

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
18 novembre 2004 (18.11.2004)

PCT

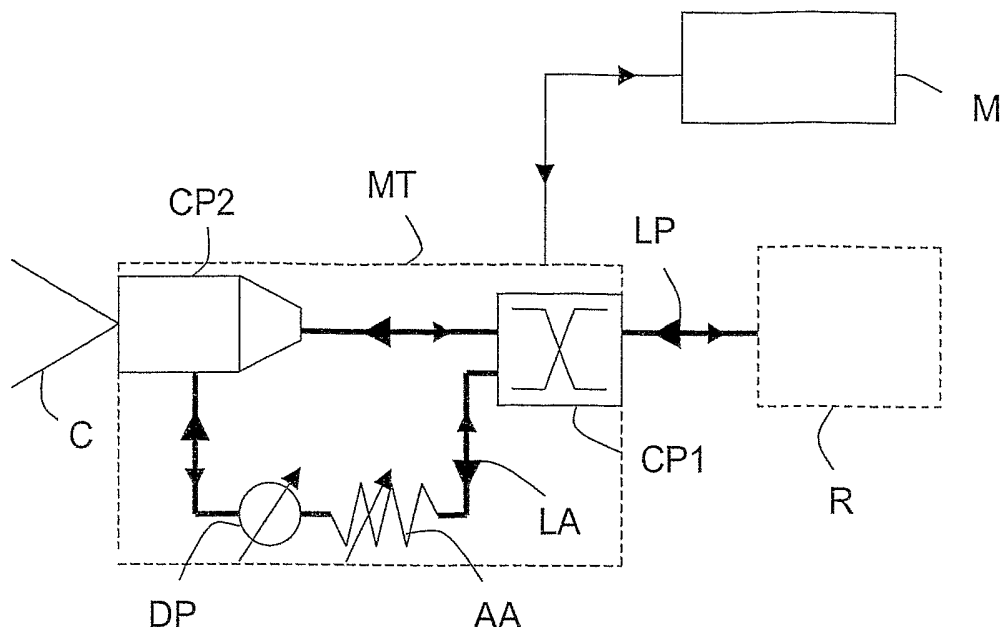
(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/100306 A2

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **H01Q** Goyrans (FR). MAILLET, Olivier [FR/FR]; 27 rue Mozart, F-31270 Gugaux (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2004/001043 (74) Mandataire : HEDARCHET, Stéphane; Compagnie Financière Alcatel, DPI, 5, rue Noël Pons, F-92734 Nanterre Cedex (FR).
- (22) Date de dépôt international : 29 avril 2004 (29.04.2004)
- (25) Langue de dépôt : français (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 03/05300 30 avril 2003 (30.04.2003) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALCATEL [FR/FR]; 54, rue La Boétie, F-75008 La Boétie (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : MAQUET, Freddy [FR/FR]; 3 Impasse de Fontpeyre, F-31120
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SATELLITE WITH MULTI-ZONE COVERAGE BY MEANS OF BEAM DIVERSION

(54) Titre : SATELLITE A COUVERTURE MULTI-ZONES ASSURÉE PAR DÉVIATION DE FAISCEAU



(57) Abstract: The invention relates to a telecommunication satellite with multi-zone coverage, comprising at least one transmission and/or reception antenna with at least one transmission and/or reception source (C, R), for the provision or reception of a beam in a selected direction, defined by a selected phase value and a selected amplitude value. At least one of the sources for transmission and/or reception (C, R) is coupled to processing means (MT) for deviation of the beam thereof and the direction of reception in at least one other direction, selected by variation of at least the amplitude value.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/100306 A2



GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

- *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement*

Publiée :

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : Un satellite de télécommunications à couverture multi-zones comporte au moins une antenne d'émission et/ou de réception comprenant au moins une source d'émission et/ou de réception (C, R) pour délivrer et/ou recevoir un faisceau selon une direction choisie définie par une phase de valeur choisie et une amplitude de valeur choisie. L'une au moins des sources d'émission et/ou de réception (C, R) est couplée à des moyens de traitement (MT) chargés de dévier son faisceau ou sa direction de réception selon au moins une autre direction choisie par variation d'au moins la valeur de l'amplitude.

SATELLITE À COUVERTURE MULTI-ZONES ASSURÉE PAR DÉVIATION DE FAISCEAU

5 L'invention concerne le domaine des communications par satellite, et plus particulièrement celui du contrôle de la couverture de zones géographiques (ou « spots ») multiples par des satellites de communications.

En matière de communication, notamment satellitaire, il est souhaitable que la qualité de réception soit la meilleure possible. Pour ce faire,
10 il faut non seulement que la zone de réception soit couverte, mais également que la puissance des signaux reçus soit suffisante.

Parmi les nombreux types de couverture satellite multi-zones on peut notamment citer celle que l'homme de l'art appelle le « saut de zone » (ou « beam hopping ») multi-faisceaux. Cette couverture consiste
15 schématiquement à réaliser une couverture multi-zones continue (en émission et/ou en réception) avec des antennes passives, les zones étant regroupées en cellules au sein de chacune desquelles une seule zone, dite active, est couverte à chaque instant, et les différentes zones des cellules étant actives les unes après les autres, de façon périodique. Ce type de couverture permet
20 notamment d'allouer toute la bande de fréquence disponible sur une partie (active) de l'ensemble des zones pendant une période donnée.

Plusieurs agencements permettent d'obtenir ce type de couverture. Ils reposent tous sur une même technologie consistant à associer chaque zone de couverture à une source d'émission.

25 Un premier agencement consiste à utiliser des première, seconde, troisième et quatrième antennes d'émission/réception (bi-bandes) contenant des sources définissant respectivement des premières, secondes, troisièmes et quatrième zones, chaque cellule étant alors constituée d'une première, d'une seconde, d'une troisième et d'une quatrième zones. Dans ce type
30 d'agencement la maille disponible au niveau des sources est suffisamment grande pour permettre l'utilisation de sources de grande ouverture (typiquement 4 à 6λ) et donc très directives. Cela permet d'obtenir des

rendements d'illumination très importants, typiquement de 75% à 80%. Cependant, les antennes étant bi-bandes, le gain en bord de couverture (G_{EOC}) ne peut pas être optimisé simultanément en émission et en réception. De plus, le saut de zone (ou « beam hopping ») s'effectuant par commutation
5 d'antenne, les pertes générées au niveau des guides de liaison, entre chaque source et le commutateur, sont importantes.

Un deuxième agencement consiste à reprendre l'agencement précédent en doublant le nombre d'antennes de manière à avoir quatre antennes d'émission et quatre antennes de réception. Dans ce type
10 d'agencement la maille étant sensiblement identique à celle de l'agencement précédent, on peut donc également obtenir des rendements d'illumination très importants, typiquement de 75% à 80%. Les antennes étant ici optimisées dans chaque bande de fréquence, il est donc possible d'optimiser le gain en bord de couverture (G_{EOC}) simultanément en émission et en réception.
15 Cependant, l'utilisation de huit antennes impose des contraintes d'aménagement importantes. De plus, le beam hopping s'effectuant également par commutation d'antenne, les pertes générées au niveau des guides de liaison, entre chaque source et le commutateur, sont importantes.

Un troisième agencement consiste à partir du premier agencement en
20 réduisant le nombre d'antennes à trois. La maille disponible est ici légèrement plus petite que dans les deux agencements précédents, de sorte que les sources présentent une ouverture de l'ordre de 3 à 5 λ et sont donc un peu moins directives. Le rendement d'illumination demeure toujours très acceptable et la contrainte d'aménagement est fortement relâchée. Mais, le beam
25 hopping s'effectuant toujours par commutation d'antenne, les pertes générées au niveau des guides de liaison, entre chaque source et le commutateur, sont importantes. De plus, la maille étant plus serrée, les performances de C/I (rapport entre le signal utile (C pour « Carrier ») et les signaux interférents (I) générés par les autres sources qui travaillent dans la même bande de
30 fréquence et dans la même polarisation que la zone utile) sont dégradées.

