

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 638 956 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
08.05.2002 Bulletin 2002/19

(51) Int Cl.7: **H01Q 19/19**, H01Q 3/26,
H01Q 25/00

(21) Numéro de dépôt: **94401772.2**

(22) Date de dépôt: **02.08.1994**

(54) **Antenne active à balayage électronique en azimut et en élévation, en particulier pour l'imagerie hyperfréquence par satellite**

Aktive Antenne mit elektronischem Absuchen in Azimut und Elevation, insbesondere für Mikrowellen-Abbildung mittels Satellit

Active antenna with electronic scanning in azimuth and elevation, particularly for microwave imaging by satellite

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB IT

(30) Priorité: **04.08.1993 FR 9309617**

(43) Date de publication de la demande:
15.02.1995 Bulletin 1995/07

(73) Titulaire: **ALCATEL**
75382 Paris Cédex 08 (FR)

(72) Inventeurs:
• **Lenormand, Régis**
F-31700 Blagnac (FR)
• **Villemur, Charles**
F-31120 Portet Sur Garonne (FR)

(74) Mandataire: **Smith, Bradford Lee et al**
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Dépt. Propriété Industrielle
30, avenue Kléber
75116 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 548 876

- **IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION**, vol.39, no.3, Mars 1991, NEW YORK US pages 391 - 400 DAVIS ET AL. 'A Scanning Reflector Using an Off-Axis Space-Fed Phased-Array Feed'
- **IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION**, vol.39, no.7, Juillet 1991, NEW YORK US pages 919 - 925 BUCCI ET AL. 'Reconfigurable Arrays by Phase-Only Control'
- **IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM**, vol.1, Juillet 1992, CHICAGO, ILLINOIS, USA pages 2 - 4 LENORMAND ET AL. 'LARGE ANGULAR ELECTRONIC BEAM STEERING ANTENNA FOR SPACE APPLICATION'

EP 0 638 956 B1

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).

Description

[0001] Le domaine de l'invention est celui des antennes actives à balayage électronique, et plus particulièrement des antennes dont l'ouverture efficace doit être large par rapport aux dimensions du réseau de sources élémentaires rayonnantes. Une telle antenne est généralement constituée d'un réflecteur d'une forme appropriée, illuminée par un réseau de sources élémentaires dont les phases relatives peuvent être contrôlées pour diriger le faisceau autour d'une direction moyenne. L'invention sera particulièrement adaptée pour obtenir des avantages déterminants quand appliquée dans le domaine d'antennes embarquées sur satellite, par exemple pour des applications d'imagerie radar. L'invention peut être utilisée également à bord des avions ou toute autre aéronef pour des applications d'imagerie radar. L'antenne selon l'invention peut aussi être adaptée pour des applications terrestres qui demandent un balayage électronique selon un ou deux axes orthogonaux.

[0002] Il est connu de confier à des satellites circulant en orbite basse des missions d'imagerie radar hyperfréquence. Le satellite en orbite basse se déplace par rapport à un point fixe sur la surface de la terre, à l'opposé d'un satellite géostationnaire. Ce déplacement permet au satellite d'observation de survoler la terre, selon une direction déterminée par son orbite. Une compilation des observations successives, effectuées depuis des positions successives sur ce trajet orbital, permet la synthèse d'une ouverture radar (SAR ou Synthetic Aperture Radar en anglais) ayant des dimensions bien plus grandes que celles, physiques, de l'antenne embarquée. Cette ouverture plus grande permet une résolution plus fine des détails de l'image radar obtenu.

[0003] Les paramètres de l'orbite du satellite ne permettent pas de survoler un endroit précis à un moment donné ; l'observation d'un lieu donné doit attendre que le satellite se trouve au dessus de ce lieu. Pour pallier à ce manque de souplesse, l'antenne d'un radar SAR doit être orientable pour viser l'endroit voulu, même s'il se trouve légèrement décalé par rapport à la position du satellite. Les directions de visé sont définies par rapport à la trajectoire du satellite : l'azimut dans le plan de l'orbite, c'est-à-dire devant et derrière la verticale ; et l'élévation dans un plan perpendiculaire au plan de l'orbite et à la trajectoire du satellite, c'est-à-dire la vise latérale de chaque côté du plan de l'orbite.

[0004] Dans les réalisations d'antenne utilisant le balayage électronique, le faisceau de rayonnement électromagnétique est orientable électroniquement, sans déplacement physique de l'antenne par rapport à la plateforme, que ce soit un satellite ou un aéronef. Pour les applications de radar SAR, plusieurs paramètres de performance de l'antenne sont particulièrement critiques, notamment en ce qui concerne le diagramme de rayonnement. Pour éviter une image radar brouillée, il faut en effet illuminer la cible avec un pinceau de rayonnement, et ensuite ne collecter en réception que les on-

des réfléchies provenant de ce pinceau. Pour cette raison, la conception d'antenne est poussée dans le sens des lobes secondaires très faibles, en tout cas bien inférieure à -20 dB par rapport au lobe principal, et un lobe principal étroit avec des flancs raides. Lors du balayage électronique du faisceau, ces qualités doivent être conservées pour éviter une dégradation éventuelle de la qualité de l'image.

[0005] Ces contraintes imposent, pour une surface de rayonnement donné, de contrôler finement les caractéristiques de la forme d'onde émise ou reçue.

[0006] Dans le cas d'une antenne réseau à rayonnement direct, cette finesse de contrôle est obtenue par un échantillonnage relativement fin de la surface du réseau. Chaque échantillon du réseau est constitué d'un ou plusieurs éléments rayonnants, et la caractéristique de phase de l'onde émise ou reçue par cet échantillon est ajustée par un équipement déphaseur hyperfréquence.

[0007] A titre d'exemple, une antenne réseau à rayonnement direct qui satisfait aux spécifications d'un système d'imagerie radar hyperfréquence embarqué sur satellite circulant autour de la terre en orbite basse, a typiquement une surface rayonnante de l'ordre de 200 x 500 cm et un nombre d'échantillons de l'ordre de 4000. Ceci implique l'utilisation de 4000 points de contrôle de phase, ou dans une construction courante d'une antenne radar ayant un déphaseur pour la voie d'émission et un déphaseur pour la voie réception sur 4000 voies, 8000 déphaseurs. Ces déphaseurs sont des déphaseurs variables, donc il faut prévoir 8000 circuits de commande pour effectuer la mise en forme du faisceau et le balayage électronique, ainsi qu'une électronique de calcul et d'adressage de commandes pour calculer et ensuite appliquer les valeurs appropriées au déphaseurs en vue d'obtenir les paramètres adéquats du faisceau.

