



(11)

EP 2 429 036 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
06.11.2019 Bulletin 2019/45

(51) Int Cl.:
H01Q 1/28 ^(2006.01) **H01Q 13/02** ^(2006.01)
H01Q 25/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11306118.8**

(22) Date de dépôt: **08.09.2011**

(54) **Antenne de télécommunication multifaisceaux embarquée sur un satellite à grande capacité et système de télécommunication associé**

Mehrstrang-Telekommunikationsantenne, die auf einem Hochleistungssatelliten montiert ist, und zugehöriges Telekommunikationssystem

Increased capacity multi-beam telecommunication antenna on board of a satellite and an associated telecommunication system

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **10.09.2010 FR 1057193**

(43) Date de publication de la demande:
14.03.2012 Bulletin 2012/11

(73) Titulaire: **CENTRE NATIONAL D'ETUDES
SPATIALES
75001 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Palacin, Baptiste
31670 LABEGE (FR)**

• **Deplancq, Xavier
31000 TOULOUSE (FR)**

(74) Mandataire: **Delorme, Nicolas et al
Cabinet Germain & Maureau
12, rue Boileau
BP 6153
69466 Lyon Cedex 06 (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A1- 1 170 823 EP-A1- 2 120 281
US-A- 4 236 161 US-A- 6 157 811
US-B1- 7 161 549**

EP 2 429 036 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne une antenne de télécommunication destinée à être embarquée à bord d'un satellite de télécommunication, une charge utile d'un satellite de télécommunication comprenant l'antenne, et un système de télécommunication utilisant la charge utile et donc l'antenne de télécommunication.

[0002] De manière générale et jusqu'à présent dans le cas des télécommunications spatiales utilisant les satellites géostationnaires pour la transmission de services multimédia en bande Ka, on cherche à élargir la couverture fournie par la ou les antennes de télécommunication embarquées à bord du satellite et à augmenter la capacité de transmission tout en assurant une performance en C/I (rapport du signal utile sur signaux interférents) élevée.

[0003] Pour obtenir la performance de niveau système attendue, il faut disposer d'antennes de télécommunication qui assurent une isolation spatiale suffisante entre faisceaux ou leurs empreintes au sol dénommées par la suite zones élémentaires ou spots, de sorte à permettre des réutilisations programmées de manière fixe ou dynamique de tout ou partie des ressources en fréquences allouées au système (réutilisation des fréquences).

[0004] Compte tenu du grand nombre de spots à réaliser, un nombre élevé d'antennes directives est à implanter sur une même plateforme de satellite et il est également nécessaire de disposer de structures à grande focale pour réaliser des performances d'isolation élevée entre faisceaux associées à une stabilité de pointage sévère.

[0005] Le document US 6 157 811A décrit une famille de systèmes de radiocommunication et de procédés de type matriciel qui permet de minimiser, voir d'annuler les interférences entre canaux.

[0006] Le document US 7 161 549 B1 décrit une antenne de télécommunication multifaisceaux comprenant au moins un réflecteur et un bloc de source associé.

[0007] De nos jours, les missions multimédias en bande Ka utilisent des solutions d'antenne à multiples réflecteurs. En effet l'utilisation de plusieurs réflecteurs permet d'utiliser des sources suffisamment grandes pour éclairer de manière optimale les réflecteurs et former ainsi des faisceaux fins avec une directivité élevée maximale (rendement d'antenne élevé).

[0008] Ainsi, le satellite le plus récent en Europe utilisant ce type d'antenne est le satellite dénommé Ka-sat de l'opérateur Eutelsat. Il fournit une couverture européenne à l'aide d'environ 80 faisceaux de 0,45° d'ouverture angulaire générés par quatre réflecteurs de 2,6 mètres de diamètre. Chacun de ces réflecteurs fonctionne sur une voie d'émission aller descendante et sur une voie de réception retour montante. Ce système de communication est prévu pour fournir une capacité totale d'environ 70 Gbits/s, le rapport en C/I minimal sur la couverture étant de l'ordre de 14 dB.

[0009] Il est à remarquer que le satellite Ka-sat aurait

pu utiliser un unique réflecteur de 2,6 mètres de diamètre. Dans ce cas il aurait été nécessaire de réaliser des sources d'éclairage plus petites, ce qui aurait dégradé le rendement de l'antenne notamment par l'augmentation des pertes d'énergie par débordement (dénommées en anglais « spill-over »), typiquement de 4 à 6 dB. La performance en C/I restant de l'ordre de 12 dB la perte d'efficacité de l'antenne aurait entraîné une dégradation de la Puissance Rayonnée Isotrope Emise (PIRE), ce qui se serait traduit par une perte de capacité du système de télécommunication notable et non désirée.

[0010] De nos jours, plusieurs missions sont distinguées allant de la couverture d'une région de grande taille par exemple l'Europe jusqu'à des couvertures concernant un ou un nombre limité de plusieurs pays européens.

[0011] L'étude de couvertures concernant un à trois pays est actuellement l'objet de nombreuses recherches et développements. Par exemple, la fourniture d'un satellite de télécommunication multimédia à capacité élevée et ayant pour zone de couverture un pays de la taille de la France est envisagée.

[0012] Dans ces systèmes en cours d'étude et de développement, l'augmentation de la capacité est toujours recherchée par l'utilisation d'une bande passante allouée plus large lorsque la réglementation le permet ou encore par la réutilisation du spectre dans des zones réduites à l'aide de pinceaux très fins.

[0013] Franchir ce fossé en termes de capacité nécessite alors l'utilisation de faisceaux plus fins.

[0014] Or les capacités d'emport des plateformes et des lanceurs actuels ne permettent pas d'envisager de solutions à multiples réflecteurs de diamètre supérieur à 3 mètres ou 3,5 mètres.

[0015] Ainsi l'utilisation de quatre réflecteurs de 3,2 mètres de diamètre correspond actuellement à une configuration limite d'emport sur un satellite pour rentrer dans une coiffe d'un lanceur.

[0016] Pour cette configuration d'antennes à quatre réflecteurs et en optimisant au mieux les paramètres déterminants de poids fort du système, on obtient une capacité d'environ 65 Gbits/s avec 36 faisceaux sur la France.

[0017] Dans cette configuration limite, les sources sont optimisées pour les quatre réflecteurs et les pertes par débordement s'élèvent à environ 2 dB pour un C/I minimal de l'ordre de 9 dB.

[0018] En outre, lorsque le nombre de faisceaux augmente, les C/I observés deviennent très faibles et, en dépit de la réutilisation des fréquences, la capacité diminue.

[0019] Le problème technique est d'augmenter la capacité de transmission du satellite dans des conditions de fonctionnement du satellite identiques à celles présentées pour la configuration limite en termes de puissance consommée par la charge utile multimédia du satellite, de bande de fréquences allouée à la voie descendante, de caractéristiques des terminaux et de contrain-

tes d'emport sur un satellite destiné à rentrer dans une coiffe d'un lanceur.

