

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 177 601 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

04.12.2002 Bulletin 2002/49

(21) Numéro de dépôt: **00922776.0**

(22) Date de dépôt: **28.04.2000**

(51) Int Cl.7: **H01Q 19/17**, H01Q 25/00

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR00/01134

(87) Numéro de publication internationale:
WO 00/067345 (09.11.2000 Gazette 2000/45)

(54) **ANTENNE A REFLECTEUR CONTINU POUR RECEPTION MULTIPLE DE FAISCEAUX DE SATELLITE**

REFLEKTORANTENNE ZUM EMPFANG VON MEHREREN SATELLITENSTRAHLENBÜNDELN

ANTENNA WITH CONTINUOUS REFLECTOR FOR MULTIPLE RECEPTION OF SATELLITE BEAMS

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorité: **30.04.1999 FR 9905556**

(43) Date de publication de la demande:
06.02.2002 Bulletin 2002/06

(73) Titulaires:
• **FRANCE TELECOM**
75015 Paris (FR)
• **TELEDIFFUSION DE FRANCE**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **COUSIN, Pascal**
F-06320 La Turbie (FR)
• **DESVILLES, Jean-Louis**
F-06100 Nice (FR)
• **BLOT, Jean-Pierre**
F-06320 La Turbie (FR)
• **DELMAS, Jean-Jacques**
F-92190 Meudon (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Martinet & Lapoux**
43, boulevard Vauban,
B.P. 405 Guyancourt
78055 St. Quentin Yvelines Cédex (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 700 118 **US-A- 5 175 562**

- **BERGMANN JR AND HASSELMANN FJV: "On the implementation of global interpolating functions for shaped reflector antennas" EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. 1, 30 mars 1993 (1993-03-30) - 2 avril 1993 (1993-04-02), pages 84-87, XP002127310 Edinburgh, UK**
- **BERGMANN J R ET AL: "A comparison between techniques for global surface interpolation in shaped reflector analysis" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. 42, no. 1, janvier 1994 (1994-01), page 47-53 XP002127311 New York, USA**
- **BLOT JP ET AL: "Antenne torique pour reception multisatellites en bande Ku" JINA 1990 (JOURN ES INTERNATIONALES DE NICE SUR LES ANTENNES), 13 - 15 novembre 1990, pages 197-200, XP002127312 Nice, France**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 177 601 B1

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne de réception, voire d'émission, de faisceaux de télécommunications de satellite.

[0002] Plus particulièrement, l'invention a trait à une antenne avec un réflecteur unique présentant un large champ de vision pour recevoir simultanément plusieurs faisceaux de satellites de télédiffusion géostationnaires dépointés d'une cinquantaine de degrés entre eux, sans utiliser un moyen motorisé pour déplacer le réflecteur. L'antenne est destinée notamment à des installations domestiques dans des maisons individuelles, à des installations collectives dans des immeubles ou à des installations communautaires servant à l'alimentation de têtes de réseaux câblés pour recevoir plusieurs faisceaux émis par des satellites de radiocommunications.

[0003] L'antenne de l'invention peut également être utilisée pour des applications professionnelles telles que des réseaux de diffusion de données.

[0004] L'antenne de réception individuelle pour faisceaux de satellite la plus commercialisée actuellement pour le grand public comprend un réflecteur fixe dont la surface réfléchissante est un paraboloïde de révolution de diamètre circulaire ou de grand axe elliptique compris entre 50 et 90 cm. L'axe de symétrie du réflecteur est pointé vers le satellite. Une tête de réception fixée est généralement par des bras et positionnée au foyer unique du réflecteur.

[0005] Lorsque le satellite visé a une position orbitale très voisine d'autres satellites géostationnaires, l'antenne capte les émissions de ces divers satellites au moyen d'une ou deux têtes de réception. Mais, lorsque l'utilisateur souhaite recevoir plusieurs faisceaux de satellites dépointés de plus d'une dizaine de degrés, le réflecteur doit être tourné et dirigé vers le satellite choisi soit par une motorisation soit manuellement. Ainsi, cette antenne à réflecteur n'assure pas la réception simultanée de plusieurs satellites.

[0006] Les antennes généralement utilisées pour la réception multisatellite comprennent un réflecteur en forme de tore parabolique ou sphérique. Ce type de réflecteur présente une faible efficacité d'au plus 24% qui n'est due qu'à une illumination suivant une direction donnée que d'une faible partie du réflecteur. En conséquence, les capacités de balayage d'une source primaire de réception devant ce réflecteur sont améliorées qu'au prix d'une augmentation considérable de la surface du réflecteur.

[0007] Le brevet US-5 140 337 décrit un réflecteur d'antenne avec une efficacité d'ouverture élevée ayant une surface réfléchissante concave sensiblement cylindrique dont les sections transversales sont déduites de deux paraboles identiques à axes inclinés et symétriques par rapport à un plan azimutal. L'article de William P. Craig, Carey M. Rappaport et Jeffrey S. Mason intitulé "A High Aperture Efficiency, Wide-Angle Scanning Offset Reflector Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 41, No. 11, novembre 1993, pages 1481-1490, concerne également une surface réfléchissante de réflecteurs issus de deux paraboles inclinées et symétriques mais pour former la section d'un tore. Le brevet US 5 175 562 du même inventeur, Carey M. Rappaport, divulgue une antenne excentrée de type offset ayant une grande efficacité tout en préservant un large champ de vision entre - 30° et + 30° ; la surface réfléchissante concave du réflecteur de l'antenne est déduite de deux paraboloïdes identiques à axes inclinés et symétriques par rapport à l'axe de visée de l'antenne, et est décrite par une équation polynomiale du sixième degré.

[0008] Toutefois, la géométrie de ces réflecteurs n'est pas satisfaisante pour une réception individuelle en raison de la distance focale de ces réflecteurs trop longue. Ils nécessitent des sources primaires de réception extrêmement directives de grand diamètre augmentant ainsi l'encombrement de l'antenne, et la séparation angulaire de rayonnement entre faisceaux consécutifs est supérieure à 6°.

[0009] La demande de brevet EP-0 700 118 divulgue également une surface réfléchissante concave continue de réflecteur mais qui est déduite d'une portion de paraboloïde classique par une variation linéaire de la cote d'un point parallèle à l'axe du paraboloïde en dépendance de la longueur d'onde.

[0010] Cette surface réfléchissante confère en pratique des gains relativement faibles pour des directions de rayonnement dépointées de quelques dizaines de degré par rapport au foyer du paraboloïde.

[0011] L'invention a pour objectif de fournir un réflecteur fixe d'antenne dont la surface réfléchissante est déduite d'un unique paraboloïde selon un algorithme de formulation optimale d'équation afin de recevoir simultanément plusieurs faisceaux de satellite fortement dépointés entre eux par plusieurs sources primaires positionnées dans une large ouverture de l'ordre de 50° avec une directivité stable et une séparation angulaire relativement faible, de quelques degrés, et donc une plus grande efficacité d'ouverture, de l'ordre de 40 % à 50 %, que les réflecteurs selon la technique antérieure évoquées ci-dessus.

[0012] L'optimisation de la surface réfléchissante améliore le rendement moyen sur l'ensemble du champ de vision de l'antenne, sans remontée de lobes secondaires fortement dissymétriques lorsque les faisceaux décrivent l'orbite géostationnaire.

[0013] L'invention concerne, comme la demande de brevet précitée EP-0 700 118, une antenne comprenant un réflecteur pour faisceaux de satellite de télécommunications, ayant une surface réfléchissante concave continue dont l'équation est déduite de celle d'un paraboloïde excentré de foyer et d'angle d'offset en y additionnant l'équation d'une surface de correction et qui est symétrique par rapport à un plan de symétrie focal du paraboloïde. Pour atteindre

l'objectif ci-dessus, l'antenne de l'invention est caractérisée en ce que l'équation de la surface de correction est le polynôme suivant du deuxième degré en deux coordonnées x, y relatives à des axes perpendiculaires à l'axe de symétrie du paraboloïde :

$$z_c(x, y) = \sum_{i=1}^{i=N(2N-1)} \frac{a_i}{(\gamma \cdot f')^i} [r_i(x, y)]^5 + \frac{b_1}{(\gamma \cdot f')^2} x^2 + \frac{b_2}{(\gamma \cdot f')^2} y^2 + b_3 y + b_4 \cdot \gamma \cdot f$$

où N est un entier au moins égal à 2,

$$r_i(x, y) = [(y - \gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x - \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2 + (x + \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2]^{1/2}$$

désigne une distance entre la projection d'un point quelconque de la surface réfléchissante de coordonnées x et y sur un plan perpendiculaire au plan de symétrie et un point de contrôle de coordonnées x_i et y_i d'une grille s'étendant sur ledit plan perpendiculaire et limitée par le plan de symétrie, a_i et b_1 à b_4 sont des coefficients prédéterminés, γ est un paramètre sans dimension et f' est la distance focale entre le foyer du paraboloïde et le centre de la surface réfléchissante.

[0014] La plupart des termes de l'équation de la surface de correction ont un coefficient dépendant de la distance focale f' et du paramètre sans dimension γ . Ce dernier est fonction de l'étendue du champ de vision du réflecteur et a une valeur de l'ordre de 0,55 qui permet de contrôler le champ de vision du réflecteur.

[0015] Pour des latitudes de l'antenne comprises entre 30° et 60°, il est recommandé que la distance focale entre le foyer du paraboloïde et le centre de la surface réfléchissante soit comprise entre 30 fois et 45 fois une longueur d'onde moyenne des faisceaux de satellite, soit approximativement 0,75 m et 1,1 m en bande Ku pour une fréquence voisine de 12 GHz, et l'angle d'offset entre l'axe de paraboloïde et le segment joignant le foyer au centre de la surface réfléchissante est compris entre environ 20° et environ 30°.

[0016] En pratique, l'antenne est du type offset, et le contour du réflecteur est en général de type sensiblement circulaire ou elliptique ou rectangulaire et l'antenne est contenue dans un mètre-cube.

[0017] L'invention a également pour objectif de fournir un support de sources primaires ayant une conception relativement simple et donc peu coûteuse, tout en assurant aisément un pointage des sources primaires précis par réflexion sur le réflecteur vers des satellites situés sur l'orbite géostationnaire qui n'est pas rectiligne dans des régions non équatoriales.