[0008] Pour diminuer la complexité d'une antenne réseau destinée à ces applications, on préférera souvent utiliser, pour de telles applications, une antenne à réflecteur. Dans le cas d'un radar embarqué à bord d'un satellite en orbite basse, les domaines de balayage d'antenne sont de quelques degrés en azimut, et de quelques dizaines de degrés en élévation. Ces paramètres conduisent à l'utilisation d'un réflecteur ayant une forme cylindro-parabolique avec ses génératrices sensiblement perpendiculaires à la direction instantanée de déplacement du satellite. La différence entre l'étendue des domaines de balayage en azimut et en élévation, ainsi que la forme cylindro-parabolique du réflecteur, introduisent une dissymétrie entre les mesures à prendre pour assurer le balayage en azimut, d'une part, et le balayage en élévation, d'autre part. Bien que les moyens employés dans les deux cas soient similaires, pour la clarté de la discussion qui suit, nous traiterons ces deux sens orthogonaux de balayage séparément.

[0009] La disposition relative de la source émettrice et du réflecteur à bord du satellite est généralement

d'une géométrie dite "offset", selon laquelle la source émettrice, qui se trouve sensiblement au foyer du réflecteur, est décalée par rapport au faisceau finalement rayonné après réflexion sur ce réflecteur cylindro-parabolique.

[0010] Pour une telle antenne à réflecteur, le balayage en azimut, qui s'effectue dans le plan d'offset, est réalisé par une synthèse de la tâche focale dans la direction de l'azimut. Une synthèse satisfaisante ne peut être obtenue qu'avec un nombre de sources suffisant, chacune de ces sources étant excitée avec une pondération bien déterminée en amplitude. Une antenne à réflecteur de l'art connu est représentée partiellement et schématiquement sur la figure 1. Seules les parties nécessaires pour obtenir le balayage en azimut sont représentées sur cette figure 1.

[0011] Il s'agit d'une antenne à réflecteur cylindro-parabolique 5, dont le plan d'offset, dans lequel est réalisé le balayage en azimut, est le plan qui contient les ligne et courbe dessinées en pointillés. On ne considère, sur cette figure, qu'un réseau linéaire de sources élémentaires (1,2,3,4), avec la ligne droite qui relie les centres géométriques de ces sources disposées dans le même plan que les ligne et courbe dessinées en pointillés.

[0012] La source émettrice (ou réceptrice) principale considérée est la source 1, constituée par exemple par un cornet placé sur la ligne focale (non-représentée) du réflecteur 5. Cette source 1 est alimentée par l'intermédiaire d'un amplificateur A1 à gain réglable, ainsi que d'un déphaseur réglable D1.

[0013] Le diagramme de rayonnement de cette source 1 prise isolément, fait normalement apparaître, de part et d'autre du lobe principal, deux lobes secondaires parasites à -17 dB qu'il est nécessaire de supprimer dans le cas d'une mission SAR. Cette suppression de lobes secondaires est réalisée par l'utilisation de deux autres sources (2,3) qui sont disposées de part et d'autre de la source principale 1. Ces deux sources sont elles-aussi alimentées par l'intermédiaire d'un amplificateur et d'un déphaseur réglables, respectivement A2, D2, A3, D3. Elles sont chacune légèrement dépointées par rapport à la direction de pointage de la source principale 1, et plus spécifiquement elles sont pointées respectivement en direction des deux lobes secondaires de part et d'autre du lobe principal de la source principale 1.

[0014] Les déphaseurs et amplificateurs réglables A2,D2,A3,D3 de ce dispositif connu sont ajustés pour conférer à ces sources secondaires 2, 3 une amplitude de -17 dB par rapport à la source principale 1, mais en opposition de phase avec le lobe principal de rayonnement de ce dernier, de façon à annuler ces lobes secondaires par interférence destructive.

[0015] Pour effectuer un balayage électronique en azimut, il suffit d'exciter la source 3 à puissance nominale en source principale, et les sources 1 et 4 avec une amplitude de -17 dB et en opposition de phase pour annuler les lobes secondaires de la source principale 3.

Le déplacement de l'axe du rayonnement émis vers le réflecteur a pour résultat un dépointage selon un angle d'azimut déterminé par la géométrie relative des sources et du réflecteur.

5 **[0016]** Ce dispositif est capable d'émettre (ou de recevoir) le faisceau radar dans les conditions voulues pour la mission SAR, cependant il reste quelques problèmes qui sont préoccupants pour les radars embarqués sur plateformes aéroportées ou spatiales.

10 **[0017]** On constate que tous les amplificateurs A1,A2,A3,A4 doivent être dimensionnés pour pouvoir délivrer pleine puissance à 0 dB, mais qu'à un moment donné, un seul des amplificateurs fonctionne à cette pleine puissance, alors que les autres sont réglés pour fournir une puissance très réduite. Il en résulte une perte d'efficacité très dommageable pour les applications embarquées, notamment en ce qui concerne le rapport de la masse de la charge utile et la puissance hyperfréquence rayonnée, ainsi que le rapport de la puissance consommée et la puissance rayonnée ; la différence entre ces deux étant une puissance à dissiper qui doit être prise en compte dans le budget thermique de la plateforme. Cette construction est donc pénalisante aux points de vue masse, consommation, et dissipation.

25 **[0018]** Considérons maintenant le cas du balayage en élévation. Une antenne à réflecteur de l'art connu est représentée partiellement et schématiquement sur la figure 2. Seules les parties nécessaires pour obtenir le balayage en élévation sont représentées sur cette figure 2. Pour la mission SAR, le balayage en élévation doit être possible sur un domaine de plusieurs dizaines d'ouvertures à demi-puissance du faisceau pour assurer la couverture au sol souhaitée entre deux traces de passage successifs du satellite autour de la surface de la terre. En outre, il est nécessaire de prévoir une méthode pour influencer sur la forme de la tâche au sol du faisceau rayonné, pour compenser la déformation de cette tâche due à la variation de l'inclinaison du faisceau conique émis par l'antenne en direction de la surface terrestre.

40 **[0019]** Sur la figure 2, nous ne voyons que des éléments nécessaires pour effectuer le balayage en élévation, exposé dans la discussion qui suit. Pour simplifier l'exposé, nous considérons le cas d'un réseau actif linéaire 6 qui consiste en une seule ligne de sources (1,2,3,4), et qui illumine un réflecteur cylindro-parabolique 5. Ces sources sont disposées sur une ligne qui est sensiblement parallèle aux génératrices du réflecteur cylindro-parabolique 5 et approximativement au foyer de ce dernier. Comme précédemment, le réflecteur 5 et les sources 1,2,3,4 sont disposés dans une géométrie "offset". Chaque source 1,2,3,4 est alimentée par l'intermédiaire d'un amplificateur (A1,A2,A3,A4) et d'un déphaseur (D1, D2, D3, D4).

