dans une cavité (35, 37, 42, 42', 48, 52, 59, 60, 63, 67, 85) dans laquelle est pratiquée au moins une fente (34, 38, 41, 41', 49, 62, 64, 68, 90, 119), la profondeur de la cavité étant sensiblement égale à l'épaisseur du canal (31, 78) de la ligne d'alimentation.

2. Antenne selon la revendication 1, caractérisée par le fait qu'elle comporte un réflecteur partiel (75) disposé parallèlement au plan métallique (76) dans lequel est pratiquée la fente (77).

3. Antenne selon la revendication 1 ou 2, caracté-

risé par le fait que l'extrémité de l'âme de la ligne est en court-circuit avec la paroi d'extrémité (33) de la cavité.

4. Antenne selon la revendication 1 ou 2, caractérisée par le fait que l'extrémité de l'âme de la ligne est en circuit ouvert (36, 65, 66). 5
5. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que la fente est rectiligne (34, 38, 49, 62, 64, 119). 10
6. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que les extrémités de la fente sont repliées (41, 41', 68, 102 à 105). 15
7. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que l'axe longitudinal (45) de la ligne d'alimentation est déporté par rapport à l'axe longitudinal de la cavité (47). 20
8. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que l'extrémité (50) de l'âme de la ligne d'alimentation est déportée par rapport au milieu (M) de la fente (49). 25
9. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que la largeur de l'extrémité de l'âme de la ligne d'alimentation est variable (53-54-55). 30
10. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que l'épaisseur de l'extrémité du canal de la ligne d'alimentation et/ou de la cavité présentent des variations (79, 81). 35
11. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que le film diélectrique (57) de la structure triplaque comporte des trous métallisés (56) sur le pourtour du canal (58) et/ou de la cavité (59), mettant en contact électrique les deux plaques électriquement conductrices de la structure triplaque autour de la cavité et/ou du canal. 40
45
12. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait qu'au moins l'extrémité de l'âme de la ligne comporte une métallisation double face (83A, 83B) du film de la structure triplaque. 50
13. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait qu'elle comporte deux monopôles (91, 92) disposés perpendiculairement à la surface extérieure de la plaque (87) comportant la fente, de part et d'autre de cette fente. 55

14. Antenne selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait qu'elle comporte dans sa ligne d'alimentation (111) un boîtier (112) renfermant un élément hyperfréquence.

15. Antenne selon la revendication 14, caractérisée par le fait que l'élément est un déphaseur.

16. Antenne selon la revendication 14, caractérisée par le fait que l'élément est un mélangeur.

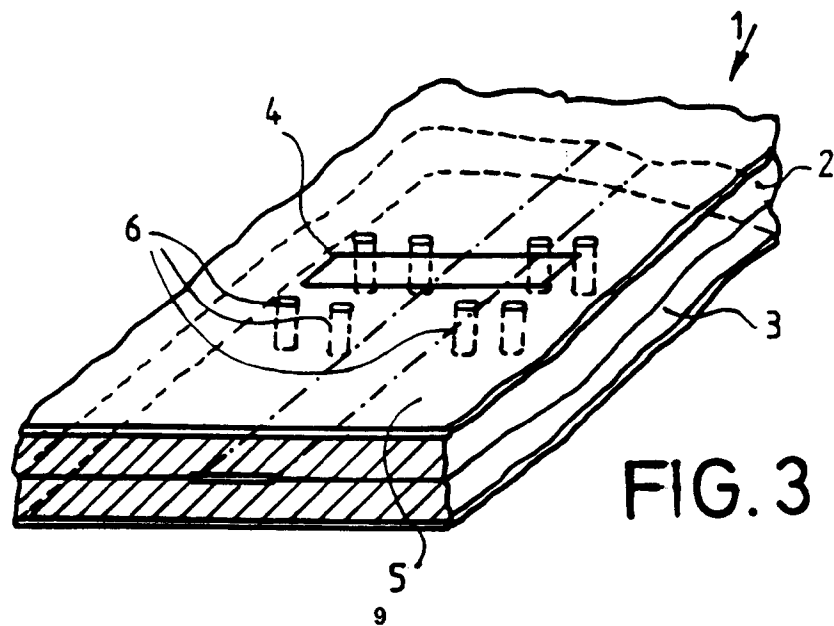
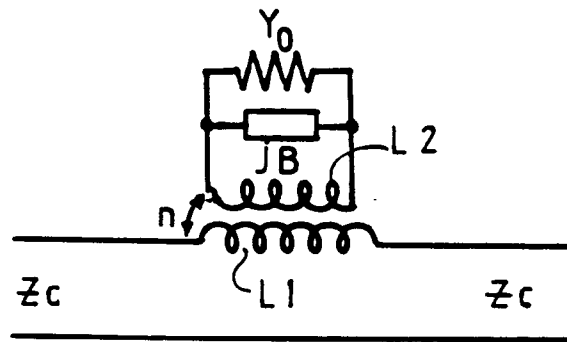
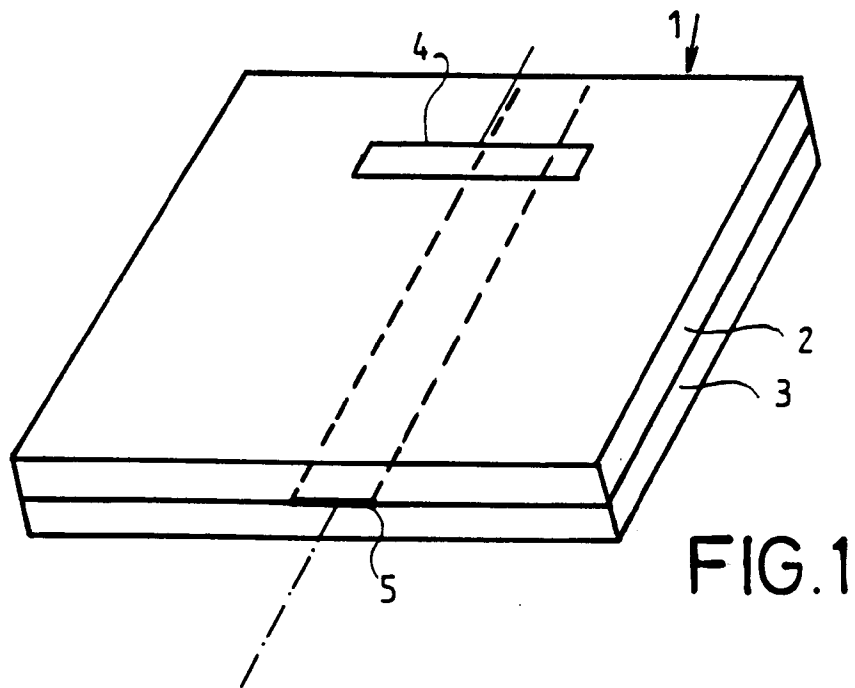
17. Antenne selon la revendication 14, caractérisée par le fait que l'élément est un atténuateur.