[0018] Le support supporte des sources primaires orientées vers le centre de la surface réfléchissante. Il peut être en forme d'arc de cercle, de préférence sur un angle de 50° environ. Le support ne passe pas par le foyer du paraboloïde et est contenu dans un plan de support et est positionné afin que le centre de phase d'une source située dans le plan de symétrie focal coïncide sensiblement avec le foyer du paraboloïde. L'inclinaison du plan de support par rapport à l'axe du paraboloïde est supérieure à l'angle d'offset entre l'axe du paraboloïde et le segment joignant le foyer au centre de la surface réfléchissante. Cette inclinaison adapte la position du support et donc des sources en fonction de la latitude de l'antenne. En particulier, l'inclinaison du plan de support dépend d'une fonction logarithmique de l'angle d'offset et d'une fonction linéaire de la latitude de l'antenne. La différence entre l'inclinaison du plan de support et l'angle d'offset peut être comprise entre 10° environ et 20° environ pour une latitude d'antenne comprise entre 30° et 60°.

[0019] Le rayon du support peut avoir un rayon qui est proportionnel à la distance focale entre le foyer du paraboloïde et le centre de la surface réfléchissante et qui dépend d'une fonction trigonométrique de l'inclinaison du plan de support et de l'angle d'offset.

[0020] Le support peut être monté à rotation autour d'un axe fixe par rapport au réflecteur et passant par les extrémités du support et perpendiculaire au plan focal du paraboloïde contenant le centre du réflecteur afin de sélectionner précisément l'inclinaison du plan du support.

[0021] Actuellement, il n'existe pas d'antenne multifaisceau sans ajustement du pointage des sources en fonction de la latitude de la station. Les caractéristiques précitées du support de l'invention et particulièrement le dimensionnement du rayon du support et l'orientation du support élimine toute forme de réglage transverse au déplacement latéral des sources. Il en résulte une amélioration substantielle dans l'ergonomie du montage de l'antenne par une simplification du pointage des faisceaux sur l'orbite géostationnaire. Ainsi, contrairement à la technique antérieure, l'antenne à réflecteur selon l'invention minimise les erreurs de pointage des faisceaux vers l'orbite géostationnaire quelle que soit la latitude de l'antenne où elle est installée.

[0022] L'invention concerne également au moins deux sources primaires montées sur le support ayant une séparation angulaire de rayonnement au plus égale à 3° environ afin de capter des faisceaux de satellites très proches sans perturbation notable entre eux, ce qui contribue à atteindre une excellente couverture de réception sur une plage angulaire supérieure à 50° .

[0023] Selon une première réalisation, au moins une source primaire est en cornet et a un tronçon cylindrique arrière, un tronçon tronconique intermédiaire de diamètre de grande base sensiblement inférieur au double du diamètre moyen du tronçon arrière, et un tronçon tronconique avant de longueur sensiblement supérieure au double de la longueur du tronçon intermédiaire et un diamètre de grande base sensiblement égal au double du diamètre moyen du tronçon arrière.

[0024] La directivité de la source primaire en cornet est améliorée lorsqu'elle comprend une gorge faciale située à la périphérie de la grande base du tronçon tronconique avant, ayant une largeur sensiblement égale au huitième du diamètre de grande base du tronçon avant, et limitée par un côté externe plus long que le côté interne de la gorge.

[0025] Selon une deuxième réalisation, au moins une source primaire est en cierge diélectrique. Cette source en cierge diélectrique peut comprendre un cierge diélectrique comportant des premier, deuxième et troisième tronçons cylindriques de longueurs sensiblement identiques et ayant des diamètres diminuant d'un tronçon au suivant depuis une extrémité arrière vers une extrémité avant de la source dans des rapports compris entre $3/4$ environ et $9/16$ environ et compris entre $1/2$ environ et $2/3$ environ. Selon une autre variante, la source en cierge diélectrique peut comprendre un cierge diélectrique comportant un premier tronçon cylindrique, des deuxième et troisième tronçons ayant des longueurs sensiblement égales à la moitié d'une longueur minimale du premier tronçon et des diamètres inférieurs au diamètre du premier tronçon et dans un rapport de sensiblement $2/3$ à $7/8$ entre eux, et des quatrième, cinquième et sixième tronçons ayant des longueurs sensiblement égales au tiers de la longueur minimale du premier tronçon et des diamètres inférieurs au diamètre du troisième tronçon et dans des rapports de sensiblement $3/4$ à $7/8$ d'un tronçon au suivant.

[0026] La source primaire en cierge peut comprendre également une gorge métallique s'étendant partiellement autour du premier tronçon de plus grand diamètre du cierge diélectrique, ayant une largeur comprise entre le huitième environ et le sixième environ du diamètre du premier tronçon, et limitée par un côté externe plus long qu'un côté interne de la gorge.

[0027] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante de plusieurs réalisations préférées de l'invention en référence aux dessins annexés correspondants dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective d'une antenne selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue de côté du réflecteur de l'invention par rapport au repère d'un paraboloïde initial ;
- la figure 3 est une vue en perspective d'une surface de correction par rapport au paraboloïde initial, entrant dans l'équation du réflecteur ;
- les figures 4 et 5 sont des graphes montrant deux exemples de grilles symétriques de points de contrôle pour interpoler la surface réfléchissante du réflecteur ;
- la figure 6 est une vue de face de la surface réfléchissante du réflecteur avec un contour préféré
- la figure 7 est une vue de côté d'une source primaire en cornet avec un collier de fixation, selon une première réalisation ;
- la figure 8 est une vue en perspective du collier de fixation ;
- la figure 9 est une vue en coupe axiale de la source primaire en cornet ;
- la figure 10 est une vue en coupe axiale d'une source primaire en cierge selon une deuxième réalisation ;
- la figure 11 est une vue schématique en perspective montrant un plan dans lequel un support de source primaire de l'antenne est développé ;
- la figure 12 est une vue en perspective du support monté à rotation autour de ses extrémités ; et
- la figure 13 montre des diagrammes de rayonnement de faisceaux radioélectriques captés par des sources primaires de l'antenne selon l'invention.

[0028] Les antennes de télécommunications selon l'invention décrites ci-après sont, à titre d'exemple, prévues pour fonctionner dans une bande de fréquence porteuse d'utilisation supérieure au gigahertz, particulièrement comprise entre $10,5$ GHz environ et $14,5$ GHz environ, afin de recevoir des faisceaux de télécommunications émis par des satellites de télécommunications géostationnaires sur une orbite proche de l'équateur. Les dimensions des éléments constitutifs de l'antenne de réception sont indiquées ci-après par rapport à une longueur d'onde moyenne prédéterminée λ correspondant à la fréquence centrale d'une bande de fréquence d'utilisation incluant les fréquences porteuses d'émission des satellites. Typiquement, la longueur d'onde moyenne est égale à $2,5$ cm et correspond à la fréquence porteuse centrale de 12 GHz.

[0029] En référence aux figures 1 et 2, une antenne selon l'invention comprend essentiellement un réflecteur fixe 1,

plusieurs sources primaires hyperfréquences 2 et un support de source 3. Sur le support, les sources 2 sont positionnées en regard de la surface réfléchissante concave 11 du réflecteur 1 et le long d'une ligne focale plane et sensiblement circulaire passant à proximité d'un foyer F et transversalement à celle-ci. Ces sources reçoivent simultanément des faisceaux de satellites de télécommunications ou de télédiffusion séparés entre eux d'au plus quelques degrés environ, typiquement trois degrés environ, sur l'orbite géostationnaire dans un angle de couverture d'antenne $2\alpha_{\max}$ d'au plus une cinquantaine de degrés environ, soit un dépointage maximum des faisceaux de $\pm 25^\circ$ environ. Par exemple, au plus une quinzaine de sources primaires 2 sont positionnées sur le support 3 respectivement en fonction de la position de quinze satellites relativement à la position terrestre de l'antenne.

[0030] La surface et le contour du réflecteur 1 ainsi que la géométrie du support de source 3 sont conçus pour satisfaire des normes de réception de faisceaux de satellites de télédiffusion. En particulier, le réflecteur a une dimension maximale inférieure à 1 mètre.

[0031] La surface réfléchissante concave 11 du réflecteur 1 a une géométrie représentée par l'équation mathématique suivante dans un repère (C, x, y, z) :

$$z(x,y) = z_p(x,y) + z_c(x,y).$$

[0032] Le réflecteur conformé selon l'équation précédente est obtenu en ajoutant une surface de correction $z_c(x,y)$ à un réflecteur parabolique initial issu d'un paraboloïde à section circulaire, à axe de symétrie horizontal OZ et de foyer F. L'équation du paraboloïde s'écrit après un changement de repère (0,X,Y,Z) en C(x,y,z), tel que $X = x$, $Y = y - f'\sin\theta$ et $Z = z + f - f'\cos\theta$, sous la forme d'une équation de paraboloïde excentré (offset) :

$$z_p(x,y) = \frac{1}{2f'(1+\cos\theta)} (x^2 + y^2) - \frac{\sin\theta}{1+\cos\theta} y.$$

f est la focale géométrique entre le sommet O du paraboloïde initial, confondu avec l'origine du repère initial (O,X,Y,Z), et le foyer géométrique F du paraboloïde et du réflecteur 1. f' est la focale équivalente du réflecteur entre le centre C de l'ouverture du réflecteur et le foyer géométrique F du réflecteur. θ désigne l'angle d'offset du réflecteur entre l'axe optique Cz du réflecteur parallèle à l'axe OZ du paraboloïde et le segment CF de la focale équivalente. Les focales f et f' sont liées par la relation suivante :

$$f = \frac{f'}{2} (1+\cos\theta).$$

[0033] Selon une réalisation préférée, on a :

750 mm $\leq f' \leq 1,1$ m, typiquement $f' = 940$ mm, et

$20^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$, typiquement $\theta = 25,2^\circ$.

[0034] La géométrie de la surface de correction $z_c(x,y)$ est illustrée à la figure 3 par rapport au paraboloïde et est décrite par une équation mathématique basée sur une interpolation d'arcs de courbes paramétriques polynomiales dits "splines", utilisée habituellement en mécanique pour représenter la flexion de plaques minces.

[0035] La surface réfléchissante 11 étant symétrique par rapport au plan d'élévation (site) yCz, elle est définie par interpolation de points de contrôle disposés sur une grille régulière de mailles rectangulaires dans l'un des demi-plans xCy de l'ouverture du réflecteur limité par le plan de symétrie focal yCz. Le nombre des points de contrôle est N x N par quadrant dans le repère xCy, N étant un entier supérieur ou égal à 2. A titre d'exemples, des grilles avec N = 3 et N = 4 sont illustrées aux figures 4 et 5. Le nombre total I de points de contrôle est de N(2N-1).