55 **[0020]** Vu la grandeur de déplacements d'élévation requis pour remplir la mission, le problème n'est pas tout à fait le même que dans le cas précédent de balayage en azimut. Par exemple, si nous considérons que la

source 1 est la source principale, et qu'il rayonne selon la direction 21, nous pouvons avoir les sources secondaires 2 et 3 alimentées à - 17 dB en opposition de phase pour annuler des lobes secondaires comme dans le cas précédent. Le rayonnement de ces deux sources sera dirigé parallèlement au rayonnement 21 de la source principale, selon les directions 22, 23 respectivement. Seulement, quand on veut effectuer un balayage en élévation de grand débattement, un nouveau problème surgit. Le plan de balayage en élévation coupe le réflecteur 5 selon une génératrice droite 19 (en pointillé).

[0021] Le faisceau non dévié est représenté par les lignes 22,21,23,24 qui sont dirigées parallèlement vers le réflecteur 5. On voit que le rayonnement de la source 4, selon la ligne 24, n'est pas utile car non-reflété par le réflecteur 5. Il convient donc de donner une puissance nulle (utilisant l'amplificateur A4, par exemple) à cette source quand il s'agit de rayonner dans cette direction.

[0022] Pour réaliser un dépointage du faisceau 21,22,23 qui correspond au balayage en élévation souhaité, on agit sur les déphaseurs D1, D2, D3 pour dévier ce faisceau, par exemple vers la droite comme représenté sur le dessin, selon les lignes 31, 32, 33. Dans ce cas, la figure nous montre que le rayon 32 émis par la source 2 ne frappe pas le réflecteur 5 et il est donc perdu. Ce rayon constitue ce que l'on appelle "une perte par débordement", qui peut être très dommageable pour le rendement global d'un matériel embarqué.

[0023] Une solution connue à ce problème de pertes par débordement consiste à prévoir un réseau actif 6 plus grand que normalement nécessaire pour le rayonnement central 21,22,23 non encore dépointé : dans l'exemple simple représenté, ce réseau actif 6 comprend alors une source supplémentaire 4, alignée avec les trois autres et elle aussi associée à un amplificateur et un déphaseur réglables A4, D4. Comme mentionné ci-dessus, cette source 4 ne sera alimentée que dans le cas d'un dépointage. Quand le faisceau est dépointé selon la direction indiquée par les rayons 34,33,32,31, l'amplificateur A4 est réglé sur un gain non-nul, et le gain de l'amplificateur A2 est réglé à une valeur nulle.

[0024] Nous avons donc le même problème que dans le cas de balayage en azimut : les amplificateurs doivent fonctionner dans une plage très large de gain, ce qui est préjudiciable des points de vue de masse et de rendement énergétique, donc de consommation électrique et de dissipation thermique.

[0025] Il est connu de l'art antérieur par le document FR-A-2 685 551, demande de brevet français au nom de la Demanderesse, une géométrie d'antenne à réflecteurs de type "Gregory" et son utilisation dans un domaine annexe à celui de la présente invention, à savoir celui des antennes de télécommunications. Ce document fait partie intégrante de la présente demande pour ce qui est de sa description de l'art antérieur.

[0026] L'antenne décrite dans ce document comporte deux réflecteurs paraboliques et une lentille électroma-

gnétique disposée en leur foyer commun. Cette structure est disposée dans une configuration périscopique qui permet de réduire les dimensions du réseau actif 6. La lentille électromagnétique permet quant à elle, de dissocier les contraintes radioélectriques nécessaires pour assurer les performances requises de l'antenne, de celles des implantations mécaniques des éléments constituant l'antenne. D'autre part, des déphaseurs de réglage fin implantés au sein de cette lentille électromagnétique permettent d'ajuster des paramètres du faisceau émis pour assurer au mieux la mission de télécommunications en ligne directe. Il est à noter que les télécommunications par ondes hyperfréquence s'effectue en ligne de vue directe entre une antenne d'émission et une antenne de réception éloignée. La direction du rayonnement est fixe selon cette ligne de vue directe, donc l'antenne décrite par ce document n'est pas apte à remplir la mission SAR décrit ci-dessus.

[0027] L'invention a pour but de pallier ces différents inconvénients de l'art antérieur. Elle se rapporte à cet effet à une antenne active "offset" comportant :

- un réseau de sources élémentaires, chaque source élémentaire étant alimentée par l'intermédiaire d'un amplificateur et d'un déphaseur réglable ;
- un premier et un deuxième réflecteurs cylindro-parabolique ; et
- une lentille radioélectrique ayant deux faces :
 - une première face comportant un premier réseau de sources dit "collecteur" qui reçoit et capte un faisceau concentré réfléchi par ledit premier réflecteur, à partir du faisceau émis par ledit réseau de sources élémentaires, ce collecteur étant disposé au foyer dudit premier réflecteur,
 - une deuxième face comportant un deuxième réseau de sources dit "réseau primaire" disposé au foyer dudit deuxième réflecteur, qui réémet vers ce deuxième réflecteur l'énergie qui lui est transmise par ledit collecteur via des interconnexions homothétiques entre le collecteur et le réseau primaire ;
- lesdites interconnexions homothétiques comportant des déphaseurs ;
- ledit balayage électronique du faisceau étant obtenu en jouant sur les phases d'excitation des sources élémentaires par l'intermédiaire desdits déphaseurs variables pour dévier l'orientation du faisceau dirigé vers le premier réflecteur et en conséquence, la tâche de rayonnement qui tombe sur ledit collecteur, de manière à illuminer un noyau de sources du collecteur, ce noyau de sources pouvant ainsi passer d'une position nominale à une position décalée selon ladite orientation du faisceau ;

caractérisée en ce que lesdits amplificateurs d'ali-

mentation des sources élémentaires ont un gain fixe et prédéterminé, et en ce que lesdits déphaseurs de ladite lentille radioélectrique sont des déphaseurs variables

qui sont disposés entre les éléments de la première face et ceux de la deuxième face de ladite lentille radioélectrique, lesdits déphaseurs variables étant commandés par des circuits de commande associés

afin de permettre un balayage électronique d'un pas plus fin et d'un débattement plus grand du faisceau réémis vers le deuxième réflecteur

[0028] Selon une variante, les deux faces de ladite lentille radioélectrique sont parallèles. Selon une autre variante, les deux faces de ladite lentille radioélectrique ne sont pas parallèles.