Un quatrième agencement consiste à n'utiliser qu'une antenne d'émission et une antenne de réception. Le beam hopping s'effectuant

désormais par commutation au sein d'une même antenne, les pertes générées au niveau des guides de liaison, entre chaque source et le commutateur, sont peu importantes. Mais, la définition de l'ensemble des zones avec une unique antenne impose une maille très serrée, si bien que les sources présentent une
5 ouverture de l'ordre de $1,2$ à $1,5 \lambda$ et sont donc très peu directives. Le rendement d'illumination est alors très médiocre (typiquement de 35% à 40%), ce qui impose un surdimensionnement des réflecteurs d'antenne et des antennes pouvant entraîner des problèmes de technologie, en particulier lorsque le satellite fonctionne dans la bande de fréquence « Ka ». Le gain en
10 bord de couverture (G_{EOC}) est donc réduit de 3 à 4 dB par rapport aux agencements précédents, et le « roll-Off » (variation de gain sur l'ensemble de la couverture multi-zones, et plus précisément la différence entre le gain maximal sur chaque zone et le gain EOC) est très élevé, typiquement de l'ordre de 8 à 12 dB comparé aux 4 à 6 dB que présentent les agencements
15 précédents.

Aucun agencement connu n'apporte donc une entière satisfaction en matière de couverture multi-zones par « sauts de zone ».

La situation est sensiblement identique pour ce qui concerne les autres types de couverture muti-zones et en particulier dans le cas de la couverture
20 multi-zones par déviation statique de faisceaux et de la couverture multi-zones par déviation dynamique d'un faisceau.

L'invention a donc pour but d'améliorer la situation en matière de couverture multi-zones.

Elle propose à cet effet un satellite de télécommunications à
25 couverture multi-zones, comportant au moins une antenne d'émission et/ou de réception comprenant au moins une source d'émission et/ou de réception capable de délivrer et/ou de recevoir un faisceau selon une direction choisie définie par une phase de valeur choisie et une amplitude de valeur choisie.

Ce satellite se caractérise par le fait que l'une au moins de ses sources
30 d'émission et/ou de réception est couplée à des moyens de traitement chargés de dévier son faisceau ou sa direction de réception selon au moins une autre direction choisie par variation d'au moins la valeur de l'amplitude.

Lorsqu'une déviation multiple est requise, les moyens de traitement sont chargés de dévier le faisceau selon plusieurs directions choisies en fonction d'une loi de variation de la valeur de l'amplitude.

Le fait d'utiliser un nombre réduit de sources d'émission et/ou de réception permet de simplifier notablement l'architecture des antennes et des satellites qui les portent, d'en améliorer la directivité et le rapport C/I, et d'en maîtriser le roll-off.

Dans un mode de réalisation adapté aux agencements dans lesquels la source d'émission et/ou de réception comprend une ligne principale raccordant un module d'alimentation à un module d'émission et/ou de réception, les moyens de traitement comprennent préférentiellement un premier coupleur implanté sur la ligne principale et couplé à une première extrémité d'une ligne auxiliaire comprenant des moyens de variation d'amplitude, et un second coupleur implanté sur la ligne principale entre le premier coupleur et le module d'émission ou de réception et raccordé à une seconde extrémité de la ligne auxiliaire. Dans ce cas, le second coupleur peut être agencé sous la forme d'un coupleur d'écartométrie, tel que par exemple un extracteur de mode(s) comportant un guide d'onde circulaire couplé à au moins un guide d'onde rectangulaire via une rangée de fentes.

En variante, les moyens de traitement peuvent comprendre un unique coupleur implanté sur la ligne principale et couplé à au moins une cavité résonnante définissant l'amplitude. Dans ce cas les moyens de traitement peuvent comprendre au moins deux cavités résonnantes commandées chacune par une diode PIN et présentant entre elles des couplages électromagnétiques choisis qui définissent l'amplitude.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les moyens de traitement peuvent être agencés de manière à dévier le faisceau ou la direction de réception selon l'une au moins des directions choisies par variation de la valeur de l'amplitude et de la valeur de la phase. Lorsqu'une déviation multiple est requise, la déviation s'effectue alors préférentiellement en fonction d'une loi de variation de la valeur de l'amplitude et d'une loi de variation de la valeur de la phase. Le mode de réalisation à ligne auxiliaire, présenté ci-avant, comprend alors des moyens de variation de phase

implantés sur ladite ligne auxiliaire. De même, dans la variante de réalisation à cavité(s) résonnante(s), l'unique coupleur est couplé à au moins trois cavités résonnantes commandées chacune par une diode PIN et présentant entre elles des couplages électromagnétiques choisis définissant l'amplitude et dont
5 les positions respectives, par rapport au coupleur, définissent la phase.

Lorsque cela s'avère nécessaire, l'antenne d'émission et/ou de réception comprend une multiplicité de sources d'émission et/ou de réception, délivrant chacune un faisceau selon une direction choisie, et des premiers moyens de contrôle chargés de contrôler les moyens de traitement (qui sont
10 couplés aux sources d'émission et/ou de réception) en fonction d'un schéma spatio-temporel choisi.

Dans ce cas, les moyens de traitement de chaque source d'émission et/ou de réception peuvent être agencés de manière à dévier leur faisceau (ou leur direction de réception) de façon cyclique selon N (par exemple N=4)
15 directions différentes associées à N zones de couvertures, chaque faisceau (ou direction de réception) étant alors dévié(e) suivant l'une des N directions pendant une durée choisie égale au Nième de la durée du cycle. Les premiers moyens de contrôle peuvent alors être agencés de manière à ordonner aux moyens de traitement de fonctionner simultanément et selon des cycles de
20 durées égales afin que le satellite assure une couverture multi-zones par sauts de zone (ou beam hopping).

L'invention trouve une application particulièrement intéressante, bien que de façon non limitative, dans le cas d'une émission et/ou d'une réception de faisceaux dans les bandes de fréquence de type « Ku » et/ou « Ka ».

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un diagramme bloc fonctionnel illustrant schématiquement une antenne d'émission et/ou de réception multi-voies d'un satellite selon
30 l'invention,
- la figure 2 illustre de façon schématique le mécanisme de déviation de faisceau en émission ou de déviation de direction de réception,

- la figure 3 illustre schématiquement un premier mode de réalisation d'une voie d'émission et/ou de réception d'une antenne d'émission et/ou de réception d'un satellite selon l'invention,
- la figure 4 illustre schématiquement un exemple de couverture multi-zones adaptée à la déviation statique d'un faisceau,
- la figure 5 illustre schématiquement un second mode de réalisation d'une voie d'émission et/ou de réception d'une antenne d'émission et/ou de réception d'un satellite selon l'invention,
- la figure 6 illustre schématiquement un troisième mode de réalisation d'une voie d'émission et/ou de réception d'une antenne d'émission et/ou de réception d'un satellite selon l'invention,
- la figure 7 illustre schématiquement un exemple de couverture multi-zones dans le cas d'une application de type beam hopping,
- la figure 8 illustre schématiquement le mécanisme de déviation (ou commutation) de faisceau au sein d'une cellule, dans une application de type beam hopping, et
- les figures 9A à 9C illustrent schématiquement, respectivement dans des vues en coupe longitudinale, en perspective partielle (CP2), et en coupe transversale au niveau de CP2, un exemple de réalisation d'un coupleur d'écartométrie utilisé dans une voie d'émission et/ou de réception d'une antenne d'émission et/ou de réception du type de celle illustrée sur la figure 6.

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

L'invention porte sur les satellites de télécommunications destinés à la couverture multi-zones en émission et/ou en réception, et plus précisément sur de tels satellites comprenant au moins une antenne d'émission passive et/ou au moins une antenne de réception passive.

On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 5 pour décrire l'invention dans sa mise en œuvre au sein d'une antenne d'émission et/ou de réception A de satellite ST. Sur ces figures, le satellite ST n'est pas représenté afin de ne pas surcharger les dessins.

Comme illustré sur la figure 1, une antenne de satellite selon l'invention comprend une ou plusieurs voies d'émission et/ou de réception i (ici $i=1$ à n) constituant chacune une source d'émission et/ou de réception S_i capable de délivrer un faisceau, ou de réceptionner des faisceaux, selon au moins deux directions choisies, définies chacune par une phase de valeur choisie et une amplitude de valeur choisie. Une telle source d'émission et/ou de réception S_i comprend un module d'émission et/ou de réception R_i , comme par exemple un transpondeur (tel qu'un HPA pour « Amplificateur à forte puissance » en émission ou tel qu'un LNA pour « Amplificateur à faible bruit » en réception), et un émetteur et/ou récepteur C_i , comme par exemple un cornet, couplé au module d'émission et/ou de réception R_i par une ligne principale LP_i , comme par exemple un guide d'ondes, équipée d'un module de traitement MT_i .

