



⑪ Numéro de publication : **0 627 783 A1**

⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑳ Numéro de dépôt : **94401183.2**

⑤① Int. Cl.⁵ : **H01Q 9/04, H01Q 19/00**

㉔ Date de dépôt : **30.05.94**

③① Priorité : **03.06.93 FR 9306660**

④③ Date de publication de la demande :
07.12.94 Bulletin 94/49

⑧④ Etats contractants désignés :
DE ES FR GB IT SE

⑦① Demandeur : **ALCATEL N.V.**
Strawinskylaan 341,
NL-1077 XX Amsterdam (NL)
⑧④ **DE ES GB IT SE**

⑦① Demandeur : **ALCATEL ESPACE**
5, rue Noel Pons
F-92737 Nanterre Cédex (FR)
⑧④ **FR**

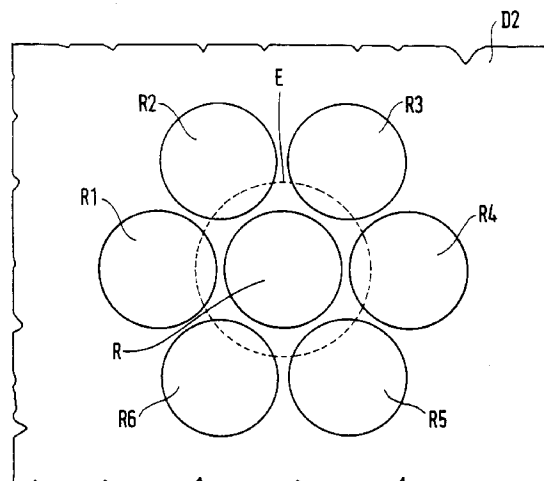
⑦② Inventeur : **Croq, Frederic**
141, Grande Rue Saint Michel
F-31400 Toulouse (FR)

⑦④ Mandataire : **Renaud-Goud, Thierry et al**
c/o SOSPI,
14-16, rue de la Baume
F-75008 Paris (FR)

⑤④ **Structure rayonnante multicouches à directivité variable.**

⑤⑦ L'antenne de l'invention comprend des sources rayonnantes ayant une structure multicouche diélectrique/conducteur et une multiplicité d'éléments couplés distribués sur les interfaces entre des couches diélectriques successives, alimentés par un seul pavé rayonnant situé sur le niveau inférieur de l'antenne. Les paramètres géométriques des patches conducteurs et de leurs distributions sur des couches successives procurent une grande souplesse dans la conception d'antenne, notamment en ce qui concerne l'optimisation simultanée des paramètres d'antenne tels : la directivité, la bande passante, le rendement (par minimisation de pertes de répartition), la pureté de la polarisation, et la symétrie du diagramme de rayonnement. Ces avantages de l'invention découlent principalement de la possibilité d'augmentation de l'ouverture rayonnante d'une source sans accroître la complexité des répartiteurs passifs de distribution des signaux rayonnés. Ceci est obtenu par le couplage des éléments entre les niveaux, et par l'élaboration d'une géométrie qui permet d'augmenter la surface équivalente rayonnante à chaque niveau successif.

FIG. 5



Le domaine de l'invention est celui des antennes réseau, et plus spécifiquement celui des antennes réseau imprimées multicouches et multi-éléments, dont les éléments rayonnants sont réalisés par la technique microruban. De telles antennes sont réalisées par gravure ou lithographie de pistes et de pavés conducteurs sur des substrats diélectriques, qui sont généralement mais non-exclusivement plans. Des configurations plus élaborées existent ayant plusieurs substrats diélectriques, plans de masse, cavités résonateurs, et cetera, dont quelques exemples seront décrits plus en détail ci-après. Dans le cas considéré, plusieurs couches de diélectrique, dont chacune comporte un motif de pistes et/ou pavés conducteurs, sont empilées.

Ces antennes planes ou de faibles épaisseurs sont largement utilisées sous de nombreuses formes depuis une quinzaine d'années. Elles se sont même largement imposées dans bon nombre de domaines, eu égard à leurs qualités intrinsèques: masse, volume, coût de réalisation faibles.

Il est largement connu de l'homme de l'art que les réalisations les plus simples d'éléments rayonnants, à savoir la piste microruban gravée sur un substrat, souffrent de limitations fondamentales radioélectriques, et en particulier au niveau de la bande passante, de la directivité et de la qualité de rayonnement. Ce dernier présente, d'une part, des asymétries importantes pour un élément fonctionnant en polarisation linéaire selon les différents plans de coupes, et d'autre part, des niveaux de polarisation croisée bien souvent incompatibles avec les spécifications de missions spatiales.

Il est connu, par la demande de brevet français n° 93 03502 au nom de la Demanderesse, un système multi-éléments qui permet d'accroître la directivité d'une antenne imprimée en utilisant un sous-réseau composé d'une multiplicité d'éléments couplés électromagnétiquement entre eux, et distribués sur une surface plane ou conformée.

Il est également connu par la demande française n° 89 111829 du 11.09.1989 au nom de la Demanderesse, d'utiliser des cavités métalliques pour accroître la bande passante d'un élément rayonnant imprimé. Cette configuration permet aussi un contrôle du rayonnement et du couplage inter-élément dans un réseau créé de tels éléments.

Par rapport à des solutions classiques telles les cornets ou les dipôles, les solutions utilisant les éléments imprimés ont les avantages de poids et d'encombrement moindres, mais cependant avec des performances moindres sur certains paramètres de fonctionnement de l'antenne. Notamment, il s'avère difficile d'obtenir simultanément une bande passante acceptable avec une directivité déterminée, et une pureté de polarisation compatible avec des applications télécommunications.

En effet, à ce jour les éléments rayonnants imprimés présentent des directivités classiquement comprises entre 5 et 10 dBi environ en fonction des caractéristiques géométriques de l'antenne (hauteur de substrat, dimensions des pavés rayonnants et des cavités si elles existent) et des matériaux utilisés (constante diélectrique des substrats).

Ces valeurs de directivité sont d'ailleurs intrinsèquement liées aux dimensions résonantes (de l'ordre de la demi-longueur d'onde guidée) de ce type d'éléments rayonnants qui limitent leurs surfaces rayonnantes et par conséquent le maximum de directivité accessible.

La solution classique pour obtenir plus de directivité d'une antenne imprimée est la mise en réseau d'éléments rayonnants. Ceci conduit généralement à concevoir un réseau d'alimentation destiné à générer la loi d'alimentation nécessaire à la formation du gabarit de rayonnement désiré. Ces systèmes d'alimentation sont en particulier nécessaires pour apodiser la loi d'illumination de l'ouverture rayonnante, permettant ainsi d'éviter l'apparition de lobes secondaires, souvent indésirables dans les systèmes d'antennes de télécommunications ou de radar.

La conception de tels systèmes d'alimentation présente un certain nombre de problèmes, décrits plus en détail dans la demande française n° 93 03502. Parmi ces problèmes on peut citer brièvement :

- 1) la complexité d'un tel système croît avec le nombre d'éléments à alimenter ; la complexité est encore plus grande dans le cas d'une antenne fonctionnant avec la polarisation circulaire.
- 2) la discontinuité ou la discrétisation de l'apodisation, due à l'échantillonnage de la surface rayonnante par les éléments rayonnants élémentaires discrets.
- 3) le couplage entre les éléments est difficilement pris en compte, et il est vu en général comme un phénomène tendant à dégrader les performances de l'antenne.
- 4) la connectique est complexe, tendant à diminuer la fiabilité de l'antenne.
- 5) les pertes dans le répartiteur d'énergie peuvent être importantes, ce qui grève l'utilisation d'une telle solution pour les fréquences très élevées ou pour des antennes passives ayant plusieurs dizaines d'éléments, les pertes résistives étant trop pénalisantes dans ces cas.