[0029] Selon une réalisation préférentielle, le réseau collecteur est de dimensions plus petites que le réseau primaire, bien que les deux réseaux comportent le même nombre de sources. Selon une caractéristique, les sources du réseau collecteur sont plus petites que les sources du réseau primaire.

[0030] De toute façon, l'invention sera bien comprise, et ses avantages et caractéristiques ressortiront mieux, lors de la description détaillée qui suit, avec ses dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre schématiquement et partiellement en perspective une antenne à réflecteur et à balayage électronique en azimut selon l'art antérieur ;
- la figure 2, déjà décrite, montre schématiquement et partiellement en perspective une antenne à réflecteur et à balayage électronique en élévation selon l'art antérieur ;
- la figure 3 montre schématiquement et partiellement une vue latérale en coupe un exemple selon l'invention d'une antenne "offset" à balayage électronique en azimut ayant deux réflecteurs cylindro-parabolique disposés selon une géométrie "Gregory" ;
- la figure 4 montre schématiquement et partiellement une vue latérale en coupe d'un exemple selon l'invention d'une antenne "offset" à balayage électronique en élévation ayant deux réflecteurs cylindro-parabolique disposés selon une géométrie "Gregory" ;
- la figure 5 montre schématiquement et partiellement en vue de dessus un exemple selon l'invention d'une antenne "offset" à balayage électronique en élévation ayant deux réflecteurs cylindro-parabolique disposés selon une géométrie "Gregory" ; ; les deux réflecteurs cylindro-parabolique étant ici représentés chacun par une droite parallèle au réseau qui les illumine respectivement.

[0031] Les figures sont données à titre d'exemples non-limitatifs de réalisations selon l'art antérieur ou selon l'invention. D'autres réalisations selon l'invention seront facilement imaginées par l'homme du métier à partir

des exemples donnés.

[0032] Sur les différentes figures, les mêmes repères se réfèrent aux mêmes éléments. L'échelle du dessin n'est pas rigoureusement respectée pour des raisons de clarté. Tous les exemples qui seront discutés en détail utilisent une antenne d'émission pour illustrer les propos, cependant, il est bien connu de l'homme de l'art le théorème de réciprocité, selon lequel une antenne fonctionne de façon identique en émission ou en réception, à condition d'inverser le vecteur temporel.

[0033] Les descriptions et remarques qui sont faites concernant des antennes d'émission sont aussi strictement transposables, à condition d'inverser le flux de puissance dans l'appareil, à des antennes de réception.

Dans le cas d'une antenne radar, le même dispositif physique sera généralement appelé à remplir les deux rôles d'émission et de réception ; cependant, il faut prévoir deux chaînes d'amplification, l'une pour fournir l'amplification de puissance nécessaire pour l'émission, et l'autre pour amplifier les signaux très faibles reçus après réflexion du signal émis par la cible radar. Le traitement des deux voies, de réception et d'émission, est parfaitement symétrique à l'exception de ce détail, et pour la clarté de la description qui suit, il suffit de décrire seule la voie émission, sachant que l'inversion en voie de réception peut en être déduite sans ambiguïté par l'homme de métier.

[0034] En se référant à la figure 3, on reconnaît d'emblée une antenne active de type "Gregory", c'est-à-dire une antenne active "offset" à double réflecteurs, ces deux réflecteurs étant opposés par rapport à leurs foyers selon une configuration du genre "périscopique" bien connue à l'homme du métier sous la dénomination anglophone "offset fed Gregorian Geometry". Cette disposition est décrite plus en détail dans le document FR-A-2 685 551 pour ce qui est la partie connue de l'art antérieur.

[0035] Une telle antenne utilise le principe du périscope optique, et elle comporte un réseau actif 6, de dimensions réduites par rapport à un réseau actif à rayonnement direct capable de fournir les mêmes dimensions de faisceau, par exemple la section D rayonnée par l'antenne à double réflecteurs à configuration "offset".

[0036] Selon l'exemple de réalisation de la figure 3, le faisceau 10 de section "d" qui est rayonné par le réseau actif 6 est normalement réfléchi par un premier réflecteur cylindro-parabolique 7 dit "réflecteur auxiliaire", qui le concentre en son foyer, qui, dans une antenne Gregory classique, coïncide avec le foyer du deuxième réflecteur 5 dit "réflecteur principal". Dans le cas de l'antenne classique, le faisceau après réflexion et concentration par le réflecteur auxiliaire 7, se propage en divergeant pour illuminer le réflecteur principal 5 d'où il est réfléchi en un faisceau 11 de section D en rayons parallèles.

[0037] L'antenne est appelée "offset" à cause du décalage entre le faisceau 10 émis par le réseau des sources élémentaires 6, et le faisceau 11 finalement rayon-

né.

[0038] Les éléments de l'antenne Gregory qui viennent d'être décrits sont classiques. L'antenne selon l'invention s'en distingue par les caractéristiques particulières qui seront maintenant décrites.

[0039] Les différents éléments rayonnants du réseau actif 6 sont alimentés par des déphaseurs variables 8 et des amplificateurs 9. Les déphaseurs 8 servent de manière bien connue, à dépointer à souhait la direction du faisceau 10 émis par le réseau actif 6. Ces déphaseurs sont suivis d'amplificateurs de puissance 9 dans le cas d'une antenne à émission, qui, contrairement aux amplificateurs A1,A2,A3,A4 de la figure 1, sont des amplificateurs qui fonctionnent tous avec un gain fixe et prédéterminé.

[0040] Il est prévu, aux foyers F et F' des deux réflecteurs cylindro-paraboliques 5,7 une lentille hyperfréquence 12 qui se compose de deux faces comportant deux réseaux de sources interconnectés entre eux :

- une première face dite "collecteur" comportant un premier réseau de sources 13 qui reçoit et capte un faisceau 14 réfléchi et concentré par ledit premier réflecteur 7, à partir du faisceau émis par ledit réseau de sources élémentaires (qui peuvent être des petits cornets, par exemple), ce premier réseau 13 étant disposé au foyer F dudit premier réflecteur 7,
- une deuxième face comportant un deuxième réseau de sources 15 dite "réseau primaire" disposé au foyer F' dudit deuxième réflecteur 5, qui réémet vers ce deuxième réflecteur 5 l'énergie qui lui est transmise par ledit collecteur 13 via des interconnexions homothétiques 16 entre ledit collecteur 13 et ledit réseau primaire 15.