[0020] A cette fin, l'invention a pour objet une antenne de télécommunication multifaisceaux destinée à équiper une charge utile de télécommunication à débit élevé pour couvrir en émission et/ou en réception une zone géographique depuis une orbite géostationnaire, apte à être montée mécaniquement sur une ou deux plateformes de satellite et à être couplée électro-magnétiquement à un répéteur, comprenant :

au moins un réflecteur radioélectrique, et un bloc source associé, formé d'une pluralité de sources radioélectriques élémentaires disposées dans un plan, la pluralité des sources radioélectriques élémentaires étant configurée pour illuminer le réflecteur par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquences et/ou pour être illuminé par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquences réfléchi par le réflecteur selon un ensemble multifaisceaux primaire de faisceaux adjacents primaires répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux primaires adjacents, deux faisceaux primaires quelconques adjacents étant séparés par une première séparation angulaire θ_{S1} , le réflecteur étant configuré pour réfléchir une partie de l'énergie électromagnétique émise par le bloc source et/ou pour intercepter une partie de l'énergie électromagnétique émise depuis la zone géographique, selon un ensemble multifaisceaux secondaire de faisceaux réfléchis adjacents secondaires répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux secondaires adjacents, deux faisceaux secondaires quelconques adjacents étant séparés par une deuxième séparation angulaire θ_{S2} , caractérisée en ce que le réflecteur est unique, et le bloc source est dimensionné et agencé de sorte que chaque source est apte à générer et/ou recevoir un faisceau unique différent et que la première séparation angulaire θ_{S1} est sensiblement égale à la deuxième séparation angulaire θ_{S2} , et les pertes d'énergie par débordement associées à chaque source sont comprises entre 3 et 10 dB, de préférence comprises entre 3 et 7,5 dB.

[0021] Suivant des modes particuliers de réalisation, l'antenne de télécommunication comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

le réflecteur est un réflecteur non conformé, et le plan dans lequel sont disposées les sources radioélectriques est un plan focal du réflecteur ;

- le réflecteur est une portion de paraboloïde centrée sur son centre de symétrie de paraboloïde C_P ,

le plan focal du réflecteur dans lequel sont disposées les sources radioélectriques est orthogonal à l'axe passant par le centre de symétrie C_P du paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde, une source quelconque du bloc source a une taille d'ouverture notée T_{source} , qui vérifie la relation

$$T_{source} \leq F * \tan(\theta_{s2} * (1 + \varepsilon))$$

dans laquelle

F désigne la distance focale égale à la distance entre le centre C_P de symétrie de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

θ_{S2} désigne la séparation angulaire de deux faisceaux adjacents secondaires, et ε est un coefficient numérique compris entre 0 et +0,35 ;

- le réflecteur est une portion d'un paraboloïde décalée par rapport au bloc source de façon à éviter le masquage des faisceaux secondaires par le bloc source, et une source quelconque du bloc source a une taille d'ouverture notée T_{source} , qui vérifie la relation

$$T_{source} \leq F_{eq} * \tan(\theta_{s2} * (1 + \varepsilon))$$

dans laquelle

F_{eq} désigne une distance focale équivalente égale à la distance entre un centre C_D de découpe de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

θ_{S2} désigne la séparation angulaire de deux faisceaux adjacents secondaires, et ε est un coefficient numérique compris entre 0 et +0,35 ;

- le réflecteur est une portion d'un paraboloïde, et le bloc source comprend au moins un ensemble de sources radioélectriques adjacentes formées de cornets à ouverture circulaire, chaque cornet de l'ensemble ayant un diamètre D_{source} incluant l'épaisseur métallique de la paroi du cornet, et le diamètre D_{source} de l'ouverture vérifie la relation :

$$D_{source} = F_{eq} * \tan(\theta_{s2} * (1 + \varepsilon)) \text{ lorsque le réflecteur est une portion d'un paraboloïde}$$

décalée par rapport au bloc source, et la relation

$D_{source} = F \cdot \tan(\theta_{s2} \cdot (1 + \varepsilon))$ lorsque le réflecteur est une portion de paraboloïde centrée sur son centre de symétrie de paraboloïde C_P .

dans lesquelles

F désigne la distance focale égale à la distance entre le centre C_P de symétrie de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

F_{eq} désigne une distance focale équivalente égale à la distance entre un centre C_D de découpe de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

θ_{s2} désigne la séparation angulaire de deux faisceaux adjacents secondaires, et ε est un coefficient numérique compris entre 0 et +0,35 ;

- le bloc source et le réflecteur sont configurés pour fonctionner dans une bande de fréquence comprise dans l'ensemble des bandes C, Ku, Ka ;
- la disposition des sources radioélectriques dans le plan est celle d'une configuration correspondant à une distribution optimisée pour un nombre de couleurs égal à 3, 4, ou 7 ;
- la valeur minimale sur la couverture géographique du rapport C/I entre, d'une part l'énergie émise et/ou reçue par le réflecteur dans un faisceau secondaire quelconque, et d'autre part la somme des énergies émises et/ou reçues dans le même faisceau secondaire et émises et/ou reçues par le réflecteur depuis les autres faisceaux de même couleur que le faisceau secondaire, est inférieur à 15 dB, de préférence à 12 dB.

[0022] L'invention a également pour objet une charge utile de télécommunication destinée à transmettre et/ou recevoir des données à débit élevé, comprenant une antenne d'émission et/ou de réception telle que définie ci-dessus et un répéteur, caractérisé en ce que le répéteur comprend un ensemble de voies de transmission en émission et/ou en réception, chaque voie de transmission comprenant une borne de sortie et/ou d'entrée radioélectrique connectée à un source radioélectrique unique et différente du bloc source, et étant configurée pour fournir des signaux radioélectriques dans une sous-bande de fréquence B(i) parmi un nombre prédéterminé Nb de sous-bandes de fréquences formant une bande de fréquence allouée, et en ce que chaque sous-bande B(i) étant associée à une couleur, les voies de transmission sont aptes à distribuer en émission et/ou en réception les sous-bandes de fréquences à l'ensemble des sources radioélectriques élémentaires

de sorte que le diagramme au sol formé par les couleurs associées aux différents faisceaux secondaires générés par l'antenne est un diagramme à Nb couleurs de réutilisation de fréquences optimisé, c'est-à-dire un diagramme pour lequel la distance angulaire entre deux faisceaux utilisant une même couleur est la plus grande sur l'ensemble des diagrammes possibles.

[0023] L'invention a également pour objet un système de télécommunication par satellite comprenant :

un satellite de télécommunication équipé d'une charge utile telle que définie ci-dessus, un ensemble de terminaux de télécommunication pouvant transmettre et/ou recevoir des signaux radioélectriques vers/depuis le satellite, une ou plusieurs stations d'accès satellitaire aptes à émettre et/ou recevoir des signaux radioélectriques aux/des terminaux au travers du satellite suivant une liaison montante aller et/ou retour, et chaque terminal est apte à déterminer le rapport C/I+N observé par son antenne respective et/ou par l'antenne satellite entre, d'une part l'énergie C reçue associée au signal radioélectrique utile du terminal et contenue dans le faisceau secondaire de couverture du terminal, et d'autre part, la somme I des énergies reçues dans le même faisceau secondaire mais émises depuis les autres faisceaux secondaires de même couleur que la source associée au faisceau secondaire de couverture du terminal et de l'énergie N du bruit thermique reçu, et comprend un dispositif d'adaptation de débit reçu ou transmis en fonction des conditions de C/I+N observées, le débit étant variable par la modification du nombre d'états d'une modulation et/ou le taux de codage et/ou le débit symbole.