Ces problèmes sont connus de l'homme de l'art et ont fait l'objet de nombreuses tentatives d'améliorations et de nombreuses publications, dont une synthèse est donnée dans le "Handbook of Microstrip Antennas", de JAMES, J.R. ; HALL, P.S ; et WOOD, C., publiée dans IEE Electromagnetic Waves séries, N°12, Edité par : P. Périgrinus Ltd, Stevenage, U.K. Cette publication fait partie intégrante de la présente demande pour sa des-

cription de l'art antérieur.

Cependant, les solutions proposées dans l'art antérieur impliquent des compromis, car on trouve que d'autres performances d'antenne se trouvent limitées en contrepartie des améliorations de la directivité. Par exemple, l'article de R.Q. LEE, R. ACOSTA, et K.F. LEE : "Radiation characteristics of microstrip arrays with parasitic elements" paru dans Electronics Letters Vol. 23, pp. 835-837, (1987) décrit un dispositif qui donne 11 dBi de directivité, mais avec une bande passante inférieure à 1 %, une hauteur totale de substrat très élevée de l'ordre de $0,4 \lambda$, et tout ceci sans contrôle de la polarisation ni de la symétrie du diagramme de rayonnement.

Deux autres solutions proposent l'agrandissement de la surface rayonnante pour améliorer la directivité, soit en couplant des éléments rayonnants dans le même plan que le pavé exciteur, soit en fragmentant le pavé résonant supérieur dans le cas d'une structure à deux pavés superposés. La première solution est décrite par R.Q. LEE et K.F. LEE dans "Experimental study of the two layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna", IEEE Transactions Antennas and Propagation, (1990), Vol. AP-38 no. 8, pp. 1298 - 1302 ; la deuxième solution est décrite dans la demande de brevet français n° 93 03502.

Les améliorations de directivité présentées par ces solutions connues restent toutefois modestes en raison d'un couplage insuffisant dans le premier cas cité, et en raison d'une surface rayonnante encore insuffisante pour la deuxième solution.

L'invention a pour but de pallier ces limitations de performances des antennes de l'art antérieur, et en particulier vise à procurer simultanément un gain élevé, une bande passante très large, le contrôle de la pureté de polarisation, et le contrôle de gabarit de rayonnement.

A ces fins, l'invention propose une structure rayonnante à directivité variable, cette structure comprenant une pluralité d'éléments rayonnants et des moyens d'excitation électromagnétique de ces éléments rayonnants, caractérisée en ce que lesdits éléments rayonnants sont distribués aux interfaces d'une pluralité d'espaces diélectriques empilées sur des niveaux successifs dans une structure rayonnante multicouche, cette structure rayonnante multicouche étant elle-même disposée sur lesdits moyens d'excitation.

Selon une réalisation avantageuse, ladite structure rayonnante multicouche comprend une pluralité d'interfaces diélectriques, chaque interface diélectrique comportant un ou plusieurs éléments rayonnants, ladite structure étant composée de façon à ce que chaque interface successive comporte une surface rayonnante couplée plus grande que la surface des éléments rayonnants du niveau précédent, en partant d'un premier niveau contenant lesdits moyens d'excitation.

Selon une variante particulièrement avantageuse, les éléments rayonnants de niveaux différents sont couplés par un couplage électromagnétique de manière à obvier le besoin d'une structure spécifique de répartition de l'énergie électromagnétique.

Selon une réalisation préférée, le niveau inférieur comporte un seul pavé rayonnant, qui sera excité par lesdits moyens d'excitation, et qui excitera à son tour les éléments rayonnants du prochain niveau, et ainsi de suite.

Selon une autre caractéristique, le premier pavé rayonnant, qui se trouve sur le premier niveau de la structure multicouche, est alimenté de façon à rayonner la polarisation désirée. La polarisation de ce pavé rayonnant exciteur sera ensuite contrôlée et améliorée lors du couplage aux différentes structures rayonnantes de niveaux supérieurs par l'utilisation de structures et d'éléments rayonnants de forme adaptée.

Selon une autre caractéristique préférentielle, les éléments rayonnants d'un niveau supérieur recouvrent partiellement les éléments rayonnants d'un niveau immédiatement inférieur quand vu en projection selon la direction d'empilement des niveaux, et le couplage entre les éléments des niveaux contigus est géré par le pourcentage de recouvrement de ces éléments dans les zones de courants magnétiques, ainsi que par l'épaisseur et les qualités diélectriques des séparateurs.

Selon une réalisation préférentielle, une polarisation particulière peut être obtenue par l'utilisation d'excitations par rotation séquentielle en structure couplée. Selon une variante, la structure rayonnante peut être équipée d'une grille polarisante.

Les principes de l'invention, ainsi que quelques réalisations et les avantages acquis par l'utilisation de l'invention seront compris plus en détail par la description qui suit, ainsi que ses dessins annexés, dont :

- la figure 1 montre schématiquement et en plan un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur, comprenant un premier élément d'excitation E qui consiste en un pavé conducteur (connu de l'homme de l'art par son nom anglais "patch") disposé sur une face d'un substrat diélectrique D1 plan ou conformé ;
- la figure 2 montre schématiquement et en coupe l'élément rayonnant imprimé de l'art antérieur selon la figure 1 ;
- la figure 3 montre schématiquement et en vue de dessus, un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur, comprenant un premier élément "patch" d'excitation E conforme à la géométrie commune aux figures 1 et 2, ainsi qu'un second élément patch résonateur R disposé devant le premier élément d'excitation E (dans le sens du rayonnement) sur un deuxième substrat diélectrique D2 ;

- la figure 4 montre schématiquement et en coupe l'exemple d'un élément rayonnant selon la figure 3 ;
- la figure 5 montre schématiquement et en vue de dessus un exemple d'une structure rayonnante imprimée selon l'art antérieur, dont le deuxième élément résonateur à une structure multi-éléments ;
- la figure 6 montre schématiquement et en coupe l'exemple d'une structure rayonnante imprimée selon la figure 5 ;
- la figure 7 montre schématiquement et en plan un autre exemple d'une structure rayonnante imprimée, qui consiste en un premier patch exciteur E sur un premier niveau inférieur, et une grille de polarisation formée d'une multiplicité de patches disposés sur un deuxième niveau de diélectrique D2 selon une géométrie particulière;
- la figure 8 montre schématiquement et en coupe l'exemple d'une structure rayonnante imprimée selon la figure 7 ;
- la figure 9 montre schématiquement et en plan un exemple d'une structure rayonnante imprimée selon l'invention, qui consiste en un premier patch exciteur E sur un premier substrat diélectrique D1, et un deuxième élément résonateur ayant une structure multi-éléments (R1...R6) disposée sur un deuxième substrat diélectrique D2, et un troisième élément résonateur multi-éléments (R21, R22, ... R26) disposé sur un troisième substrat diélectrique D3, qui est superposé à une configuration comme celle de la figure 5 ;
- la figure 10 montre schématiquement et en coupe l'exemple d'une structure rayonnante imprimée selon la figure 9 ;
- la figure 11 montre schématiquement et en vue de dessus un autre exemple d'une structure rayonnante imprimée selon l'invention, dont le deuxième élément résonateur à une structure multi-éléments, et dont un troisième élément résonateur multi-éléments, superposé à la configuration de la figure 5, à la forme et la fonction d'une grille de polarisation ;
- la figure 12 montre schématiquement et en coupe l'exemple d'une structure rayonnante imprimée selon la figure 11 ;
- la figure 13 montre les résultats de mesures effectuées sur la structure rayonnante montrée dans les figures 11 et 12.