[0041] Les "petites" sources réceptrices du collecteur 13 se correspondent une à une, de manière géographiquement homothétique, avec les "grandes" sources réémettrices du réseau primaire 15, c'est-à-dire que les répartitions respectives de ces sources sont les mêmes sur chaque réseau 13, 15.

[0042] Une source du collecteur 13 est connectée à la source géographiquement correspondante du réseau primaire 15 par l'intermédiaire d'une connectique 16. D'autres déphaseurs réglables peuvent être prévus à l'intérieur de la lentille radioélectrique entre le collecteur 13 et le réseau primaire 15 (repéré 18 sur la figure 4).

[0043] Le réseau primaire 15 est positionné dans le plan focal du foyer F' du réflecteur 5, tandis que le collecteur 13 est placé dans le plan focal du foyer F du réflecteur 7. Le collecteur 13 est, dans l'exemple de cette figure, en fait assez proche du réseau primaire 15 et, en première approximation, les deux paraboloïdes 7 et 5 peuvent être considérés comme confocaux, comme dans l'antenne Gregory classique. En revanche, la connectique entre le collecteur 13 et le réseau primaire 15 permet une souplesse de disposition du collecteur 13 et du réseau primaire 15, qui peuvent être éloignés l'un de

l'autre, ou encore, disposés en une configuration non-parallèle (non-montrée).

[0044] Faisant référence encore à la figure 1, tout ce qui a été décrit concernant les sources 1,2,3,4 est transposable aux sources réémettrices du réseau primaire 15 de la figure 3, mais ces dernières ne sont toutefois pas alimentées par des amplificateurs réglables, mais bien par les sources correspondantes du collecteur 13.

[0045] En l'absence de dépointage, les faisceaux 10,14,17, et 11 sont tels que représentés en figure 3. Les caractéristiques de la lentille 12, et en particulier les dimensions relatives des sources du collecteur 13 et du réseau primaire 15, sont telles que les conditions d'amplitudes et de phases précitées soient respectées pour les sources du réseau primaire : en considérant (figure 1) une source 1 supposée par exemple au point repéré F' sur le réseau primaire de la figure 3, cette source est associée, de part et d'autre, à deux sources dépointées 2 et 3 qui sont en phase et qui réémettent à 17 dB en dessous, de sorte que finalement les deux lobes secondaires parasites de la source 1, au point repéré F', s'en trouvent compensés et donc pratiquement effacés.

[0046] Si maintenant on agit sur les déphaseurs 8 pour dépointer le faisceau 10 afin de réaliser finalement, sur le réflecteur final 5, le balayage en azimuth souhaité, le réflecteur auxiliaire 7 réfléchit un faisceau 14 qui est lui aussi dépointé par rapport à sa tâche focale initiale. Il ne se concentre plus sur le point repéré F' mais sur une source voisine qui va donc recueillir un maximum d'énergie alors que la source située au point F précité va maintenant recueillir une énergie bien moindre.

[0047] On constate finalement que, sous condition d'un ajustement des caractéristiques (dimensions et formes) de l'ensemble formateur constitué par le réflecteur auxiliaire 7 et la lentille radioélectrique 12, on va retrouver ainsi, sur le réseau primaire 15, exactement les résultats qui étaient obtenus par le procédé classique décrit par rapport à la figure 1, le point repéré F' qui était une source 1 à lobe principal émis laissant son rôle actif à une source voisine et dépointée 3. Cette dernière devient la source à lobe principal émis, et la source 1 sert alors elle-même de source à lobe principal atténué (-17 dB) qui vient se soustraire d'un lobe secondaire de cette source voisine 3.

[0048] On obtient donc ici un résultat identique à celui de l'art antérieur selon la figure 1, mais avec des amplificateurs 9 à gain fixe.

[0049] Sur la figure 4, nous voyons un autre exemple d'une réalisation selon l'invention d'une antenne à balayage électronique en azimuth et en élévation. Cette figure est identique à la figure 3 déjà décrite, à l'exception des déphaseurs 18 au sein de la lentille électronique 12. Cette variante est particulièrement avantageuse dans le cas d'un balayage électronique en élévation avec un grand angle de débattement. Comme dans la figure précédente, les déphaseurs 8 sont utilisés pour obtenir le balayage électronique du faisceau. Les déphaseurs additionnels 18 au sein de la lentille radioélectrique peu-

vent être utilisés pour apporter des réglages fin de tracé au sol du faisceau, qui change en fonction de l'angle de visée latérale.

[0050] Une autre représentation très schématique de cette même réalisation est donnée sur la figure 5, qui représente une coupe dans un plan qui contient une génératrice de chacun des réflecteurs cylindro-parabolique, et qui montre plus en détail le principe du balayage en élévation. De façon semblable au réseau émissif de l'art antérieur montré sur la figure 2, le réseau primaire 15 se compose d'un noyau central N1 de sources émissives qui forment, pour ce réseau 15 la tâche focale centrale F' (figure 4). En l'absence de balayage, le faisceau 17 est émis vers le réflecteur 5 par ce noyau central N1 de sources élémentaires, et partiellement réfléchi selon le faisceau non dépointé 11 (figures 4 et 5). Ce noyau central N1 est encadré de part et d'autre par des sources supplémentaires S1, S2 qui, comme on le verra ci-dessous, n'émettent pas d'énergie en l'absence de balayage en élévation.

[0051] Comme dans les deux figures précédentes, le collecteur 13 est homothétique du réseau primaire 15, et comporte donc un même nombre de sources réparties de la même façon, c'est-à-dire selon un noyau central n1, homologue du noyau N1 mais plus petit, encadré par des sources s1, s2 homologues respectivement des sources S1, S2.

[0052] Conformément à la présente invention les caractéristiques dimensionnelles du réflecteur auxiliaire 7 et du collecteur 13 sont déterminées pour qu'en l'absence de balayage électronique, la tâche focale F qui est illuminée par le faisceau réfléchi 14 corresponde au noyau central précité n1. En l'absence de balayage, les sources s1, s2 ne reçoivent donc aucune énergie en provenance du réflecteur 7 de sorte que les sources s1, s2 ne réémettent, quant à elles aucune énergie en direction du réflecteur 5.

[0053] Pour réaliser, selon l'invention, un dépointage en élévation du faisceau 11 sans pertes par débordement, on agit d'une part sur les déphaseurs réglables 8 pour dépointer le faisceau 10, et donc aussi le faisceau 14 tel qu'indiqué en 14 sur la figure 5, afin de décaler, par exemple vers la gauche (fig.5) ce faisceau 14. Il en résulte un décalage concomitant, vers la gauche, du noyau de sources alors illuminé par ce faisceau 14', ce noyau passant de la position n1 à la position décalée n2 englobant maintenant les sources latérales s1 mais ne comprenant plus les sources s3, en nombre correspondant à s1, de l'extrémité droite du noyau n1.

