



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **94403029.5**

(51) Int. Cl.⁶ : **H01Q 21/06**

(22) Date de dépôt : **27.12.94**

(30) Priorité : **31.12.93 FR 9315971**

(43) Date de publication de la demande :
05.07.95 Bulletin 95/27

(84) Etats contractants désignés :
DE FR GB IT

(71) Demandeur : **AEROSPATIALE Société
 Nationale Industrielle
 37, Boulevard de Montmorency
 F-75781 Paris Cédex 16 (FR)**

(72) Inventeur : **Buralli, Bernard
 Résidence Rose Trémière,
 4, rue J.P. Labadie
 F-06150 Cannes La Bocca (FR)**

(74) Mandataire : **Rinuy, Santarelli
 14, avenue de la Grande Armée
 F-75017 Paris (FR)**

(54) **Antenne micro-ruban conique préparée sur un substrat plan, et procédé pour sa préparation.**

(57) Une antenne micro-ruban conique portée par un tronc de cône de demi-angle au sommet α , de hauteur H_0 et ayant une ligne circulaire de référence de rayon R , comporte une succession annulaire de N motifs rayonnants disposés sur ce tronc de cône et répartis en au moins un sous-réseau de motifs rayonnants connectés en équiphase par un réseau arborescent respectif à un même point commun (G), ces N motifs rayonnants étant réalisés sur un diélectrique pour résonner dans une bande de fréquences prédéterminée de fréquence centrale F_0 ;

* le réseau arborescent est formé de n étages, chaque étage comportant des diviseurs de même ordre, soit 2 soit 3,

* les diviseurs au sein d'un même étage i sont, en développée sur un plan, constitués d'un nombre entier de segments rectilignes sensiblement identiques, faisant entre eux des angles γ_2 égaux, les diviseurs d'un même étage approximant des arcs d'un même cercle concentrique à l'arc de cercle constitué, dans cette développée sur un plan, par la ligne circulaire de référence.

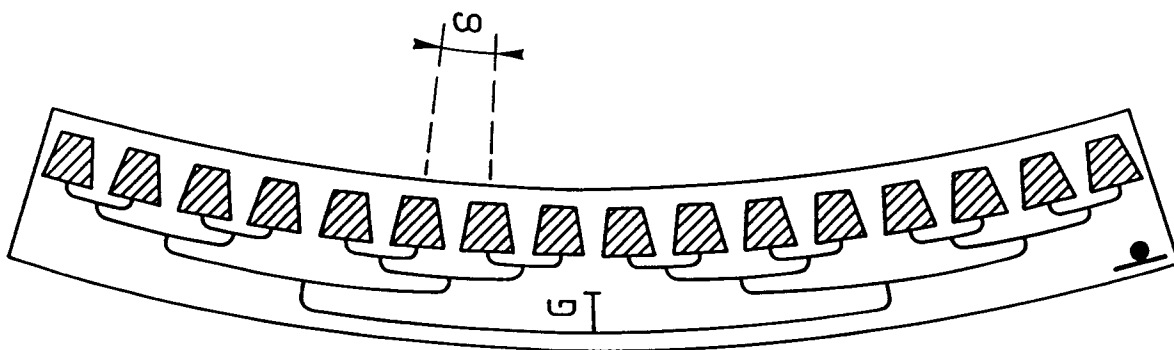


Fig.6

L'invention concerne une antenne ceinture micro-ruban conique présentant de bonnes performances radioélectriques mais pouvant être conçue et imprimée sur un substrat plan. Elle concerne également la préparation sur un substrat plan d'une telle antenne.

On rappellera ici que, dans le domaine radiofréquence, une onde électromagnétique, notamment caractérisée par sa longueur d'onde, porteuse d'énergie et généralement support d'information, peut se propager dans différents milieux dont les principaux, que nous prendrons en compte, sont :

- milieu à propagation guidée (câbles, lignes, guides d'onde, ...)
- milieu à propagation libre (espace homogène ou non, isotrope ou non, ...)

L'un des paramètres caractéristiques de l'onde électromagnétique est appelé longueur d'onde λ (rapport de la vitesse de la lumière à la fréquence du signal transmis).

Une antenne peut être considérée comme un interface entre ces deux types de milieux, permettant le transfert, total ou partiel, de l'énergie électromagnétique de l'un vers l'autre. L'antenne à l'émission fait passer cette énergie du milieu à propagation guidée vers celui à propagation libre et l'antenne à la réception inverse le sens du transfert énergétique entre les milieux. Dans la suite, nous nous référerons en général implicitement à l'antenne travaillant à l'émission. Toutefois, le principe d'équivalence garantit la réciprocité de toutes les propriétés énoncées avec l'antenne à la réception.

On appelle circuit(s) ou dispositif d'alimentation de l'antenne, l'ensemble des éléments constitutifs de tout ou partie du milieu à propagation guidée, dirigeant ou collectant l'énergie électromagnétique à transférer et comprenant des éléments passifs ou actifs, réciproques ou non.

On associe souvent à une antenne élémentaire, un ou plusieurs points géométriques, appelés centres de phase, d'où semble provenir l'onde électromagnétique, pour une direction donnée, dans le cas d'une antenne considérée comme travaillant à l'émission.

La résonance de l'antenne se manifeste à la ou aux fréquences pour lesquelles le transfert de l'énergie transmise de la ligne d'alimentation à l'espace via l'antenne est optimal, ce qui se traduit mathématiquement par le fait que, à la fréquence de résonance f_r l'impédance complexe Z à l'entrée de l'antenne a une partie imaginaire nulle et une partie réelle maximale.

En hyperfréquences, on représente le lieu des impédances sur l'abaque de Smith où chaque résonance se manifeste sous la forme d'une boucle.

Avec les moyens de mesure actuels cette résonance est "vue" au travers de l'adaptation qui caractérise le transfert de l'énergie de la ligne d'alimentation vers l'antenne. Cette vision du comportement de l'antenne peut être appelée réponse de l'antenne et est quantifiée à l'aide des pertes par désadaptation ou du Taux d'Onde Stationnaire (TOS - en anglais Voltage Standing Wave Ratio ou VSWR) définis ci-dessous.

Si Z est l'impédance au point où on fait la mesure d'adaptation et Z_c l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation (le standard généralement admis est $Z_c=50$ ohms), alors posant $z=Z/Z_c$, on appelle coefficient de réflexion le rapport complexe :

$$\rho = (z - 1)/(z + 1)$$

le Taux d'Onde Stationnaire est alors défini par :

$$Tos = |(1 + |\rho|)/(1 - |\rho|)|$$

En général, un élément rayonnant ne présente malheureusement pas une impédance égale à Z_c . On doit intercaler un interface appelé "adaptateur" entre l'élément rayonnant et le câble permettant d'acheminer l'énergie. Cet adaptateur aura pour rôle de transformer l'impédance Z_e à l'entrée de l'antenne afin de présenter au câble d'alimentation une impédance voisine de Z_c aux fréquences de travail de l'antenne et un TOS voisin de 1.

En définitive, l'antenne est caractérisée par un certain nombre de performances dont :

- le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) qui rend compte de la qualité de l'adaptation, c'est-à-dire la quantité d'énergie transmise de la ligne d'alimentation à l'antenne. Il est d'autant plus voisin de 1 que cette qualité est bonne,
- le diagramme de rayonnement qui est une figure de la distribution dans l'espace du vecteur E (champ électromagnétique) porteur de l'onde, auquel sont associés des paramètres classiques (le gain, la directivité, le rendement, l'ouverture à -3 dB, la probabilité de couverture...)

Par convention, le diagramme de rayonnement est représenté dans un référentiel centré en un point de l'antenne (si possible son centre de phase) et fourni sous forme de "coupes" dans un système de coordonnées sphériques standard (θ, ϕ). Une coupe dite à " ϕ constant" est la courbe de variation du champ E , projeté sur une polarisation donnée (soit E_θ , soit E_ϕ), θ variant de 0 à 180° (ou de -180 à +180°). De même, une coupe dite à " θ constant" est la courbe de variation du champ E , projeté sur une polarisation donnée (soit E_θ , soit E_ϕ), ϕ variant de 0 à 360°.

Une association d'antennes élémentaires est appelée réseau d'antennes quand celles-ci ont des parties communes dans leurs circuits d'alimentation ou bien quand un couplage existe entre ces antennes élémentaires.

taires rendant le diagramme de rayonnement global du réseau, dans une plage de fréquences données, tributaire de celui de chacun des antennes ou éléments rayonnants.

Le réseau obtenu par la répartition d'antennes semblables à une ou plusieurs antennes élémentaires données, sur une surface donnée est souvent dénommée antenne réseau, impliquant généralement une notion de répétition géométrique des antennes élémentaires.

Elles sont généralement utilisées pour obtenir un diagramme de rayonnement à directivité élevée dans une direction donnée, par rapport au réseau.