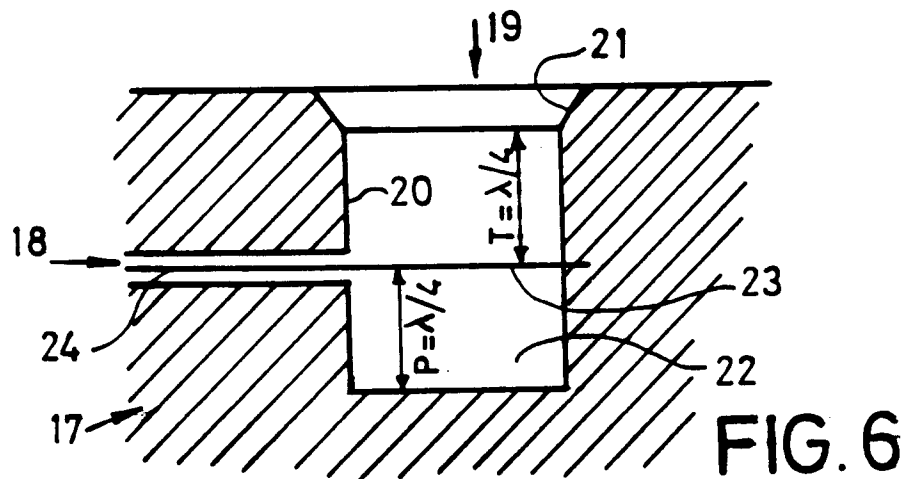
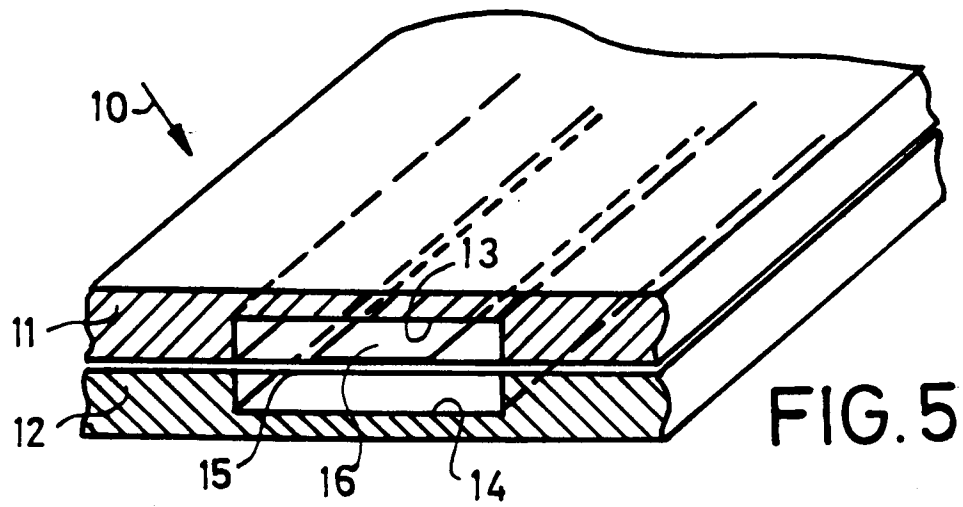
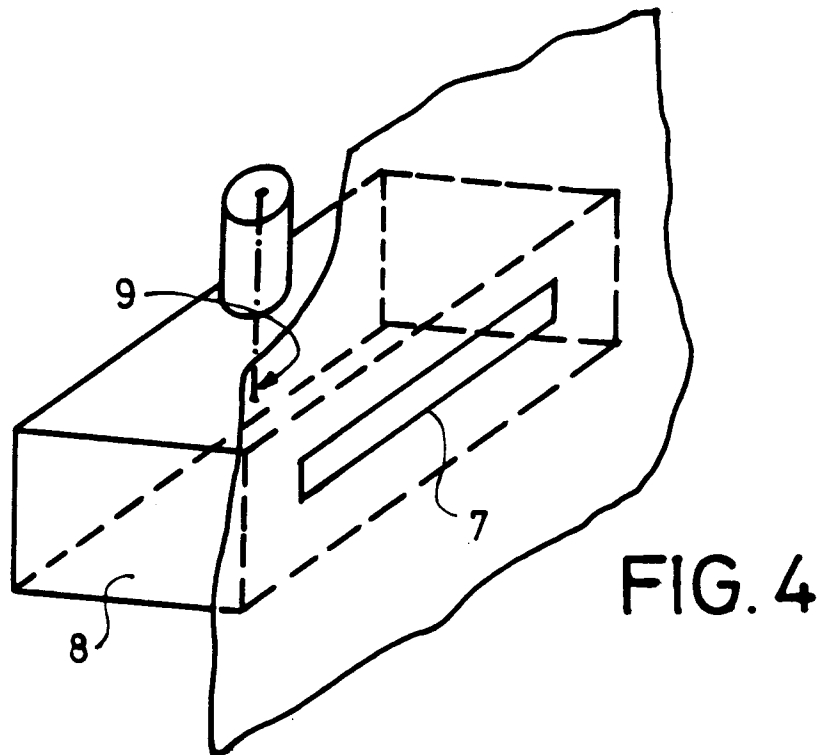
18. Antenne selon la revendication 14, caractérisée par le fait que l'élément comporte un amplificateur.