Sur toutes les figures, les mêmes repères se réfèrent aux mêmes éléments, dont la description ne sera pas répétée chaque fois pour chaque figure.

Sur les figures 1 et 2, nous avons l'exemple le plus simple d'un élément rayonnant du type "patch" selon l'art antérieur, montré en plan et en coupe respectivement. L'élément exciteur E est un pavé de matériau conducteur, imprimé ou gravé sur une face d'un substrat diélectrique D1. L'autre face de ce diélectrique est recouvert d'une couche conductrice M qui fait plan de masse. Dans le présent exemple, le patch exciteur E est alimenté via des connecteurs coaxiaux C, mais on peut imaginer toute autre technologie d'alimentation à la place, par exemple : triplaque, microruban, couplage par fente, et cetera.

Il faut mentionner ici que tous les exemples dans les figures 1 à 12 sont montrés sur des substrats plans néanmoins, l'invention, ainsi que les dispositifs de l'art antérieur, peuvent être adaptés sur des surfaces conformées, et les exemples donnés ne sont pas voulus limitatifs à cet égard.

Sur les figures 3 et 4, nous avons un deuxième exemple d'un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur, comprenant un premier élément patch d'excitation E disposé sur un premier substrat diélectrique D1 conforme à la géométrie commune aux figures 1 et 2, ainsi qu'un second élément patch résonateur R disposé sur un deuxième substrat diélectrique D2 placé devant le premier élément d'excitation E (dans le sens du rayonnement). Pour des raisons de facilité de fabrication et de stabilité mécanique, ces substrats sont contigus dans les réalisations pratiques, et ils sont le plus souvent réalisés d'un même matériau diélectrique.

Dans l'exemple des figures 3 et 4, la hauteur H2 du deuxième substrat diélectrique D2 est plus grande que la hauteur H1 du substrat diélectrique D1, pour former une cavité résonante entre le patch exciteur E et le patch résonateur R à la fréquence de fonctionnement. Cette configuration permet de gérer le couplage entre éléments, et par la même, la bande passante du dispositif. Le diamètre du patch résonateur R est inférieur au diamètre du patch exciteur E. Ces paramètres peuvent être manipulés pour optimiser le gain et la directivité, ou la bande passante de l'élément simple.

Dans l'exemple des figures 5 et 6, nous voyons une autre réalisation simple d'une structure rayonnante selon l'art antérieur. Comme dans l'exemple selon les figures 3 et 4, nous avons un patch exciteur E sur une face d'un premier substrat diélectrique D1, dont l'autre face porte une couche conductrice M qui fait plan de masse.

Comme dans les figures précédentes, un patch résonateur R est disposé sur un deuxième substrat diélectrique D2, placé sur le premier substrat D1. Le diamètre du patch résonateur R est inférieur au diamètre du patch exciteur E. Selon l'exemple des figures 5 et 6, le patch simple R est complété par une pluralité d'éléments rayonnants (R1...R6,...) distribués sur une surface isolante (D2) empilée sur lesdits moyens d'excitation

(C,E,M,D1) dans une structure multicouches. Les patches résonateurs secondaires (R1...R6) sont disposés autour du patch résonateur central R, pour former un résonateur multi-éléments de manière à recouvrir le patch excitateur E dans une zone de courants de ce dernier, c'est-à-dire sur sa périphérie.

La deuxième surface isolante D2 comporte ainsi une surface totale d'éléments patch résonateurs (R1,...R6, R) nettement supérieure à la surface du patch excitateur E seul, ou du patch résonateur R de la figure 3. L'ouverture effective de l'antenne est augmentée en proportion, permettant un gain en directivité. Un exemple de dispositif selon ce principe est décrit plus en détail dans la demande française n° 93 03502.

Sur les figures 7 et 8, nous voyons en plan et en coupe respectivement un exemple d'une autre réalisation d'un élément rayonnant, dans lequel une grille de polarisation est formée par une géométrie particulière des éléments patch résonateurs (P1,...P12) disposés en étoile sur la surface d'un substrat diélectrique D2 de hauteur H2.

La disposition de la figure 7 est particulièrement adaptée pour le rayonnement en polarisation circulaire. Les moyens d'excitation (C) du patch excitateur E sont alimentés de manière à exciter une polarisation circulaire au niveau de ce premier patch E, qui excite à son tour le résonateur multi-éléments (P1...P12) par couplage électromagnétique. Les courants magnétiques sur la périphérie de l'élément excitateur E excite des courants dans les éléments P1 à P12. Parce que la polarisation circulaire génère un vecteur de champ électrique tournant, une paire d'éléments colinéaires (P1, P7 par exemple) sera excitée préférentiellement à un moment donné, selon l'orientation du champ électrique à ce moment là, avec une excitation de moindre amplitude sur les paires avoisinantes (P12,P6; P2,P8) et une excitation nulle de la paire orthogonale (P4,P10 par exemple). Une paire de dipôles excités avec un déphasage de 180° (opposition de phase) permet de compenser le déphasage spatial de 180° entre ces éléments. Ceci permet une sommation de la composante copolaire et une différence de la composante contre-polaire.

De cette manière, la polarisation voulue est contrôlée et renforcée par le résonateur multi-éléments (P1,...P12), qui donne une très grande pureté de polarisation en même temps qu'une directivité accrue, grâce à une plus grande ouverture rayonnante, ainsi qu'un rendement optimisé.

Sur les figures 9 et 10, nous voyons en plan et en coupe respectivement un exemple d'une réalisation d'une structure rayonnante imprimée selon l'invention, dans laquelle il y a deux niveaux supérieurs chacun comprenant un substrat diélectrique (D2; D3) sur lesquels un résonateur multi-éléments (R1,...R6; R21,...R26) est déposé par lithographie ou par gravure.

Comme dans les figures précédentes, un premier patch excitateur E sur la face supérieure d'un premier substrat diélectrique D1 comportant un plan de masse M sur sa face opposée, est excité par des moyens d'excitation qui comprennent, dans cet exemple, des connecteurs coaxiaux C. L'excitation de l'élément E génère des courants magnétiques sur sa périphérie, qui, par couplage électromagnétique, excitent à leur tour des courants dans les éléments résonateurs R1,...R6 du niveau voisin.

L'excitation de ces éléments résonateurs du niveau D2 par le patch E génère des courants magnétiques sur la périphérie de chaque pavé R1,...R6, qui, par couplage électromagnétique, excitent à leur tour les éléments résonateurs (R21,...R26) du prochain niveau de la structure rayonnante, qui sont disposés sur le substrat diélectrique D3.

Le couplage entre les éléments d'un niveau résulte de la géométrie des différents patches, et la géométrie relative de leur disposition, tel que décrit dans la demande française n° 93 03502 au nom de la Demanderesse. Le couplage entre les éléments de niveaux différents sera fonction du recouvrement des éléments de niveaux avoisinants (tel qu'il apparaît sur la figure 9), et de la hauteur diélectrique (H1,H2) qui sépare les éléments, ainsi que de la constante diélectrique de chaque substrat (D1,D2,D3,...).

Sur les figures 11 et 12, nous voyons en coupe et en plan respectivement un exemple d'une réalisation selon l'invention, qui comporte une pluralité de niveaux (D2, D3) comportant chacun une multiplicité d'éléments rayonnants (R1,...R6 ; P1,...P1 respectivement). La réalisation des figures 11 et 12 comprend les caractéristiques des figures 7,8 et 9,10. Dans l'exemple présenté ici, les éléments P1, ...P6 ont une forme et une disposition particulières, celles d'une grille de polarisation, pour améliorer et contrôler la polarisation émise comme dans les figures 7 et 8.