L'espacement Δ entre les centres de phases des antennes élémentaires du réseau, rapporté à la longueur d'onde λ_0 (λ_0 étant la longueur d'onde dans le milieu de propagation, l'air par exemple), est un paramètre critique.

Par exemple, pour des valeurs de $\Delta/\lambda_0 > 0.5$, l'apparition de lobes de réseaux importants en dehors de la zone de rayonnement utile pénalise les bilans de transmission énergétiques dans le milieu à propagation libre.

Pour ce qui est de la technologie micro-ruban, elle consiste à empiler plusieurs couches de matériaux conducteurs ou diélectrique comme par exemple un substrat diélectrique (du verre-PTFE, par exemple) revêtu sur sa face inférieure (ou face I) d'une feuille conductrice (cuivre, or, etc ...) et portant sur sa face supérieure (ou face S) une feuille conductrice partiellement découpée selon un dessin géométrique donné (on parle couramment de motifs ou "patches").

Cet ensemble permet :

- soit de guider une onde électromagnétique (ligne micro-ruban),
- soit de rayonner un champ électromagnétique (antenne micro-ruban).

Le milieu de propagation des courants sur la structure est :

- soit l'interface air-substrat,
- soit l'interface air-conducteur-substrat.

Dans le premier cas, on définit classiquement la constante diélectrique effective du milieu par

$$\epsilon_e = (\epsilon_r + 1)/2$$

où ϵ_r est la constante diélectrique du substrat.

Dans le second cas, on écrit :

$$\epsilon_e = 0,5.(\epsilon_r + 1) + 0,5.(\epsilon_r - 1) / \sqrt{1 + 12.h/W}$$

où h est l'épaisseur du substrat et W la largeur du ruban conducteur.

On peut généralement prévoir divers types de composants et autres éléments (éventuellement actifs) sur la face S de la structure.

Par définition, une antenne micro-ruban est un élément de forme géométrique en matériau conducteur rapporté sur la face S d'une couche diélectrique.

On choisit souvent une forme rectangulaire ou circulaire pour les raisons suivantes :

- on peut prévoir dans une bonne mesure le diagramme de rayonnement,
- le dimensionnement de ces aériens pour résonner à une fréquence donnée est bien connu.

Un motif micro-ruban rectangulaire est assimilable dans une certaine mesure à deux fentes parallèles coïncidant avec deux bords du rectangle dits rayonnants. La sélection de ceux des bords d'un motif rectangulaire qui doivent rayonner (et a contrario de ceux qui ne doivent pas rayonner) se fait par un choix approprié de la zone du rectangle qui est connectée au circuit d'alimentation.

En général on alimente le motif rectangulaire près de ou sur la médiane reliant les côtés que l'on veut faire rayonner. De cette manière, le mode excité dans le résonateur produit une polarisation linéaire de bonne qualité. La direction de cette polarisation est perpendiculaire au bord rayonnant du motif.

Cette connection peut se faire au travers du substrat diélectrique, ou sur la périphérie du motif, par une ligne micro-ruban portée sur la face S (on parle parfois d'alimentation coplanaire) tel que cela est notamment décrit par le document FR-2.226.760.

C'est essentiellement la distance L entre ces bords (appelée "longueur" du motif) qui va déterminer la fréquence de résonance de l'antenne.

Des équations, voire des abaques, ont été élaborées et construites à ce sujet.

Ainsi, à titre d'exemple, on trouve dans l'ouvrage MICROSTRIP ANTENNAS de I.J. Bahl et P. Bhartia, édité chez ARTECH HOUSE en 1980, que pour résonner à la fréquence f_r un motif rectangulaire doit présenter une longueur L telle que :

$$L = \frac{1}{2 \cdot \lambda_0 \cdot \sqrt{\epsilon_e}} + 0,412 \frac{(\epsilon_e + 0,3) (W + 0,264 \cdot h)}{(\epsilon_e - 0,258) (W + 0,8 \cdot h)}$$

où

$$\epsilon_e = 0,5.(\epsilon_r + 1) + 0,5.(\epsilon_r - 1) / \sqrt{1 + 12.h/W}$$

ϵ_r est la constante diélectrique du substrat diélectrique

h est la hauteur (ou épaisseur) de ce substrat,

5 λ_0 est la longueur d'onde dans l'air associée à f_r (c'est-à-dire le rapport entre la vitesse de la lumière et cette fréquence), et

W est la largeur du motif, fournie par une formule simple de l'ouvrage précité :

$$W = 1/(\lambda_0 \cdot \sqrt{2 \cdot (\epsilon_r + 1)})$$

10 La largeur W du motif, quant à elle, conditionne le diagramme de rayonnement.

Le choix de la largeur W va conditionner dans une bonne mesure la qualité du rayonnement à savoir son rendement et sa forme.

Le rayon d'un motif circulaire est obtenu selon le document précité grâce à la formule ci-dessous:

15

$$R = K / \left\{ 1 + \frac{2h}{\sqrt{\pi} \cdot \epsilon_r \cdot K} \cdot \left[\ln \frac{\sqrt{\pi} \cdot K}{2h} + 1,7726 \right] \right\}^{0,5}$$

20 où $K = 8,764 / (f_r \sqrt{\epsilon_r})$

Tout motif micro-ruban peut être utilisé comme élément d'un réseau de type :

- série,
- parallèle,
- combinaison des deux précédents.

25 Cette technologie permet d'obtenir des antennes (ou réseau d'antennes) :

- peu épaisses,
- légères,
- peu coûteuses (fabrication rapide et facile),
- que l'on peut "conformer" pour les appliquer à des structures cylindriques ou coniques par exemple.

30 L'antenne micro-ruban est en fait un résonateur électronique qui, par construction, a un facteur de qualité Q élevé. De ce fait, les antennes développées dans cette technologie présentent toujours une faible bande passante, c'est-à-dire que la résonance ne se produit ponctuellement qu'à la fréquence pour laquelle l'antenne a été dimensionnée et à des fréquences très proches de cette dernière.

On a vu qu'en général il faut prévoir un adaptateur (aussi appelé réseau ou système d'alimentation) en interface entre le motif rayonnant et le câble d'alimentation. En général, la solution la plus simple consiste à imprimer cet adaptateur sur la même face du substrat que le motif rayonnant lui-même. L'adaptateur le plus communément utilisé pour sa simplicité (mais ses performances sont médiocres) est l'adaptateur dit "quart d'onde". En technologie micro-ruban, l'impédance d'une ligne de largeur W imprimée sur un substrat d'épaisseur e et de constante diélectrique ϵ_r est donnée par (d'après le document Computed-Aided Design of Micro-wave Circuits de K.C. GUPTA, RAMESH GARG et RAKESH CHADHA, Artech) :

$$Z = 120 \cdot \pi / \{ \sqrt{\epsilon_e} [W/e + 1,393 + 0,667 \cdot \ln(W/e + 1,444)] \}$$

pour W/e supérieur ou égal à 1

$Z = 60 \cdot \ln(8 \cdot e/W + 0,25 \cdot W/e)$ pour W/e inférieur ou égal à 1.

45 Cette relation nous indique que, sur un substrat donné, l'impédance caractéristique d'une ligne micro-ruban est conditionnée par la largeur de cette ligne. Plus la ligne est large, plus l'impédance est faible.

Soit Z_e l'impédance au point d'entrée du motif rayonnant. Si Z_d est l'impédance désirée au niveau de l'interface avec le système d'alimentation (le câble, par exemple), l'adaptateur quart d'onde est alors un tronçon de ligne imprimée de longueur $\lambda_g/4$, (où $\lambda_g = \lambda/\epsilon_e$ est la longueur d'onde dans le diélectrique) et d'impédance caractéristique $Z_c = \sqrt{(Z_e \cdot Z_d)}$

50 Il existe d'autres types d'adaptateurs (comme par exemple la ligne fuselée) dont la complexité va souvent de pair avec:

- une efficacité accrue en termes de pertes (faibles) par rayonnement parasite,
- une bande fréquentielle d'utilisation plus large.

55 Il a déjà été présenté un certain nombre d'applications de la technologie micro-ruban aux antennes dites "conformées" c'est à dire appliquées à une surface non plane.

Ainsi, dans le brevet 92-07274, les motifs sont répartis sur la surface d'un cylindre. Le but de cette antenne, baptisée "antenne ceinture" est de produire un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, c'est-à-dire pré-

sentant dans toutes les régions de l'espace un gain aussi uniforme que possible. Les motifs sont équidistants et peuvent être regroupés sur des sous-réseaux identiques comportant également le réseau d'alimentation permettant d'acheminer le signal vers chacun des éléments. Tous sont alimentés avec la même valeur d'amplitude et la même valeur de phase à une tolérance près afin de garantir la régularité du diagramme de rayonnement.