19. Réseau d'antennes hyperfréquences, caractérisé par le fait qu'il comporte des antennes selon l'une des revendications précédentes.

20. Installation de chauffage pour micro-ondes, caractérisée par le fait qu'elle comporte des antennes selon l'une des revendications précédentes.

21. Appareil d'hyperthermie médicale, caractérisé par le fait qu'il comporte des antennes selon l'une des revendications 1 à 19.





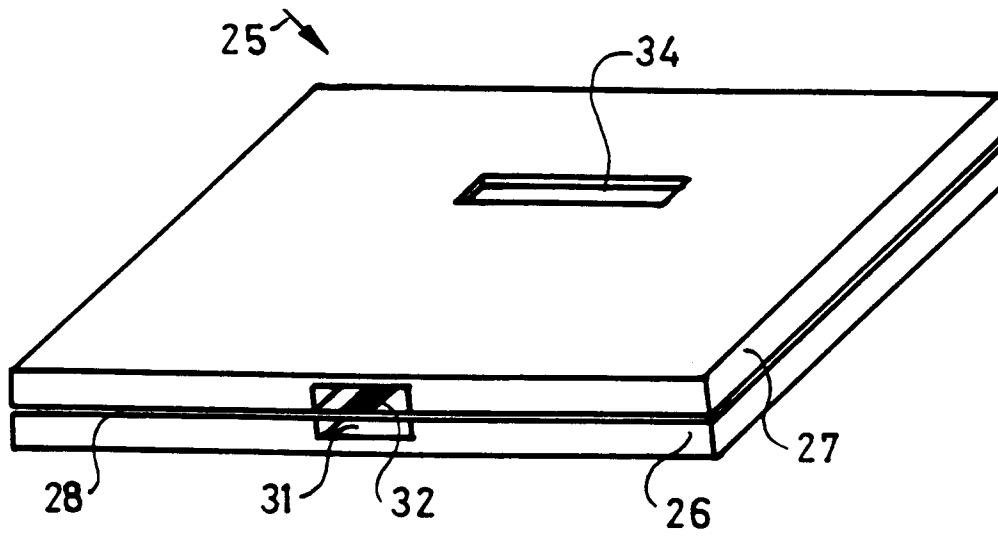


FIG. 7

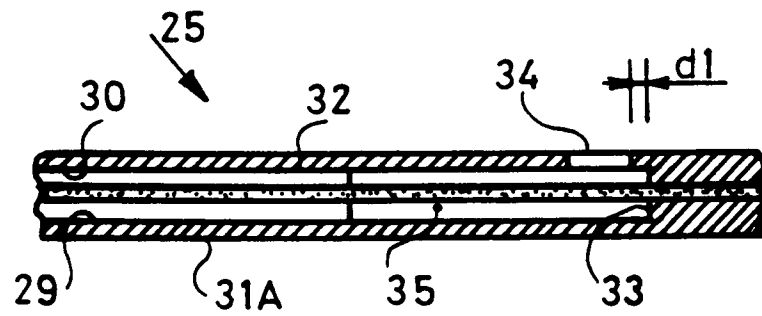


FIG. 8

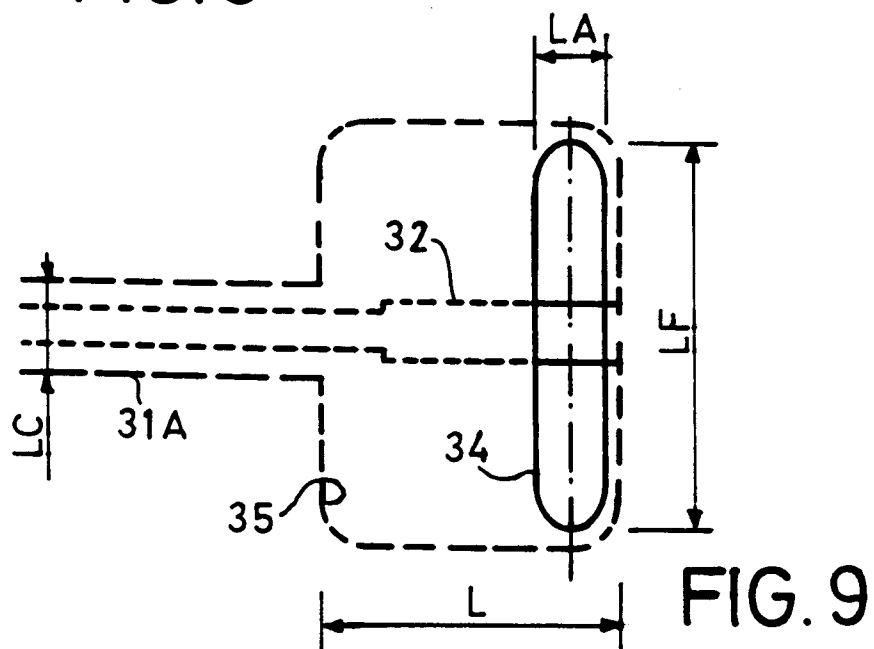
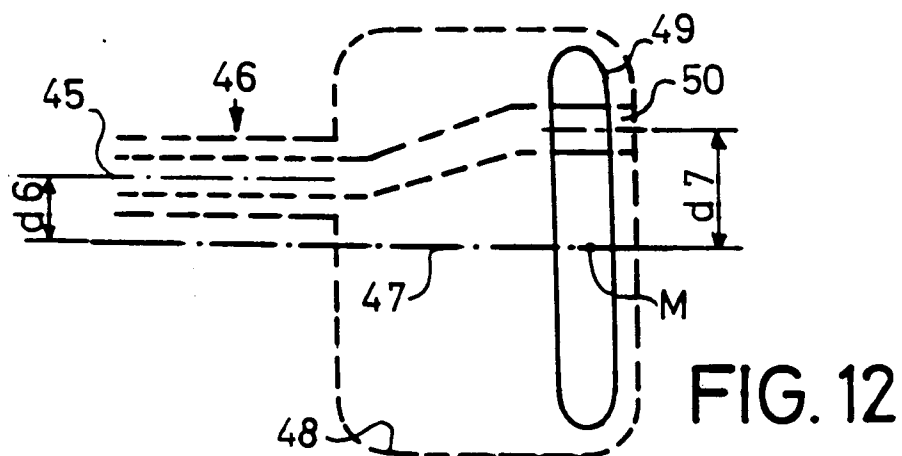
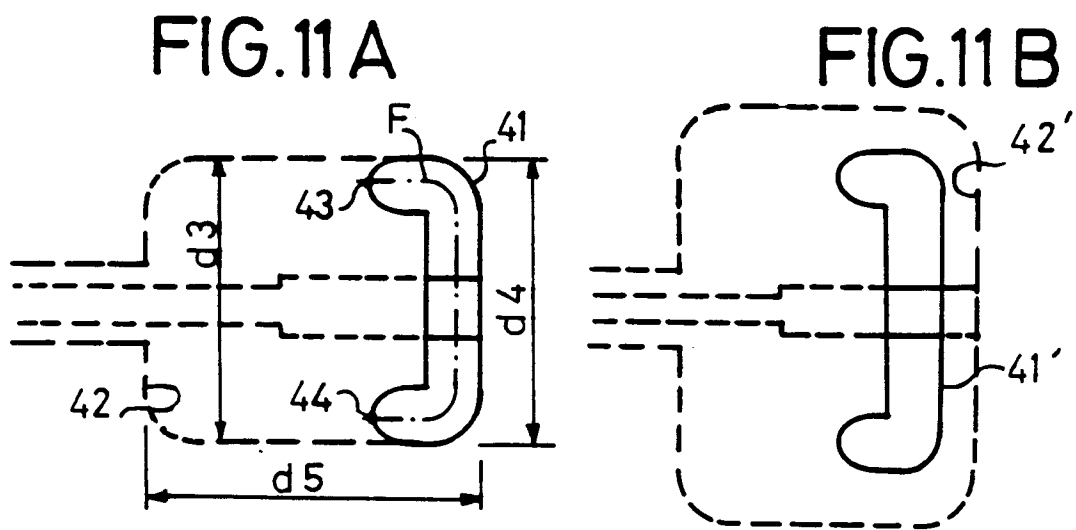
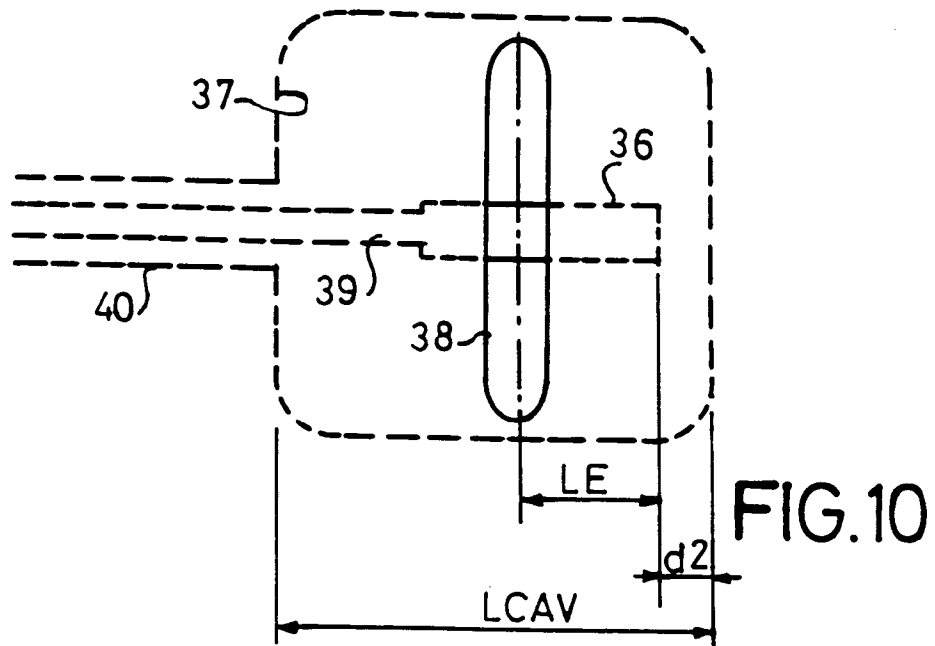