[0036] L'équation de la surface de correction comporte I+4 coefficients a_1 à a_I et b_1 à b_4 et un paramètre sans dimension γ représentant la largeur normalisée du domaine d'interpolation par rapport à la focale équivalente f'. L'équation de la surface de correction a la forme suivante :

$$z_c(x,y) = \sum_{i=1}^{I+1} \frac{a_i}{(\gamma \cdot f')^4} [r_i(x,y)]^5 + \frac{b_1}{(\gamma \cdot f')} x^2 + \frac{b_2}{(\gamma \cdot f')} y^2 + b_3 y + b_4 \cdot \gamma \cdot f'$$

avec $r_i(x,y) = [(y-\gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x-\gamma \cdot f' \cdot x_i)^2 + (x+\gamma \cdot f' \cdot x_i)^2]^{1/2}$

[0037] La variable $r_i(x,y)$ est fonction de la distance $(y-\gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x-\gamma \cdot f' \cdot x_i)^2$ entre la projection d'un point quelconque de la surface réfléchissante 11 de coordonnées (x,y) sur le plan xCy et de l'un $(\gamma \cdot f' \cdot x_i, \gamma \cdot f' \cdot y_i)$ des N(2N-1) points de

contrôle de la grille, au produit γ^l près.

[0038] Les 1+4 coefficients de la surface de correction $z_c(x,y)$ sont calculés par résolution d'un système linéaire de 1+4 équations à partir des cotes z_i des points de contrôle. Les cotes z_i sont des inconnues qui s'obtiennent en suivant les deux étapes distinctes ci-après.

[0039] A une première étape, des valeurs approchées de z_i sont calculées en utilisant une formulation analytique fondée sur une décomposition en série de Taylor des aberrations, telles que stigmatisme et aplanétisme. La série du Taylor est à l'ordre 6 pour atteindre une précision suffisante sur la détermination de la cote z . L'équation obtenue pour la surface de correction est paramétrable en fonction de la position d'une source primaire extrême 2E de coordonnées (x_E, y_E, z_E) , qui est la plus décalée le long du support circulaire 3 par rapport au plan de symétrie yCz, et en fonction de l'angle d'ouverture maximal $\alpha_{\max}$ de l'antenne égal à l'angle de défocalisation de la source extrême, comme montré à la figure 1. Cette équation se présente sous la forme suivante :

$$P(x_i, y_i, z_i | x_E, y_E, z_E) = \sum_{n=0}^5 \sum_{m=0}^{10} \sum_{p=0}^{10} a_{n,m,p}(x_E, y_E, z_E, \alpha_{\max}) x_i^{2n} y_i^m z_i^p = 0$$

[0040] Les coefficients $a_{n,m,p}$ s'expriment sous forme polynomiale en fonction de (x_E, y_E, z_E) et $\alpha_{\max}$ et les valeurs de z_i associées au couple (x_i, y_i) s'obtiennent en cherchant la seule racine réelle et physique de l'équation $P(x_i, y_i, z_i) = 0$.

[0041] L'équation ci-dessus ne donne qu'une solution approchée non optimale.

[0042] A une deuxième étape, à partir des points (x_i, y_i, z_i) ainsi calculés, la surface initiale est générée sous la forme de l'équation polynomiale du deuxième degré précitée $z_c(x,y)$. Un processus d'optimisation hybride fondé sur un algorithme génétique couplé à une méthode à gradient ajuste et optimise les valeurs des cotes z_i en satisfaisant simultanément les conditions suivantes ;

- stabilisation de la directivité sur tout le champ de vision du réflecteur,
- respect de caractéristiques de faisceaux radioélectriques normalisés, telles que diagrammes,
- pointage exact de tous les faisceaux sur l'orbite géostationnaire et particulièrement de trois faisceaux correspondant aux deux sources extrêmes défocalisés à $\pm \alpha_{\max}$ et à une source centrale 2F centrée sur le foyer F avec $\alpha = 0$;
- stabilisation des performances sur la bande de fréquence d'utilisation, particulièrement du gain relativement aux sources extrêmes et à la source centrale.

[0043] Après plusieurs dizaines d'itérations successives, les coefficients de l'équation de la surface de correction z_c sont déduites.

[0044] La plage angulaire de couverture de l'antenne dépend du paramètre γ qui définit une famille de surfaces réfléchissantes. L'invention concerne ainsi un ensemble de surfaces réfléchissantes ayant des formes voisines et des performances radioélectriques sensiblement identiques. Lorsque γ augmente, le champ de vision du réflecteur diminue et évolue progressivement vers les performances du réflecteur parabolique au delà de $\gamma = 0,65$ environ. Lorsque γ diminue, le champ de vision augmente ; en dessous du seuil de l'ordre de 0,5, le rendement moyen du réflecteur diminue excessivement entraînant des écarts de directivité importants entre le faisceau central et le faisceau extrême le plus décalé. Une valeur de γ proche de 0,54 ou 0,55 est recommandée pour assurer une couverture $2\alpha_{\max}$ d'une cinquantaine de degrés.

[0045] A titre d'exemple, les coefficients spécifiques dans l'équation définissant la surface de correction $z_c(x,y)$ entrant dans l'équation de la surface réfléchissante 11 du réflecteur 1 sont indiqués dans le tableau suivant pour $N = 4$ et $l = 28$.

I	x_i	y_i	a_i	b_i
1	0,0000	- 1,0000	0,0217	0,01094
2	0,0000	- 0,6667	- 0,0212	- 0,00254
3	0,0000	- 0,3333	0,0922	0,02793
4	0,0000	0,0000	- 0,1789	- 0,0189
5	0,0000	0,3333	0,1232	
6	0,0000	0,6667	- 0,0223	
7	0,0000	1,0000	- 0,0101	
8	0,3333	- 1,0000	- 0,0025	
9	0,3333	- 0,6667	- 0,0494	
10	0,3333	- 0,3333	0,0311	
11	0,3333	0,0000	0,0471	
12	0,3333	0,3333	- 0,0288	
13	0,3333	0,6667	- 0,0225	
14	0,3333	1,0000	0,0198	
15	0,6667	- 1,0000	- 0,0019	
16	0,6667	- 0,6667	- 0,00052	
17	0,6667	- 0,3333	0,00024	
18	0,6667	0,0000	0,0014	

19	0,6667	0,3333	0,00094
20	0,6667	0,6667	0,00041
21	0,6667	1,0000	- 0,00034
22	1,0000	- 1,0000	0,00024
23	1,0000	- 0,6667	0,00029
24	1,0000	- 0,3333	0,000091
25	1,0000	0,0000	- 0,00004
26	1,0000	0,3333	- 0,000067
27	1,0000	0,6667	- 0,00012
28	1,0000	1,0000	0,00009

[0046] La découpe de la surface réfléchissante 11 du réflecteur dont la projection suivant l'axe Cz sur le plan xCy est montrée à la figure 6, n'est pas nécessairement circulaire ou elliptique. Elle est généralisée à une forme

« superquadrique » dont l'équation cartésienne est la suivante :

$$\left[\frac{x}{A}\right]^{2\nu} + \left[\frac{y}{B}\right]^{2\nu} = 1$$

[0047] A désigne le demi-axe du réflecteur suivant l'axe azimutal x, B désigne le demi-axe du réflecteur suivant l'axe d'élévation y de la direction d'offset du réflecteur, et v est un nombre réel positif défini ci-après. Relativement aux figures 4 et 5, la dimension maximale 2A de l'ouverture du réflecteur est inférieure au côté du carré qui vaut $2\gamma f'$ égal typiquement à 103,5 cm environ.

[0048] Les paramètres servant à définir cette courbe sont optimisés de façon à minimiser l'encombrement du réflecteur et à maintenir le rapport (focale équivalente f'/dimension maximale 2A) à une valeur inférieure à un. Leurs valeurs respectives sont indiquées ci-dessous à titre d'exemple :

$$\begin{aligned} A/\lambda &\leq 20, \\ 1,3 &\leq A/B \leq 1,4, \\ 1,0 &\leq \nu \leq 3, \end{aligned}$$

[0049] λ étant la longueur d'onde correspondant à la fréquence centrale de la bande de fréquence d'utilisation.

[0050] Les paramètres A et v sont choisis afin que le réflecteur 1 soit en conformité avec des réglementations nationales concernant l'installation d'antennes individuelles de réception satellite, c'est-à-dire présente une dimension maximale 2A inférieure à 98 cm en bande Ku pour la France. Ces paramètres interviennent également pour ajuster la superficie et donc le gain du réflecteur en fonction de l'application visée.

[0051] Cependant, la forme du contour de la surface réfléchissante peut être sensiblement modifiée pour améliorer l'esthétique du réflecteur sans altérer les performances de celui-ci.

[0052] Chacune des sources primaires 2 comprend, selon une première réalisation, un cornet comportant un tronçon cylindrique arrière 21, un tronçon tronconique intermédiaire 22, un tronçon tronconique avant 23 et une gorge circulaire faciale 24, comme montré aux figures 7 et 9.

[0053] Des cotations géométriques exactes du cornet 2 selon un exemple de réalisation préféré sont précisées dans la vue en coupe montrée à la figure 9. Toutes les dimensions sont normalisées par rapport à la longueur d'onde λ correspondant à la fréquence centrale de la bande de fréquence d'utilisation.

[0054] Si L1, typiquement égal à $1,67 \lambda$, désigne la longueur minimale du tronçon tronconique intermédiaire 21, les longueurs L2 et L3 des deux autres tronçons 22 et 23 sont sensiblement supérieure à L1/2 et sensiblement supérieure à L1, c'est-à-dire L3 est sensiblement égale à 2.L2. Pour un diamètre moyen D1, typiquement égal à $0,7 \lambda$, du tronçon arrière 21 qui est séparé de la petite base du tronçon intermédiaire 22 par trois épaulements, les diamètres D2 et D3 des grandes bases des tronçons tronconiques 22 et 23 sont respectivement sensiblement inférieur à 2.D1 et sensiblement supérieur à 2.D1.

[0055] La gorge 24 est située sur la périphérie de la grande base du tronçon tronconique avant 23 et dans le prolongement de celle-ci. Elle contribue à aplatir le plan d'onde en sortie du cornet et à augmenter ainsi la directivité de celui-ci pour une largeur de bande de 4 GHz environ dans laquelle le cornet a un gain de l'ordre de 15 dBi en moyenne. La gorge a un côté externe 241 de longueur L4 comprise entre L2 et $1,5(L2)$, un côté interne 242 de longueur L5 sensiblement inférieure à L2/2, un diamètre externe $D4=2,05 \lambda$ sensiblement égal à 3(D1), soit une largeur de gorge sensiblement égale à D4/8, et un diamètre interne sensiblement égal à D3, soit $1,62 \lambda$.