Ce module de traitement MT_i est chargé de dévier le faisceau (ou la direction de réception), que doit émettre (et/ou recevoir) le cornet C_i qui lui est associé, selon au moins une direction choisie qui diffère de la direction associée au mode de propagation standard de la voie d'émission et/ou de réception i (ou source S_i), laquelle est définie par une amplitude A et par une phase Φ .

La déviation est obtenue au moins par une variation ρ de la valeur de l'amplitude A du faisceau émis ou reçu par un module d'émission et/ou de réception R . Mais, comme illustré sur la figure 2, la déviation peut être à la fois obtenue par une variation ρ de la valeur de l'amplitude A et par une variation de la valeur de la phase Φ . Sur cette figure 2, le cercle en pointillé Z , de centre C_{nd} matérialise la couverture d'une zone par un faisceau émis ou reçu, sans traitement (ou déviation), par un cornet C_i d'une antenne d'émission et/ou de réception avec une « dispersion » angulaire θ , tandis que le cercle en trait plein Z' , de centre C_d matérialise la couverture d'une zone par un faisceau dévié émis ou reçu par le même cornet C_i avec la même dispersion angulaire θ .

Comme on peut le constater, en faisant varier l'amplitude, ainsi qu'éventuellement la phase, d'un faisceau à émettre ou à recevoir, il est possible de choisir le plan dans lequel ledit faisceau doit être dévié.

La déviation maximale est limitée à la valeur de θ , qui correspond à la largeur du lobe à 3 dB.

Pour réaliser cette déviation, le module de traitement T_{Mi} peut être agencé de différentes façons.

5 Une première façon peut par exemple consister à implanter sur la ligne principale LP d'une voie d'émission et/ou de réception une ou plusieurs cavités résonnantes agencées de manière à faire varier l'amplitude des signaux, ainsi qu'éventuellement leur phase.

10 Dans l'exemple illustré sur la figure 3, le module de traitement TM comprend un coupleur CP implanté sur la ligne principale LP et couplé à une unique cavité résonnante CR. Le couplage électromagnétique entre le coupleur CP et la cavité CR permet d'exciter un ou deux modes d'ordre supérieur à celui du signal de télécommunication à émettre ou à recevoir, délivré par le module d'émission et/ou de réception R, ce qui induit une déviation du lobe principal
15 d'émission et/ou de réception du cornet C, et par conséquent du faisceau à émettre ou de la direction de réception du faisceau à recevoir, lequel faisceau contient ledit signal de télécommunication.

Ce mode de réalisation qui ne permet qu'une seule déviation est particulièrement bien adapté aux situations dans lesquelles la déviation du
20 faisceau est statique.

C'est par exemple le cas lorsque l'on veut utiliser des grosses sources pour générer des zones (ou spots) qui se recouvrent (les sources sont pré-positionnées car on connaît à l'avance les positions respectives des spots à générer). Dans ce cas, l'invention permet de replacer un ou plusieurs spots
25 en offrant de surcroît des sources plus directives, comme illustré sur la figure 4. Plus précisément, dans l'exemple de la figure 4, les cercles en pointillés Z1 à Z4 matérialisent quatre sources jointives, tandis que les cercles en trait plein Z'1 à Z'4 matérialisent les positions finales des zones (ou spots) couvertes par lesdites sources après traitement (les spots correspondant aux sources
30 sans traitement sont des cercles concentriques aux cercles en pointillés Z1 à Z4 et de diamètres équivalant à ceux des cercles en trait plein Z'1 à Z'4, et les flèches matérialisent les déplacements d2 à d4 des centres des zones Z2 à Z4). Cet exemple correspond notamment au cas des

satellites qui utilisent quatre sources de $1,74^\circ$ en bande S (2500 MHz). Dans ce cas, l'invention permet de remplacer soit une antenne de 9 mètres équipée d'au moins douze sources et d'un BFN (pour « Beam Forming Network » (ou réseau de formation de faisceau) - dispositif permettant d'appliquer des lois d'amplitude et de phase sur toutes les sources pour générer quatre spots ; on se sert donc de trois à quatre sources pour générer chaque spot et certaines sources peuvent être utilisées plusieurs fois), soit trois antennes de 5 mètres équipées de quatre sources, par une antenne de cinq mètres équipée de quatre sources très directives. Il en résulte une amélioration du gain, une optimisation du roll-off et une réduction notable de l'encombrement.

Ce mode de réalisation correspond également aux situations requérant la couverture de zones adjacentes avec recouvrement. Une telle situation correspond notamment aux satellites utilisant quatre antennes dont l'une assure une couverture à l'aide de spots de types Ku et Ka.

De tels satellites assurent généralement la couverture de neuf zones en bande Ka et de quatre zones en bande Ku. La bande Ku correspond, en réception, sensiblement à l'intervalle [13,7 GHz, 15,6 GHz] et, en émission, sensiblement à l'intervalle [10,7 GHz, 12,8 GHz]. La bande Ka correspond, en réception, sensiblement à l'intervalle [27,5 GHz, 30 GHz] et, en émission, sensiblement à l'intervalle [18,2 GHz, 20,2 GHz]. Dans ce cas, l'invention permet d'utiliser des sources Ka et Ku très directives, et par conséquent d'améliorer notablement le gain et le rapport C/I, d'optimiser fortement le roll-off et de diminuer notablement la consommation de puissance.

Ce mode de réalisation correspond également aux situations requérant une déviation dynamique d'un faisceau (également appelée « déplacement de théâtre »). Cette situation peut survenir lorsque l'on utilise un faisceau présentant une dispersion angulaire comprise entre environ $1,6^\circ$ et $3,2^\circ$ permettant de couvrir une zone de 1000 à 2000 kilomètres. C'est notamment le cas pendant certains événements tels que les Jeux Olympiques. L'invention permet ici de repositionner à volonté un faisceau de façon électronique et rapidement, sans avoir à déplacer mécaniquement le satellite, comme c'est le cas actuellement, ce qui réduit la consommation d'énergie et améliore notablement la précision du positionnement et sa

vitesse.

Une variante de ce mode de réalisation utilisant une unique cavité résonnante, en permanence active, peut consister, comme illustré sur la figure 5, à utiliser sur chaque voie d'émission et/ou de réception i (ou source S_i) un module de traitement MT comprenant un coupleur CP implanté sur la ligne principale LP et couplé à au moins deux cavités résonnantes CR1, CR2 commandées chacune par une diode PIN DP1, DP2 et présentant entre elles des couplages électromagnétiques choisis de manière à faire varier l'amplitude ainsi qu'éventuellement la phase. Le couplage électromagnétique entre les cavités CR1 et CR2, via le coupleur CP, permet d'exciter un ou deux modes d'ordre supérieur au mode fondamental du signal de télécommunication à émettre, délivré par le module d'émission et/ou de réception R, ce qui induit une déviation du lobe principal d'émission du cornet C, et par conséquent du faisceau à émettre ou de la direction de réception. Plus précisément, l'amplitude ρ de la déviation est fixée par le couplage entre les cavités résonnantes, tandis que la variation de la valeur de la phase Φ est fixée par la position des cavités résonnantes.

Le nombre de déviations possibles est ici fixé par le nombre de combinaisons d'activation possibles des différentes cavités résonnantes CR, via les diodes PIN de commande DP associées, lequel dépend bien évidemment du nombre de cavités résonnantes utilisées (par exemple quatre ou huit). Le module de traitement MT peut être réalisé d'une seconde façon, comme illustré sur la figure 6. Cette seconde façon consiste à implanter sur la ligne principale LP d'une voie d'émission et/ou de réception (ou source S), d'une part, un premier coupleur CP1, couplé à une première extrémité d'une ligne auxiliaire LA comprenant un atténuateur d'amplitude AA et un déphaseur DP, et d'autre part, un second coupleur CP2 (en aval du premier coupleur CP1), couplé à une seconde extrémité de la ligne auxiliaire LA.