FIG. 9



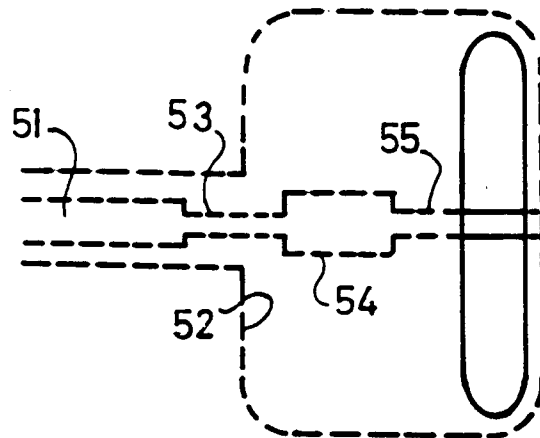


FIG. 13

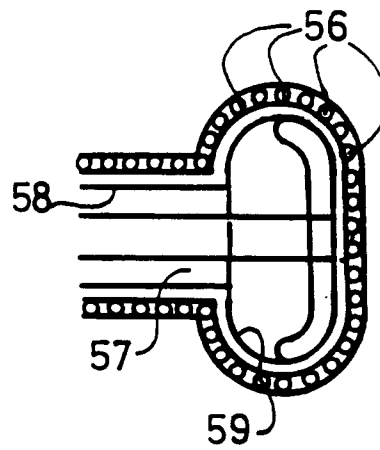


FIG. 14

FIG. 15

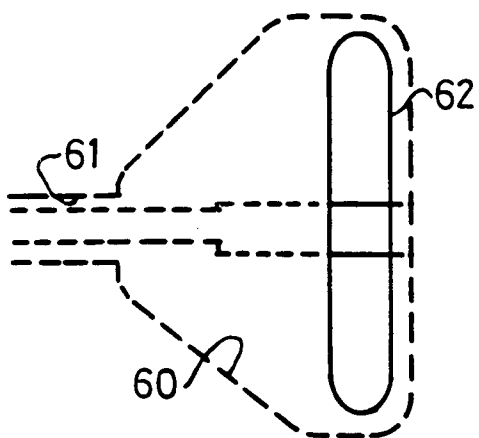
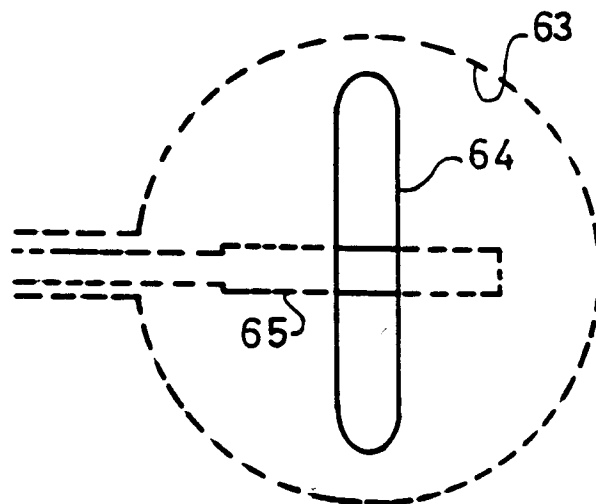