[0056] A performances radioélectriques égales vis-à-vis d'un cornet conventionnel, le profil intérieur du cornet 2 de l'invention lui confère une plus grande compacité et permet d'atteindre une séparation angulaire de 3° entre faisceaux consécutifs tout en maintenant le rapport f'/2A du réflecteur faible, inférieur à un. Ce profil permet également de minimiser le coût de fabrication du cornet par moulage.

[0057] Selon une deuxième réalisation, une source primaire est une source diélectrique 4 dite source en "cierge" ou "cigare" dont les cotes géométriques précises sont indiquées à la figure 10 selon un exemple préféré. La source en cierge 4 a également un gain de l'ordre de 15 dBi en moyenne dans la bande utile de 4 GHz et offre un déplacement de centre de phase P4 de l'ordre du centimètre pour une largeur de bande de fréquence de 4 GHz environ pour compenser l'aberration chromatique du réflecteur.

[0058] La source en cierge 4 comprend un "cierge" diélectrique comportant des tronçons cylindriques dont les diamètres diminuent depuis une extrémité arrière vers une extrémité avant en regard du réflecteur. Les tronçons sont un tronçon cylindrique arrière 41 contenu partiellement dans un guide métallique monomode 40, saillant sur une longueur minimale $\ell 1 \cong 1,28 \lambda$ et ayant un diamètre d1 de $0,7 \lambda$ à $0,8 \lambda$ environ, deux tronçons cylindriques intermédiaires 42 et 43 de longueur L23 égal à environ $0,6 \lambda$ et de diamètres respectifs $d2 \cong (3/4)d1 \cong 0,64 \lambda$ et $d3 \cong (7/8)d2 \cong 0,56 \lambda$ et trois tronçons avant 44, 45 et 46 plus minces de longueur L456 égale à environ $(2/3)L23 \cong 0,4 \lambda$ et de diamètres

respectifs $d4 \equiv (3/4)d2 \equiv 0,48 \lambda$, $d5 \equiv (2/3)d2 \equiv 0,40 \lambda$ et $d6 \equiv (1/2)d2 \equiv 0,32 \lambda$. Le diélectrique a une permittivité relative faible voisine de 2 ; par exemple, il est constitué d'une mousse rigide à faible densité avec une texture fine à cellules fermées, présentant une permittivité de préférence comprise entre 1,7 et 1,9.

[0059] La source 4 comprend également une gorge métallique faciale 47 dans le guide métallique 40, s'étendant autour de la partie arrière du tronçon arrière de cierge diélectrique 47, et ayant un diamètre externe $d7 \equiv 3/2 d1 \equiv 1,2 \lambda$. Un côté externe 471 de la gorge 47 a une longueur $L7 \equiv \ell 1/2 \equiv 0,56 \lambda$ plus longue que la longueur $L8 \equiv \ell 1/4 \equiv 0,32 \lambda$ d'un côté interne 472 de la gorge. La gorge a ainsi une largeur comprise entre $(1/8)d1$ environ et $(1/6)d1$ environ.

[0060] En variantes, le guide d'onde 40 est entièrement chargé de diélectrique, ou est muni d'un cône d'adaptation d'impédance 48 de longueur comprise entre $1,5 \lambda$ et $2,5 \lambda$ afin de réaliser la transition du cierge diélectrique vers le guide d'onde vide.

[0061] Comparativement à la source primaire 2 de type cornet, à focale f ou f' égale, la source en cierge 4 est moins encombrante d'au moins 25 % en diamètre et permet d'assurer ainsi une séparation angulaire des faisceaux de 2° environ. A séparation angulaire de faisceaux égale, la focale f ou f' du réflecteur est réduite d'environ 20 % lorsque la source primaire est une source en cierge dont le diélectrique chargeant le guide d'onde 40 est à faible permittivité et faible perte.

[0062] Le support 3 est un tube de forme torique dont l'axe SS en arc de cercle a un centre CS distinct du centre C de la surface réfléchissante 11, comme montré à la figure 11. L'axe circulaire SS passe sensiblement au-dessous du foyer F du réflecteur où le centre de phase P2 (ou P4, figure 10) d'une source primaire centrale 2F située dans le plan de symétrie vertical yCz du réflecteur est positionné exactement, et est contenu dans un plan PS dont l'inclinaison β par rapport au plan horizontal XOZ est fixée par la latitude L de l'antenne, comme montré aux figures 1 et 11.

[0063] L'inclinaison β diffère de l'angle d'offset θ du réflecteur et s'exprime en fonction de celui-ci et de la latitude L de l'antenne sous la forme d'une loi logarithmique qui s'écrit de la façon suivante :

$$\beta = 18,3 \cdot \text{Log}_{10}(\theta - 18,9) + \theta + \frac{L}{6} - 9,$$

[0064] L et θ étant des angles s'exprimant en degrés.

[0065] Le rayon R de l'axe du support circulaire 3 est déduit de la formule suivante :

$$R = \frac{f' \cdot \cos \theta}{\cos(\beta - (L/6 - 9))}.$$

[0066] De préférence, le rayon R du support est compris entre 1 m environ et 1,2 m environ, et l'inclinaison β est comprise entre 35° environ et 40° environ pour un angle d'offset θ de 25° . Par exemple, pour une latitude $L = 45^\circ$, l'inclinaison β est égale à $38,3^\circ$ et le rayon R est égal à 1,1 m.

[0067] L'inclinaison β du plan de support PS distinct du plan focal xCF est choisie en fonction de la latitude L de l'antenne afin que les sources 2, 4 montées sur le support puissent être pointées de manière optimale le long d'une ligne focale (figure 13) correspondant aux orbites géostationnaires des satellites visés. Cette inclinaison β est réglée à $\pm 5^\circ$ près par rotation du support 3 autour des premières extrémités 31 des bras 30, comme montré à la figure 12.

[0068] Le support 3 est par exemple issu d'un tube métallique léger de section égale à 20 mm dont la courbure circulaire est réalisée par cintrage. Il est immobilisé par rapport au réflecteur 1 proprement dit au moyen de deux bras latéraux coudés 30 ayant des premières extrémités 31 articulées aux extrémités du support (figure 12) à et des deuxièmes extrémités emboîtées 32 dans des consoles fixées contre la face arrière convexe du réflecteur (figure 1).

[0069] Le support 3 est percé de trous diamétraux 33 espacés régulièrement pour fixer sélectivement des colliers de fixation coudés 34 des sources primaires 2 ou 4, comme montré à la figure 7. Chaque collier de fixation enserré le guide d'onde arrière 21, 40 d'une source primaire 2, 4 et comporte une rainure 35 à fond semi-cylindrique pour recevoir le support 3. Dans les côtés de la rainure 35 sont ménagées deux glissières longitudinales 36 diamétralement opposées qui sont traversées par une tige filetée de serrage 37 passant par un trou 33 du support de source afin de coulisser le collier 34 avec la source primaire 2, 4 sur le support 3 et de positionner la source primaire pour assurer une visée continue de l'orbite géostationnaire.

[0070] Les colliers de fixation 34 sont orientés avec un angle $\beta - \theta$ par rapport au plan de symétrie PS du support de façon à pointer les sources vers le centre C du réflecteur, comme montré aux figures 2 et 12. L'angle $\beta - \theta$ reste identique quel que soit le déplacement latéral de la source le long du support et est compris entre 10° environ et 20° environ. Sous une latitude L de 45° de l'antenne, l'angle $\beta - \theta$ est de $13,1^\circ$.

[0071] Lorsque l'antenne est installée sous une autre latitude que 30° à 60° , le plan PS du support 3 présente une inclinaison β comprise entre 35° pour des régions proches de l'équateur et 55° pour des régions proches du pôle Nord. L'angle $\beta - \theta$ évolue en sens inverse afin que la différence angulaire $\beta - (\beta - \theta) = \theta$ égale à l'angle d'offset soit comprise entre 20° et 30° .

[0072] La géométrie du support 3 des sources 2, 4 est extrêmement simplifiée pour diminuer son coût de fabrication et faciliter l'installation des sources par un pointage rapide et aisé vers les satellites désirés. Cette propriété intrinsèque n'est obtenue que grâce au jeu des coefficients a_i et b_i associé au choix très particulier des paramètres β - θ , β et R , qui servent à définir la géométrie du support. Toutefois, d'autres types de support comme décrits dans les brevets FR-2 685 131 et EP-0 700 118 peuvent être utilisés.

[0073] Les avantages de l'antenne de l'invention pointée vers les satellites géostationnaires sont illustrés à la figure 13 par neuf diagrammes de rayonnement DR1 à DR9 représentés par des lignes de niveau et correspondant à neuf faisceaux radioélectriques de satellites positionnés le long de l'orbite géostationnaire susceptibles d'être reçus par neuf sources primaires 2, 4 juxtaposées sur le support 3 de l'antenne à une latitude moyenne de 45° .

[0074] Les faisceaux sont distants de $SA=3^\circ$ environ et le maximum de chaque faisceau coïncide parfaitement avec l'orbite géostationnaire OG sur une plage angulaire supérieure à 55° ($[-27,5^\circ, 27,5^\circ]$). Lorsque l'antenne est installée dans une région lointaine de l'équateur EQ, les faisceaux ne sont plus alignés. L'écart par rapport à l'équateur EQ n'étant pas négligeable, il est essentiel de prendre en compte ces corrections tout en préservant un seul degré de liberté dans le positionnement des sources primaires. L'antenne est conçue selon la réalisation préférée pour fonctionner sous des latitudes voisines de 45° , c'est-à-dire pour des latitudes comprises entre 30° environ et 60° environ sans qu'il ne soit nécessaire de rajouter des réglages en élévation, c'est-à-dire des réglages de l'angle β - θ ou de l'angle β , sur le positionnement des sources primaires.

[0075] L'antenne se distingue par les points suivants:

- la conformation spécifique du réflecteur et du support donne la possibilité de suivre rigoureusement des faisceaux non alignés sur l'orbite géostationnaire par une simple translation guidée de sources primaires le long du support sans ajouter de réglages en élévation (un seul degré de liberté) ;
- simplification de la ligne focale de l'antenne qui est désormais parfaitement plane et circulaire ;
- séparation angulaire entre faisceaux consécutifs de 3° environ avec des sources en cornet 2 ou de 2° environ avec des sources en cierge 4, obtenue avec un réflecteur à encombrement réduit, c'est-à-dire un rapport focale/diamètre inférieur à un, grâce notamment à la compacité et la directivité de sources primaires spécifiques ;
- les caractéristiques de rayonnement de chaque faisceau respectent des spécifications normalisées en copolaire et contrapolaire ;
- le rendement moyen de l'antenne reste élevé, de l'ordre de 45%, sur une plage angulaire de balayage supérieure à 50° ;
- une bande passante très large de l'ordre de 35% (10,5 GHz à 14,5 GHz) ;
- des dimensions géométriques d'antenne contenues dans un cube de 1 m^3 ;
- compatibilité de l'antenne avec un positionneur utilisant une monture polaire.