[0024] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'une unique forme de réalisation qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue générale de l'architecture d'un système de télécommunication à satellite géostationnaire selon l'invention;
- la Figure 2 est une vue géométrique du satellite et de la couverture de service permettant de visualiser l'angle d'élévation du satellite vu d'un point quelconque de la couverture ;
- la Figure 3 est une vue partielle de la couverture de l'antenne de télécommunication du satellite des Figures 1 et 2 avec la répartition des fréquences associées aux faisceaux suivant une configuration à quatre couleurs ;
- la Figure 4 est un schéma du système de télécommunication permettant de visualiser le lien entre la répartition des sous-bandes sur les sources de l'antenne et la distribution des sous-bandes sur les faisceaux de la voie descendante allant du satellite aux

- terminaux;
- la Figure 5 est une vue du bloc source de l'antenne de la Figure 4 configuré suivant une répartition à quatre couleurs;
- la Figure 6 est une vue d'une coupe de l'antenne de la Figure 4 suivant l'axe VI-VI ;
- la Figure 7 est une variante à trois couleurs du bloc source de la Figure 5 ;
- la Figure 8 est une vue partielle du répéteur du satellite et de son couplage électrique au bloc source de l'antenne ;
- la Figure 9 est une vue partielle de la couverture de service obtenue avec le satellite de la Figure 2 équipé de l'antenne de télécommunication des Figures 4 et 5, et du bloc source à quatre couleurs de la Figure 5 ;

Suivant la Figure 1, un système 2 de télécommunication, ici de services multimédia, à satellite comprend un ensemble 4 de terminaux multimédia 6, 8, 10, un satellite 12 en orbite géostationnaire autour de la Terre 14, une infrastructure terrestre multimédia 16 et plusieurs stations 18, 19, 20, 21 d'accès au satellite (dénommées classiquement « gateway » en anglais), connectées chacune à l'infrastructure terrestre 16 par une liaison de communication différente, non représentée, en des bornes de connexion respectives 22, 23, 24, 25.

[0025] Le système multimédia 2 est supposé desservir une zone géographique de couverture 26 de faible étendue, comprise entre 500 000 km² et 1 500 000 km².

[0026] Typiquement cela correspond pour l'hémisphère nord à un, deux ou trois pays de la taille de la France chacun.

[0027] Ici à titre d'exemple, la zone de couverture 26 du service de télécommunication est la France, et elle est comprise entre les méridiens situés à 5° ouest et 6° est, entre les latitudes 43° nord et 51° nord.

[0028] Le satellite géostationnaire 12 en orbite géostationnaire autour de la Terre 14 est placé sur un premier arc de l'orbite géostationnaire proche ou contenu dans un deuxième arc géostationnaire survolant les méridiens d'extrémité entourant la France. Ici, sur la Figure 1 le satellite géostationnaire 12 est situé sur un méridien médian traversant le centre de la France.

[0029] Par rapport à la zone de couverture 26, le satellite 12 est situé suivant une direction sud géographique 30 représentée par la flèche de bout allant vers l'arrière du plan de la Figure 1. Une direction nord 32, opposée à la direction sud 30, est représentée par une flèche circconférentielle à la surface de la Terre 14.

[0030] Depuis la zone de couverture 26, le satellite 12 est vu suivant un angle d'élévation désigné par EI et représenté sur la figure 2 comme étant un angle moyen compris entre la tangente suivant une direction longitudinale 34 en un point quelconque 36 de la couverture 26 et le rayon vecteur 38 reliant le point 36 de la couverture 26 et le satellite 12.

[0031] Suivant la Figure 1, le satellite 12 comprend une

plateforme géostationnaire 40 stabilisée, deux panneaux solaires 42, 44 et une charge utile de télécommunication multimédia 46.

[0032] La charge utile 46 est apte à assurer la retransmission de services multimédia depuis les stations d'accès 18, 19, 20, 21 vers les terminaux multimédia 6, 8, 10.

[0033] La charge utile 46 est apte à recevoir des signaux multimédia émis sur une voie aller montante 48 dans une première bande Ka par les stations d'accès 18, 19, 20, 21.

[0034] La charge utile 46 est apte émettre les signaux multimédias reçus à destination des terminaux 6, 8, 10 suivant une voie aller descendante 50 fonctionnant dans une deuxième bande Ka, distincte de la première bande Ka.

[0035] La charge utile 46 est ici transparente en se limitant à l'amplification et la transposition en fréquences des signaux multimédias.

[0036] La charge utile 46 comprend une antenne satellite de réception multimédia 52, une antenne satellite d'émission multimédia 54, et un répéteur de mission multimédia 56 connecté entre l'antenne satellite de réception multimédia 52 et l'antenne satellite d'émission multimédia 54 par des liaisons électriques 58 et 60.

[0037] Le répéteur multimédia 56 comprend une alimentation électrique 61 de la charge utile 46 apte à conditionner l'énergie électrique fournie par les panneaux solaires 42, 44 pour les éléments électriques constitutifs de la charge utile 46.

[0038] L'antenne satellite d'émission multimédia 54 est une antenne multifaisceaux à réflecteur.

[0039] Elle comprend un unique réflecteur 62 ayant un plan focal 63 distant d'une longueur focale F et un bloc source 64 comportant une pluralité de sources élémentaires 66 de nombre prédéterminé Ns.

[0040] Le réflecteur unique 62 est apte à intercepter une partie de l'énergie électromagnétique émise par le bloc source 64 et à réfléchir l'énergie électromagnétique vers la zone de couverture 26 en des multifaisceaux descendants.

[0041] Le réflecteur 62 est unique et possède un diamètre apparent D de 5 mètres de façon à former des faisceaux de taille angulaire compris entre 0,10° et 0,22°.

[0042] En effet, il est bien connu que l'angle d'ouverture d'un faisceau généré par une ouverture rayonnante ayant un diamètre apparent est proportionnel à la longueur d'onde du rayonnement et inversement proportionnel au diamètre apparent. Ici l'ouverture rayonnante est le réflecteur 62.

[0043] Les sources radioélectriques élémentaires 66 sont disposées dans le plan focal 63 et sont aptes à illuminer le réflecteur unique 62 par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquence Ka ou Ku.

[0044] Le bloc source 64 est du type mono-source par faisceau (en anglais SFB pour Single Feed per Beam), chaque source étant apte à générer un faisceau unique différent et le diamètre de chaque source élémentaire étant égal au diamètre image dans le plan focal du fais-

ceau associé.

[0045] De manière générale et dans tout ce qui suit, un faisceau d'énergie électromagnétique est dénommé « primaire » lorsqu'il est établi entre une source élémentaire 66 du bloc source 64 et le réflecteur 62, et le faisceau est dénommé « secondaire » lorsqu'il est établi entre le réflecteur 62 et une zone élémentaire de la couverture 26, cela indépendamment du sens de propagation de l'énergie dans le faisceau c'est-à-dire du mode émission ou réception de l'antenne 46.

[0046] La disposition du réflecteur 62 par rapport à la plateforme 40, la position orbitale et l'attitude stabilisée de la plateforme 40, la configuration de l'antenne sont choisies de sorte que l'antenne 54 génère des faisceaux secondaires descendants couvrant par leur empreinte la zone de couverture 26 géographique correspondant à la France.