L'invention vise aussi à obtenir de bonnes performances radioélectriques (notamment en ce qui concerne le diagramme de rayonnement), mais à partir d'une antenne ceinture micro-ruban appliquée sur un corps conique, grâce à une préparation sur un substrat plan selon un dessin déterminé de façon réaliste et fiable, la loi d'alimentation de l'antenne objet de la présente invention pouvant être identique à celle de l'exemple précédent.

Concevoir une antenne ceinture cylindrique telle que décrite dans le document 92-07274 ne présente d'autre difficulté que celle d'élaborer un réseau d'alimentation à une seule dimension (une seule rangée d'éléments à alimenter) correctement adapté (TOS voisin de 1) à la ou aux fréquences de travail, ce que l'homme de l'art, muni des formules classiques ou mieux d'un outil de CAO, fait sans trop de problèmes. Chaque sous réseau, conçu sur un plan, conserve ses propriétés d'adaptation une fois enroulé sur le corps cylindrique.

La conception de ce type d'antenne pour une application sur un corps conique est plus complexe, si l'on veut que tous les éléments rayonnants soient :

- équidistants et convenablement espacés (distance inférieure ou voisine d'une demi-longueur d'onde),
- situés à une même altitude c'est-à-dire à une même hauteur par rapport à la base de référence du tronc de cône,
- alimentés avec une amplitude et une phase uniformes (à une tolérance près),

qui sont les conditions nécessaires et suffisantes pour obtenir un diagramme de rayonnement omnidirectionnel.

La présente invention, outre le fait qu'elle propose un procédé permettant de concevoir et fabriquer ce type d'antenne sur un plan comme un circuit imprimé quelconque avant de l'appliquer sur un cône, présente un type d'antenne pouvant s'adapter sur un cône donné en réduisant l'aménagement nécessaire de ce cône au(x) seul(s) trou(s) prévu(s) pour faire passer le(s) câble(s) d'alimentation.

Les documents suivants ont traité ou abordé ce problème :

- D1 : US 3 914 767
- D2 : US 4 101 895
- D3 : US 3 798 653
- D4 : US 4 980 692
- D5 : US 4 051 480
- D6 : FR 2 490 024
- D7 : US 4 160 976
- D8 : US 4 816 836
- D9 : EP-A-0.575.211

Ces documents présentent des concepts soit basés sur des technologies à fentes (cas des documents D3 et D6) soit sur la technologie micro-ruban ou des techniques dérivées.

Les documents D3 et D6 présentent des antennes qui sont partie intégrante de la structure sur laquelle elles sont implantées. Cela ne correspond pas au besoin exprimé ci-dessus (minimisation de l'impact sur la structure porteuse).

Les documents D1, D2, D4 et D5, outre le fait qu'ils ont souvent recours à des court-circuits nombreux et coûteux à travers le substrat (afin de garantir une bande fréquentielle d'utilisation suffisante - ce que le document 92 07274 précité peut permettre d'éviter -), ne fournissent aucune information sur le réseau ou le système d'alimentation de l'antenne, ce qui peut laisser supposer que celui-ci utilise une autre technique que la technique micro-ruban. Or l'un des principaux intérêts de cette technique réside justement dans le fait qu'elle permet de réunir sur un même support (le substrat diélectrique), le réseau d'alimentation et les éléments rayonnants, supprimant par là-même une grande partie des contraintes mécaniques rencontrées sur les antennes utilisant d'autres technologies.

Quant au document D7, il propose une antenne micro-ruban appliquée à un corps cylindrique, sans indication précise sur la conception même et le dimensionnement du système ou réseau d'alimentation. Et le document D8 concerne la structure en deux couches d'une antenne réseau sur une surface cylindrique ou conique, sans précision particulière sur les motifs rayonnants et leur réseau d'alimentation.

Le document D9, déjà cité, ne traite que du cas d'une antenne ceinture cylindrique. Toutefois, le motif rayonnant élémentaire qui y est décrit présente simultanément une faible épaisseur de substrat diélectrique et une large bande passante. Ce motif peut être avantageusement utilisé dans la présente invention.

L'invention propose une antenne micro-ruban conique, portée par un tronc de cône de demi-angle au som-

met α , de hauteur H_0 et ayant une ligne circulaire de référence de rayon R , et comportant une succession annulaire de N motifs rayonnants disposés sur ce tronc de cône et répartis en au moins un sous-réseau de motifs rayonnants connectés par un réseau d'alimentation respectif à un même point commun (G), ces N motifs rayonnants étant réalisés en métal conducteur sur une surface d'une couche de matériau diélectrique, cette

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

* le réseau d'alimentation de chaque sous-réseau de motifs rayonnants étant constitué de lignes conductrices formant un réseau arborescent de diviseurs, tel que les longueurs de ligne entre le point commun et les motifs rayonnants du sous-réseau soient sensiblement identiques à $c/(F_0 \sqrt{\epsilon_e})$ près, où c est la vitesse de la lumière et ϵ_e est la constante diélectrique effective du milieu de propagation constitué par le substrat et les lignes conductrices,

* le réseau arborescent est formé sur la même surface de la couche de matériau diélectrique que le sous-réseau de motifs rayonnants,

* le réseau arborescent est formé de n étages, chaque étage comportant des diviseurs de même ordre, soit 2 soit 3,

* les diviseurs au sein d'un même étage i sont, en développée sur un plan, constitués d'un nombre entier de segments rectilignes sensiblement identiques, faisant entre eux des angles γ_2 égaux, les diviseurs d'un même étage approximant des arcs d'un même cercle concentrique à l'arc de cercle constitué, dans cette développée sur un plan, par la ligne circulaire de référence.

Selon des dispositions préférées de l'invention éventuellement combinées :

- les N éléments rayonnants sont répartis en S sous-réseaux identiques et la longueur ΔL_{a_i} des segments rectilignes de l'étage i et l'angle γ_i entre segments adjacents sont tels que :

a) $N_{a_i} = L_{a_i}/\Delta L_{a_i}$ est un nombre entier (c'est le nombre de tronçons pour l'étage i) supérieur ou égal à 1,

avec :

$$L_{a_i} = 2\pi \cdot \sin(\alpha) \cdot R_{a_i} \cdot 2^{\delta_3} / [S \cdot (2^i - m \cdot 3^m)]$$

où

- δ_3 étant le symbole de Chrönecker, qui vaut 1 si l'étage i est d'ordre 3 et 0 si cet étage est d'ordre 2,

- m le nombre d'étages d'ordre 3 rencontrés entre le premier et le i ème étage, les étages étant comptés à partir du point commun,

et

$$R_{a_i} = H / \cos(\alpha) - h + (n - i + 1) \cdot p \cdot \sum_{k=1}^{k=i} h_k$$

où

- p vaut 1 si le réseau d'alimentation est en-dessous des éléments rayonnants et -1 si le réseau d'alimentation est au-dessus des éléments rayonnants,

- h la distance entre la ligne de référence du tronc de cône et le bord de l'élément rayonnant qui est connecté au réseau d'alimentation, et

- h_k la hauteur de l'étage k .

b) l'angle τ_i est égal à : $\tau_i = \Delta L_{a_i} / R_{a_i}$,

- les éléments rayonnants sont de forme trapézoïdale,

- les éléments rayonnants sont de forme rectangulaire,

- les éléments rayonnants sont de forme circulaire,

- les éléments rayonnants sont ceux décrits dans le document D9 à savoir que chaque motif est formé d'une boucle conductrice de largeur constante l_j entourant un motif parasite interne non alimenté en étant séparée de ce motif parasite interne par une fente continue fermée sur elle-même de largeur constante e propre à assurer un couplage entre la boucle et le motif parasite interne,

- la longueur des segments rectilignes est choisie au moins égale à environ le quart de la longueur d'onde dans ledit matériau diélectrique,

- la hauteur de chaque étage est la même.

L'invention propose également un procédé de préparation d'une antenne micro-ruban destinée à être por-

tée par un tron de cône de demi-angle au sommet α , de hauteur H_0 et ayant une ligne circulaire de référence de rayon R , cette antenne comportant une succession annulaire de N motifs rayonnants disposés sur ce tron de cône et répartis en au moins un sous-réseau de motifs rayonnants connectés par un réseau d'alimentation respectif à un même point commun (G), ces N motifs rayonnants étant réalisés en métal conducteur sur une

surface d'une couche de matériau diélectrique, cette couche de matériau diélectrique portant sur son autre

surface une couche conductrice formant plan de masse, ces motifs rayonnants étant conformés pour résonner

dans une bande de fréquences prédéterminée de fréquence centrale F_0 , procédé selon lequel,

- * on choisit arbitrairement des nombres S , n_2 et n_3 tels que $N = S \cdot 2^{n_2} \cdot 3^{n_3}$
- * on répartit les N motifs rayonnants en S sous-réseaux,

* on constitue chaque réseau d'alimentation respectif de sorte que les longueurs de ligne entre le point commun et les motifs rayonnants du sous-réseau soient sensiblement identiques à $c/(F_0 \sqrt{\epsilon_e})$ près,

où c est la vitesse de la lumière et ϵ_e est la constante diélectrique effective du milieu de propagation constitué par le substrat et les lignes conductrices,

* on forme le réseau arborescent sur la même surface de la couche de matériau diélectrique que le sous-réseau de motifs rayonnants,

* on forme le réseau arborescent en n_2 étages formés de diviseurs d'ordre 2 et en n_3 étages formés de diviseurs d'ordre 3, selon un ordre quelconque,

* on conforme les diviseurs au sein d'un même étage i en sorte que chacun d'eux soit, en développée

sur un plan, constitué d'un nombre entier de segments rectilignes sensiblement identiques, faisant entre eux des angles γ_i égaux, les diviseurs d'un même étage approximant des arcs d'un même cercle concentrique à l'arc de cercle constitué, dans cette développée sur un plan, par la ligne circulaire de

référence.