[0076] L'antenne de l'invention est reproductible pour d'autres usages que la réception multi-satellites en bande Ku. Le paramétrage de toutes les dimensions de l'antenne en fonction de la fréquence étend le domaine de l'invention à des applications multimédia.

[0077] L'antenne selon l'invention peut être utilisée :

- pour la réception de plusieurs faisceaux de satellites de l'orbite géostationnaire ;
- pour la réception et/ou l'émission vers l'orbite géostationnaire ;
- avec un déplacement commandé électriquement d'une source primaire unique devant le réflecteur, comme décrit par exemple pour le déplacement d'une tête hyperfréquence dans les brevets FR-2 685 131 et EP-0 700 118.

Revendications

1. Antenne comprenant un réflecteur (1) pour faisceaux de satellite de télécommunications, ayant une surface réfléchissante concave continue (11) dont l'équation est déduite de celle d'un paraboloïde excentré de foyer (F) et d'angle d'offset (θ) en y additionnant l'équation d'une surface de correction et qui est symétrique par rapport à un plan de symétrie focal (yCz) du paraboloïde, **caractérisés en ce que** l'équation de la surface de correction est le polynôme suivant du deuxième degré en deux coordonnées x, y relatives à des axes (Cx, Cy) perpendiculaires à l'axe de symétrie (OZ) du paraboloïde :

$$z_c(x, y) = \sum_{i=1}^{N(2N-1)} \frac{a_i}{(\gamma \cdot f')^5} [r_i(x, y)]^5 + \frac{b_1}{(\gamma \cdot f')^2} x^2 + \frac{b_2}{(\gamma \cdot f')^2} y^2 + b_3 y + b_4 \cdot \gamma \cdot f$$

où N est un entier au moins égal à 2,

$$r_i(x, y) = [(y - \gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x - \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2 + (x + \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2]^{1/2}$$

désigne une distance entre la projection d'un point quelconque de la surface réfléchissante (11) de coordonnées x et y sur un plan (xCy) perpendiculaire au plan de symétrie (yCz) et un point de contrôle de coordonnées x_i et y_i d'une grille s'étendant sur ledit plan perpendiculaire (xCy) et limitée par le plan de symétrie (yCz), a_i et b_1 à b_4 sont des coefficients prédéterminés, γ est un paramètre sans dimension et f' est la distance focale entre le foyer (F) du paraboloïde et le centre (C) de la surface réfléchissante (11).

2. Antenne conforme à la revendication 1, dans laquelle la distance focale entre le foyer du paraboloïde (F) et le centre (C) de la surface réfléchissante (11) est comprise entre 30 fois et 45 fois une longueur d'onde moyenne des faisceaux de satellite, et l'angle d'offset (θ) entre l'axe de paraboloïde (OZ) et le segment joignant le foyer (F) au centre (C) de la surface réfléchissante (11) est compris entre environ 20° et environ 30°.

3. Antenne conforme à la revendication 1 ou 2, dans laquelle le paramètre sans dimension est de l'ordre de 0,55.

4. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant un support (3) en forme d'arc de cercle (SS) supportant des sources primaires (2, 4) orientées vers le centre (C) de la surface réfléchissante, ledit support étant contenu dans un plan de support (PS) et positionné afin que le centre de phase (P_2, P_4) d'une source située dans le plan de symétrie focal (yCz) coïncide sensiblement avec le foyer (F) du paraboloïde, ledit plan de support (PS) ayant une inclinaison (β) par rapport à l'axe de paraboloïde (OZ) supérieure à l'angle d'offset (θ) entre l'axe de paraboloïde et le segment joignant le foyer (F) au centre (C) de la surface réfléchissante (11).

5. Antenne conforme à la revendication 4, dans laquelle l'inclinaison (β) du plan de support (PS) dépend d'une fonction logarithmique de l'angle d'offset (θ) et d'une fonction linéaire de la latitude (L) de l'antenne.

6. Antenne conforme à la revendication 4 ou 5, dans laquelle la différence ($\beta - \theta$) entre l'inclinaison du plan de support (PS) et l'angle d'offset est comprise entre 10° environ et 20° environ.

7. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans laquelle le support (3) a un rayon (R) qui est proportionnel à la distance focale (f') entre le foyer du paraboloïde (F) et le centre (C) de la surface réfléchissante (11) et qui dépend d'une fonction trigonométrique de l'inclinaison (β) du plan de support (PS) et de l'angle d'offset (θ),

8. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans laquelle le support (3) est monté à rotation autour d'un axe fixe par rapport au réflecteur et passant par des extrémités (31) du support.

9. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant au moins deux sources primaires (2, 4) ayant une séparation angulaire de rayonnement (SA) au plus égale à 3° environ.

10. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant au moins une source primaire en cornet (2) ayant un tronçon cylindrique arrière (21), un tronçon tronconique intermédiaire (22) de diamètre de grande base (D2) sensiblement inférieur au double du diamètre moyen (D1) du tronçon arrière, et un tronçon tronconique avant (23) de longueur (L3) sensiblement supérieure au double de la longueur (L2) du tronçon intermédiaire et un diamètre de grande base (D3) sensiblement égal au double du diamètre moyen (D1) du tronçon arrière.

11. Antenne conforme à la revendication 10, dans laquelle la source primaire en cornet (2) comprend une gorge faciale (24) située à la périphérie de la grande base du tronçon tronconique avant (23), ayant une largeur sensiblement égale au huitième du diamètre de grande base (D3) du tronçon avant, et limitée par un côté externe (241) plus

long que le côté interne (242) de la gorge.

12. Antenne conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 11, comprenant au moins une source primaire en
cierge diélectrique (4).

13. Antenne conforme à la revendication 12, dans laquelle la source en cierge diélectrique comprend un cierge diélectrique comportant des premier, deuxième et troisième tronçons cylindriques (41 ; 42-43 ; 44-45-46) de longueurs (ℓ_1 ; 2.L23 ; 3.L456) sensiblement identiques et ayant des diamètres diminuant d'un tronçon au suivant depuis une extrémité arrière vers une extrémité avant de la source dans des rapports compris entre 3/4 environ et 9/16 environ et compris entre 1/2 environ et 2/3 environ.

14. Antenne conforme à la revendication 12, dans laquelle la source en cierge diélectrique comprend un cierge diélectrique comportant un premier tronçon cylindrique (41), des deuxième et troisième tronçons (42, 43) ayant des longueurs (L23) sensiblement égales à la moitié d'une longueur minimale (ℓ_1) du premier tronçon et des diamètres inférieurs au diamètre du premier tronçon et dans un rapport de sensiblement 2/3 à 7/8 entre eux, et des quatrième, cinquième et sixième tronçons (44, 45, 46) ayant des longueurs (L456) sensiblement égales au tiers de la longueur minimale du premier tronçon et des diamètres inférieurs au diamètre du troisième tronçon et dans des rapports de sensiblement 3/4 à 7/8 d'un tronçon au suivant.

15. Antenne conforme à la revendication 13 ou 14, dans laquelle la source primaire en cierge (2) comprend une gorge métallique (47) s'étendant partiellement autour du premier tronçon (41) du cierge diélectrique, ayant une largeur comprise entre le huitième environ et le sixième environ du diamètre (d_1) du premier tronçon (41), et limitée par un côté externe (471) plus long qu'un côté interne (472) de la gorge.

Patentansprüche

1. Antenne, einen Reflektor (1) für Strahlenbündel von Telekommunikationssatelliten enthaltend, der eine konkave, durchgehende, reflektierende Fläche (11) aufweist, deren Gleichung von der eines exzentrischen Paraboloiden mit Brennpunkt (F) und Winkelversatz (θ) abgeleitet ist, indem zu dieser die Gleichung einer Korrekturfläche addiert wird, und die relativ zu einer Brennpunktsymmetrieebene (yCz) des Paraboloiden symmetrisch ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gleichung der Korrekturfläche das folgende Polynom zweiten Grades zweier Koordinaten x , y ist, die sich auf senkrecht zur Symmetrieachse (OZ) des Paraboloiden stehende Achsen (Cx , Cy) beziehen:

$$z_c(x,y) = \sum_{i=1}^{i=N(2N-1)} \frac{a_i}{(\gamma \cdot f')^i} [r_i(x,y)]^5 + \frac{b_1}{(\gamma \cdot f')} x^2 + \frac{b_2}{(\gamma \cdot f')} y^2 + b_3 y + b_4 \cdot \gamma \cdot f'$$

wobei N eine ganze Zahl mindestens gleich 2 ist,

$$r_i(x,y) = [(y - \gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x - \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2 + (x + \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2]^{1/2}$$

einen Abstand zwischen der Projektion eines beliebigen Punktes der reflektierenden Fläche (11) mit den Koordinaten x und y auf eine Ebene (xCy), die auf der Symmetrieebene (yCz) senkrecht steht, und einem Kontrollpunkt mit den Koordinaten x_i und y_i eines Gitters bezeichnet, das sich über die genannte senkrechte Ebene (xCy) erstreckt und durch die Symmetrieebene (yCz) begrenzt wird, a_i und b_1 bis b_4 vorbestimmte Koeffizienten sind, γ ein dimensionsloser Parameter und f' die Brennweite zwischen dem Brennpunkt (F) des Paraboloiden und dem Zentrum (C) der reflektierenden Fläche (11) ist.

2. Antenne nach Patentanspruch 1, bei der die Brennweite zwischen dem Brennpunkt (F) des Paraboloiden und dem Zentrum (C) der reflektierenden Fläche (11) zwischen dem 30-fachen und dem 45-fachen einer mittleren Wellenlänge der Satellitenstrahlenbündel beträgt, und der Versatzwinkel (θ) zwischen der Achse des Paraboloiden (OZ) und dem Segment, das den Brennpunkt (F) mit dem Zentrum (C) der reflektierenden Oberfläche (11) verbindet, zwischen ungefähr 20° und ungefähr 30° liegt.