[0047] La pluralité 64 des sources radioélectriques élémentaires 66 formant le bloc source est configuré pour illuminer le réflecteur 62 par un rayonnement électromagnétique selon un ensemble multifaisceaux primaire de faisceaux adjacents primaires, non représentés sur la Figure 1, répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux primaires adjacents, deux faisceaux primaires quelconques adjacents étant séparés par une première séparation angulaire.

[0048] Le réflecteur 62 est configuré pour intercepter une partie de l'énergie électromagnétique émise par le bloc source 64 et à la réfléchir selon un ensemble multifaisceaux secondaire de faisceaux réfléchis adjacents secondaires 68 répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux secondaires adjacents, deux faisceaux secondaires quelconques adjacents étant séparés par une deuxième séparation angulaire.

[0049] Le bloc source 64 est dimensionné et agencé de sorte que la première séparation angulaire est sensiblement égale à la deuxième séparation angulaire. La variation relative entre la première séparation angulaire et la deuxième séparation angulaire est inférieure à 25%.

[0050] En toute rigueur, la première séparation angulaire et la deuxième séparation angulaire sont reliés par la relation :

$$\theta_{s2} = \theta_{s1} \cdot BDF,$$

dans laquelle θ_{s2} désigne la deuxième séparation angulaire, θ_{s1} désigne la première séparation angulaire, et BDF est un coefficient dénommé facteur de déviation de faisceau (en anglais Beam Déviation Factor) inférieur à 1 et dépend du rapport F/D et l'apodisation de la source élémentaire.

[0051] Dans la pratique le coefficient BDF est compris entre 0,7 et 1.

[0052] Ici, un seul faisceau secondaire 68 descendant, est représenté en trait pointillé.

[0053] Les pertes d'énergie par débordement asso-

ciées à chaque source 66 sont comprises entre 3 et 10 dB, de préférence comprises entre 3 et 7,5 dB.

[0054] Chaque source 66 est distinguée à l'aide d'un indice entier k, avec k variant entre 1 et Ns, et noté S(k). Chaque source S(k) est apte à recevoir un ensemble distinct de signaux multimédia dans une sous-bande B(i) d'émission prise parmi un ensemble de Nb sous-bandes distinctes et sans bande de recouvrement, l'ensemble des sous-bandes (B(i)) constituant une partition de la bande d'émission de la voie aller descendante, c'est à dire une partition de la deuxième bande.

[0055] Chaque source S(k) est apte à éclairer le réflecteur de sorte à réacheminer les signaux suivant la voie aller descendante 50 sur une zone élémentaire associée différente S(k) de la zone de couverture 26.

[0056] Ici sur la Figure 1, sont représentées seulement 16 zones élémentaires formant un pavage connexe partiel de la zone de couverture 26 et désignées par les références 210, 212, 214, 216, 218, 220, 222, 224, 226, 228, 230, 232, 234, 236, 238, 240.

[0057] L'utilisation optimale du spectre de fréquence allouée sur la voie aller descendante 68 en termes de capacité est obtenue par la réutilisation de fréquences au travers de l'antenne multifaisceaux 54.

[0058] L'antenne multifaisceaux 54, à réflecteur unique 62 et à bloc source de type « mono-source par faisceau » ou SFB, telle que décrite ci-dessus permet la réutilisation de fréquences.

[0059] La réutilisation de la même bande de fréquences sur plusieurs zones élémentaires de la zone de couverture 26 requiert la prise en compte des performances d'isolation de l'antenne 54 multifaisceaux.

[0060] En effet, l'isolation entre faisceaux adjacents étant difficile à obtenir, on ne peut réutiliser la même bande de fréquence pour ceux-ci. La bande de fréquences allouée pour le service multimédia ou deuxième bande est partitionnée et une réutilisation de 1/Nb est définie, dans laquelle Nb désigne un nombre de couleurs différentes, en associant une couleur à un sous-ensemble de zones élémentaires (appelés également en anglais « spot »), disjoints et distants entre eux de façon à présenter une isolation suffisante. A chaque couleur différente est affecté un indice entier i, avec i variant de 1 à Nb, et un sous-ensemble de zones élémentaires A(i) ou de faisceaux F(i). La réutilisation permet de séparer spatialement deux faisceaux utilisant la même fréquence porteuse ou sous-bande.

[0061] Une répartition ou distribution des Nb couleurs sur les zones élémentaires ou les faisceaux descendants, « optimale » en termes de fréquence de réutilisation et de C/I minimal, est choisie parmi les distributions possibles de Nb couleurs sur l'ensemble des faisceaux et par conséquent sur l'ensemble de leurs empreintes au sol, c'est à dire les zones élémentaires de couverture.

[0062] La distribution « optimale » des Nb couleurs est optimale en termes de fréquence de réutilisation lorsque la fréquence de réutilisation de chaque couleur est sensiblement la même c'est-à-dire égale à 1/Nb, les effets

de bord étant négligeables lorsque le nombre de zones élémentaires est élevé.

[0063] Une distribution « optimale » de Nb couleurs est optimale en termes de C/I lorsque le C/I sur la couverture 26 est maximal sur l'ensemble des distributions possibles de Nb couleurs sur la totalité des faisceaux.

[0064] L'utilisation de l'antenne multifaisceaux 54 avec un unique grand réflecteur 62 ayant un diamètre supérieur à 4 mètres utilisant le concept mono-source par faisceau (en anglais SFB pour Single Feed per Beam) est avantageuse.

[0065] En effet, l'antenne multifaisceaux 54 permet pour un facteur de réutilisation de fréquences fixé et un schéma optimal de réutilisation d'augmenter la capacité du système.

[0066] L'antenne de télécommunication proposée est certes sous-optimale d'un point de vue sous-système antenne si elle est considérée de manière isolée. En effet l'espacement entre les spots de la couverture impose l'utilisation de sources de faibles diamètres. Elles sont ainsi peu directives et induisent de fortes pertes en termes de « spill-over », comprises entre 5 et 6 dB.

[0067] Cette solution permet d'envisager un nombre de faisceaux sur la couverture bien plus important car plus fins que dans les solutions déjà connues.

[0068] En première approche la capacité d'un système multifaisceaux satisfait la relation suivante :

$$C = B(\text{totale}) * \eta = B(\text{allouée}) * \rho * \eta$$

dans laquelle B (totale) désigne la bande totale disponible exprimée en Hz, B(allouée) désigne la bande de fréquence allouée suivant les dispositions réglementaires pour la deuxième bande, ρ désigne le facteur de réutilisation de fréquence, η désigne l'efficacité spectrale exprimé en bits/s/Hz.

[0069] L'efficacité spectrale η est fonction de la densité fréquentielle de PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée en émission) exprimée en W/ MHz, du C/I, du facteur de mérite du terminal donc du rapport C/N, N désignant le bruit d'origine thermique observé, et de la forme d'onde envisagée.

[0070] La bande totale disponible croît avec le nombre de faisceaux sur la couverture.

[0071] L'efficacité spectrale décroît avec le nombre de faisceaux en raison d'un C/I plus faible sur l'ensemble des faisceaux et donc avec la dégradation du C/N+I.