Dans ce mode de réalisation, et dans le cas non limitatif de l'émission, le premier coupleur CP1 est agencé pour prélever sur la ligne principale LP une partie du signal de télécommunication à émettre sous forme de faisceau, de manière à l'injecter dans la ligne auxiliaire LA où elle fait l'objet d'une variation d'amplitude au niveau de l'atténuateur d'amplitude AA,

ainsi qu'éventuellement d'une variation de phase au niveau du déphaseur DP, avant d'être réinjectée dans la ligne principale LP grâce au second coupleur CP2.

Le second coupleur CP2 est agencé de manière à générer à l'entrée
5 du cornet C un ou deux modes (par exemple TM01 et TE21 qui permettent de générer des diagrammes de rayonnement antisymétriques avec une absence de signal dans l'axe) d'ordre supérieur au mode fondamental du signal de télécommunication à émettre, délivré par le module d'émission R, qui induit la déviation du faisceau. En d'autres termes, l'injection d'un ou deux modes
10 d'ordre supérieur à l'entrée du cornet C entraîne une déviation de son lobe principal d'émission. Cela s'applique également à la réception en vertu du théorème de réciprocité qui s'applique lorsque les éléments sont de type passif.

L'atténuateur d'amplitude AA et/ou le déphaseur DP peuvent être de
15 type variable, lorsque cela s'avère nécessaire.

Par exemple, en faisant varier l'amplitude d'une valeur fixe, au niveau de l'atténuateur AA, et la phase par pas $\Delta\Phi$ de 90° , au niveau du déphaseur DP, on peut dévier un faisceau suivant quatre directions. D'une manière générale, en faisant varier l'amplitude d'une valeur fixe et la phase par pas $\Delta\Phi$
20 de $360^\circ/N$, on peut dévier un faisceau suivant N directions. Dans ces situations, le module de traitement TM est donc configuré pour faire varier l'amplitude selon une loi d'amplitude choisie et/ou la phase selon une loi de phase choisie.

Bien entendu, on peut envisager un mode de réalisation dans lequel le
25 déphaseur DP est omis. Dans ce cas, la déviation résulte exclusivement d'une variation d'amplitude.

Ce mode de réalisation, tout comme celui présenté précédemment en référence à la figure 5, est particulièrement bien adapté, bien que de façon non limitative, à la couverture multi-zones par saut de zone (ou beam hopping) qui
30 est illustrée sur les figures 7 et 8.

Comme indiqué dans l'introduction une couverture multi-zones (ou multi-spots) par beam hopping consiste à former une « grappe » ou « mosaïque » G de zones de couverture (ou spots) Z adjacentes, qui,

préférentiellement, se recouvrent partiellement.

Chaque grappe G est subdivisée en cellules Cel comportant un même nombre j de zones Zj. Dans l'exemple illustré sur les figures 7 et 8, chaque cellule Cel est constituée, à titre illustratif, de quatre (j = 1 à 4) zones Zj. Le beam hopping consiste à ne rendre active, à chaque instant, qu'une seule zone Zj de chaque cellule Cel d'une grappe G. Par conséquent, les zones Zj d'une même cellule Cel sont actives (ou couvertes) les unes après les autres, de façon périodique et préférentiellement pendant des durées identiques égales à la j^{ème} partie δT de la période, sous le contrôle du module de contrôle MC. Sur la figure 7, les zones actives ZA d'une grappe G sont matérialisées en noir, tandis que les zones inactives ZI sont matérialisées en blanc.

Ainsi, on peut allouer toute la bande de fréquence disponible sur une partie (active) de l'ensemble des zones pendant une période donnée. Cette situation correspond, notamment, aux satellites qui définissent à chaque instant une centaine de zones actives ZA dans la bande Ka et de dispersion (ou extension) angulaire d'environ 0,36°.

Grâce à l'invention, une même source Si permet désormais de couvrir les quatre (ou N) zones Zj d'une même cellule Cel en utilisant le principe de déviation de faisceau décrit précédemment.

Par exemple, dans le cas illustré sur la figure 8, le cornet Ci de la source Si (ou voie d'émission et/ou de réception i) est agencé pour délivrer un faisceau non traité (ou non dévié) dont le centre est matérialisé par le petit cercle noir Fnd, et le module de traitement MTi, associé à cette source Si, est agencé de manière à dévier le faisceau selon quatre directions différentes qui définissent (ici) les quatre zones Z1 à Z4 d'une cellule Cel.

Dans cet exemple, la première zone (ou spot) Z1 correspond à un faisceau dévié selon une première direction définie par une amplitude A0 et une phase ϕ_0 , la deuxième zone Z2 correspond à un faisceau dévié selon une deuxième direction définie par une amplitude $A_0/\sqrt{3}$ et une phase $\phi_0 + 90^\circ$, la troisième zone Z3 correspond à un faisceau dévié selon une troisième direction définie par une amplitude A0 et une phase $\phi_0 + 180^\circ$, et la quatrième zone Z4 correspond à un faisceau dévié selon une quatrième

direction définie par une amplitude $A_0/\sqrt{\beta}$ et une phase $\phi_0 + 270^\circ$. Par ailleurs, si l'on assimile l'extension angulaire θ du faisceau émis (ou reçu) par le cornet C au diamètre d'une zone Z_j , alors l'amplitude de déviation ρ_1 du centre du faisceau correspondant à la première zone Z_1 par rapport à la direction de référence définie par le centre du faisceau non dévié F_{nd} , est sensiblement égale à $3\theta/4$, et l'amplitude de déviation ρ_2 du centre du faisceau correspondant à la deuxième zone Z_2 par rapport à la direction de référence, est sensiblement égale à $\theta\sqrt{\beta}/4$.

Le module de traitement MT_i d'une voie d'émission et/ou de réception i (ou source S_i) est donc agencé pour « commuter » le faisceau délivré par (ou la direction de réception du faisceau reçu par) son cornet C_i d'une zone à l'autre. Par exemple dans le cas d'une émission, pendant le premier quart de la période le faisceau est dévié selon la première direction, de sorte que seule la première zone Z_1 de la cellule C_i est couverte (ou active). Cette situation correspond à la partie supérieure droite de la figure 7 (T_0). Pendant le deuxième quart de la période le faisceau est dévié selon la deuxième direction, de sorte que seule la deuxième zone Z_2 de la cellule C_i est couverte (ou active). Cette situation correspond à la partie inférieure droite de la figure 7 ($T_0 + \delta T$). Pendant le troisième quart de la période le faisceau est dévié selon la troisième direction, de sorte que seule la troisième zone Z_3 de la cellule C_i est couverte (ou active). Cette situation correspond à la partie inférieure gauche de la figure 7 ($T_0 + 2\delta T$). Enfin, pendant le quatrième quart de la période le faisceau est dévié selon la quatrième direction, de sorte que seule la quatrième zone Z_4 de la cellule C_i est couverte (ou active). Cette situation correspond à la partie supérieure gauche de la figure 7 ($T_0 + 3\delta T$). Une fois la période écoulée, le cycle reprend au niveau de la première zone Z_1 et ainsi de suite.

Le module de contrôle MC de l'antenne d'émission A est agencé de manière à faire fonctionner selon une loi spatio-temporelle les modules de traitement MT_i de chaque voie d'émission i (ou source S_i). Plus préférentiellement, le module de contrôle MC pilote les modules de traitement MT_i de sorte qu'ils fonctionnent de façon synchrone, simultanée et périodique, et que pendant chaque fraction de période δT une même zone Z_j de chaque

cellule Cel soit activée (ou couverte).

L'invention permet donc d'utiliser j fois moins ($j = 2, 3, 4, \dots$) de sources Ka que dans l'art antérieur, ce qui permet de réduire notablement l'encombrement du satellite (par exemple une seule antenne d'émission au lieu
5 de quatre). De plus, ces sources peuvent être très directives ce qui permet d'obtenir un rendement d'illumination très optimisé. En outre, cela permet d'optimiser au mieux le gain G_{EOC} en bord de couverture (ou EOC pour « Edge Of Coverage »). Enfin, la commutation de type beam hopping s'effectuant au sein d'une même antenne, les pertes dues aux guides de liaison sont fortement
10 réduites.