Le niveau inférieur de la structure rayonnante, disposé sur un substrat diélectrique D1, comporte les moyens d'excitation (non-montrés) d'un patch E d'excitation ainsi qu'un plan de masse (M) ; la pluralité de substrats empilés par dessus (D2, D3) comporte des résonateurs multi-éléments dont la surface d'emprise sur chaque substrat s'agrandit selon la position du substrat dans la structure, selon le sens normal de radiation de l'antenne.

La géométrie des patches et leur disposition relative, ainsi que les hauteurs relatives H1/H2/H3 des substrats diélectriques sont des paramètres importants qui permettent d'obtenir une directivité variable et une réponse en fréquence voulue, selon des règles à la portée de l'homme de l'art. La constante diélectrique est un paramètre de contrôle du couplage et donc affecte toutes les performances de l'antenne. Les constantes dié-

lectriques des différents niveaux peuvent être toutes identiques, ou au contraire, choisies pour réduire l'épaisseur de diélectrique entre deux patches se trouvant sur des niveaux contigus.

Les exemples des figures précédentes sont basés sur des géométries simples dans chaque niveau de résonateurs multi-éléments, et sur trois niveaux de substrats plans. L'invention peut être utilisée sur des substrats courbés ou conformés, avec des géométries de patches et de leur disposition relative plus ou moins compliquées, selon la conception de l'élément rayonnant en vue d'une mission donnée. L'invention peut aussi faire appel à quatre, voir cinq substrats ou plus pour l'élaboration d'une structure rayonnante avec une ouverture rayonnante encore plus large. Cependant, l'épaisseur totale de la structure devra rester de préférence relativement modeste, pour répondre aux besoins des champs d'applications visés, notamment spatiaux.

Des mesures comparatives ont été effectuées pour quelques unes des structures rayonnantes présentées sur les figures précédentes, et les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

TABLEAU DE MESURES EFFECTUEES A F = 1500 MHZ
NB : Les calculs et les mesures présentées dans ce tableau ont été effectués à F : 1500 Mhz

Structure rayonnante	I Figures 1, 2	II Figures 3, 4	III Figures 5, 6	IV Figures 11, 12
Dimensions physiques de l'antenne (mm)	120 3	120 11	250 11	310 14

Performances radioélectriques

Directivité mesurée (dB)	6.5	9	12.7	13.7
Niveau de (dB) polarisation croisée dans l'axe	-20	-20	-23	>-30
Niveau des lobes secondaires (dB)	—	—	-20	-30
Bande passante (TOS<2) %	5	20	25	28% (1.15-1.55 GHz)
Taux d'ellipticité dans l'axe sur la bande passante (dB)	TE<2	TE<2	1<TE<3	0.5<TE<2dB

Les résultats des mesures effectuées sur la structure des figures 11 et 12 sont donnés par les courbes tracées sur la figure 13 et résumées sur le tableau suivant. Sur cette figure, les différentes courbes représentent la directivité pour les différents angles d'azimut, c'est-à-dire l'amplitude mesure, par rapport à une antenne isotrope (en dB/ISO), en fonction de l'angle d'élévation qui est donnée sur l'abscisse. Les niveaux en polarisation croisée selon l'élévation sont tracés en pointillés. Les lobes secondaires sont absents de ces courbes, car plus petits que l'échelle de ces graphiques.

VALEURS TRACEES SUR LA FIGURE 13		
AMPLITUDE MAXIMUM (dB/ISO)	MERIDIEN (Azimut)	POLARISATION CIRCULAIRE
13.7	0.00	GAUCHE
1.5	0.00	DROITE
13.8	90.00	GAUCHE
- 1.4	90.00	DROITE
13.8	45.00	GAUCHE
1.2	45.00	DROITE
13.7	135.00	GAUCHE
0.3	135.00	DROITE

Il ressort de ces courbes et de ces tableaux qu'en plus d'une augmentation importante de la directivité de l'antenne selon l'invention, l'apodisation est efficace, car les lobes secondaires sont quasi-inexistants. La pureté de polarisation obtenue par l'adjonction de la grille de polarisation excitée en rotation séquentielle par la structure couplée est excellente, comme le témoignent les courbes de la figure 13.

Même la bande passante a été améliorée dans ce dispositif selon l'invention par l'adjonction d'un niveau de résonateurs multi-éléments. Et le taux d'ellipticité, paramètre pertinent pour la polarisation circulaire, a été également amélioré.

En plus des avantages en termes de performances, la structure rayonnante selon l'invention procure d'importants avantages en termes de la conception et de la réalisation des antennes, notamment par l'élimination de la nécessité de structures complexes de répartition entre les membres d'un sous-réseau d'éléments rayonnants. Dans la présente invention, les éléments rayonnants sont alimentés uniquement par le couplage électromagnétique, et ce sont les paramètres de ce couplage qui déterminent la loi d'illumination. La directivité peut ainsi prendre des valeurs intermédiaires entre les valeurs discrètes obtenues par les techniques classiques de répartition.

Les exemples de réalisations et les mesures effectuées sont donnés à titre d'exemples non-limitatifs pour illustrer les principes de l'invention. D'autres exemples de réalisations seront facilement imaginés par l'homme de l'art, sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

Revendications

1. Structure rayonnante multicouches à technologie microruban pour antenne réseau, cette structure comprenant :

- une pluralité de niveaux dont un niveau inférieur et au moins un niveau supérieur compris dans une partie supérieure,
- une pluralité d'éléments rayonnants (R1, R2, R3, R4, R5, R6 ; R21, R22, R23, R24, R25, R26) disposés dans la partie supérieure,
- et des moyens d'excitation électromagnétique de ces éléments rayonnants (E,D1,C,M), disposés dans ledit niveau inférieur ;

Ces éléments rayonnants étant excités par une répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits éléments, ladite répartition étant effectuée par un couplage électromagnétique entre lesdits éléments, ladite partie supérieure comprenant au moins deux niveaux supérieurs, lesdits éléments rayonnants étant distribués sur une pluralité de substrats diélectriques (D2,D3,...) empilés par des ni-

veaux successifs dans une structure rayonnante multicouches, cette structure rayonnante multicouches étant elle-même disposée sur lesdits moyens d'excitation disposés dans ledit niveau inférieur, **caractérisée en ce que**