Les dispositions préférées précitées s'appliquent également à ce procédé.

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un cône de demi-angle au sommet α et de hauteur H , contenant un tron de cône de hauteur H_0 et de rayon à la base R ,
- la figure 2 montre la développée du cône de la figure 1,

- les figures 3A à 3D montrent des exemples de réseau arborescent d'alimentation pour antenne ceinture (ou sous-réseau d'antenne ceinture) cylindrique avec des étages diviseurs d'ordre 2 et/ou d'ordre 3,
- la figure 4 est un exemple simple de développée d'antenne ceinture conique à quatre éléments rayonnants et dont le réseau d'alimentation est composé de lignes formant des arcs de cercle,

- la figure 5 représente un arc de cercle approximé par des segments égaux,
- les figures 6 et 7 représentent les développées exactes (masques de gravure ou typon) de deux applications d'antennes-ruban pour surface conique,

- les figures 8A et 8B, et les figures 9A et 9B montrent les performances respectives en adaptation des antennes réalisées à partir des typons des figures 6 et 7, dans un diagramme TOS/fréquence et dans une abaque de SMITH, et

- les figures 10A et 10B, et les figures 11A et 11B montrent les performances respectives en rayonnement des antennes réalisées à partir des typons des figures 6 et 7, dans les coupes $\phi = 0$ et $\theta = 90^\circ$ respectivement.

La contrainte d'uniformité en amplitude et en phase au niveau de l'alimentation des éléments rayonnants dans une bande fréquentielle donnée, impose une contrainte sur leur nombre N . En effet, le réseau d'alimentation doit présenter une structure arborescente comportant divers étages de diviseurs entre les éléments rayonnants et un point commun d'alimentation (ou d'arrivée de signal). Les longueurs de lignes comprises entre le point d'arrivée du signal (interface avec le câble) et chacun des éléments rayonnants doivent être de longueur égale (à un nombre entier de longueurs d'onde près) de façon à garantir le caractère équi-phase du réseau d'alimentation micro-ruban.

Si n est le nombre d'étages diviseurs d'ordre deux du réseau et si celui-ci ne présente pas d'étage diviseur d'ordre différent (d'ordre trois en pratique) alors on a $N = 2^n$.

Cette limitation, qui n'autorise que des nombres d'éléments rayonnants égaux à 4, 8, 16, 32, 64, 128, etc. est très pénalisante et peut s'avérer incompatible avec un problème géométrique donné. Dans ce cas, on peut être tenté d'inclure dans le réseau d'alimentation un diviseur par trois. Toutefois un tel diviseur ne convient qu'à condition que les longueurs des branches latérales soient égales (à un nombre entier de longueurs d'ondes près) à la longueur de la branche centrale.

Même dans ce cas, la solution obtenue est a priori un cas dégradé de réseau arborescent à alimentation uniforme. En effet, l'alimentation n'est en fait uniforme en phase qu'à la fréquence centrale de la bande spec-

trale de travail et n'est jamais vraiment uniforme en amplitude à cause des pertes ohmiques dans les lignes latérales. Pour cette dernière raison, on limite souvent l'implantation de tels diviseurs au dernier étage du réseau car les différences de longueurs ne sont pas très importantes (en général: une longueur d'onde) ; en effet, les motifs connectés à un diviseur du dernier étage sont en principe adjacents.

5 Si n est le nombre d'étages d'ordre deux du réseau et m le nombre d'étages d'ordre trois alors on a $N = 3^m \cdot 2^n$.

On précisera dans la suite le détail de tels réseaux d'alimentation destinés à une surface conique.

Soit donc un cône C de hauteur H et de demi-angle au sommet α (voir figure 1), et soit T un tronc de ce cône, de hauteur H_0 et dont la base présente un rayon R, autour duquel on veut enrouler une antenne-réseau.

10 La développée du cône C (voir figure 3) est un secteur angulaire de sommet O et bordée d'un arc de cercle A

- de rayon $R_a = H/\cos(\alpha)$
- de longueur $L_a = 2 \cdot \pi \cdot R$,
- d'amplitude angulaire $\beta = 2 \cdot \pi \cdot \sin(\alpha)$ et de deux segments latéraux se rencontrant au centre O du cercle contenant l'arc A et dont les autres extrémités sont les points extrêmes de l'arc A.

15 Deux possibilités sont offertes lors de la conception de l'antenne (voir figures 6 et 7) :

- 1er cas : on veut disposer les éléments rayonnants en dessous du réseau d'alimentation (à l'opposé du sommet par rapport à ce réseau d'alimentation),
- 2e cas : on veut disposer les éléments rayonnants au dessus du réseau d'alimentation (du côté du sommet).

20 Dans les deux cas, on remarque immédiatement que seul le sens de variation des indices des étages change. La description géométrique de ces deux cas est donc la même, à ce détail près, dont on tiendra compte dans les exemples d'applications à la fin du texte.

Deux autres cas d'importance pratique peuvent encore se distinguer :

- 25 - 1er cas : tous les étages diviseurs du réseau d'alimentation sont d'ordre deux (figure 3A),
- 2e cas : un ou plusieurs étages diviseurs du réseau d'alimentation sont d'ordre trois (figures 3B, 3C et 3D).

Ce dernier cas est pris en compte dans la description géométrique générale qui suit et dans les applications données ensuite.

30 De plus, l'antenne ceinture complète peut être composée de S sous-réseaux identiques, auquel cas la méthode et les formules qui suivent ne s'appliquent plus à un réseau entier (ceinture complète) mais à un sous-réseau dans les conditions qui sont expliquées plus loin.

Soit δ l'angle entre les centres des N éléments rayonnants par rapport au point O (voir figure 6 ou 7) en supposant ces éléments régulièrement espacés sur le cône.

35 On a immédiatement :

$$\delta = \beta/N \quad (1)$$

Si l'antenne est constituée de S sous-réseaux alors soit N_s le nombre d'éléments rayonnant par sous-réseau, c'est-à-dire le nombre d'éléments rayonnants connectés à un même point commun G.. On constate que :

40
$$N_s = N/S.$$

Supposons dans un premier temps que le réseau ne comporte que des diviseurs d'ordre 2. Compte-tenu de la structure du réseau d'alimentation choisie, N_s sera égal à 2^n où n est le nombre d'étages diviseurs du réseau d'alimentation du réseau.

45 Comme cela est représenté sur la figure 4, le réseau d'alimentation du sous-réseau considéré est idéalement constitué d'arcs de cercles de rayons R_{a_i} et de longueur L_{a_i} telle que :

50
$$R_{a_i} = R_a - h + p \cdot \sum_{k=1}^{k=i} h_k \quad (2)$$

$$L_{a_i} = \delta \cdot R_{a_i} \cdot N_s / 2^i = \beta \cdot R_{a_i} / (S \cdot 2^i) \quad (3)$$

où :

- i est l'indice de l'étage considéré $1 \leq i \leq n$ où $n = \text{Log}_2(N)$ est le nombre d'étages du réseau,
- 55 - p vaut 1 si le réseau d'alimentation est en-dessous des éléments rayonnants et -1 si le réseau d'alimentation est au-dessus des éléments rayonnants (cas de cette figure 4),
- h la distance entre la base du tronc de cône et le bord du motif rayonnant qui est connecté au réseau d'alimentation,

- et h_i la hauteur de l'étage diviseur i .

Notons que si

$h_i = h_{i-1} = h_1 = h_0$, la formule (2) devient:

$$Ra_i = Ra - h + p.(n - i + 1).h_0 \quad (2')$$

- 5 Si plusieurs étages du réseau d'alimentation sont d'ordre trois, alors la formule (3) doit être adaptée :

$$La_i = \delta.Ra_i.Ns.2^{\delta 3}/(2^i - m.3^m) = \beta.Ra_i/(S.2^i - m.3^m) \quad (3')$$

où :

- i est l'indice de l'étage étudié (d'ordre 2 ou 3) tel que $1 \leq i \leq n$ où n est le nombre total d'étages du sous-réseau avec $n = n_2 + n_3$ où n_2 est le nombre d'étages d'ordre 2 et n_3 le nombre d'étages d'ordre 3 avec n_2 et n_3 tels que $Ns = 2^{n_2}.3^{n_3}$
- $\delta 3$ est le symbole de Chröneck, qui vaut 1 si l'étage i est d'ordre 3 et 0 si cet étage est d'ordre 2, et
- m le nombre d'étages d'ordre 3 rencontrés entre le premier et le i ème étage.