[0054] De façon homologue, le noyau N1 se trouve déplacé, sur le réseau primaire 15, vers la gauche selon le noyau réémetteur N2, qui englobe les sources S1 mais plus les sources S3, respectivement homologues du noyau n2 et des sources s1 et s3.

[0055] La tâche focale émissive étant ainsi décalée, sur le réseau primaire 15, de N1 en N2, il devient alors possible d'effectuer un balayage en élévation du faisceau rayonné 17, 11 sans risquer de pertes par débordement.

Ce balayage est réalisé par un réglage fin des déphasages dus aux déphaseurs réglables 18, et le faisceau réémis et dépointé par la tâche focale N2 est désigné par les références 17', tandis que le faisceau finalement rayonné vers la surface terrestre est désigné par les références 11'.

[0056] L'exposé de l'invention faite ci-dessus a présenté séparément les balayages en azimuth et en élévation, pour simplifier autant que possible la discussion. Dans la pratique, une antenne selon l'invention sera probablement dotée des moyens permettant le balayage en élévation et en azimuth simultanément aussi bien que séparément. Il est clair que les moyens exposés, ainsi que leur implémentation et leur exploitation, sont très similaires sinon identiques pour obtenir le balayage dans les deux directions. Ces moyens peuvent être réunis au sein d'une antenne ayant un réseau rectangulaire de sources élémentaires, qui sera capable d'effectuer un balayage dans les deux sens (azimuth, élévation), selon les principes expliqués ci-dessus.

[0057] Ainsi, comme il va de soi, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits, mais elle est susceptible d'être mise en oeuvre selon diverses variantes de réalisation ainsi que par l'utilisation de différents moyens équivalents. Notamment, une antenne à balayage électronique ayant des réflecteurs d'une autre forme, ou destinés à d'autres applications que le radar SAR, sont tout à fait envisageables selon l'invention parmi des variantes possibles de réalisations.

Revendications

1. Antenne active "offset" à balayage électronique comportant :

- un réseau (6) de sources élémentaires (1,2,3,4), chaque source élémentaire étant alimentée par l'intermédiaire d'un amplificateur (9) et d'un déphaseur réglable (8) ;
- un premier (7) et un deuxième (5) réflecteurs cylindro-parabolique ; et
- une lentille radioélectrique (12) ayant deux faces :
- une première face comportant un premier réseau (13) de sources dit "collecteur" qui reçoit et capte un faisceau concentré (14) réfléchi par ledit premier réflecteur (7), à partir du faisceau (10) émis par ledit réseau (6) de sources élémentaires, ce collecteur (13) étant disposé au foyer (F) dudit premier réflecteur (7),
- une deuxième face comportant un deuxième réseau (15) de sources dit "réseau primaire" disposé au foyer (F') dudit deuxième réflecteur (5), qui réémet vers ce deuxième réflecteur (5) l'énergie qui lui est transmise par ledit collecteur (13) via des

- interconnexions (16) homothétiques entre le collecteur (13) et le réseau primaire (15) ;
- lesdites interconnexions (16) homothétiques comportant des déphaseurs (18) ; 5
 - ledit balayage électronique du faisceau (11) étant obtenu en jouant sur les phases d'excitation des sources élémentaires par l'intermédiaire desdits déphaseurs variables (8) pour dévier l'orientation du faisceau dirigé vers le premier réflecteur (7) et en conséquence, la tâche de rayonnement qui tombe sur ledit collecteur (13), de manière à illuminer un noyau de sources du collecteur (13), ce noyau de sources pouvant ainsi passer d'une position nominale (n1) à une position décalée (n2) selon ladite orientation du faisceau (11) ; 10
- caractérisée en ce que** lesdits amplificateurs (9) d'alimentation des sources élémentaires ont un gain fixe et prédéterminé, et **en ce que** lesdits déphaseurs (18) de ladite lentille radioélectrique (12) sont des déphaseurs variables (18) qui sont disposés entre les éléments de la première face (13) et ceux de la deuxième face (15) de ladite lentille radioélectrique (12), lesdits déphaseurs variables étant commandés par des circuits de commande associés (non montrés) afin de permettre un balayage électronique d'un pas plus fin et d'un débattement plus grand du faisceau (17) réémis vers le deuxième réflecteur (5). 15
2. Antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** lesdites deux faces (13, 15) de ladite lentille radioélectrique (12) sont parallèles. 20
 3. Antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** lesdites deux faces (13, 15) de ladite lentille radioélectrique (12) ne sont pas parallèles. 25
 4. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ledit réseau collecteur (13) est de dimensions plus petites que ledit réseau primaire (15), les deux réseaux comportent sensiblement le même nombre de sources. 30
 5. Antenne selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** les sources du réseau collecteur (13) sont plus petites que les sources du réseau primaire (15). 35
- Patentansprüche** 40
1. Aktive "Offset"-Antenne mit elektronischer Abtastung, mit: 45
 - einem Netz (6) von elementaren Quellen (1, 2, 3, 4), wobei jede elementare Quelle über einen Verstärker (9) und einen regelbaren Phasenschieber (8) versorgt ist;
 - einem ersten und einem zweiten zylindrischparabolischen Reflektor (7, 5); und
 - einer Funklinse (12) mit zwei Seiten:
 - einer ersten Seite mit einem als "Kollektor" bezeichneten ersten Netz (13) von Quellen, das ein von dem ersten Reflektor (7) ausgehend von dem von dem Netz (6) von elementaren Quellen gesendeten Bündel (10) reflektiertes, konzentriertes Strahlenbündel (14) empfängt und aufnimmt, wobei dieser Kollektor (13) im Brennpunkt (F) des ersten Reflektors (7) angeordnet ist,
 - einer zweiten Seite mit einem zweiten Netz (15) von Quellen, als "Primärnetz" bezeichnet und im Brennpunkt (F') des zweiten Reflektors (5) angeordnet, das an diesen zweiten Reflektor (5) die Energie weitersendet, die an es von dem Kollektor (13) über homothetische Zwischenverbindungen (16) zwischen dem Kollektor (13) und dem Primärnetz (15) übertragen wird;
 - wobei die homothetischen Zwischenverbindungen (16) Phasenschieber (18) umfassen;
 - wobei die elektronische Abtastung des Strahlenbündels (17) erhalten wird durch Beeinflussen der Erregungsphasen der elementaren Quellen über die variablen Phasenschieber (8), um die Orientierung des auf den ersten Reflektor (7) gerichteten Strahlenbündels und infolgedessen den Strahlungsfleck, der auf den Kollektor (13) fällt, abzulenken, um einen Kern von Quellen des Kollektors (13) zu beleuchten, wobei dieser Kern von Quellen so von einer Nennposition (n1) zu einer verschobenen Position (n2) entsprechend der Orientierung des Strahlenbündels (11) übergehen kann, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Verstärker (9) zur Versorgung der Elementarquellen eine feste und vorgegebene Verstärkung haben, und daß die Phasenschieber (18) der Funklinse (12) variable Phasenschieber (18) sind, die zwischen den Elementen der ersten Seite (13) und denen der zweiten Seite (15) der Funklinse (12) angeordnet sind, wobei die variablen Phasenschieber durch zugeordnete (nicht dargestellte) Steuerschaltungen gesteuert sind, um eine elektronische Abtastung mit einer feineren Schrittweite und einer größeren Bewegungsfreiheit des an den zweiten Reflektor (5) weitergesendeten Strahlenbündels (17) zu ermöglichen.
 2. Antenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die zwei Seiten (13, 15) der Funklinse (12) 55