3. Antenne nach Patentanspruch 1 oder 2, bei der der dimensionslose Parameter in der Größenordnung von 0,55 liegt.
- 5 4. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 1 bis 3, einen Träger (3) in Form eines Kreisbogens (SS) umfassend, der aktive Strahler (2, 4) trägt, die auf das Zentrum (C) der reflektierenden Fläche gerichtet sind, wobei der genannte Träger in einer Trägerebene (PS) enthalten und derart positioniert ist, dass das Phasenzentrum (P_2 , P_4) eines Strahlers, der sich in der Brennpunktsymmetrieebene (yCz) befindet, im wesentlichen mit dem Brennpunkt (F) des Paraboloiden zusammenfällt, wobei die genannte Trägerebene (PS) eine Neigung (β) relativ zur Achse des Paraboloiden (OZ) aufweist, die größer ist, als der Versatzwinkel (θ) zwischen der Achse des Paraboloiden und dem Segment, das den Brennpunkt (F) mit dem Zentrum (C) der reflektierenden Oberfläche (11) verbindet.
- 10 5. Antenne nach Patentanspruch 4, bei der die Neigung (β) der Trägerebene (PS) von einer logarithmischen Funktion des Versatzwinkels (θ) und einer linearen Funktion des Breitengrades (L) der Antenne abhängt.
- 15 6. Antenne nach Patentanspruch 4 oder 5, bei der die Differenz ($\beta - \theta$) zwischen der Neigung der Trägerebene (PS) und dem Versatzwinkel zwischen ungefähr 10° und ungefähr 20° beträgt.
- 20 7. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 4 bis 6, bei der der Träger (3) einen Radius (R) hat, der proportional ist zur Brennweite (f') zwischen dem Brennpunkt (F) des Paraboloiden und dem Zentrum (C) der reflektierenden Fläche (11), und der von einer trigonometrischen Funktion der Neigung (β) der Trägerebene (PS) und des Versatzwinkels (θ) abhängt.
- 25 8. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 4 bis 7, bei der der Träger (3) um eine relativ zum Reflektor feste Achse, die durch Enden (31) des Trägers verläuft, drehbar montiert ist.
9. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 1 bis 8, mindestens zwei aktive Strahler (2, 4) umfassend, die einen Winkelabstand der Strahlung (SA) von höchstens ungefähr 3° haben.
- 30 10. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 1 bis 9, mindestens einen trichterförmigen aktiven Strahler (2) umfassend, der über einen zylindrischen hinteren Abschnitt (21) verfügt, einen kegelstumpfförmigen mittleren Abschnitt (22) mit einem Durchmesser der großen Basis (D2), der wesentlich kleiner ist, als das Doppelte des mittleren Durchmessers (D1) des hinteren Abschnittes, und einen kegelstumpfförmigen vorderen Abschnitt (23), dessen Länge (L3) wesentlich größer ist, als das Doppelte der Länge (L2) des mittleren Abschnittes, und der Durchmesser der großen Basis (D3) im wesentlichen gleich dem Doppelten des mittleren Durchmessers (D1) des hinteren Abschnittes.
- 35 11. Antenne nach Patentanspruch 10, bei der der trichterförmige aktive Strahler (2) eine Frontrille (24) aufweist, die an der Peripherie der großen Basis des kegelstumpfförmigen vorderen Abschnittes (23) angeordnet ist und eine Breite hat, die im wesentlichen gleich dem Achtel des Durchmessers der großen Basis (D3) des vorderen Abschnittes ist, und durch eine Außenseite (241) begrenzt ist, die länger ist, als die Innenseite (242) der Rille.
- 40 12. Antenne nach irgendeinem der Patentansprüche 1 bis 11, mindestens einen dielektrischen Stielstrahler (4) als aktiven Strahler umfassend.
- 45 13. Antenne nach Patentanspruch 12, bei der der dielektrische Stielstrahler einen dielektrischen Stiel umfasst, der einen ersten, einen zweiten und einen dritten zylindrischen Abschnitt (41; 42-43; 44-45-46) im wesentlichen gleicher Längen (L1; 2·L23; 3·L456) umfasst, deren Durchmesser sich vom hinteren Ende zum vorderen Ende des Strahlers von einem Abschnitt zum nächsten in Verhältnissen verringern, die zwischen ungefähr 3/4 und ungefähr 9/16 liegen und zwischen ungefähr 1/2 und ungefähr 2/3.
- 50 14. Antenne nach Patentanspruch 12, bei der der dielektrische Stielstrahler einen dielektrischen Stiel umfasst, der einen ersten zylindrischen Abschnitt (41) aufweist, einen zweiten und einen dritten zylindrischen Abschnitt (42, 43) deren Längen (L23) im wesentlichen der Hälfte einer Minimallänge (11) des ersten Abschnittes gleich sind und deren Durchmesser geringer sind, als der Durchmesser des ersten Abschnittes, mit einem Verhältnis von im wesentlichen 2/3 bis 7/8 zueinander, und einen vierten, einen fünften und einen sechsten Abschnitt (44, 45, 46), deren Längen (L456) im wesentlichen gleich dem Drittel der Minimallänge des ersten Abschnittes sind und deren Durchmesser kleiner sind, als der Durchmesser des dritten Abschnittes, mit einem Verhältnis von im wesentlichen 3/4 bis 7/8 von einem Abschnitt zum nächsten.
- 55

15. Antenne nach Patentanspruch 13 oder 14, bei der der aktive Stielstrahler (2) eine metallische Rille (47) umfasst, die teilweise um den ersten Abschnitt (41) des dielektrischen Stieles verläuft und deren Breite zwischen ungefähr einem Achtel und ungefähr einem Sechstel des Durchmessers (d_1) des ersten Abschnittes (41) liegt und die von einer Außenseite (471) begrenzt ist, die länger ist, als eine Innenseite (472) der Rille.

Claims

1. An antenna comprising a reflector (1) for telecommunication satellite beams, having a continuous concave reflecting surface (11) whose equation is deduced from the equation of an offset paraboloid having a focus (F) and an offset angle (θ) by adding thereto the equation of a correction surface and which is symmetrical about a focal plane of symmetry (yCz) of the paraboloid, **characterized in that** the equation of the correction surface comprises a second order polynomial in two coordinates x, y relative to axes (Cx, Cy) perpendicular to the axis of symmetry (OZ) of the paraboloid:

$$z_c(x, y) = \sum_{i=1}^{i=N(2N-1)} \frac{a_i}{(\gamma \cdot f')^i} [r_i(x, y)]^i + \frac{b_1}{(\gamma \cdot f')} x^2 + \frac{b_2}{(\gamma \cdot f')} y^2 + b_3 y + b_4 \cdot \gamma \cdot f$$

where N is an integer not less than 2,

$$r_i(x, y) = [(y - \gamma \cdot f' \cdot y_i)^2 + (x - \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2 + (x + \gamma \cdot f' \cdot x_i)^2]^{1/2}$$

denotes a distance between the projection of coordinates x and y of any point on the reflecting surface (11) onto a plane (xCy) perpendicular to the plane of symmetry (yCz) and a control point of coordinates x_i and y_i on a grid extending over said perpendicular plane (xCy) and limited by the plane of symmetry (yCz), a_i and b_1 to b_4 are predetermined coefficients, γ is a dimensionless parameter and f' is a focal distance between the focus (F) of the paraboloid and the center (C) of the reflecting surface (11).

2. An antenna according to claim 1, in which the focal distance between the paraboloid focus (F) and the center (C) of the reflecting surface (11) lies between 30 times and 45 times the average wavelength of the satellite beams, and the offset angle (θ) between the axis of the paraboloid (OZ) and the segment joining the focus (F) to the center (C) of the reflecting surface (11) lies between about 20° to about 30°.
3. An antenna according to claim 1 or 2, in which the dimensionless parameter is of the order of 0.55.
4. An antenna according to any one of claims 1 to 3, comprising a circular arc shape (SS) support (3) for supporting primary sources (2, 4) oriented toward the center (C) of the reflecting surface, said support lying in a support plane (PS) and positioned so that the phase center (P_2, P_4) of a source situated in the focal plane of symmetry (yCz) coincides substantially with the paraboloid focus (F), said plane support (PS) having an inclination (β) to the axis of the paraboloid (OZ) greater than the offset angle (θ) between the axis of the paraboloid and the segment joining the focus (F) to the center (C) of the reflecting surface (11).
5. An antenna according to claim 4, in which the inclination (β) of the support plane (PS) depends on a logarithmic function of the offset angle (θ) and a linear function of the latitude (L) of the antenna.
6. An antenna according to claim 4 or 5, in which the difference ($\beta - \theta$) between the inclination of the support plane (PS) and the offset angle is from approximately 10° to approximately 20°.
7. An antenna according to any one of claims 4 to 6, in which the support (3) has a radius (R) which is proportional to the focal distance (f') between the paraboloid focus (F) and the center (C) of the reflecting surface (11) and which depends on a trigonometric function of the inclination (β) of the support plane (PS) and the offset angle (θ).
8. An antenna according to any one of claims 4 to 7, in which the support (3) is rotatably mounted about an axis fixed relative to the reflector and passing through the ends (31) of the support.

9. An antenna according to any one of claims 1 to 8, comprising at least two primary sources (2, 4) having an angular radiation separation (SA) not greater than approximately 3° .
10. An antenna according to any one of claims 1 to 9, comprising at least one horn primary source (2) having a cylindrical rear section (21), a frustoconical intermediate section (22) whose larger base diameter (D2) substantially less than twice a average diameter (D1) of the rear section, and a frustoconical front section (23) whose length (L3) is substantially greater than twice the length (L2) of the intermediate section and a larger base diameter (D3) substantially equal to twice the average diameter (D1) of the rear section.
11. An antenna according to claim 10, in which the horn primary source (2) comprises a facial groove (24) situated at the periphery of the larger base of the frustoconical front section (23), having a width substantially equal to $1/8$ the diameter of the larger base (D3) of the front section, and delimited by an outside edge (241) longer than the inside edge (242) of the groove.
12. An antenna according to any one of claims 1 to 11, comprising at least one dielectric candle primary source (4).
13. An antenna according to claim 12, in which the dielectric candle source comprises a dielectric candle having first, second and third cylindrical sections (41 ; 42-43 ; 44-45-46) of substantially identical lengths (11 ; 2.L23 ; 3.L456) and diameters decreasing from one section to the next from a rear end toward a front end of the source in ratios from approximately $3/4$ to approximately $9/16$ and from approximately $1/2$ to approximately $2/3$.
14. An antenna according to claim 12, in which the dielectric candle source comprises a dielectric candle having a cylindrical first section (41), second and third sections (42, 43) having lengths (L23) substantially equal to half a minimum length (11) of the first section and diameters less than the diameter of the first section and in a ratio to each other from substantially $2/3$ to substantially $7/8$, and fourth, fifth and sixth sections (44, 45, 46) having lengths (L456) substantially equal to $1/3$ the minimum length of the first section and diameters less than the diameter of the third section and in ratios from substantially $3/4$ to $7/8$ from one section to the next.
15. An antenna according to claim 13 or 14, in which the candle primary source (2) comprises a metal groove (47) extending partly around the first section (41) of the dielectric candle, having a width from approximately $1/8$ to approximately $1/6$ the diameter (d1) of the first section (41), and delimited by an outside edge (471) longer than an inside edge (472) of the groove.