- 15 Les lignes de l'arc correspondant doivent être subdivisées en plusieurs petits arcs de cercles permettant l'implantation d'un décrochement de manière à rattraper la valeur de la phase (à $2.k.\pi$ près) sur les deux branches latérales par rapport à la branche centrale (voir l'étage 3 de la figure 7).

En général, quand cela est possible, le diviseur d'ordre trois (s'il est unique) est implanté au niveau du dernier étage du réseau d'alimentation afin de minimiser l'impact des déphasages en bord de bande fréquentielle de travail.

Dans ce cas, la formule (3') devient au niveau du dernier étage : $La_n = \delta.Ra_n.N.2/(2^n - 1.3)$

- 20 Dans le cas où l'on subdivise un arc en 3 "sous-arcs" (voir les diviseurs d'ordre 3 de la figure 7) avec un décrochement pour le sous-arc médian alors la longueur L_p de chaque sous-arc de cercle peut valoir $L_p = La_n./6$. Si pour le i ème étage, le i ème décrochement a une hauteur égale à h_j alors le rayon de l'arc correspondant vaut $R = Rai - h_j$ ou $Rai + h_j$ (en fonction du sens du décrochement).

- 25 La conception d'un réseau micro-ruban composé de lignes courbes peut devenir un problème pratiquement insoluble puisque les outils courants de CAO permettent de prendre en compte presque uniquement des lignes droites. La prise en compte d'adaptateurs de formes courbes en les approximant par des lignes droites peut a priori engendrer des erreurs. Il faut se rappeler ici l'empirisme avec lequel on a coutume de procéder dans le domaine des antennes à motifs rayonnants.

- 30 C'est pourquoi tous les arcs du réseau d'alimentation sont selon l'invention approximés par des segments sensiblement de même longueur, au moins au sein de chaque étage. Chacun de ces segments est incliné par rapport aux segments adjacents d'un angle correctement calculé.

L'ordre de grandeur de la longueur de chaque segment est choisi arbitrairement au départ, avantageusement voisine du quart de la longueur d'onde dans le diélectrique ou supérieure à cette valeur.

- 35 Soit Δ'_{La} la longueur choisie. Celle-ci peut arbitrairement avoir la même valeur pour chacun des étages du réseau ou différer d'un étage à l'autre auquel cas on peut la noter Δ'_{Lai} . Le nombre de segments par étage est alors simplement donné par la relation:

$$N'ai = La_i / \Delta'_{Lai}$$

du fait que Nai doit être un entier on a en fait:

$$Nai = \text{ent}(N'ai) = \text{ent}(La_i / \Delta'_{Lai}) \quad (4)$$

- 40 et en définitive la longueur exacte des segments rectilignes sera :

$$\Delta_{Lai} = La_i / Nai \quad (5)$$

Considérons la figure 5 qui détaille l'approximation envisagée. L désigne l'arc de cercle à approximer de centre O ; $\Delta 1$ et $\Delta 2$ sont deux segments rectilignes égaux approximant l'arc de cercle L . Nous recherchons l'angle τ entre les deux segments consécutifs $\Delta 1$ et $\Delta 2$.

- 45 Par symétrie, nous avons immédiatement l'égalité d'angles suivante:

$$C = B$$

De laquelle on déduit:

$$\tau + B + C = \pi \text{ donc } \tau + 2.B = \pi$$

$$\text{Or : } A + 2.B = \pi$$

- 50 donc:

$$\tau = A$$

où A est l'angle au sommet du triangle dont les côtés sont:

- le segment étudié,
- les segments joignant les extrémités de ce segment au sommet du cône.

- 55 Or :

$$A = \Delta_{Lai} / Rai$$

donc :

$$\tau_i = \Delta_{Lai} / Rai \quad (6)$$

Les relations (1) à (6) définissent de manière simple et complète la géométrie de l'antenne ceinture conique et prennent en compte les contraintes liées à la structure support et le besoin en termes de performances radioélectriques.

5 Les relations ci-dessus peuvent être implantées très simplement dans un tableur qui donne instantanément la composition et les dimensions de chacun des étages du réseau d'alimentation.

Une application basée sur ces relations a été développée à AEROSPATIALE qui a permis de concevoir des antennes imprimées sur substrat mince à plat (constante diélectrique : 2,92), de les graver suivant la technique classique du circuit imprimé, puis de les conformer sur un tronc de cône présentant les cotes suivantes :

- demi angle au sommet : $\alpha = 5,4^\circ$
- 10 - rayon à la base du tronc de cône : $R = 160 \text{ mm}$
- hauteur du tronc de cône : $H_0 = 280 \text{ mm}$
- L_a : 1005 mm
- R_a : 1705 mm
- β : $33,92^\circ$

15 Sur ce tronc de cône on a cherché à implanter deux antennes ceintures coniques.

Une de ces antennes, conçue pour résonner à 1575 MHz devait être positionnée de façon que le bord inférieur des éléments rayonnants soit à 20 mm de la base du tronc cône, le réseau d'alimentation étant "au-dessus" des motifs rayonnants. Cette antenne est appelée antenne "bande L".

20 L'autre antenne fonctionnant à 2233 Mhz, devrait être placée de façon que le bord supérieur des éléments rayonnants soit à 20 mm du haut du tronc de cône, le réseau d'alimentation se trouvant "en dessous" des éléments rayonnants. Cette antenne est baptisée antenne "bande S".

Sil'on prend pour contrainte de respecter le critère d'espacement maximum entre les éléments rayonnants inférieur ou voisin de $\lambda/2$, et si l'on cherche des nombres de motifs sous la forme $N_s = 2^{n2}.3^{n3}$ on obtient

- 12 éléments pour l'antenne bande L, avec deux étages diviseurs d'ordre 2 et un étage diviseur d'ordre 3,
- 25 - 16 éléments pour l'antenne bande S, avec quatre étages diviseurs d'ordre 2.

Les éléments rayonnants sont de préférence choisis de forme trapézoïdale, de façon que leurs bords non parallèles à la base du tronc de cône soient sensiblement parallèles aux génératrices du cône à 25% près.

30 Après dimensionnement de ces éléments rayonnants (par exemple à l'aide d'un logiciel de prédiction approprié connu et validation de leur bon fonctionnement sur maquettes), on vérifie que leur dimensionnement est compatible avec la contrainte de nombre d'éléments indiquée ci-dessus, c'est-à-dire que les motifs ne se superposent pas, auquel cas il faudrait les "amincir".

La géométrie du problème étant ainsi posée, on procède à l'implantation dans un tableur des relations (1) à (6) en choisissant des segments rectilignes de l'ordre de 55 mm pour les divers étages.

35 On avait pour la figure 6 :

- hauteur de motif : 42 mm
- h : 223 mm
- $h_0 = h_1 = h_2 = h_3$: 12 mm
- δ : $2,12^\circ$

40 et pour la figure 7

- hauteur de motif : 56 mm
- h : 71 mm
- h_0 : 12 mm
- δ : $2,83^\circ$

45 Leur application au problème posé donne les résultats indiqués dans les tables 1 et 2. Les masques de gravures obtenus sont représentés sur les figures 6 et 7. Les longueurs de tronçons rectilignes (on les distingue à peine de l'échelle de ces figures) peuvent être exploitées pour implanter des modifications de largeurs de lignes qui sont autant d'adaptateurs. Ces adaptateurs permettent par optimisation d'adapter l'impédance de l'antenne au point de connexion à une valeur voisine de 50 ohms (TOS voisin de 1 et inférieur à 2 dans une bande fréquentielle imposée).

50 Les performances en adaptation de chacune des antennes construites sont présentées sur les figures 8A et 8B, ou 9A et 9B, et les coupes principales de leurs diagrammes de rayonnement sur une structure donnée sont fournies sur les figures 10A et 10B, ou 11A et 11B.

55 En pratique, toutes les dimensions ou longueurs exprimées ci-dessus peuvent être prises à une tolérance pouvant aller à $\pm 15 \%$ près en fonction de contraintes diverses telles que, par exemple, l'impact de coudes arrondis.

Il va de soi que la description qui précède n'a été proposée qu'à titre d'exemple non limitatif et que de nombreuses variantes peuvent être proposées par l'homme de l'art sans sortir du cadre de l'invention.