parallel sind.

3. Antenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die zwei Seiten (13, 15) der Funklinse (12) nicht parallel sind.

5

4. Antenne nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Kollektornetz (13) von kleineren Abmessungen als das Primärnetz (15) ist, wobei die zwei Netze im wesentlichen die gleiche Anzahl von Quellen aufweisen.

10

5. Antenne nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Quellen des Kollektornetzes (13) kleiner als die Quellen des Primärnetzes (15) sind.

15

Claims

1. An electronically scanned offset active antenna including:

20

- an array (6) of individual sources (1,2,3,4) each of which is energized by an amplifier (9) and an adjustable phase shifter (8);
- a first cylindrical-parabolic reflector (7) and a second cylindrical-parabolic reflector (5); and
- a radio frequency lens (12) having two faces:

25

- a first face including a first array (13) of receive sources which is referred to as the collector, is disposed at the focus (F) of said first reflector (7) and picks up the beam (10) radiated by said array (6) of individual sources after it has been reflected by said first reflector (7) in the form of a concentrated beam (14), and

30

- a second face including a second array (15) of sources which is referred as the primary array, is disposed at the focus (F') of said second reflector (5), and relays towards said second reflector (5) energy that is directed to it by said collector (13) via homothetic interconnections (16) between the collector (13) and the primary array (15);

35

40

45

said homothetic interconnections (16) including phase shifters (18) and said electronic scanning of the beam (11) being obtained by acting on the phases with which the individual sources are excited via said adjustable phase shifters (8) to divert the beam directed towards the first reflector (7) and consequently the spot of radiation that falls on said collector (13) so that it illuminates a nucleus of sources of the collector (13), so that said nucleus of sources is able to move from a nominal position (n1) to an

50

55

offset position (n2) according to the orientation of the beam (11),

which antenna is **characterized in that** said amplifiers (9) for energizing the individual sources have a fixed and predetermined gain and **in that** said phase shifters (18) of said radio frequency lens (12) are adjustable phase shifters (18) which are disposed between the elements of the first face (13) and those of the second face (15) of said radio frequency lens (12) and are controlled by associated control circuits (not shown) to obtain electronic scanning with a finer resolution and over a wider range of the beam (17) relayed towards the second reflector (5).

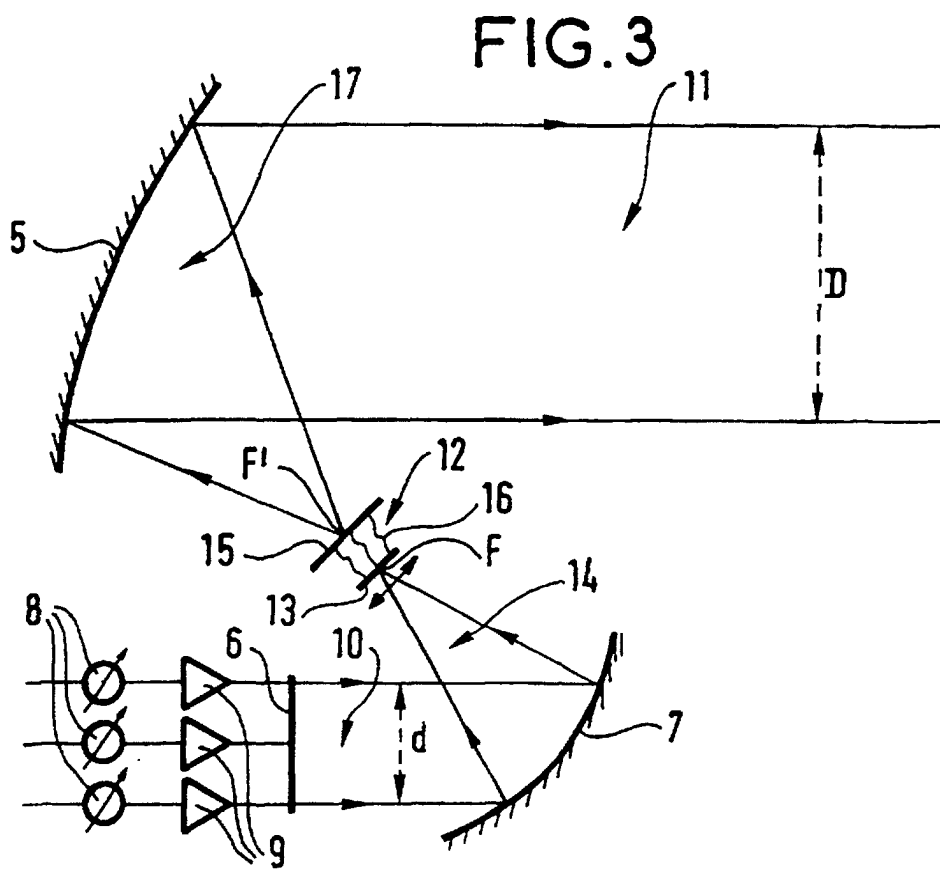
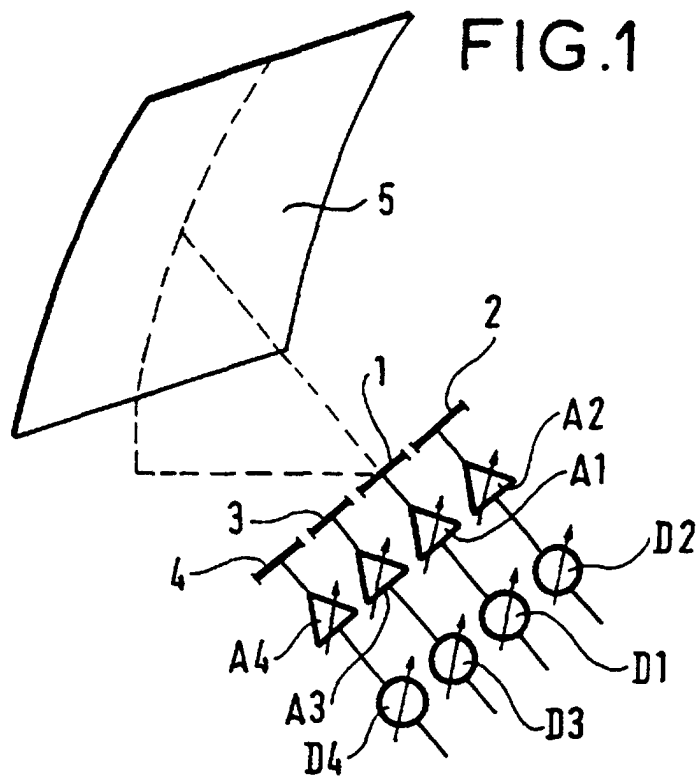
2. An antenna according to claim 1, **characterized in that** said two faces (13, 15) of said radio frequency lens (12) are parallel.