FIG. 1

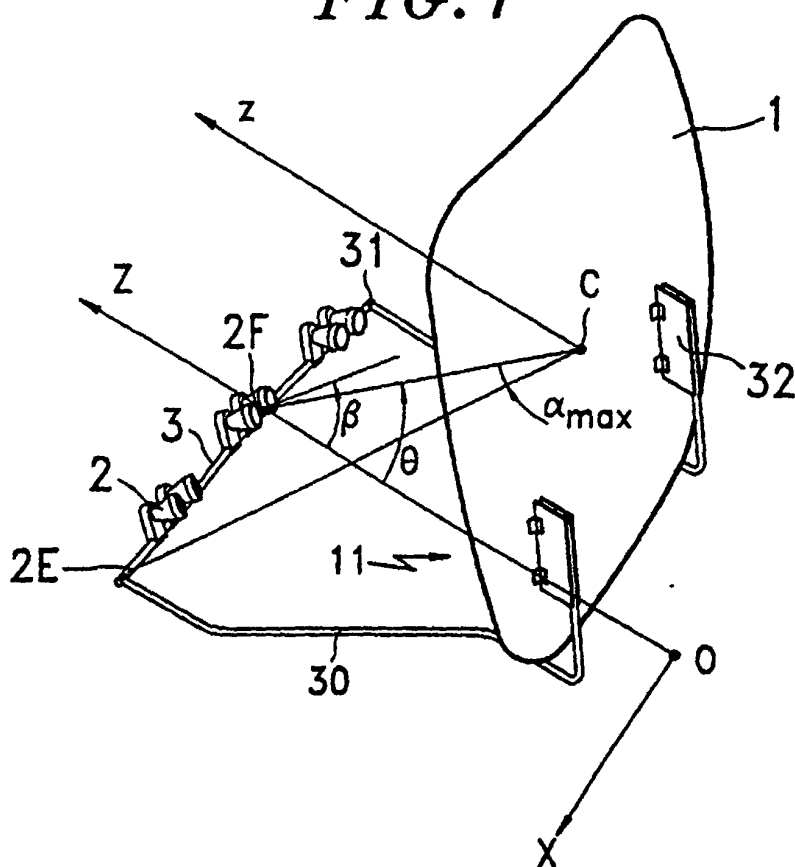


FIG. 13

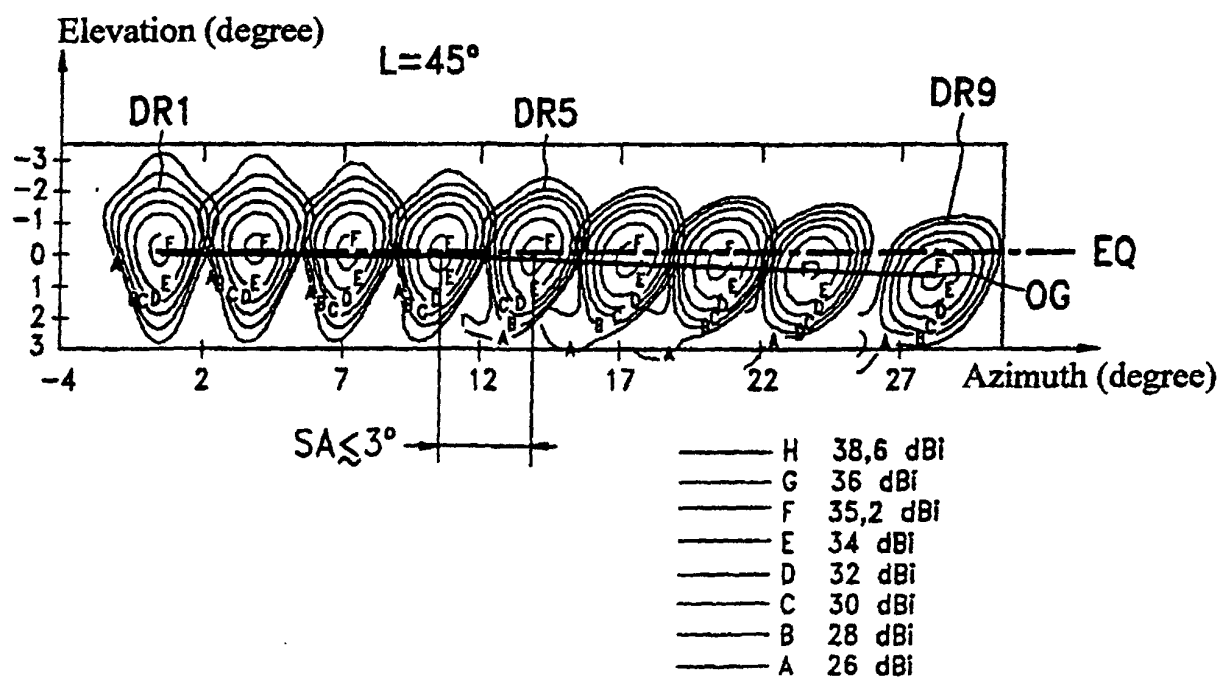


FIG. 2

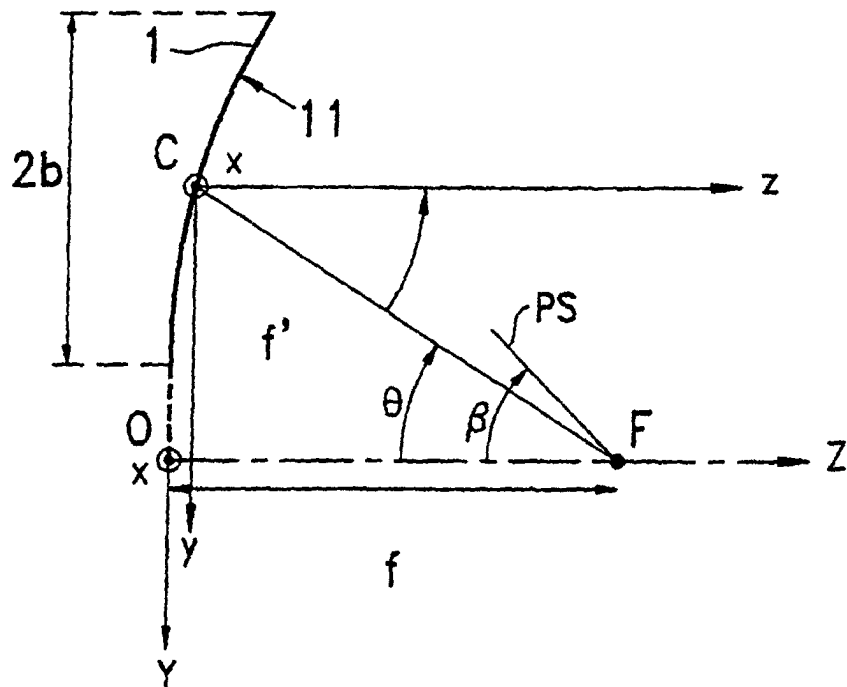
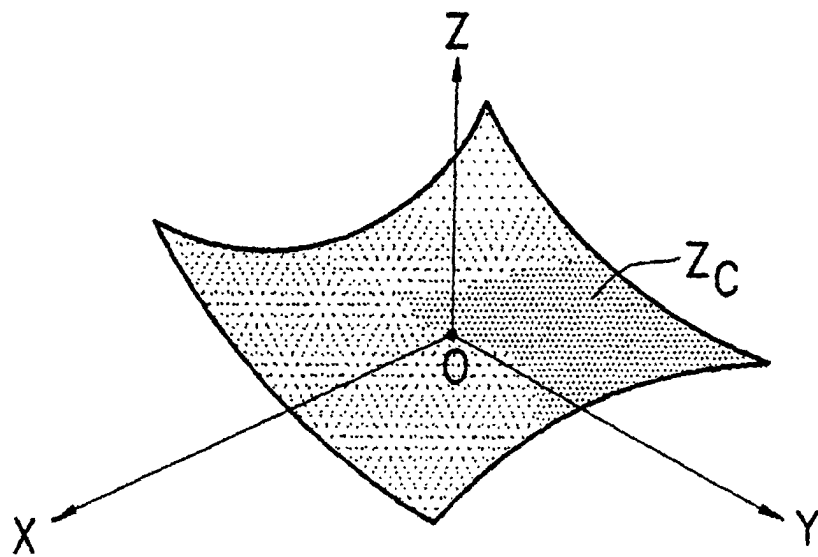