Cela s'applique également à la réception en vertu du théorème de réciprocité qui s'applique lorsque les éléments sont de type passif.

On se réfère maintenant aux figures 9A à 9C pour décrire un exemple de réalisation et de fonctionnement d'un second coupleur CP2 pouvant être
15 utilisé sur une voie d'émission et/ou de réception du type de celles illustrées sur les figures 1 et 6.

Dans ce mode de réalisation, le second coupleur CP2 est préférentiellement un coupleur dit « d'écartométrie » (ou « extracteur de mode(s) »), agencé pour prélever sur la ligne principale LP, en sortie du cornet
20 de réception C, le(s) mode(s) qui est (sont) poursuivi(s) pour l'injecter dans la première ligne auxiliaire LA. Le coupleur d'écartométrie CP2 est conçu de manière à définir un plan de court-circuit pour le(s) mode(s) de poursuite qui va le(s) contraindre à rejoindre la première ligne auxiliaire LA (le mode de propagation standard (ou fondamental), d'ordre le plus bas, ainsi que les autres
25 modes non poursuivis poursuivent donc leur trajet au sein de la ligne principale LP).

Par exemple, le coupleur d'écartométrie CP2 est agencé de manière à extraire et/ou à générer les modes TM01 et TE21 de la ligne principale LP pour les injecter dans la première ligne auxiliaire LA.

30 Cette extraction et/ou cette génération de mode(s) peut s'effectuer de différentes façons. Cependant, il est avantageux qu'elle se fasse par l'intermédiaire d'une ou plusieurs rangées de fentes de couplages, comme illustré sur les figures 9A à 9C.

L'élément d'émission et/ou de réception est ici de type monobloc. Il comprend une partie amont définissant un cornet C et une partie aval prolongeant la partie amont et définissant un coupleur d'écartométrie CP2. En fait, la partie aval CP2 est ici constituée, d'une première part, d'un guide
5 d'ondes central LP, de section circulaire, définissant la ligne principale dans laquelle sont extraits et/ou générés les modes poursuivis, d'une deuxième part, de quatre guides d'ondes périphériques LAa à LAd, de section rectangulaire, définissant quatre portions de la première ligne auxiliaire, et d'une troisième
10 part, quatre rangées de fentes de couplage FEa à FEd, de préférence de forme rectangulaire, assurant le couplage entre le guide d'ondes central LP et les quatre guides d'ondes périphériques LAa à LAd.

Bien entendu, d'autres types de fentes de couplage peuvent être utilisés, comme par exemple des fentes de forme circulaire, ou elliptique, ou encore en croix, et analogues.

15 Dans ce mode de réalisation, les modes d'ordres supérieurs poursuivis sont donc extraits et/ou générés du guide d'ondes principal LP par les fentes de couplage FEa à FEd puis injectés dans les guides d'ondes périphériques LAa à LAd.

Bien entendu, le nombre de rangées de fentes, et par conséquent le
20 nombre de guides d'ondes périphériques, du mode de réalisation illustré sur les figures 9A à 9C, ne sont pas limités à 4. Ce nombre peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à un (1). Il est important de noter que le nombre de rangées ne correspond pas au nombre de modes extraits et/ou
25 générés. On peut en effet utiliser quatre rangées de fentes pour extraire et/ou générer un unique mode supérieur. Par ailleurs, le nombre de rangées sert également à répartir l'extraction et/ou la génération des modes supérieurs sans perturber la voie principale de télécommunication. C'est pourquoi on utilise
30 généralement des rangées de fentes de couplage à symétrie de révolution, par exemple quatre rangées à 90° ou huit rangées à 45°, etc... En outre, on a décrit un couplage par fente, mais on peut également envisager un couplage par sonde lorsque la première ligne auxiliaire est de type coaxial.

D'une manière générale, il est préférable d'extraire au plus deux modes d'ordres supérieurs.

On n'utilise qu'un seul mode d'ordre supérieur (généralement TM01) lorsque la polarisation de l'onde incidente, ou transmise, est circulaire. Connaissant les valeurs de l'amplitude et de la phase, un seul mode suffit alors pour déterminer à chaque fois les paramètres ρ et ϕ décrits précédemment en
5 référence à la figure 2. En d'autres termes, dans le cas d'une polarisation circulaire, en n'utilisant qu'un seul mode on peut dévier le faisceau en émission (ou la direction de réception) dans n'importe quelle direction de l'espace dans les limites de largeur du lobe principal à 3 dB (θ_{3dB}).

En revanche, on utilise deux modes d'ordres supérieurs (généralement
10 les couples (TM01 et TE21) ou (TE21 et TE21 orthogonaux)) lorsque la polarisation de l'onde incidente ou transmise est linéaire. Connaissant les valeurs de l'amplitude et de la phase de ces deux modes on peut en effet déterminer à chaque fois les paramètres ρ et ϕ décrits précédemment en référence à la figure 2. En d'autres termes, dans le cas d'une polarisation
15 linéaire, en utilisant deux modes orthogonaux, on peut dévier le faisceau en émission (ou la direction de réception) dans n'importe quelle direction de l'espace dans les limites de largeur du lobe principal à 3 dB (θ_{3dB}).

Il est également important de noter que dans ce dernier mode de réalisation le couplage ne peut pas être modifié de façon dynamique du fait
20 qu'un extracteur de modes est une pièce mécanique taillée dans la masse. Par conséquent, une fois que l'on a choisi la polarisation de l'onde, il ne reste plus qu'à déterminer si l'on va extraire un ou deux modes d'ordres supérieurs, puis on conçoit en conséquence l'extracteur de mode(s).

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de satellite de
25 télécommunications décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

REVENDEICATIONS

1. Satellite de télécommunications à couverture multi-zones, comportant au moins une antenne d'émission et/ou de réception (A) comprenant au moins
5 une source d'émission et/ou de réception (Si) propre à délivrer et/ou recevoir un faisceau selon une direction choisie définie par une phase de valeur choisie et une amplitude de valeur choisie, caractérisé en ce que l'une au moins des sources d'émission et/ou de réception (Si) est couplée à des moyens de traitement (MTi) agencés pour dévier son faisceau ou sa direction de réception
10 selon au moins une autre direction choisie par variation d'au moins la valeur de ladite amplitude.

2. Satellite selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MTi) sont agencés pour dévier ledit faisceau ou ladite direction de réception selon plusieurs autres directions choisies en fonction
15 d'une loi de variation de la valeur de ladite amplitude.

3. Satellite selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que, ladite source d'émission et/ou de réception (Si) comprenant une ligne principale (LPi) raccordant un module d'alimentation (Ri) à un module d'émission et/ou de réception (Ci), lesdits moyens de traitement (MTi)
20 comprennent un premier coupleur (CP1i) implanté sur ladite ligne principale (LPi) et couplé à une première extrémité d'une ligne auxiliaire (LAI) comprenant des moyens de variation d'amplitude (AAi), et un second coupleur (CP2i) implanté sur ladite ligne principale (LPi) entre ledit premier coupleur (CP1i) et ledit module d'émission et/ou de réception (Ci) et raccordé à une seconde
25 extrémité de ladite ligne auxiliaire (LAI).

4. Satellite selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit second coupleur (CP2) est agencé sous la forme d'un coupleur d'écartométrie.

5. Satellite selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit coupleur d'écartométrie (CP2) est un extracteur de mode(s).

30 6. Satellite selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit extracteur de mode(s) (CP2) comprend un guide d'onde circulaire couplé à au moins un guide d'ondes rectangulaire via une rangée de fentes.

7. Satellite selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdites

fentes présentent une forme choisie dans un groupe comprenant au moins les rectangles, les ellipses et les croix.

8. Satellite selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que, ladite source d'émission et/ou de réception (Si) comprenant une ligne principale (LPi) raccordant un module d'alimentation (Ri) à un module
5 d'émission et/ou de réception (Ci), lesdits moyens de traitement (MTi) comprennent un coupleur (CPi) implanté sur ladite ligne d'émission et/ou de réception (LPi) et couplé à au moins une cavité résonnante (CRi) définissant ladite amplitude.