- 5 chaque substrat diélectrique de ladite partie supérieure (D2, D3,...) comporte plusieurs éléments rayonnants (R1,...R6; R21,...R26), **et en ce que** ladite structure est composée de façon à ce que chaque substrat diélectrique successif comporte des éléments rayonnants sur une surface plus grande que la surface occupée par les éléments rayonnants du niveau précédent, en partant d'un premier niveau inférieur contenant lesdits moyens d'excitation (E,D1,C,M).
- 10 2. Structure rayonnante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle ne comprend pas de moyens spécifiques de répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits éléments, cette répartition étant effectuée uniquement par un couplage des courants magnétiques engendrés par chaque élément.
- 15 3. Structure rayonnante selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle ne comprend pas de moyens spécifiques de couplage de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits niveaux, cette excitation étant effectuée uniquement par un couplage des courants magnétiques engendrés par les éléments du niveau immédiatement inférieur qui excitent les éléments du niveau immédiatement supérieur.
- 20 4. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que ledit niveau inférieur comporte un seul pavé rayonnant (E), qui sera excité par lesdits moyens d'excitation (C), et qui excitera à son tour les éléments rayonnants (R1,...R6) du prochain niveau, et ainsi de suite.
- 25 5. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que ledit premier pavé rayonnant (E), qui se trouve sur ledit niveau inférieur de la structure multicouches, est alimenté de façon à rayonner la polarisation désirée.
- 30 6. Structure rayonnante selon la revendication 5, caractérisée en ce que lesdits éléments rayonnants d'au moins l'un desdits niveaux supérieurs sont disposés de manière à former une structure rayonnante apte à renforcer et à raffiner la polarisation du rayonnement émis.
- 35 7. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que les éléments rayonnants (R21,...R26) d'un niveau supérieur recouvrent partiellement les éléments rayonnants (R1,...R6) d'un niveau immédiatement inférieur quand vu en projection selon la direction d'empilement des niveaux, et en ce que le couplage entre les éléments des niveaux contigus est géré par le pourcentage de recouvrement de ces éléments dans les zones de courants magnétiques, ainsi que par l'épaisseur et les qualités diélectriques des séparateurs.
- 40 8. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 5 à 6, caractérisée en ce que ladite polarisation est circulaire, et en ce qu'elle est obtenue par l'utilisation d'excitation par rotation séquentielle en structure couplée.
- 45 9. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 5 à 6 ou 8, caractérisée en ce qu'elle est équipée d'une grille polarisante.
- 50 10. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que lesdits substrats diélectriques (D1, D2, D3,...) sont sensiblement plans.
11. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que lesdits substrats diélectriques (D1, D2, D3,...) sont conformés en 3 dimensions.
- 55 12. Antenne électromagnétique à directivité variable comprenant au moins une pluralité d'éléments rayonnants organisés dans une structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