[0072] Ici, l'antenne multifaisceaux 54 permet un gain de capacité en termes d'accroissement du nombre de faisceaux en dépit de pertes en énergie par débordement (« spill over ») plus importantes.

[0073] Les deux terminaux multimédia 6, 8 sont situés dans la zone élémentaire 210.

[0074] Le troisième terminal 10 est situé dans la zone élémentaire 234, supposée ici à titre d'exemple affectée de la même couleur, c'est-à-dire fonctionnant dans une

même sous-bande de fréquences de la deuxième bande.

[0075] Ainsi, le C/I observé par le troisième terminal 10 comprend une composante générée par les signaux des terminaux 6 et 8, et reçue en raison du défaut d'isolation du faisceau 68 couvrant la zone élémentaire 210 avec le faisceau couvrant la zone élémentaire 234.

[0076] Chaque terminal a un facteur G/T égal à 16,4 dB/°K, un gain d'antenne égal à 40 dB, ce qui correspond à un diamètre d'antenne de 65 cm environ.

[0077] Chaque terminal 6, 8, 10 comprend respectivement un dispositif d'adaptation de débit 250, 252, 254 en fonction des conditions de C/I observées.

[0078] Chaque dispositif d'adaptation de débit est apte à mettre en œuvre un mode d'adaptation de débit typiquement le mode « ACM » du DVB-S2 décrit dans norme correspondante de l'ETSI (European Telecommunication Standard Institute).

[0079] Une modulation peut être choisie en fonction du C/I+N observé parmi la modulation QPSK (en anglais Quadrature Phase Shift Keing), la modulation 8-PSK (en anglais 8-Phase Shift Keing), la modulation 16-APSK (en anglais 16-Amplitude & Phase Shift Keing) et la modulation 32-APSK (en anglais 32-Amplitude & Phase Shift Keing). Le codage peut varier entre les taux 1/4 et 9/10 proposés par le code LDPC utilisé dans le norme DVB-S2.

[0080] Dans cet exemple, le taux de codage adaptatif associé à la modulation QPSK peut varier entre 3/4 et 8/9.

[0081] Dans cet exemple, le taux de codage adaptatif associé à la modulation 8-PSK peut varier entre 3/5 et 3/4.

[0082] En raison des faibles valeurs de C/I pouvant être observées avec l'antenne multifaisceaux 54, c'est-à-dire des valeurs pouvant atteindre un C/I minimal égal à +9 dB, les dispositifs d'adaptation de débit 250, 252, 254 permettent d'utiliser des combinaisons modulation/codage avec une efficacité spectrale permettant de maximiser la capacité du système.

[0083] A l'inverse de ce qui est connu, le système de télécommunication multimédia de l'invention fonctionne avec des valeurs d'efficacité spectrale faibles.

[0084] Le fait d'augmenter la redondance sur le code correcteur d'erreur, c'est à dire le taux de codage de 8/9 à 3/4 ou de 3/4 à 3/5, ou de diminuer le nombre d'états de la modulation, c'est-à-dire de 8 à 4 états de phases différentes, entraîne pour une même bande de fréquences une diminution du débit mais permet de fonctionner pour un rapport signal à bruit bien inférieur nécessitant moins de puissance ou permettant de fonctionner avec un C/I faible allant jusqu'à +9 dB.

[0085] Selon l'invention, il est plus intéressant jusqu'à une certaine limite d'augmenter la bande de fréquences allouée au terminaux (en particulier en multipliant le nombre de zones élémentaires) quitte à dégrader l'efficacité spectrale. La capacité du système alors obtenue est meilleure de 42% que la capacité du cas typique dans lequel le C/I minimal sur la couverture globale 26 est égal à 15 dB.

[0086] Il est à remarquer que la capacité augmente de manière significative pour un C/I minimal inférieur à 13 dB lorsqu'il est possible d'augmenter le nombre de faisceaux.

[0087] En fait, le mode ACM (Adaptive Coding and Modulation) défini dans la norme DVB-S2 nécessite des augmentations de puissance de signal utile C et/ou des diminutions de la composante de bruit reçu N+I plus faibles pour passer d'une configuration de modulation et codage à une autre lorsque le point de fonctionnement du système correspond à une zone de valeurs de C/N+I faibles. En d'autres termes, de faibles variations de C/N+I peuvent apporter un gain plus important d'efficacité spectrale lorsque le système fonctionne dans une zone de valeurs de C/N+I faibles. Ainsi, il est possible de générer des faisceaux particulièrement fins comme proposé avec l'antenne de l'invention.

[0088] Suivant la Figure 3, le nombre Nb de sous-bandes est égal à 4 et la distribution des quatre couleurs associées aux quatre sous-bandes de fréquences B(i) est une répartition ou distribution « optimale » de quatre couleurs en termes de fréquence de réutilisation et de C/I minimal.

[0089] La distribution des « quatre couleurs » telle que représentée est la distribution « optimale » parmi les distributions possibles de quatre couleurs sur l'ensemble des faisceaux et par conséquent l'ensemble de leurs empreintes au sol, c'est à dire les zones élémentaires de couverture.

[0090] La distribution « optimale » de quatre couleurs est optimale en termes de fréquence de réutilisation lorsque la fréquence de réutilisation de chaque couleur est sensiblement la même, c'est-à-dire égale à un quart, les effets de bord étant négligeables lorsque le nombre de zones élémentaires est suffisamment grand.

[0091] Une distribution de quatre couleurs est dite « optimale » en termes de C/I lorsque la valeur de C/I minimal sur l'ensemble de la couverture observée pour cette distribution est une valeur maximale sur l'ensemble des distributions possibles à quatre couleurs. Cela correspond à une distance angulaire maximale entre deux faisceaux quelconques ayant la même couleur c'est-à-dire utilisant la même sous-bande.

[0092] Les spots ou empreintes au sol des faisceaux sont regroupés en amas élémentaires de quatre spots adjacents de couleurs différentes suivant un même motif géométrique ou agencement spatial des quatre couleurs.

[0093] Ici sur la figure 3, seuls quatre amas adjacents 302, 304, 306, 308 répétant quatre fois le motif de couleurs sont représentés.

[0094] Le premier amas 302 comprend les quatre zones de couverture élémentaires 210, 212, 214, 216 fonctionnant respectivement sur la liaison descendante aller 50 dans les sous-bandes B(4), B(3), B(3), B(1) auxquelles sont affectées les couleurs désignées respectivement par les lettres D, C, B, A.

[0095] Le deuxième amas 304 comprend les quatre zones de couverture élémentaires 218, 220, 222, 224

fonctionnant respectivement sur la liaison descendante aller 50 dans les sous-bandes B(4), B(3), B(2), B(1) auxquelles sont affectées les couleurs désignées respectivement par les lettres D, C, B, A.

[0096] Le troisième amas 306 comprend les quatre zones de couverture élémentaires 226, 228, 230, 232 fonctionnant respectivement sur la liaison descendante aller 50 dans les sous-bandes B(4), B(3), B(2) B(1) auxquelles sont affectées les couleurs désignées respectivement par les lettres D, C, B, A.