10 9. Satellite selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MTi) comprennent au moins deux cavités résonnantes (CR1, CR2) commandées chacune par une diode PIN (DP1, DP2) et présentant entre elles des couplages électromagnétiques choisis définissant ladite amplitude.

15 10. Satellite selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MTi) sont agencés pour dévier ledit faisceau ou ladite direction de réception selon l'une au moins desdites autres directions choisies par variation de la valeur de ladite amplitude et de la valeur de ladite phase.

20 11. Satellite selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MTi) sont agencés pour dévier ledit faisceau ou ladite direction de réception selon lesdites autres directions choisies en fonction d'une loi de variation de la valeur de ladite amplitude et d'une loi de variation de la valeur de ladite phase.

25 12. Satellite selon l'une des revendications 3 à 11, caractérisé en ce que ladite ligne auxiliaire (LAI) comprend des moyens de variation de phase (DPi).

13. Satellite selon l'une des revendications 11 et 12 en combinaison avec la revendication 8, caractérisé en ce que ledit coupleur (CPi) est couplé à au moins trois cavités résonnantes (CR) commandées chacune par une diode PIN
30 (DP) et présentant entre elles des couplages électromagnétiques choisis définissant ladite amplitude et dont les positions respectives par rapport audit coupleur (CPi) définissent ladite phase.

14. Satellite selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que

ladite antenne d'émission et/ou de réception (A) comprend une multiplicité de sources d'émission et/ou de réception (Si) propres à délivrer et/ou recevoir chacune un faisceau selon une direction choisie, et des premiers moyens de contrôle (MC) agencés pour contrôler les premiers moyens de traitement (MTi),
5 couplés auxdites sources d'émission et/ou de réception (Si), en fonction d'un schéma spatio-temporel choisi.

15. Satellite selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MTi) de chaque source d'émission et/ou de réception (Si) sont agencés pour dévier un faisceau ou ladite direction de réception de
10 façon cyclique selon N directions différentes correspondant à N zones de couverture (Z1, Z2, Z3, Z4), chaque faisceau étant dévié suivant l'une desdites N directions pendant une durée choisie égale au Nième de la durée du cycle.

16. Satellite selon la revendication 15, caractérisé en ce que lesdits premiers moyens de contrôle (MTi) sont agencés pour ordonner auxdits
15 moyens de traitement (MTi) de fonctionner simultanément et selon des cycles de durées égales, de manière à assurer une couverture multi-zones par sauts de zone.

17. Utilisation du satellite selon l'une des revendications précédentes dans les bandes de fréquence de type Ku et/ou Ka.