FIG. 1

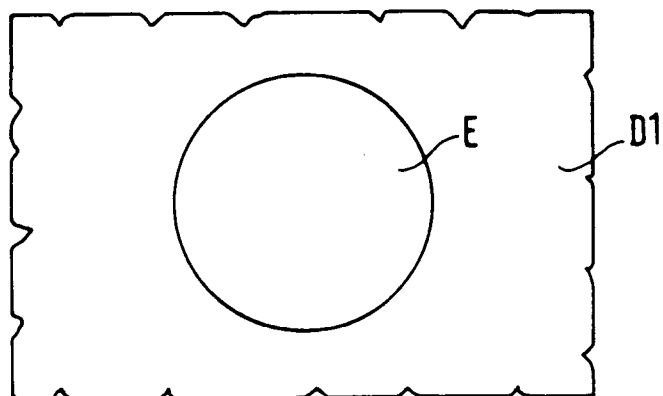


FIG. 2

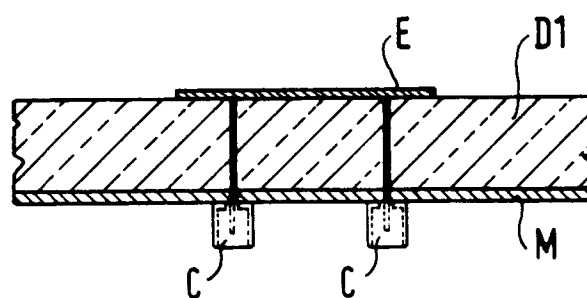


FIG. 3

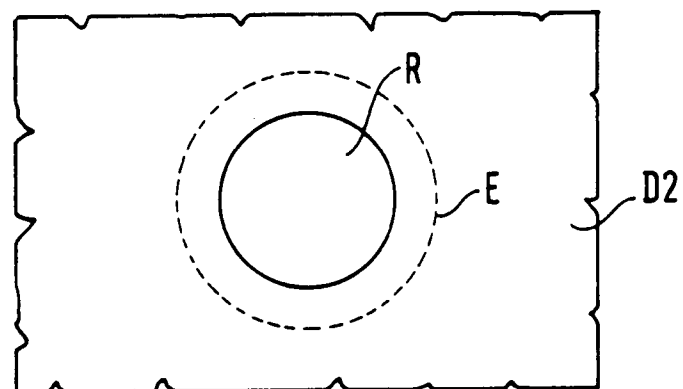


FIG. 4

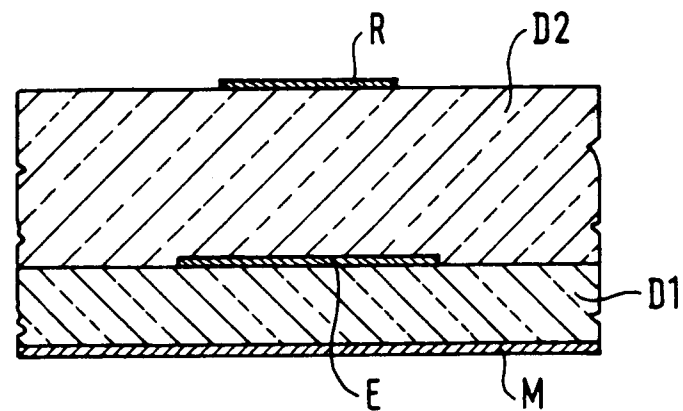


FIG. 5

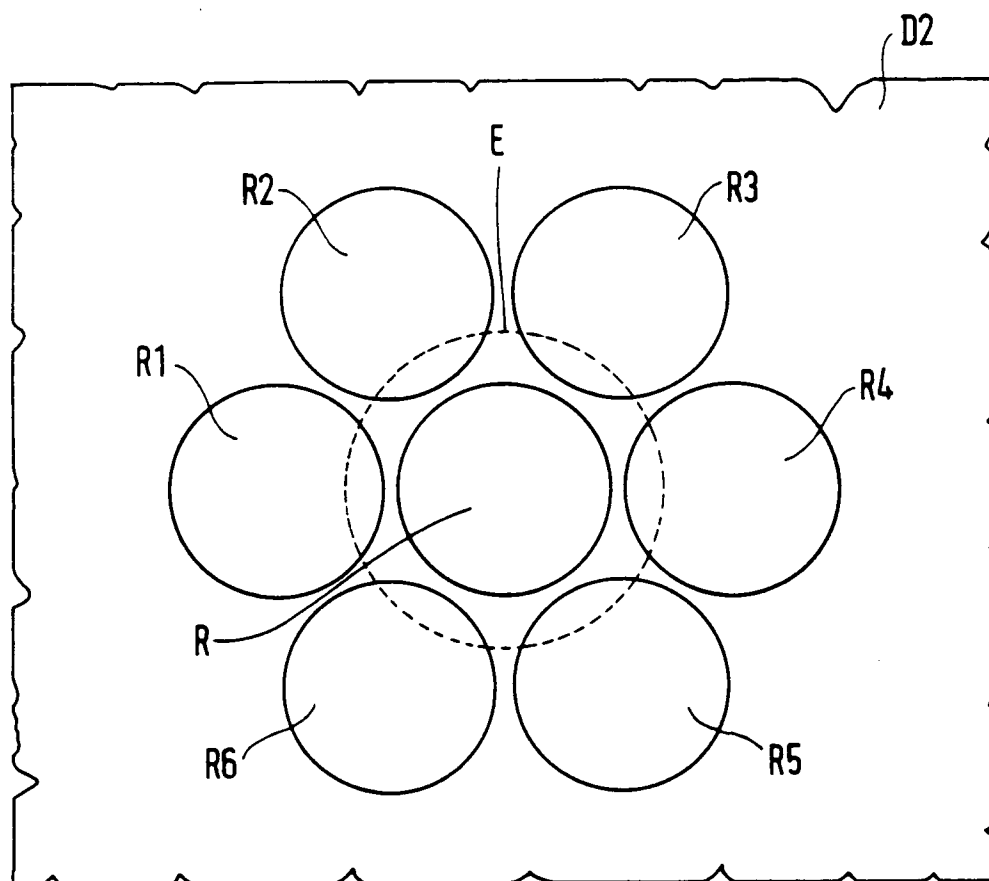


FIG. 6

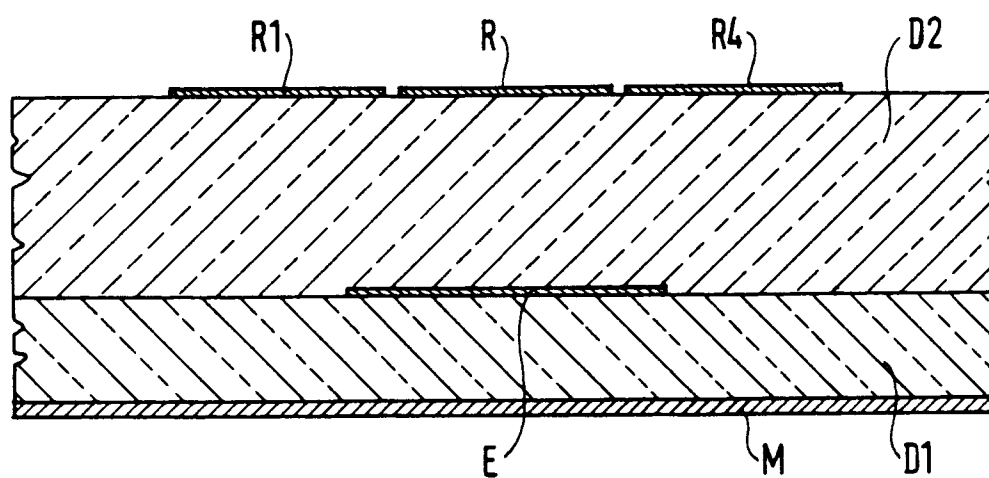


FIG. 7

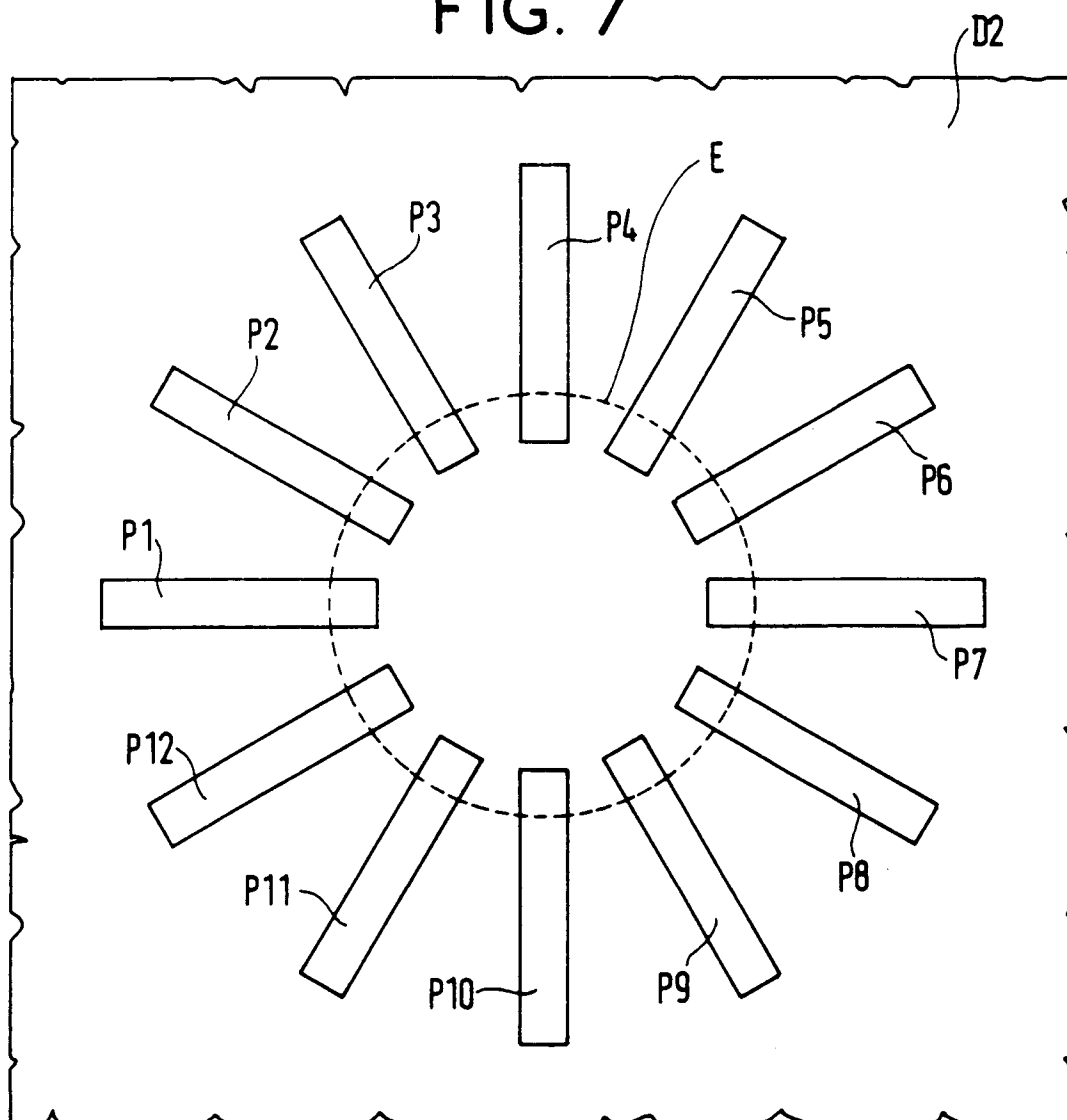


FIG. 8

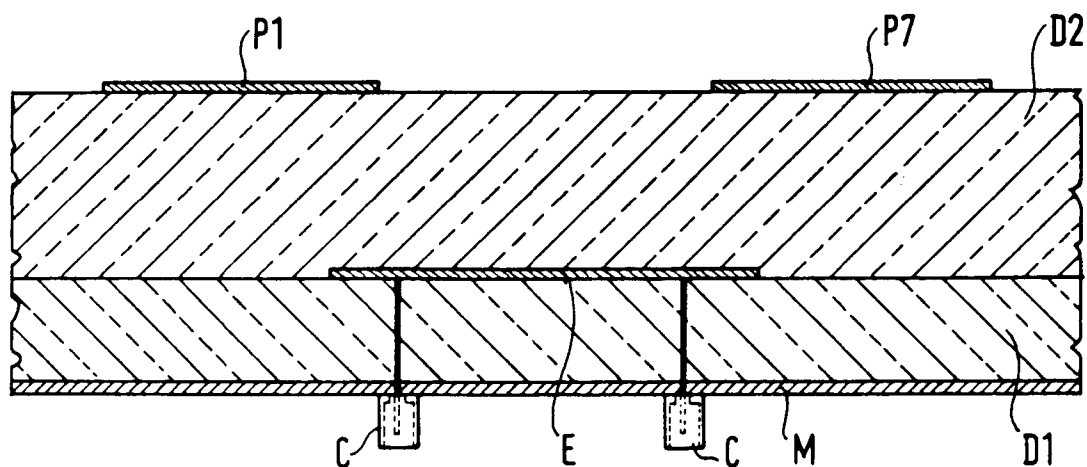


FIG. 9

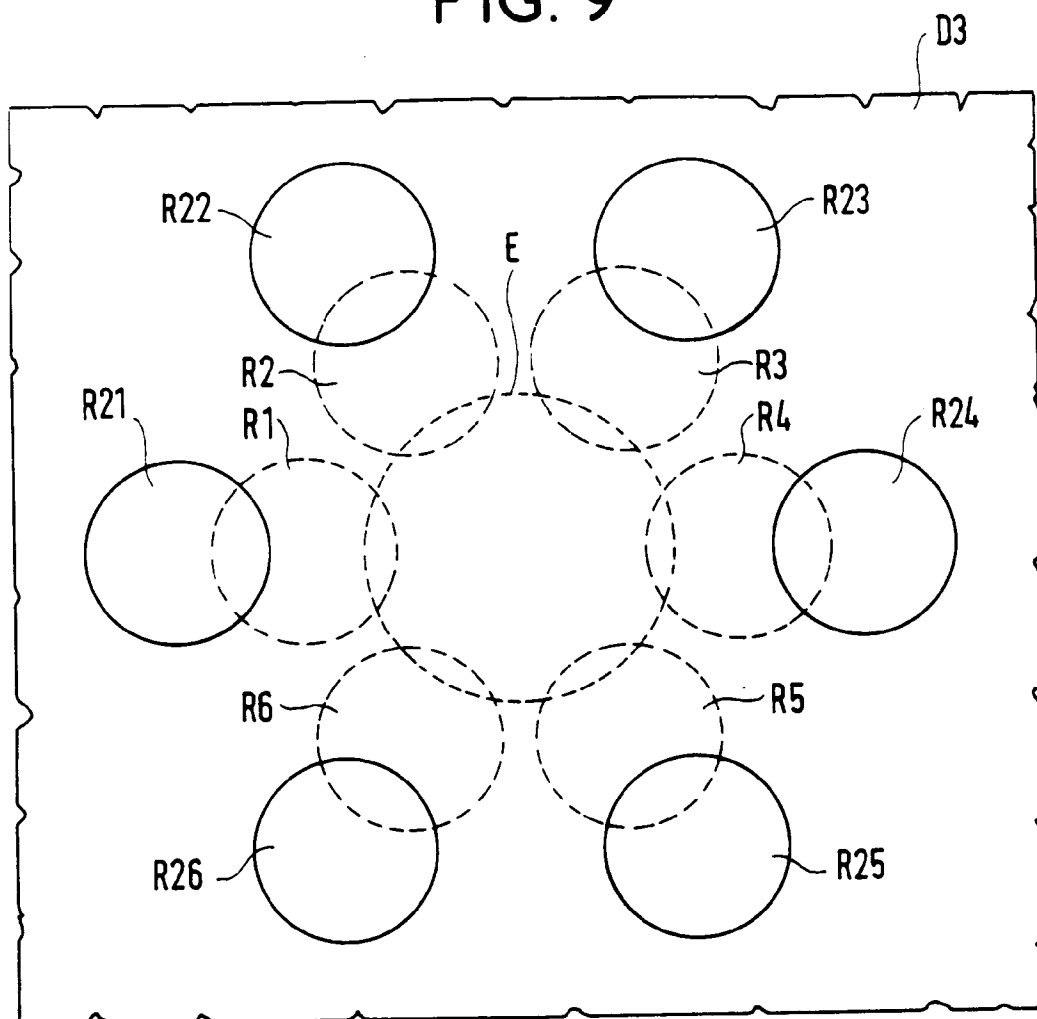


FIG. 10

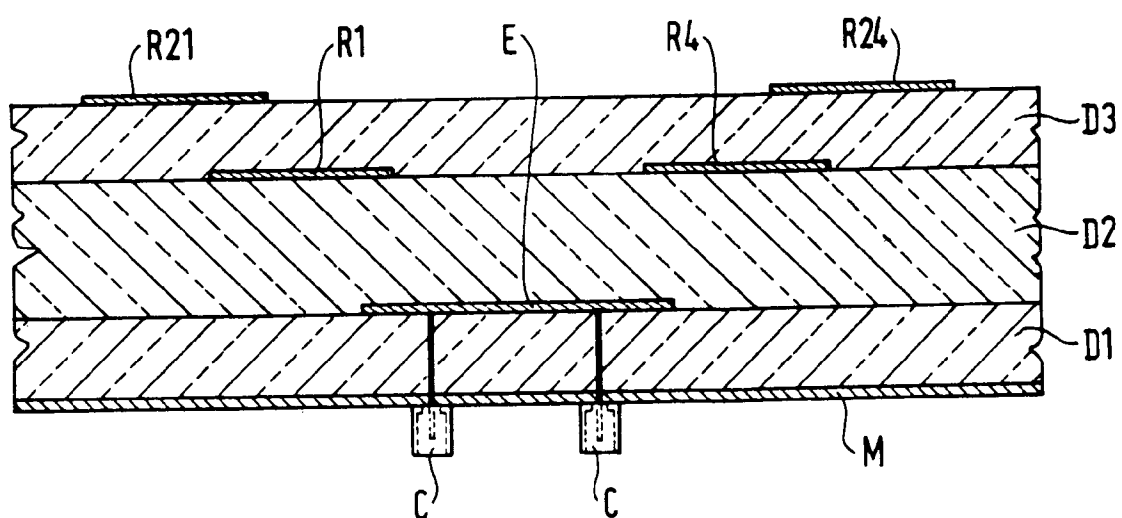


FIG. 11

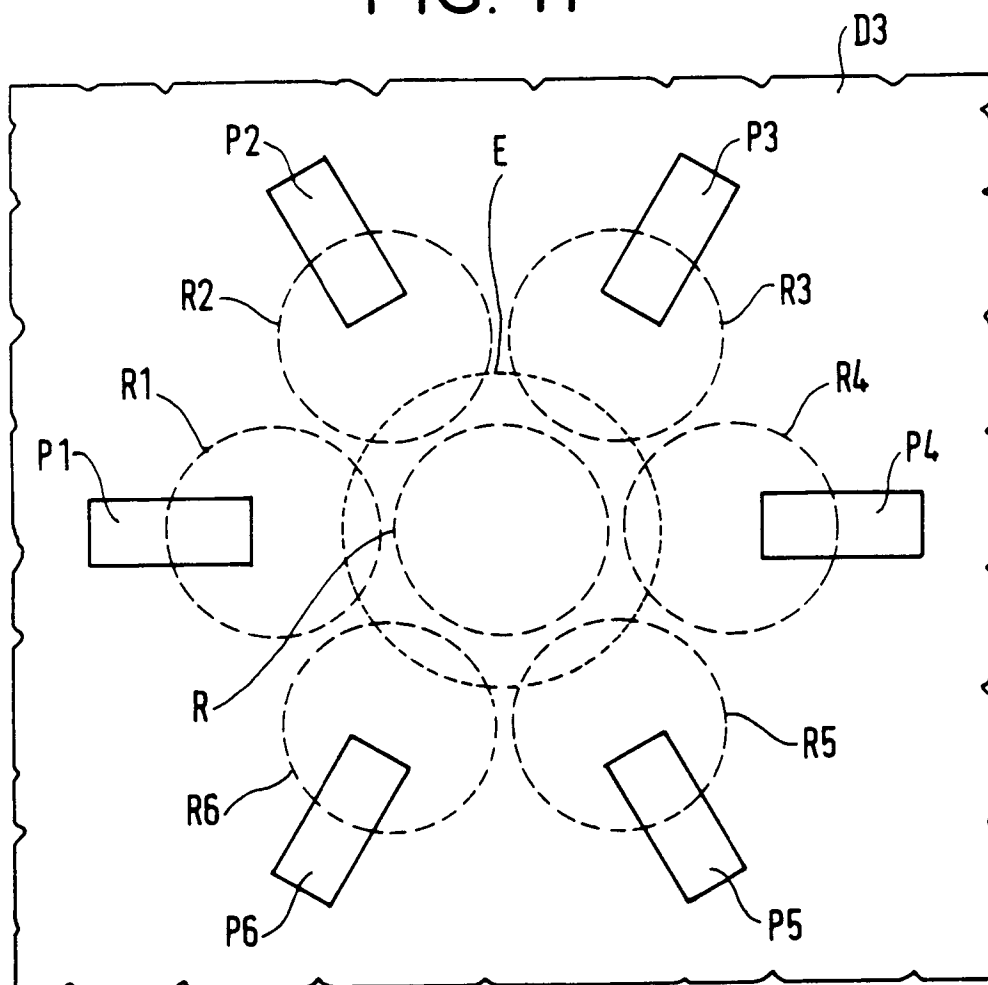