FIG. 16



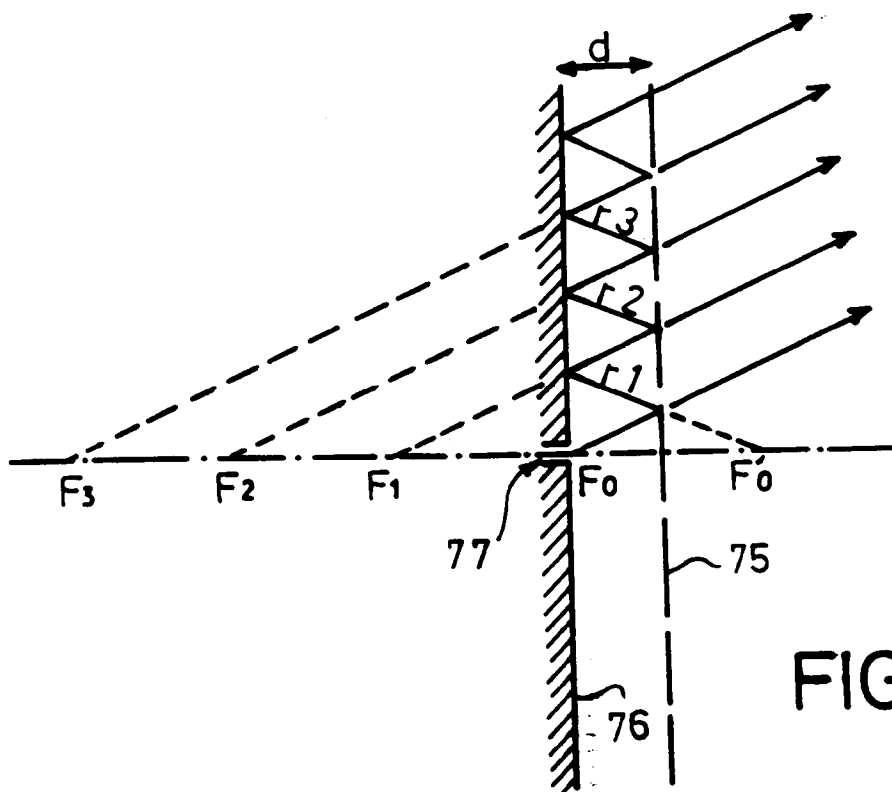
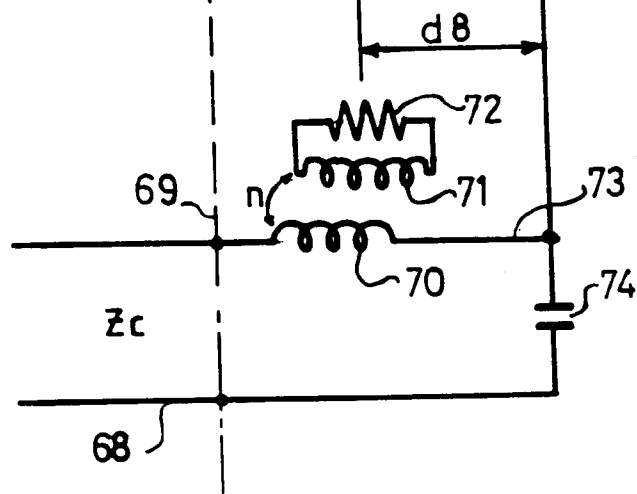
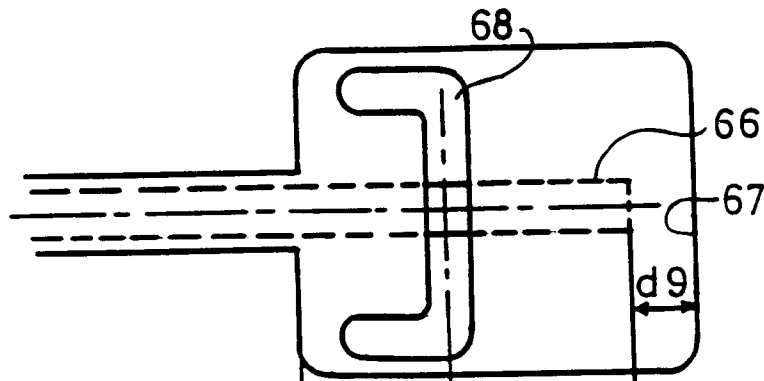