[0097] Le quatrième amas 308 comprend les quatre zones de couverture élémentaires 234, 236, 238, 240 fonctionnant respectivement sur la liaison descendante aller 50 dans les sous-bandes B(4), B(3), B(2) B(1) auxquelles sont affectées les couleurs désignées respectivement par les lettres D, C, B, A.

[0098] Chaque zone élémentaire de couverture est l'empreinte au sol d'un faisceau image différent, généré seulement par une source élémentaire unique différente de l'ensemble-source.

[0099] Ainsi, une réutilisation de fréquences efficace est obtenue dans laquelle le C/I minimal obtenu sur l'ensemble de la couverture est le plus grand possible sur l'ensemble des lois d'affectation des quatre couleurs possibles.

[0100] Dans le cas d'un réflecteur unique de diamètre égal à 5 mètres, la taille des sources est telle que tous les faisceaux soient générés par l'ensemble des sources situées dans le même plan focal et que les pertes d'énergie par débordement soient minimales pour l'ensemble de sources. Cela correspond à placer les centres des sources de façon à générer les rayons centraux de chaque faisceau de la couverture et à choisir les rayons des sources les plus grand possibles jusqu'à ce qu'elles viennent en contact.

[0101] Du fait qu'il y a moins de place pour placer les sources avec un seul réflecteur qu'avec plusieurs réflecteurs, les tailles des sources correspondant à l'unique réflecteur ont été réduites par rapport aux tailles des sources correspondant à plusieurs réflecteurs, et les pertes en énergie par débordement correspondantes ont augmentées.

[0102] Suivant les Figures 4 et 5, l'antenne multifaisceaux 54 est représentée de manière plus détaillée de façon à mettre en évidence la correspondance entre le réseau 64 de sources 66 et la répartition des faisceaux sur la couverture de service 26 selon les zones élémentaires et le coloriage à quatre couleurs décrits à la Figure 3.

[0103] Suivant la figure 5, le bloc source 64 ou réseau focal comprend au moins un ensemble connexe de sources élémentaires. Les sources élémentaires 66 sont ici des antennes de type cornets.

[0104] Ici, seulement seize sources sont représentées, désignées par les références 502, 504, 506, 508, 510, 512, 514, 516, 518, 520, 522, 524, 626, 528, 530, 532, 534, 536, 538, 540.

[0105] La disposition des sources radioélectriques

dans le plan focal est celle d'une configuration correspondant à la distribution optimisée des sous-bandes pour les quatre couleurs désignées par les lettres A, B, C et D.

[0106] Les sources 502, 504, 506, 508 sont disposées côte à côte suivant une première rangée 542. Les sources 510, 512, 514, 516 sont disposées côte à côte suivant une deuxième rangée 544. Les sources 518, 520 522, 524 sont disposées côte à côte suivant une troisième rangée 544. Les sources 526, 528, 530, 532 sont disposées côte à côte suivant une quatrième rangée.

[0107] Les quatre rangées 542, 544, 546, 548 sont disposées côte à côte de façon à ce que les sources 502, 510, 518, 526 forment une première colonne 552 de direction perpendiculaire à la direction commune des quatre rangées 542, 544, 546, 548.

[0108] De même, les sources 504, 512, 520, 528 forment une deuxième colonne 554, les sources 506, 514, 522, 530 forment une troisième colonne 556, les sources 508, 516, 524, 532 forment une quatrième colonne 558.

[0109] La couleur A est affectée aux sources 502, 506, 518, 522. La couleur B est affectée aux sources 504, 508, 520, 524. La couleur C est affectée aux sources 510, 514, 526, 530. La couleur D est affectée aux sources 512, 516, 528, 532.

[0110] Les sources 502, 504, 510, 512 correspondent respectivement aux zones élémentaires 240, 238, 236, 234 du quatrième amas 308.

[0111] Les sources 506, 508, 514, 516 correspondent aux zones élémentaires du troisième amas 306.

[0112] Les sources 518, 520, 526, 528 correspondent aux zones élémentaires du deuxième amas 306.

[0113] Les sources 506, 508, 514, 516 correspondent aux zones élémentaires du premier amas 306.

[0114] Suivant les Figures 4 et 6, le réflecteur 62 est un réflecteur à coque rigide pliable ou à technologie de mailles déployables (dénommée en anglais « Mesh technology »), apte à être accommodé sur une plateforme selon une position d'emport dans laquelle l'ensemble formé par la plateforme et le réflecteur est contenu dans la coiffe d'un lanceur.

[0115] Le réflecteur unique 62 est apte à être déployé depuis la position d'emport sur une plateforme jusqu'à une position de déploiement représentée sur les Figures 4 et 6.

[0116] Ici, le réflecteur 62 est une portion d'un paraboloïde P décalée par rapport au bloc source 64 de façon à éviter le masquage par le bloc source 64 des faisceaux secondaires, ici les faisceaux descendants vers la zone de couverture 26.

[0117] La portion de paraboloïde est par exemple une découpe de forme elliptique du paraboloïde. Le centre du paraboloïde et le point focal du paraboloïde sont désignés respectivement par C_P , et $F1$, tandis que le centre de découpe est désigné par C_D .

[0118] Suivant la Figure 6, la hauteur de dégagement du bloc source 64 par rapport au réflecteur 62 est désignée par H . Le diamètre apparent du réflecteur 62, désigné par D , est égal à la taille de la surface projetée

obtenue par projection orthogonale de la surface du réflecteur dans le plan contenant C_P et ayant pour normale l'axe passant par C_P et le point focal $F1$.

[0119] Lorsque la forme de la découpe est elliptique, le point de découpe C_D est situé à une hauteur égale $H+D/2$ par rapport à l'axe passant par le centre C_P et le point focal $F1$.

[0120] La distance focale désignée par la lettre F est égale à la distance entre le centre C_P de symétrie de la portion de paraboloïde et le point focal $F1$ du paraboloïde.

[0121] La distance focale équivalente, désignée par F_{eq} , est égale à la distance entre le centre C_D de découpe de la portion de paraboloïde P et le point focal $F1$ du paraboloïde P .

[0122] Sur la Figure 6, vues en coupe sont seulement représentées les trois sources élémentaires 502, 510 et 518 et de manière correspondante les zones élémentaires associées 240, 236, 224.

[0123] Comme mentionné pour la Figure 1, l'angle de séparation angulaire entre deux faisceaux primaires adjacents, représenté sur la Figure 6 par θ_{s1} pour la première paire des sources 501 et 510 et pour la deuxième paire de sources 510 et 518, est sensiblement égal à l'angle de séparation angulaire entre deux faisceaux secondaires adjacents, représenté sur la Figure 6 par θ_{s2} pour la première paire de zones élémentaires correspondantes 240 et 236 et la deuxième paire de zones élémentaires correspondantes 236 et 224.

[0124] Par la suite θ_{s1} et θ_{s2} seront désignés de manière identique par θ_s .

[0125] En première approximation, le réflecteur peut être considéré comme régi par les lois de l'optique géométrique et alors la dimension ou la taille des sources est régi par la relation suivante :

$$D_{source} \leq F_{eq} * \tan(\theta_{s2} / BDF)$$

dans laquelle D_{source} désigne le diamètre d'ouverture du cornet circulaire formant une source élémentaire de l'ensemble connexe de sources élémentaires.