FIG. 3



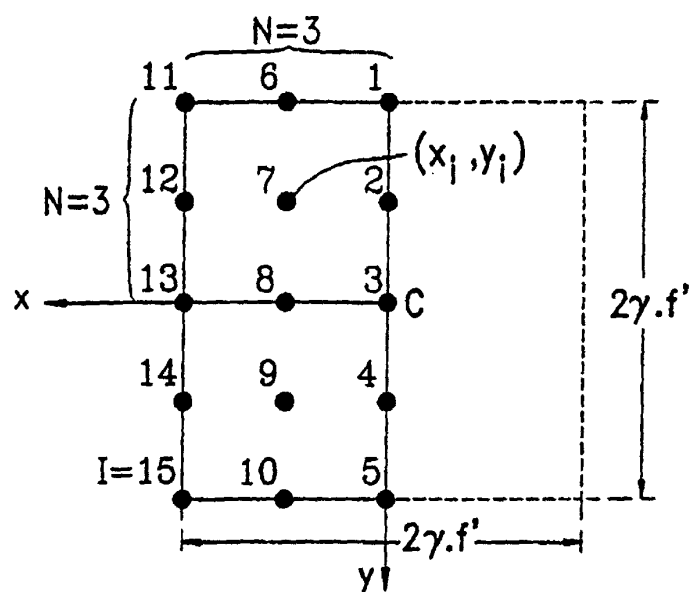


FIG. 4

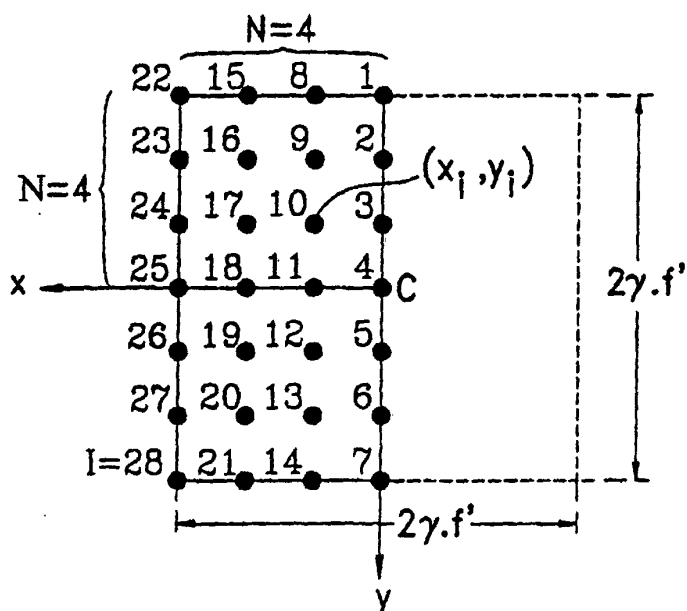


FIG. 5

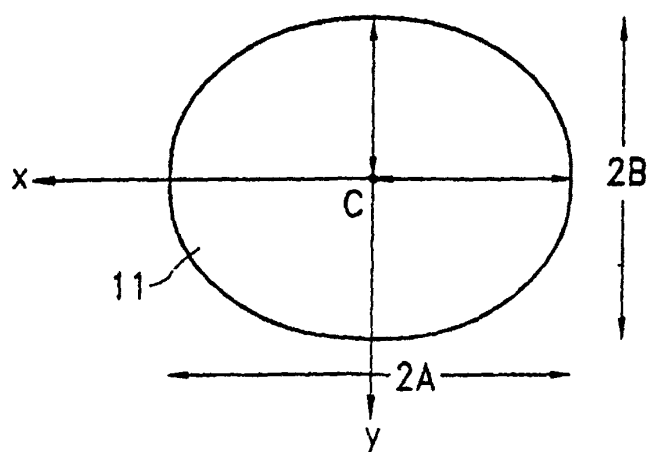


FIG. 6

FIG. 7

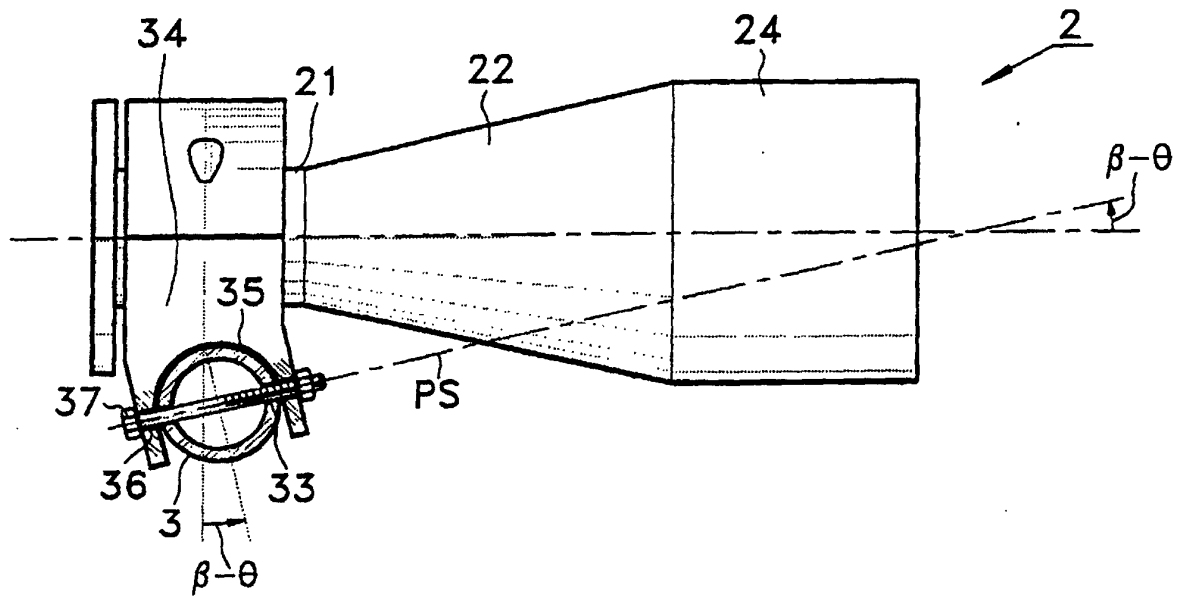


FIG. 8

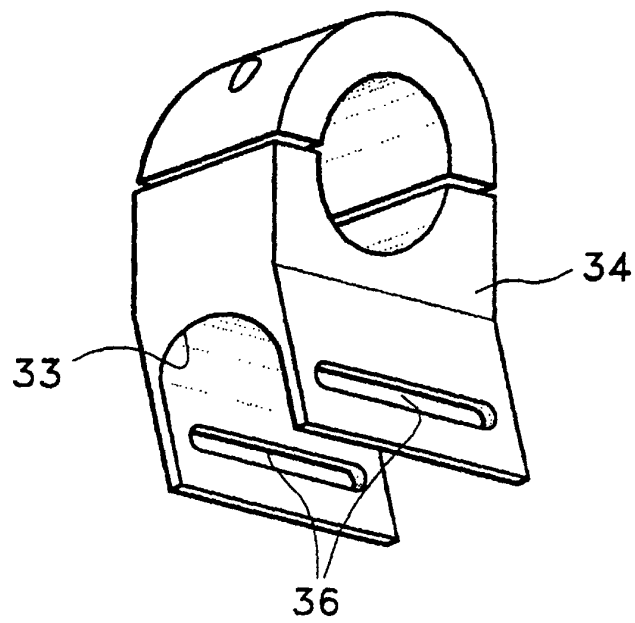


FIG. 9

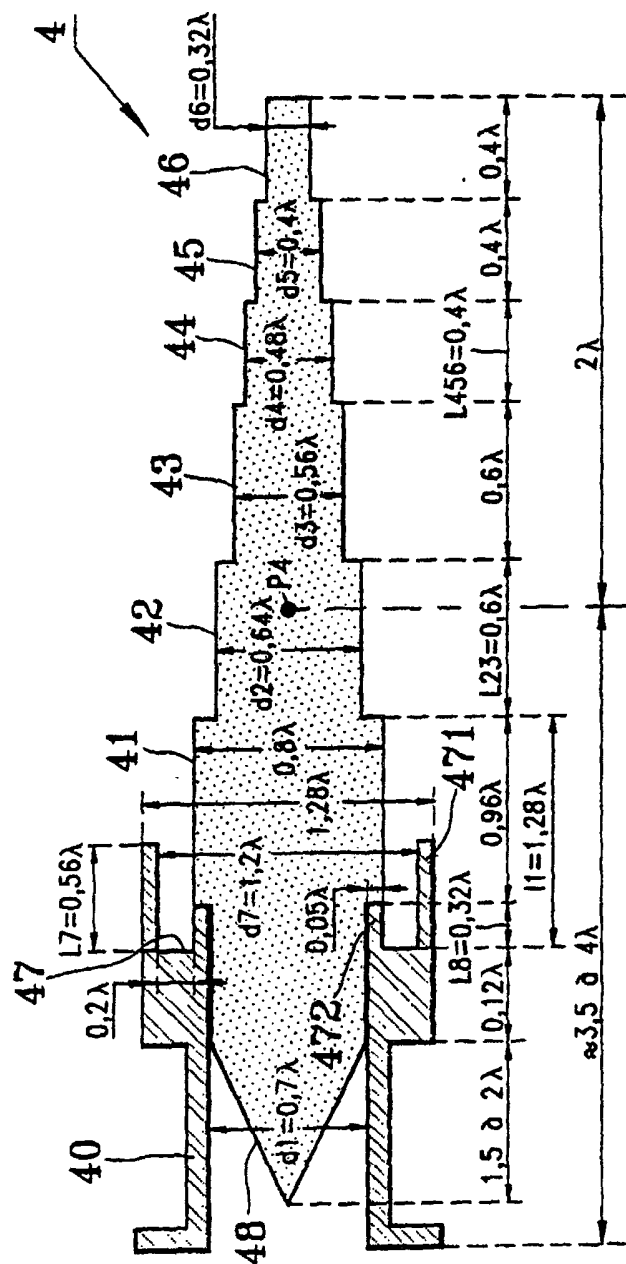
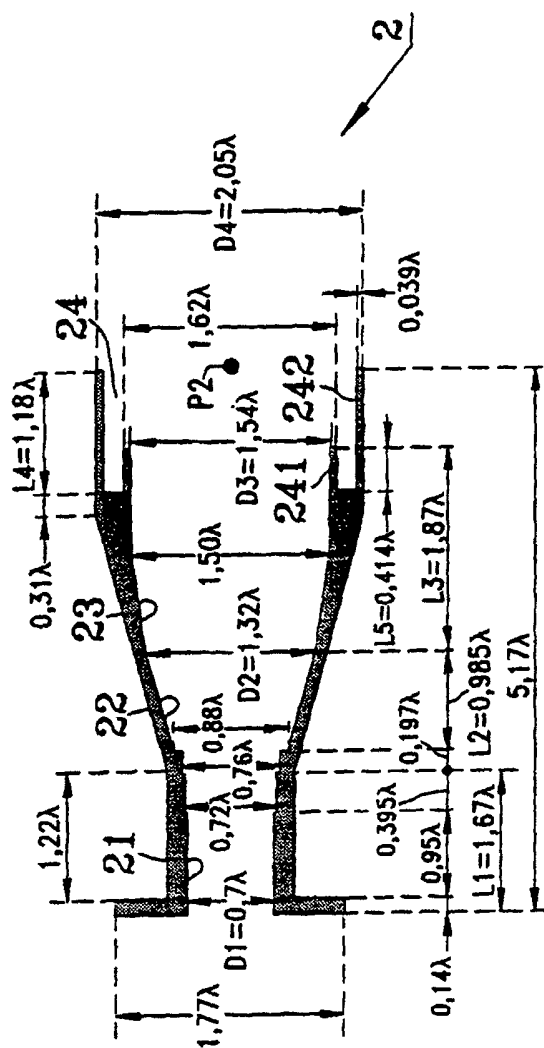


FIG. 10