FIG. 12

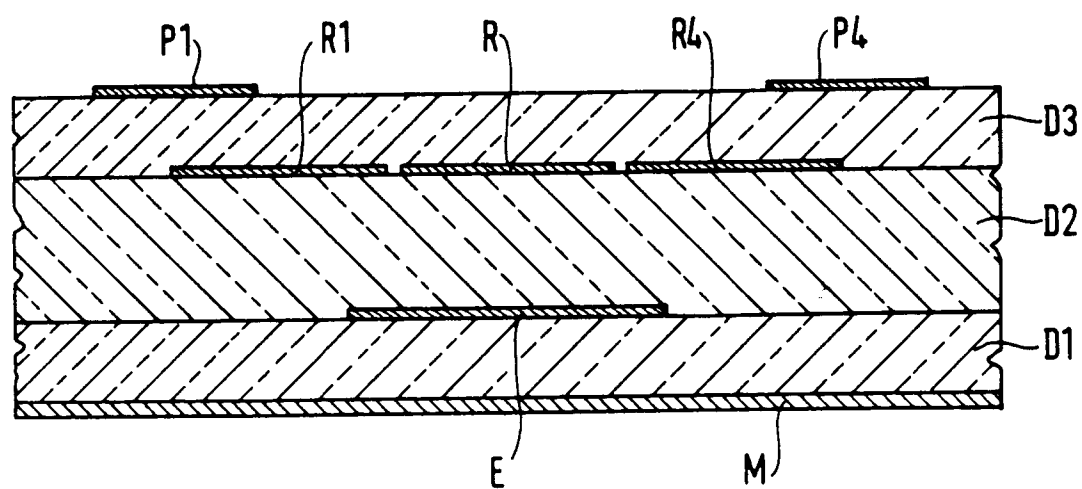
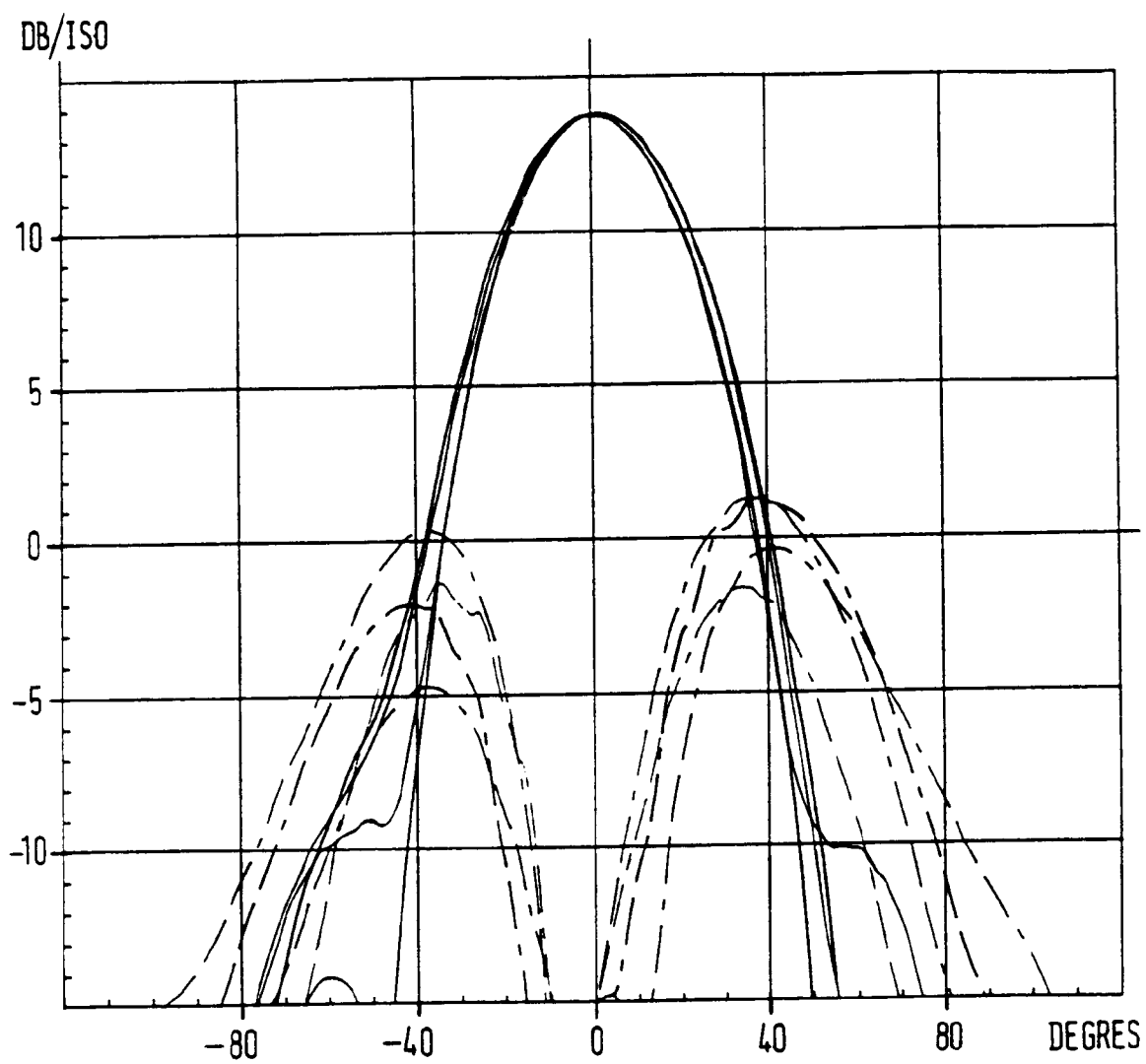


FIG. 13





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 94 40 1183

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-0 279 050 (BALL) * abrégé; figures 4,5 * * page 5, ligne 39 - page 6, ligne 56 * ----	1	H01Q9/04 H01Q19/00
A	ELECTRONICS LETTERS., vol.26, no.10, 10 Mai 1990, STEVENAGE GB pages 668 - 669 LEE ET AL. 'MICROSTRIP SUBARRAY WITH COPLANAR AND STACKED PARASITIC ELEMENTS' * figures 1C,2 * ----	1	
A	ELECTRONICS LETTERS., vol.28, no.21, 8 Octobre 1992, STEVENAGE GB pages 1995 - 1997 REVANKAR ET KUMAR 'BROADBAND STACKED THREE-LAYER CIRCULAR MICROSTRIP ANTENNA ARRAYS' * abrégé; figures 1A,B * ----	1	
A	EP-A-0 403 910 (ALCATEL ESPACE) * revendications 1-10; figure 7 * ----	2-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
A	WO-A-91 01577 (MOTOROLA) * revendications 1-21; figures 3,4 * -----	4-12	H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 28 Juillet 1994	Examineur Angrabeit, F
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1501 03.92 (P04C02)