[0126] De manière préférée, la diamètre d'ouverture D_{source} du cornet vérifie la relation :

$D_{source} = F_{eq} * \tan(\theta_{s2} / BDF)$ car le diamètre D_{source} solution de cette équation correspond au cas où le spill-over de la source est le plus faible. Pour une taille de faisceau donnée, c'est la solution permettant de réduire les pertes de spill-over de l'antenne.

[0127] En variante, le réflecteur est une portion de paraboloïde centrée sur son centre de symétrie de paraboloïde C_P . Le plan focal du réflecteur dans lequel sont disposées les sources radioélectriques 66 est orthogonal à l'axe passant par le centre de symétrie C_P du paraboloïde et le point focal $F1$ du paraboloïde. Une source élémentaire quelconque 66 du bloc source 64 a une taille d'ouverture notée T_{source} , qui vérifie la relation

$$T_{source} \leq F * \tan(\theta_{s2} / BDF).$$

[0128] En variante, les sources élémentaires sont des ouvertures ayant un contour fermé de forme quelconque ayant une taille notée T_{source} , et correspondant à un diamètre équivalent.

[0129] La longueur focale F séparant le plan focal 63 et le centre de découpe 402 (C_D) du réflecteur 62, ici est comprise entre 4 mètres et 7 mètres.

[0130] Il en résulte toutefois un niveau élevé de l'énergie perdue par débordement (dénommée en anglais « spill-over ») car cet effet est lié principalement à l'utilisation d'une seule et unique réflecteur. Cela se traduit par une dégradation significative du rendement de l'antenne ou de son efficacité.

[0131] Le terme représentatif de la dégradation du rendement de l'antenne par « spill-over » appelé coefficient de « spill-over » traduit le degré d'adéquation du diagramme de la source à l'angle sous-lequel celle-ci voit le réflecteur et ce terme est égal au rapport entre l'énergie effectivement interceptée à l'énergie totale rayonnée par cette source.

[0132] Selon l'invention, dans le cas d'un réflecteur de 5 mètres et d'une longueur focale égale à 7 mètres, le réflecteur 62 ne capte qu'environ un quart de l'énergie provenant des sources 66 et le coefficient de spill over est égal à environ 0,25, ce qui donne de pertes de spill over comprises entre 5 et 6 dB.

[0133] Avantagusement et de manière inattendue une telle configuration d'antenne permet d'augmenter la capacité d'un système multimédia couvrant une zone géographique de la taille de la France.

[0134] En effet une telle antenne respecte les contraintes d'emport du satellite dans le lanceur et la puissance d'alimentation limitée à bord du satellite.

[0135] De manière classique, il est connu des solutions utilisant un réseau de formation de faisceaux (dénommé en anglais Beam Forming Network BFN) pour générer une couverture multifaisceaux à l'aide d'un grand et unique réflecteur et fournir un coefficient de spill over de qualité. Ce réseau de formation de faisceaux BFN permet d'entrelacer les sources et d'éclairer de manière optimale le réflecteur.

[0136] Classiquement, deux solutions permettent un éclairage optimal du réflecteur.

[0137] Dans une première solution, un BFN « à bas niveau » est disposé avant la section d'amplification de puissance de la charge utile. Dans ce cas le nombre de dispositifs d'amplification est égal voire un multiple du nombre de sources du réseau focal qui est lui-même supérieur au nombre de faisceaux de la couverture. Enfin les sources ont un diamètre identique au diamètre image des faisceaux dans le plan focal.

[0138] L'utilisation d'un tel BFN « bas niveau » nécessite un grand nombre d'amplificateurs supérieur au nombre de faisceaux à former sur la couverture. Par consé-

quent les limitations en termes de consommation électrique et de dissipation thermique à bord des plateformes actuelles vont limiter le nombre de faisceaux sur la couverture. Ainsi, la limitation de puissance électrique disponible à bord du satellite, se traduit par une baisse la puissance de sortie de niveau supérieur au gain obtenu par l'amélioration du coefficient de spill over et à l'obligation de réviser à la baisse le nombre de faisceaux.

[0139] Dans une deuxième solution, un BFN à « fort niveau » est disposé après la section amplification des voies du répéteur correspondant chacune à un faisceau. Dans ce cas, le nombre de dispositifs d'amplification est égal au nombre de faisceaux de la couverture. Enfin, les sources élémentaires sont deux fois plus petites que le diamètre image du faisceau dans le plan focal. Un inconvénient de cette solution est l'existence d'un diamètre minimal des sources en raison de la limitation de la longueur focale du réflecteur. Avec une telle solution le coefficient de spill over est de valeur inférieure au coefficient de spill over de la configuration de l'invention à savoir une source élémentaire unique par faisceau (solution dénommée en anglais SFB pour Single Feeder per Beam), et cela conduit à réviser le nombre de faisceaux.

[0140] Ainsi les solutions connues utilisant un seul réflecteur pour des couvertures multifaisceaux ne permettent pas de bénéficier de la capacité optimale pouvant être atteinte avec des diamètres de réflecteur supérieur à 4 mètres, eu égard aux contraintes d'emport sur les lanceurs actuels et de consommation électrique sur les plateformes actuelles.

[0141] Ainsi, accepter de dégrader le bilan de liaison en termes de dégradation du coefficient de spill-over et de dégradation du C/I, le coefficient de spill-over étant compris entre 5 et 6 dB et le C/I étant compris entre +9 dB et +23 dB, conduit à la solution de l'invention à savoir une antenne à réflecteur unique et un ensemble source de type SFB permettant d'augmenter le nombre de faisceaux et la capacité tout en respectant les contraintes d'emport de l'antenne sur les lanceurs classiques et les limitations de consommation sur les plateformes existantes.

[0142] Suivant la Figure 7, en variante de la Figure 5 un bloc source comprend un unique ensemble connexe de sources radioélectriques adjacentes formées par des cornets.

[0143] Ici, seulement neuf sources sont représentées, désignées par les références 602, 604, 606, 608, 610, 612, 614, 616, 618.

[0144] La disposition des sources radioélectriques dans le plan focal est celle d'une configuration correspondant à la distribution optimisée des sous-bandes pour trois couleurs désignées par les lettres A, B et C.

[0145] Les sources 602, 604, 606, respectivement les sources 608, 610, 612 et les sources 614, 616, 618 sont disposées suivant une première rangée, respectivement une deuxième rangée et une troisième rangée.

[0146] Les sources de deux rangées consécutives sont globalement décalées d'une longueur égale à un

rayon d'une source, de sorte que par exemple les sources 602, 604, 610 forment un triangle équilatéral. Cette configuration utilisant une maille ou motif ternaire de répartition de couleurs ayant la forme d'un triangle équilatéral correspond à un schéma de réutilisation de fréquence optimal pour lequel la fréquence d'utilisation des trois couleurs et le C/I minimal sont les plus grands sur la couverture angulaire générée par l'ensemble des faisceaux issus des sources.

[0147] Suivant la Figure 8, le répéteur 56 de la charge utile comprend une entrée 602 de l'antenne de réception 52 de la voie aller montante au travers de sa source 603, un premier dispositif de démultiplexage fréquentiel 604 des signaux provenant de deux stations d'accès satellitaires différentes raccordé à l'entrée 602 de l'antenne de réception.