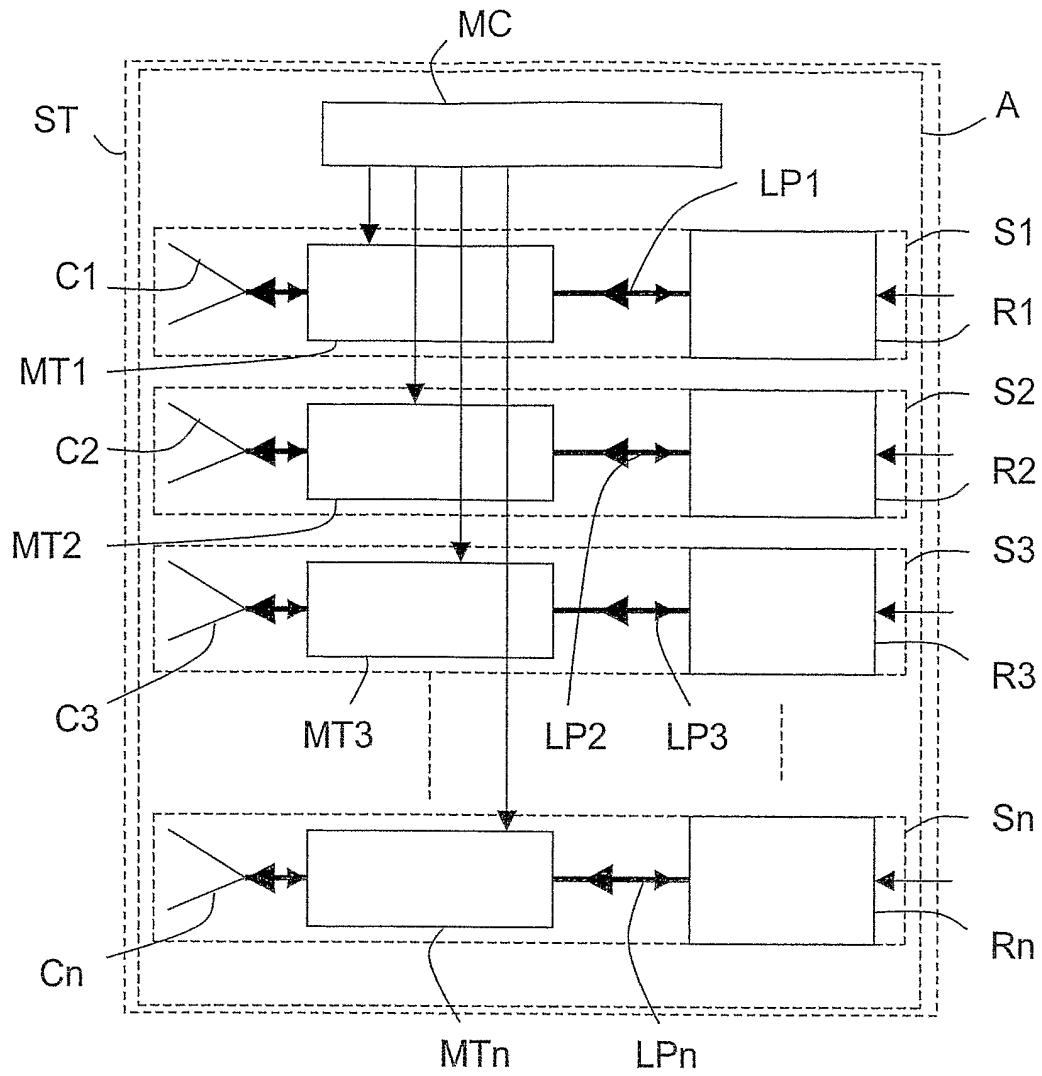


FIG.1

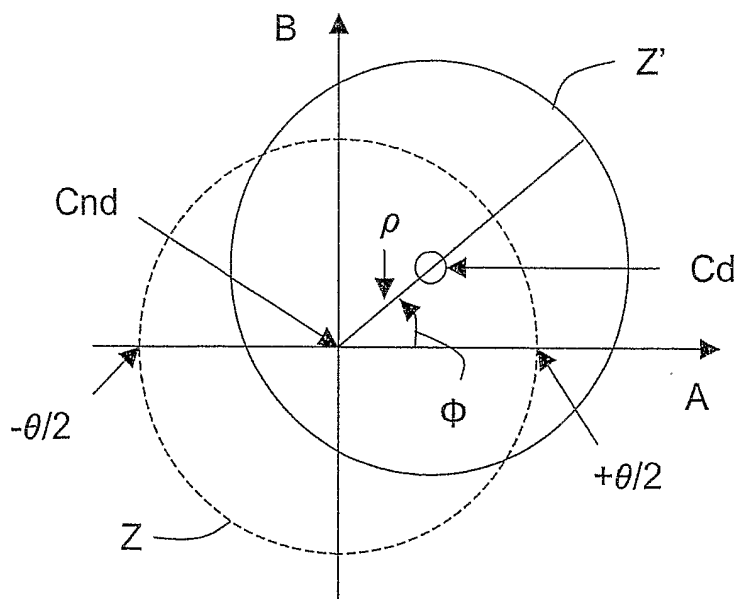


FIG.2

FIG.3

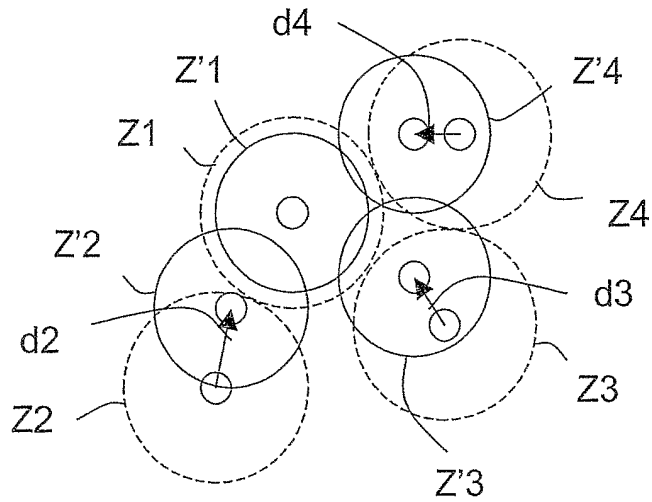
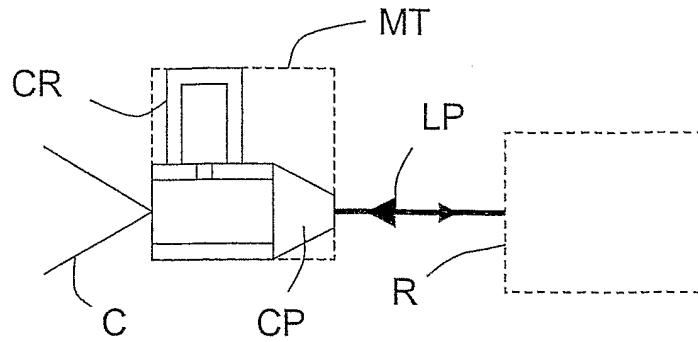


FIG.4

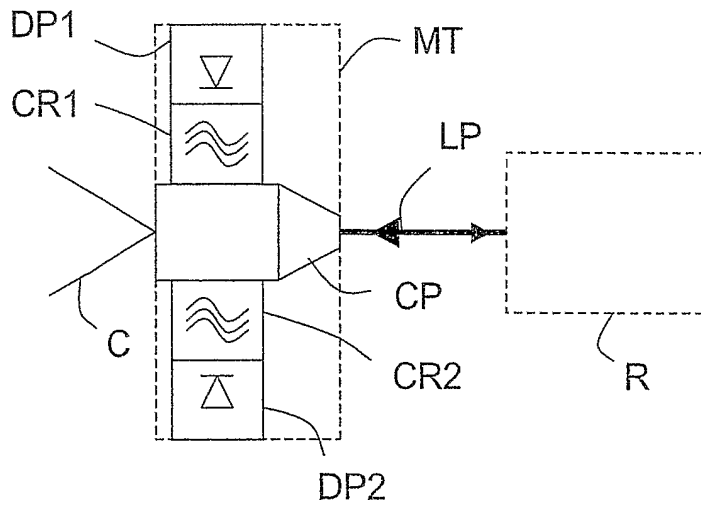


FIG.5

FIG.6

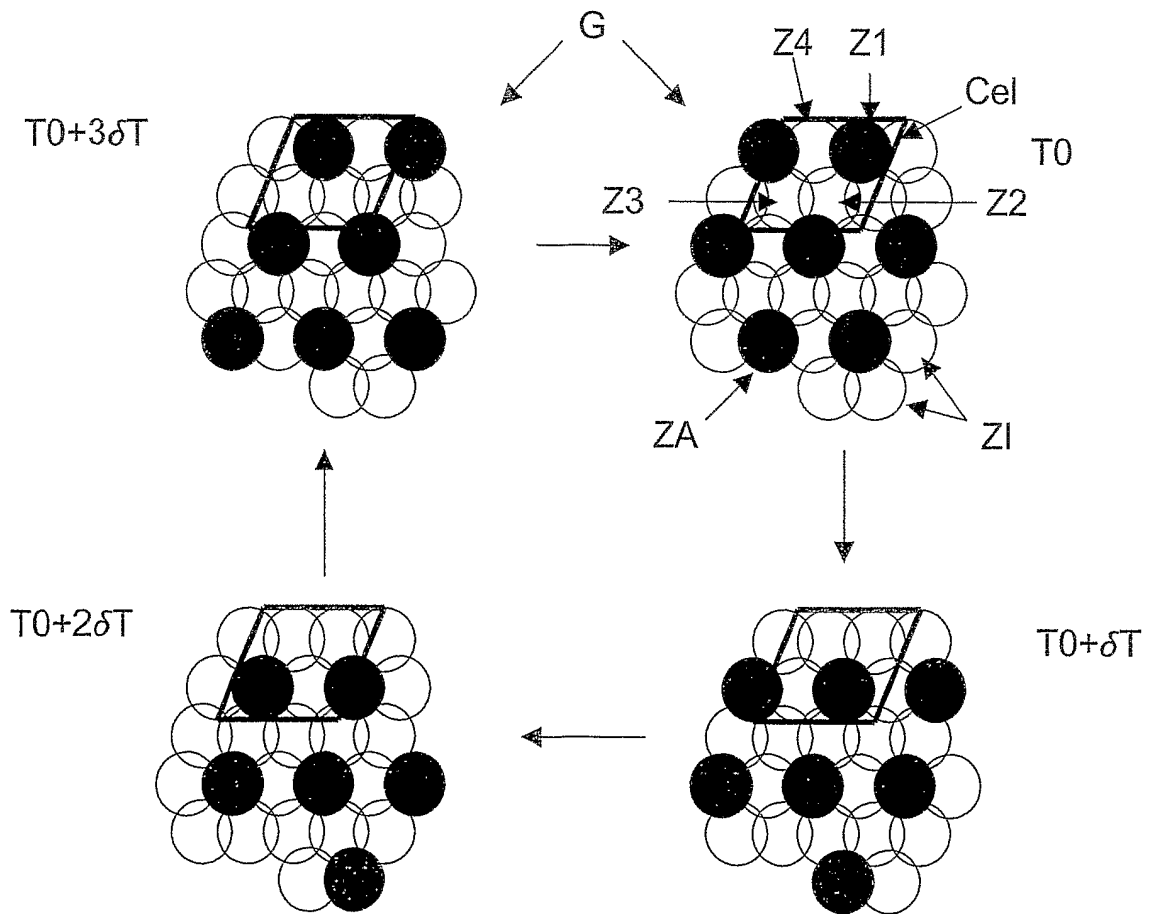
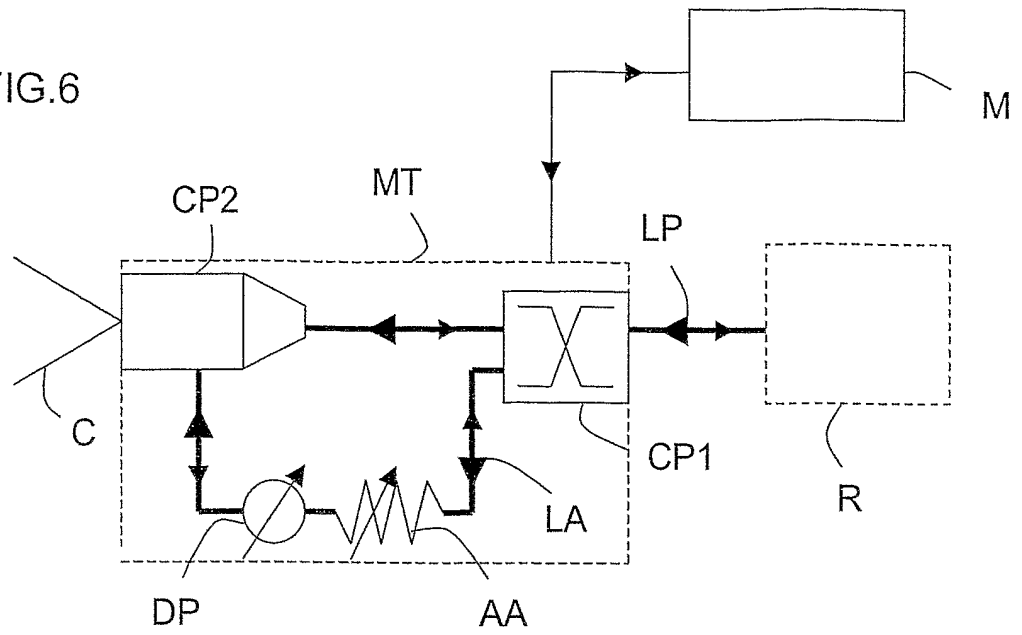