20

3. An antenna according to claim 1, **characterized in that** said two faces (13, 15) of said radio frequency lens (12) are not parallel.

4. An antenna according to any one of claims 1 to 3, **characterized in that** said collector array (13) is smaller than said primary array (15) and the two arrays include substantially the same number of sources.

5. An antenna according to claim 4, **characterized in that** the sources of the collector array (13) are smaller than the sources of the primary array (15).



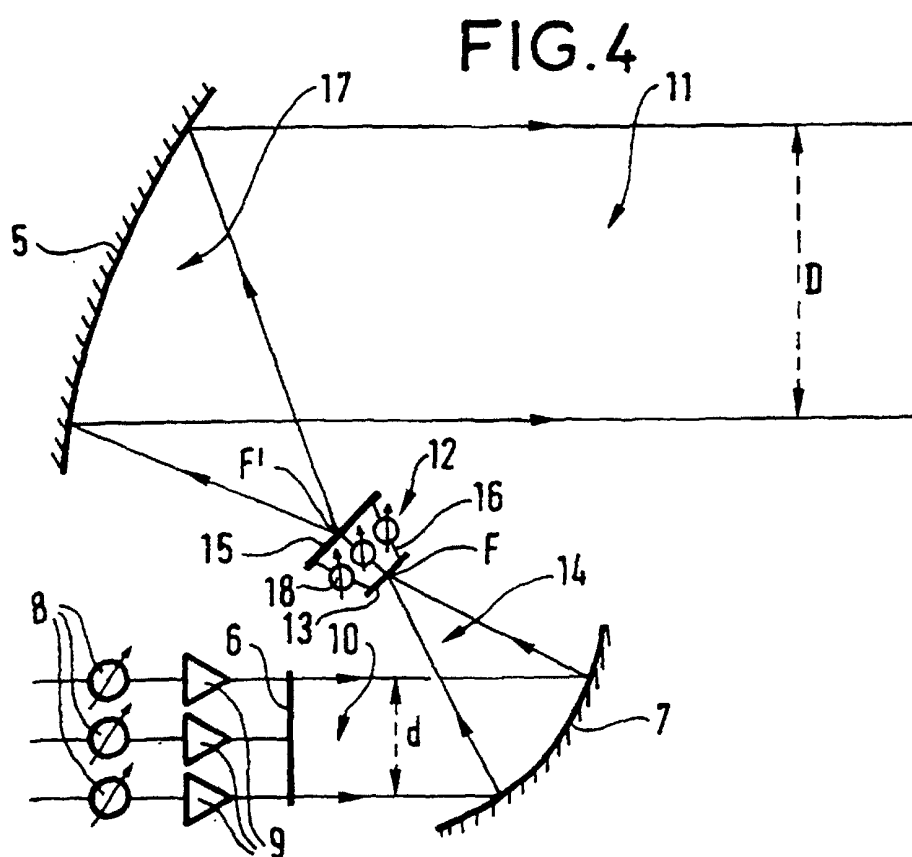
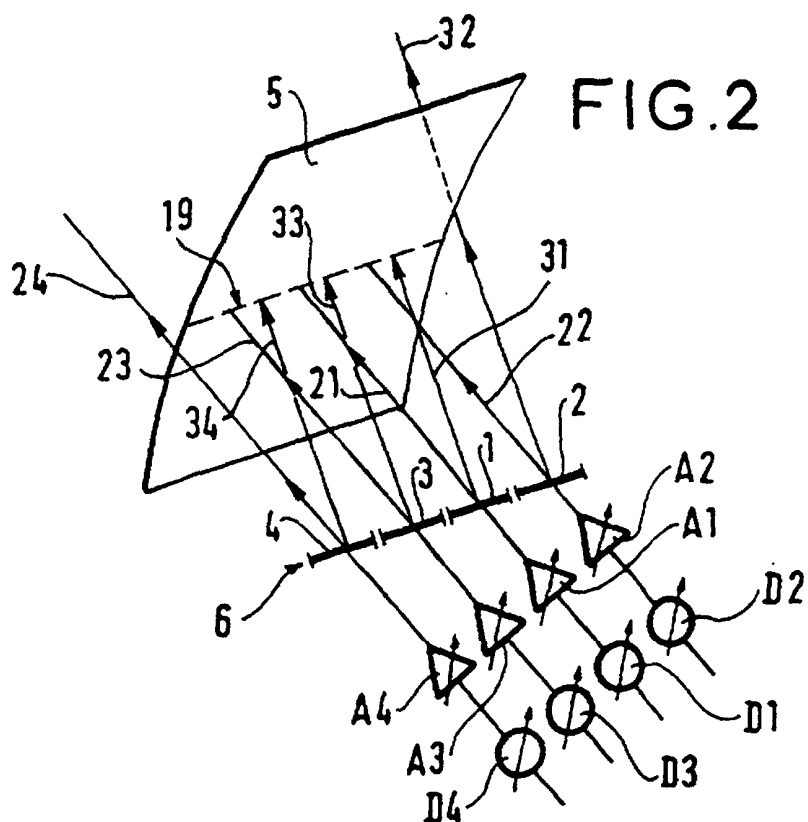


FIG. 5