En particulier, les motifs rayonnants peuvent être de formes et de géométrie variée, comme proposé par exemple dans la demande de brevet français 92-07274, chaque motif étant formé d'une boucle conductrice de largeur constante l , entourant un motif parasite interne non alimenté en étant séparée de ce motif parasite interne par une fente continue fermée sur elle-même de largeur constante e propre à assurer un couplage entre la boucle et le motif parasite interne.

i=	1	2	3	4
Rai (mm)	1518,22056	1506,22056	1494,22056	1482,22056
Lai (mm)	449,527088	222,987015	110,605243	54,8584894
nbre portions	8	4	2	1
Δ Lai	56,190886	55,7467538	55,3026216	54,8584894
γ_i	2,12057504	2,12057504	2,12057504	2,12057504

TABLEAU 1

i=	1	2	3
Rai (mm)	1598,22056	1610,22056	1622,22056
Lai (mm)	473,214139	238,383598	160,106751
nbre portions	12	6	6
Δ Lai	39,4345116	39,7305997	26,6844586
γ_i	1,41371669	1,41371669	0,9424778

TABLEAU 2

Revendications

- Antenne micro-ruban conique, portée par un tronc de cône de demi-angle au sommet α , de hauteur H_0 et ayant une ligne circulaire de référence de rayon R , et comportant une succession annulaire de N motifs rayonnants disposés sur ce tronc de cône et répartis en au moins un sous-réseau de motifs rayonnants connectés par un réseau d'alimentation respectif à un même point commun (G), ces N motifs rayonnants étant réalisés en métal conducteur sur une surface d'une couche de matériau diélectrique, cette couche de matériau diélectrique portant sur son autre surface une couche conductrice formant plan de masse, ces motifs rayonnants étant conformés pour résonner dans une bande de fréquences prédéterminée de fréquence centrale F_0 ,
 - * le réseau d'alimentation de chaque sous-réseau de motifs rayonnants étant constitué de lignes conductrices formant un réseau arborescent de diviseurs, tel que les longueurs de ligne entre le point commun et les motifs rayonnants du sous-réseau soient sensiblement identiques à $c/(F_0 \sqrt{\epsilon_e})$ près, où c est la vitesse de la lumière et ϵ_e est la constante diélectrique effective du milieu de propagation constitué par le substrat et les lignes conductrices,
 - * le réseau arborescent est formé sur la même surface de la couche de matériau diélectrique que le sous-réseau de motifs rayonnants,
 - * le réseau arborescent est formé de n étages, chaque étage comportant des diviseurs de même ordre, soit 2 soit 3,
 - * les diviseurs au sein d'un même étage i sont, en développée sur un plan, constitués d'un nombre entier de segments rectilignes sensiblement identiques, faisant entre eux des angles γ_2 égaux, les diviseurs d'un même étage approximant des arcs d'un même cercle concentrique à l'arc de cercle constitué, dans cette développée sur un plan, par la ligne circulaire de référence.
- Antenne micro-ruban selon la revendication 1, caractérisée en ce que les N éléments rayonnants sont

répartis en S sous-réseaux identiques et la longueur ΔL_{a_i} des segments rectilignes de l'étage i et l'angle γ_i entre segments adjacents sont tels que :

a) $N_{a_i} = L_{a_i}/\Delta L_{a_i}$ est un nombre entier (c'est le nombre de tronçons pour l'étage i) supérieur ou égal à 1, avec :

$$L_{a_i} = 2 \cdot \pi \cdot \sin(\alpha) \cdot R_{a_i} \cdot 2^{\delta_3} / [S \cdot (2^i - m \cdot 3^m)].$$

où

- δ_3 étant le symbole de Chröneck, qui vaut 1 si l'étage i est d'ordre 3 et 0 si cet étage est d'ordre 2,
- m le nombre d'étages d'ordre 3 rencontrés entre le premier et le ième étage, les étages étant comptés à partir du point commun,

et

$$R_{a_i} = H / \cos(\alpha) - h + (n - i + 1) \cdot p \cdot \sum_{k=1}^{k=i} h_k$$

où

- p vaut 1 si le réseau d'alimentation est en-dessous des éléments rayonnants et -1 si le réseau d'alimentation est au-dessus des éléments rayonnants,
- h la distance entre la ligne de référence du tronc de cône et le bord de l'élément rayonnant qui est connecté au réseau d'alimentation, et
- h_k la hauteur de l'étage k.

b) l'angle τ_i est égal à : $\tau_i = \Delta L_{a_i} / R_{a_i}$.

3. Antenne selon la revendication 1 ou la revendication 2, dont les éléments rayonnants sont de forme trapézoïdale.
4. Antenne selon la revendication 1 ou la revendication 2, dont les éléments rayonnants sont de forme rectangulaire.
5. Antenne selon la revendication 1 ou la revendication 2, dont les éléments rayonnants sont de forme circulaire.
6. Antenne selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que chaque motif est formé d'une boucle conductrice de largeur constante l_j entourant un motif parasite interne non alimenté en étant séparée de ce motif parasite interne par une fente continue fermée sur elle-même de largeur constante e propre à assurer un couplage entre la boucle et le motif parasite interne.
7. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la longueur des segments rectilignes est choisie au moins égale à environ le quart de la longueur d'onde dans ledit matériau diélectrique.
8. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que la hauteur de chaque étage est la même.
9. Procédé de préparation d'une antenne micro-ruban destinée à être portée par un tron de cône de demi-angle au sommet α , de hauteur H_0 et ayant une ligne circulaire de référence de rayon R, cette antenne comportant une succession annulaire de N motifs rayonnants disposés sur ce tron de cône et répartis en au moins un sous-réseau de motifs rayonnants connectés par un réseau d'alimentation respectif à un même point commun (G), ces N motifs rayonnants étant réalisés en métal conducteur sur une surface d'une couche de matériau diélectrique, cette couche de matériau diélectrique portant sur son autre surface une couche conductrice formant plan de masse, ces motifs rayonnants étant conformés pour résonner dans une bande de fréquences prédéterminée de fréquence centrale F_0 , procédé selon lequel,
 - * on choisit arbitrairement des nombres S, n_2 et n_3 tels que $N = S \cdot 2^{n_2} \cdot 3^{n_3}$
 - * on répartit les N motifs rayonnants en S sous-réseaux,
 - * on constitue chaque réseau d'alimentation respectif de sorte que les longueurs de ligne entre le point commun et les motifs rayonnants du sous-réseau soient sensiblement identiques à $c/(F_0 \sqrt{\epsilon_e})$ près,

où c est la vitesse de la lumière et ϵ_e est la constante diélectrique effective du milieu de propagation constitué par le substrat et les lignes conductrices,

* on forme le réseau arborescent sur la même surface de la couche de matériau diélectrique que le sous-réseau de motifs rayonnants,

* on forme le réseau arborescent en n_2 étages formés de diviseurs d'ordre 2 et en n_3 étages formés de diviseurs d'ordre 3, selon un ordre quelconque,

* on conforme les diviseurs au sein d'un même étage i en sorte que chacun d'eux soit, en développée sur un plan, constitué d'un nombre entier de segments rectilignes sensiblement identiques, faisant entre eux des angles γ_i égaux, les diviseurs d'un même étage approximant des arcs d'un même cercle concentrique à l'arc de cercle constitué, dans cette développée sur un plan, par la ligne circulaire de référence.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisée en ce que la longueur ΔL_{a_i} des segments rectilignes de l'étage i et l'angle γ_i entre segments adjacents sont tels que :

a) $N_{a_i} = L_{a_i} / \Delta L_{a_i}$ est un nombre entier (c'est le nombre de tronçons pour l'étage i) supérieur ou égal à 1, avec :

$$L_{a_i} = 2 \cdot \pi \cdot \sin(\alpha) \cdot R_{a_i} \cdot 2^{\delta_3} / [S \cdot (2^i - m \cdot 3^m)],$$

où

- δ_3 étant le symbole de Chröneck, qui vaut 1 si l'étage i est d'ordre 3 et 0 si cet étage est d'ordre 2,

- m le nombre d'étages d'ordre 3 rencontrés entre le premier et le i ème étage, les étages étant comptés à partir du point commun,

et

$$R_{a_i} = H / \cos(\alpha) - h + (n - i + 1) \cdot p \cdot \sum_{k=1}^{k=i} h_k$$

où

- p vaut 1 si le réseau d'alimentation est en-dessous des éléments rayonnants et -1 si le réseau d'alimentation est au-dessus des éléments rayonnants,

- h la distance entre la ligne de référence du tronc de cône et le bord de l'élément rayonnant qui est connecté au réseau d'alimentation, et

- h_k la hauteur de l'étage k .

b) l'angle τ_i est égal à : $\tau_i = \Delta L_{a_i} / R_{a_i}$.

11. Procédé selon la revendication 9 ou la revendication 10, dont les éléments rayonnants sont de forme trapézoïdale.

12. Procédé selon la revendication 9 ou la revendication 10, dont les éléments rayonnants sont de forme rectangulaire.

13. Procédé selon la revendication 9 ou la revendication 10, dont les éléments rayonnants sont de forme circulaire.

14. Procédé suivant la revendication 13, caractérisée en ce que chaque motif est formé d'une boucle conductrice de largeur constante l , entourant un motif parasite interne non alimenté en étant séparée de ce motif parasite interne par une fente continue fermée sur elle-même de largeur constante e propre à assurer un couplage entre la bouche et le motif parasite interne.