FIG. 20

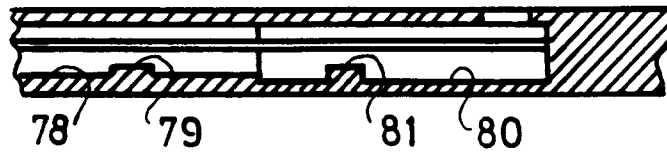


FIG. 21

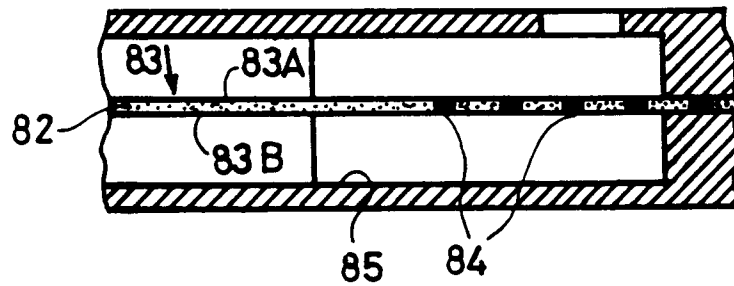


FIG. 22

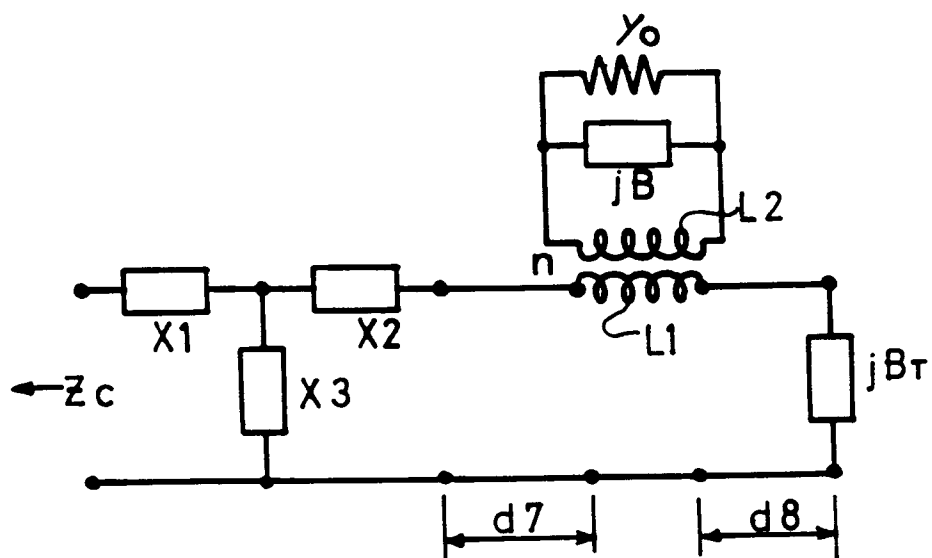


FIG. 23

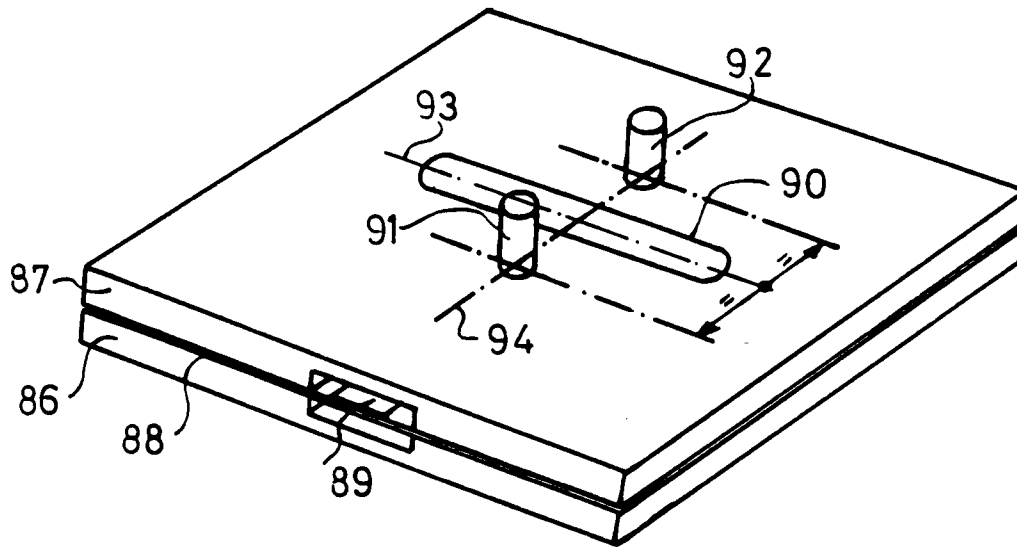


FIG. 24

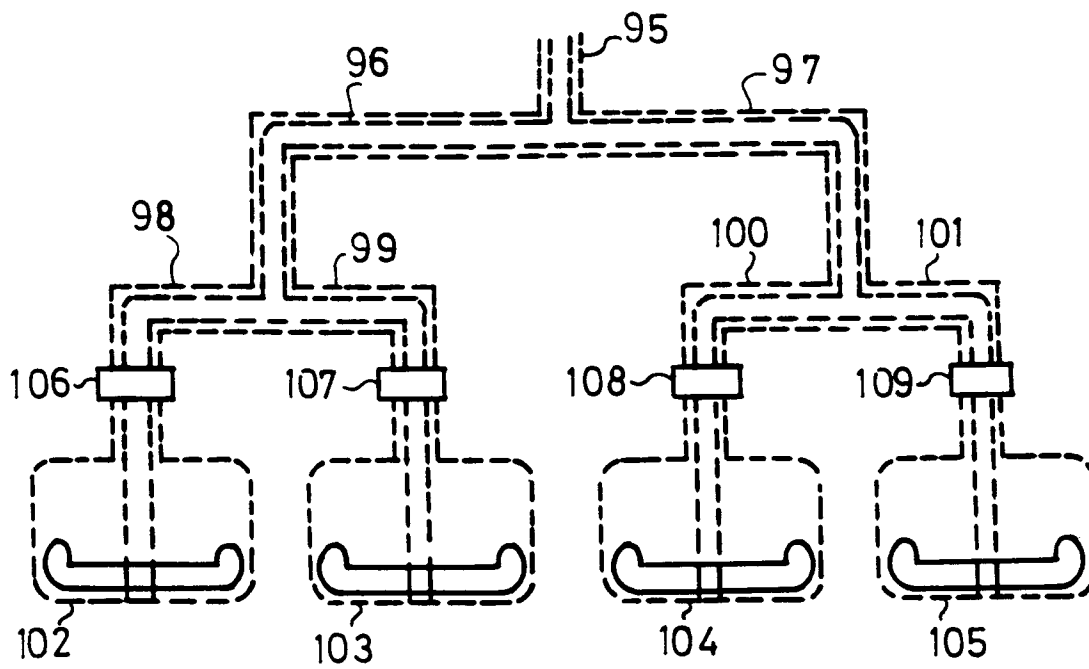


FIG. 25

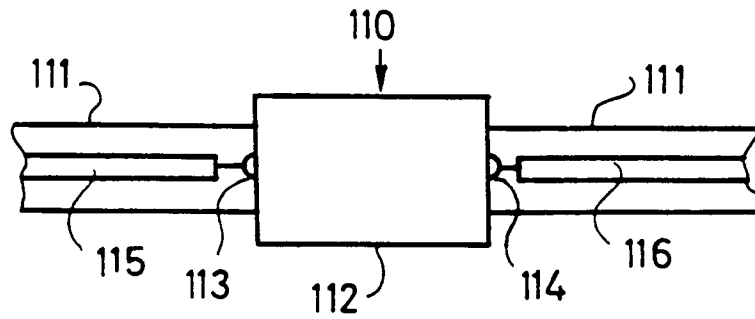
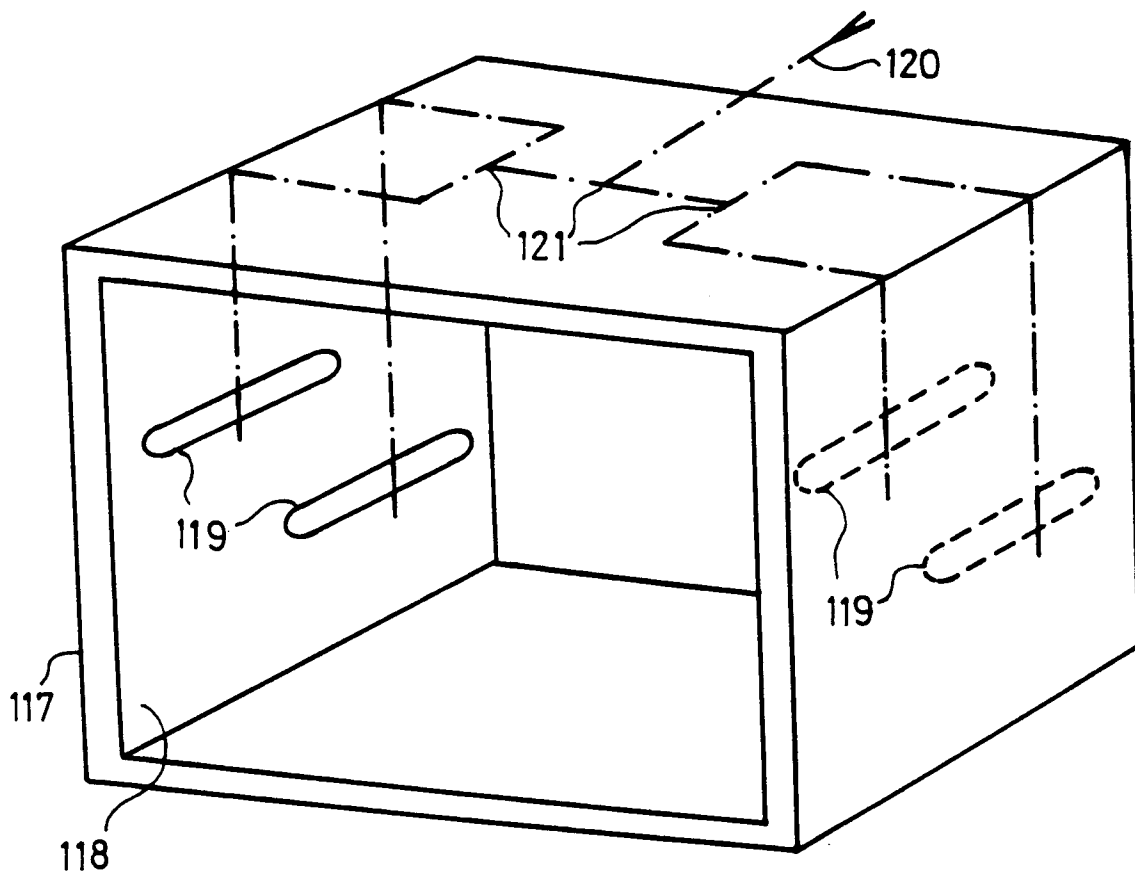


FIG. 26





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 91 40 3083

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.5)
A	EP-A-0 295 003 (THORN EMI PLC) * colonne 5, ligne 27 - colonne 47 * * colonne 6, ligne 18 - ligne 46; figures 1,2,5 *	1, 4, 5, 19	H01Q13/10
A	THE 15TH CONFERENCE OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERS IN ISRAEL PROCEEDINGS Avril 1987, TEL AVIV pages 1 - 3; SABBAN ET AL.: 'HIGH EFFICIENCY AND GAIN PRINTED ANTENNA ARRAY' * page 1; figure 2 *	1, 2	
A	US-A-4 130 822 (CONROY) * abrégé; figures 3, 4 *	1, 5, 6	
A	IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, vol. 34, no. 4, Décembre 1988, NEW YORK US pages 457 - 464; ITO ET AL.: 'PLANAR ANTENNAS FOR SATELLITE RECEPTION' * page 461, colonne de droite; figures 10,11; tableau 1 *	1	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			H01Q H01P
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 25 FEVRIER 1992	Examineur ANGRABEIT F.F.K.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 C3.82 (P0402)