FIG.7

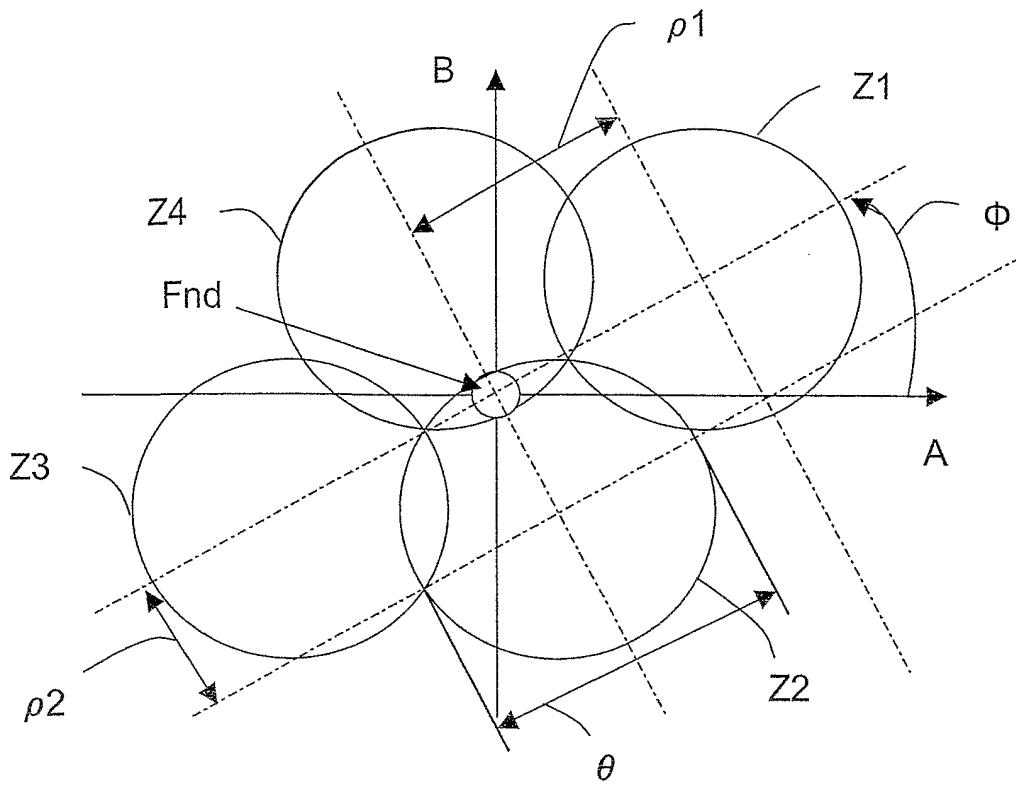


FIG. 8

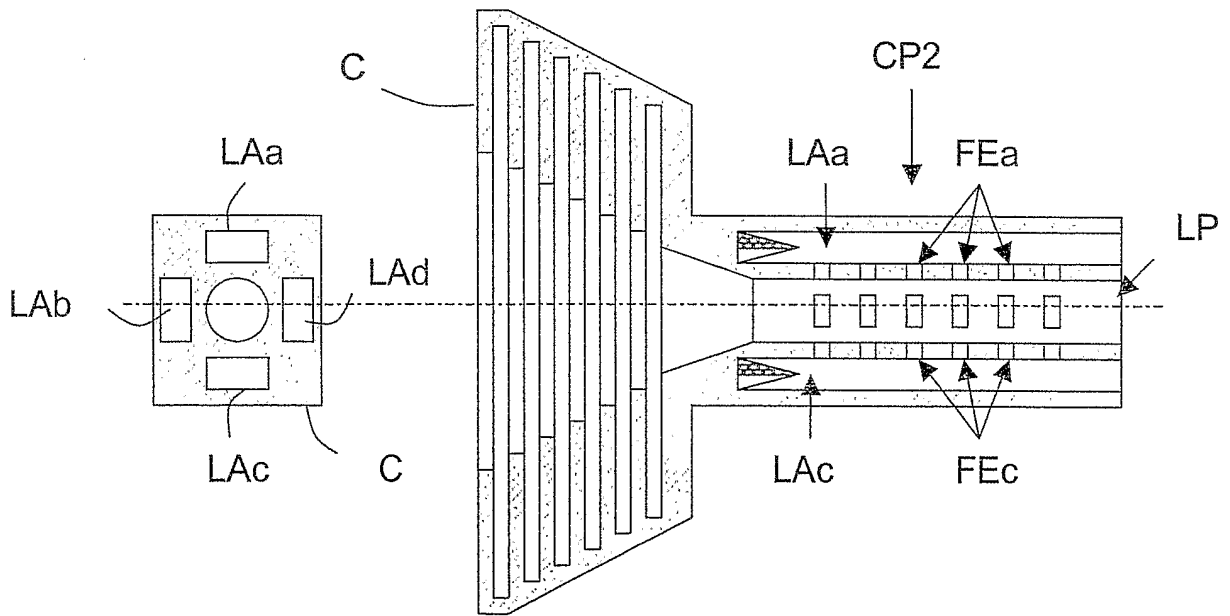


FIG. 9A

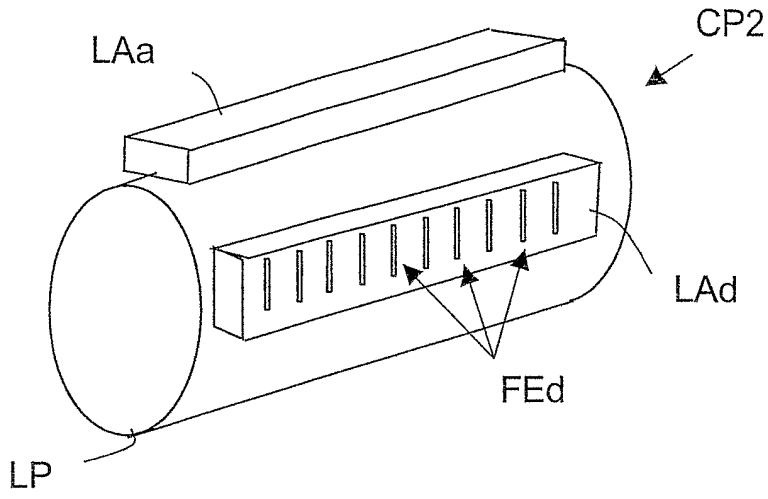


FIG. 9B

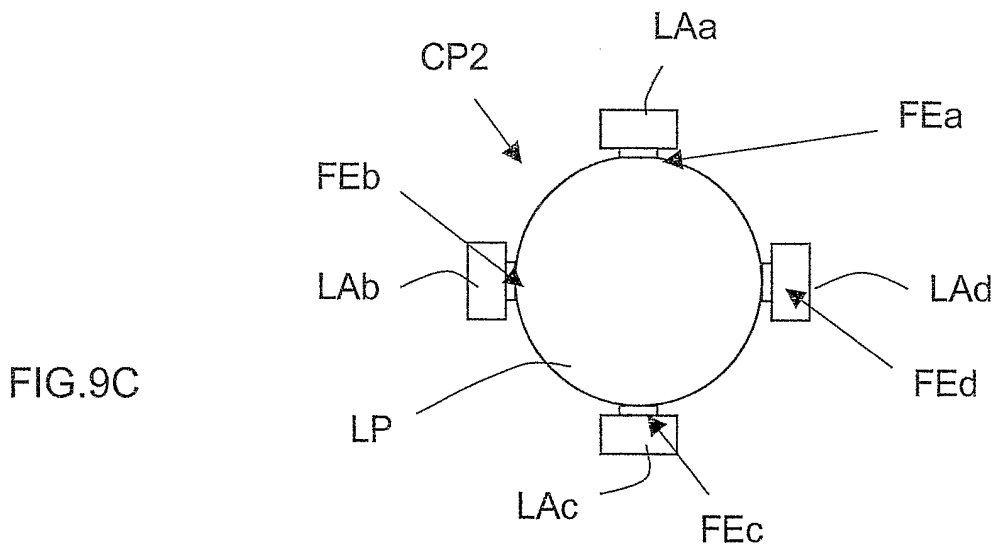


FIG. 9C