15. Procédé selon les revendications 9 à 14, caractérisé en ce que la longueur des segments rectilignes est choisie au moins égale à environ le quart de la longueur d'onde dans ledit matériau diélectrique.

16. Procédé selon les revendications 9 à 15, caractérisé en ce que la hauteur de chaque étage est la même.

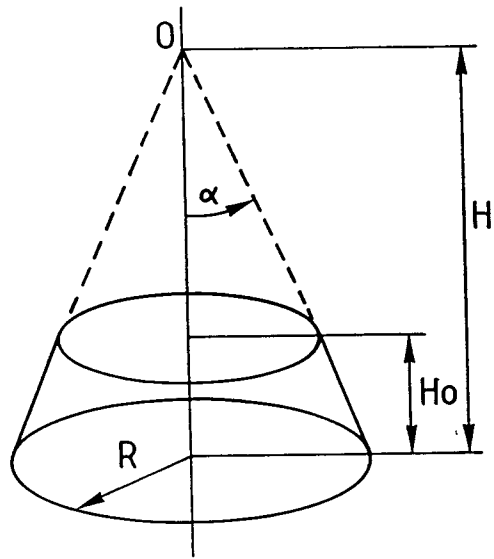


Fig. 1

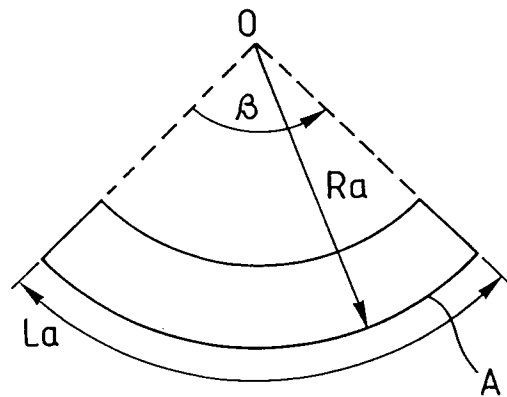


Fig. 2



Fig. 3A



Fig. 3B



Fig. 3C

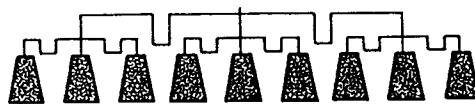


Fig. 3D

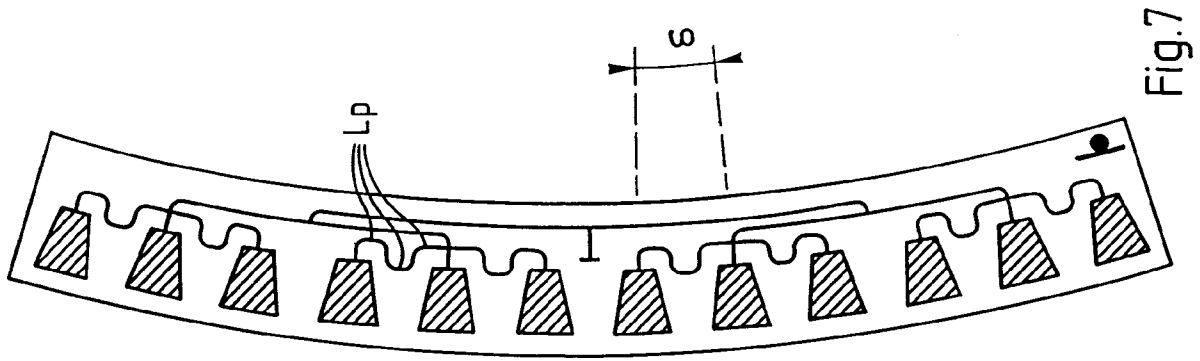


Fig. 6

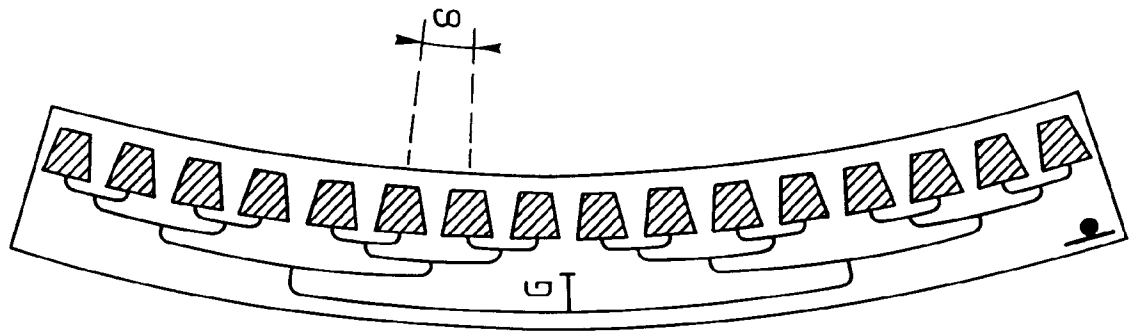


Fig. 7

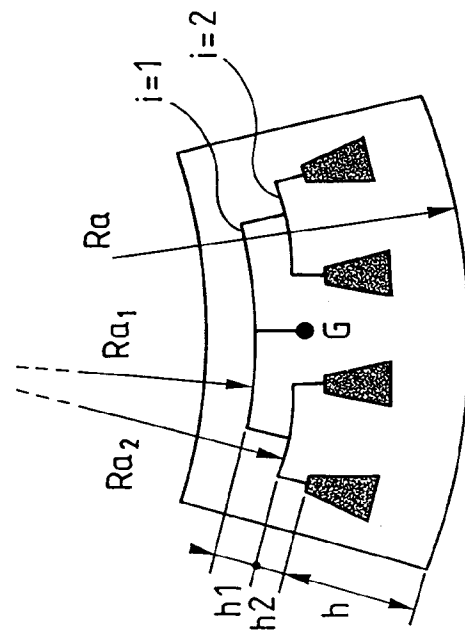


Fig. 4

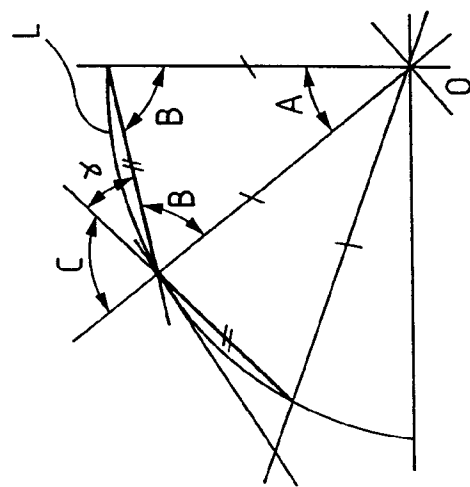
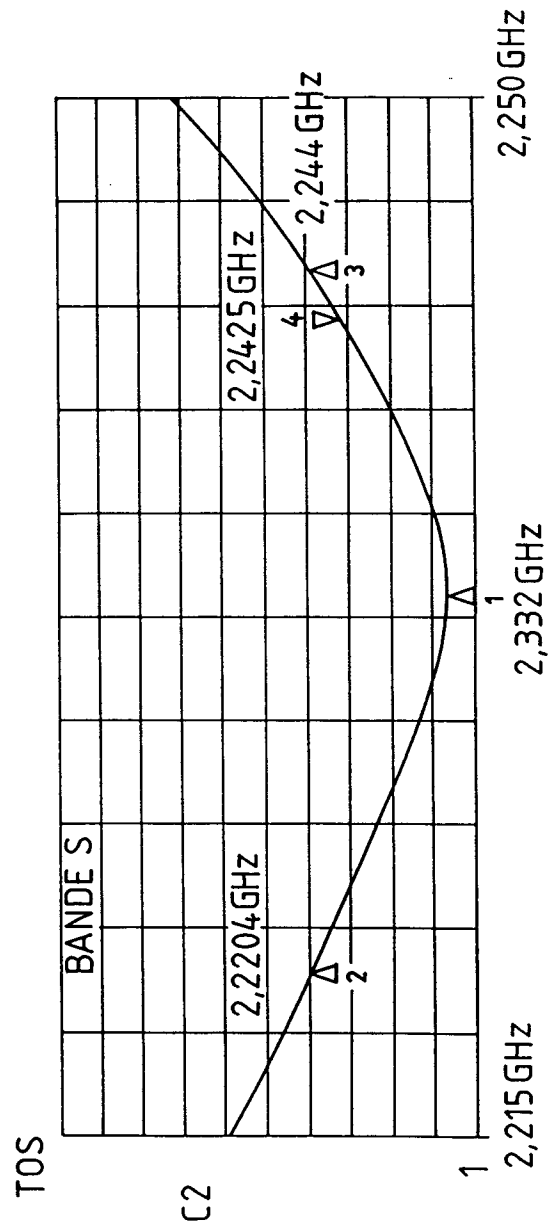
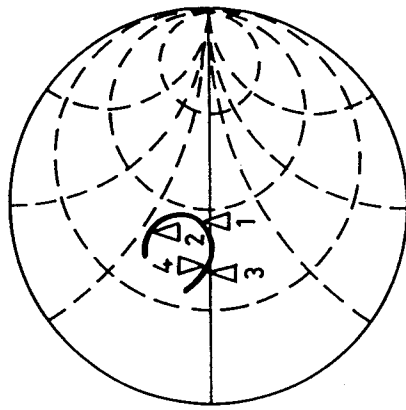


Fig. 5



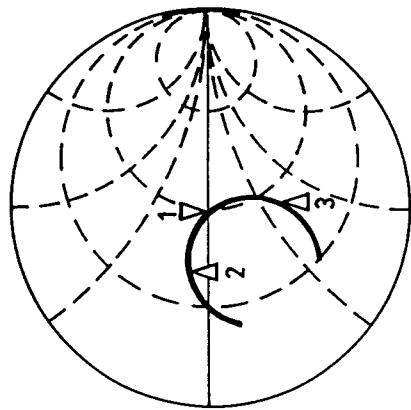


Fig. 9B

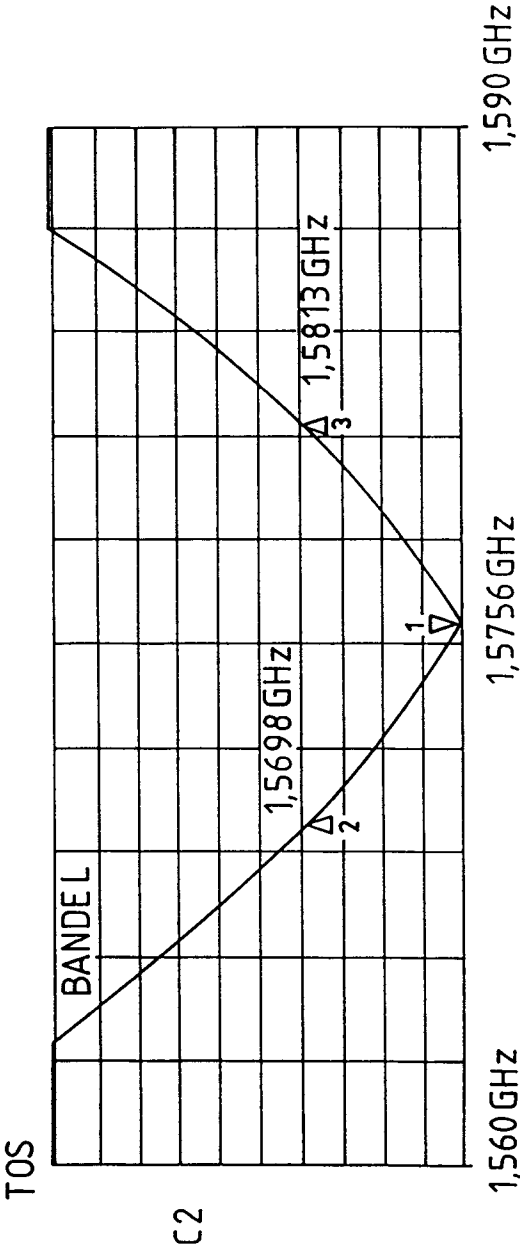


Fig. 9A

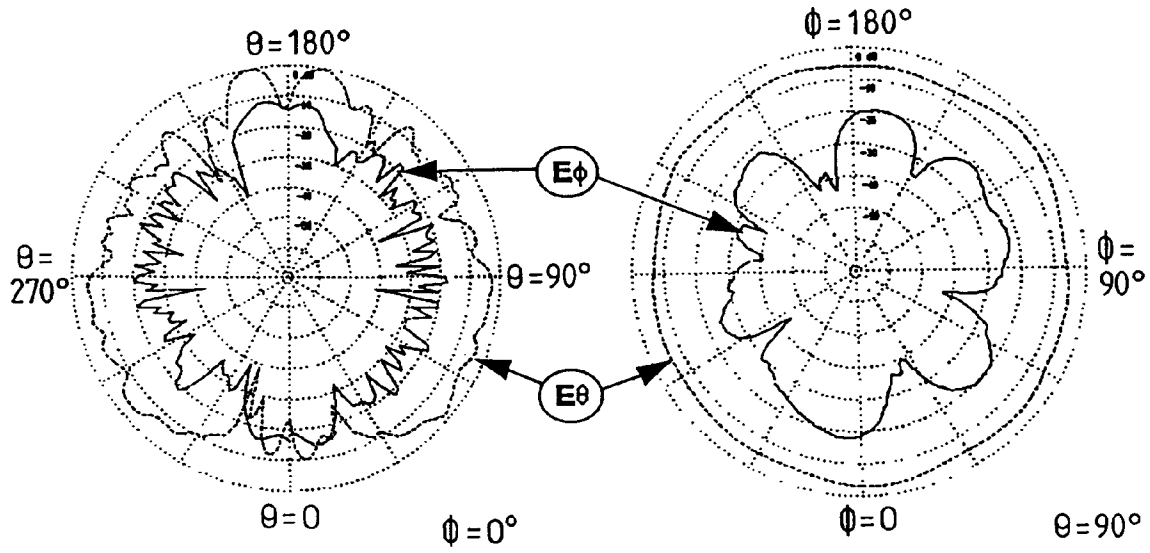


Fig.10A

Fig.10B

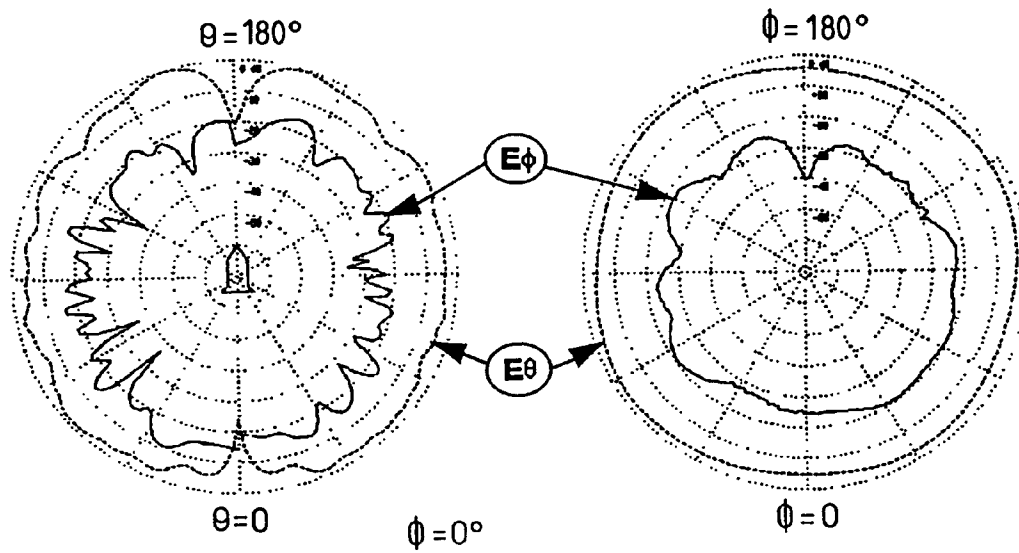


Fig.11A

Fig.11B



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 94 40 3029

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)	
Y,D	EP-A-0 575 211 (AEROSPATIALE) * colonne 13, ligne 52 - colonne 14, ligne 45; figures 9,11 *	1,9	H01Q21/06	
A	* revendication 1 * ---	6		
Y,D	US-A-4 816 863 (FARZIN LALEZARI) * colonne 4, ligne 39 - ligne 58; figures 3,4 * * colonne 6, ligne 51 - ligne 55 *	1,9		
Y	FR-A-2 498 015 (ETAT FRANCAIS) * page 2, ligne 27 - page 3, ligne 5; figure 1 *	1,9		
A	GB-A-2 244 381 (PHILIPS) * page 6, ligne 1 - ligne 8; figure 1 *	3		
A	TOUTE L'ELECTRONIQUE, no.548, Novembre 1989, PARIS, FR pages 18 - 22 J. P. DANIEL ET AL 'Conception et réalisation de réseaux d'antennes imprimées' * page 18; figure 1 * ---	3-5		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
A	GB-A-2 248 344 (SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE) * revendications 1,2; figure 5 * ---			H01Q
A,D	US-A-4 101 895 (H. S. JONES) * colonne 2, ligne 45 - ligne 54; figure 1 *			
A,D	US-A-4 160 976 (P. J. CONROY) * colonne 2, ligne 60 - colonne 3, ligne 22; figures 3,4 * -----			
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications				
Lieu de la recherche BERLIN		Date d'achèvement de la recherche 29 Mars 1995	Examinateur Breusing, J	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant				

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)