[0148] Le répéteur 56 comprend également, pour chaque ensemble de signaux reçus et émis par une même station d'accès, un deuxième dispositif de démultiplexage fréquentiel 606 des signaux destinées à des faisceaux descendants différents, ici au nombre de quatre et correspondant à un même amas de zones élémentaires sur quatre voies de puissance de sortie élémentaires différentes.

[0149] Ici, par simplification et à titre d'exemple, un seul deuxième dispositif de démultiplexage fréquentiel 606 a été représenté avec ses quatre voies de puissance de sortie élémentaires 608, 610, 612, 614.

[0150] En effet, il est supposé ici que les signaux destinés à un même faisceau descendant sont émis dans une même sous-bande de fréquences montante de la voie aller montante, et que les sous-bandes de fréquences montantes associées aux faisceaux descendants d'un même amas de zones élémentaires sont juxtaposées pour former une bande de fréquence associée à un amas.

[0151] Chaque voie de transmission élémentaire de puissance de sortie 608, 610, 612, 614 comprend un dispositif de transposition propre 616, 618, 620, 622 suivi d'un moyen d'amplification de puissance de sortie associé 624, 626, 628, 630, apte à délivrer à la source du faisceau correspondant la puissance de sortie.

[0152] Par exemple, les sources raccordées aux bornes de sortie des voies transmission élémentaires de puissance de sortie sont les sources de la figure 5 désignées par 502, 504, 510, 512.

[0153] Les autres sources élémentaires de l'ensemble source, à l'instar de sources 502, 504, 510, 512, sont connectées à une voie unique et différente de transmission élémentaire de puissance de sortie. Ainsi, le répéteur est configuré pour alimenter chaque source de l'antenne 54 sur une voie unique d'acheminement propre du trafic descendant et destiné à la zone élémentaire correspondante.

[0154] Chaque moyen d'amplification de puissance de sortie 624, 626, 628, 630 est ici un Amplificateur de type Tube à Onde Progressive (ATOP) fonctionnant en bande Ka.

[0155] Chaque ATOP 624, 626, 628, 630 est apte à amplifier une sous-bande ou couleur parmi les quatre couleurs de la deuxième bande allouée, chaque sous-bande ayant une largeur de bande de 1450 MHz et apte à délivrer une puissance de sortie de 170 W.

[0156] Chaque ATOP est ici utilisé sur un point de fonctionnement pris à 3 dB de recul, les pertes de sortie entre la sortie de l'ATOP et l'entrée de la source étant égale à 2,6 dB.

[0157] De manière générale, les dispositifs de transposition sont configurés pour fournir à chaque voie de transmission élémentaires de puissance de sortie des signaux radioélectriques dans une sous-bande de fréquence B(i) parmi un nombre prédéterminé N de sous-bandes de fréquences formant une bande de fréquence allouée. Chaque sous-bande B(i) étant associé à une couleur, les moyens de transposition en fréquence sont aptes à distribuer les sous-bandes de fréquences aux voies de transmission de sortie et à l'ensemble des sources radioélectriques élémentaires de sorte que le diagramme au sol formé par les couleurs associées aux différents faisceaux générés par l'antenne soit un diagramme à N couleurs de réutilisation de fréquence optimisé, c'est-à-dire un diagramme pour lequel la distance angulaire entre deux faisceaux utilisant une même couleur est la plus grande sur l'ensemble des diagrammes possibles.

[0158] Suivant la Figure 9, la couverture globale se décompose en 62 zones élémentaires pour lesquelles est obtenue la capacité totale la plus importante sur la voie descendante aller.

[0159] Cette capacité totale maximale, égale à environ 100 Gbits/s est obtenue pour un pavage de la zone de couverture en 62 zones élémentaires, sous réserve d'utiliser un facteur de réutilisation de fréquence égal à 4, une puissance électrique disponible à bord du satellite pour la charge utile égale à 12 kW, d'un C/I minimal admissible égal 9 dB.

[0160] Cette capacité maximale est atteinte lorsque les terminaux ont un facteur de G/T égal à 16,4 dB/K, un gain d'antenne égal à 40 dB, et utilise à la fois une modulation et un codage adaptatif définis selon la norme DVB-S2 de l'ETSI (acronyme anglais de European Telecommunication Institute).

[0161] En variante l'antenne de télécommunication et la charge utile sont configurés pour fonctionner en bande C.

[0162] En variante, l'antenne fonction en mode réception. Dans ce cas, la pluralité 64 des sources radioélectriques élémentaires 66 est configurée pour être illuminée par le réflecteur 62 par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquences selon un ensemble multifaisceaux primaire de faisceaux adjacents primaires répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux primaires adjacents, deux faisceaux primaires quelconques adjacents étant séparés par une première séparation angulaire. Le réflecteur 62 est configuré pour intercepter une partie de l'énergie électromagnétique

émise depuis la zone géographique 26, selon un ensemble multifaisceaux secondaire de faisceaux réfléchis adjacents secondaires répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux secondaires adjacents, deux faisceaux secondaires quelconques adjacents étant séparés par une deuxième séparation angulaire. La première séparation angulaire et la deuxième séparation angulaire sont sensiblement égales.

[0163] En variante, l'antenne de télécommunication est configurée pour fonctionner en émission et en réception avec un même réflecteur.

[0164] En variante, le réflecteur est un réflecteur conformé et les sources élémentaires formant le bloc source sont disposées dans un plan moyen avec des écarts de distances autour de ce plan moyen fonction de la conformation du réflecteur.

[0165] En variante, le système de télécommunication comprend deux satellites configurés dans un « vol en formation ». Le réflecteur est monté sur un premier satellite tandis que le bloc source et la charge utile sont montées sur un deuxième satellite.

Revendications

1. Antenne de télécommunication multifaisceaux destinée à équiper une charge utile (46) de télécommunication à débit élevé pour couvrir en émission et/ou en réception une zone géographique (26) depuis une orbite géostationnaire, apte à être montée mécaniquement sur une ou deux plateformes (40) de satellite (12) et à être couplée électro-magnétiquement à un répéteur (56), comprenant :

au moins un réflecteur radioélectrique (62) et un bloc source (64) associé, formé d'une pluralité de sources radioélectriques élémentaires (66) disposées dans un plan (63), la pluralité (64) des sources radioélectriques élémentaires (66) étant configurée pour illuminer le réflecteur (62) par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquences et/ou pour être illuminé par un rayonnement électromagnétique dans une bande de fréquences réfléchi par le réflecteur (62) selon un ensemble multifaisceaux primaire de faisceaux adjacents primaires répartis en au moins un ensemble connexe de faisceaux primaires adjacents, deux faisceaux primaires quelconques adjacents étant séparés par une première séparation angulaire θ_{S1} , le réflecteur (62) étant configuré pour réfléchir une partie de l'énergie électromagnétique émise par le bloc source (64) et/ou pour intercepter une partie de l'énergie électromagnétique émise depuis la zone géographique (26), selon un ensemble multifaisceaux secondaire de faisceaux réfléchis adjacents secondaires répartis en au

moins un ensemble connexe de faisceaux secondaires (68) adjacents, deux faisceaux secondaires quelconques adjacents étant séparés par une deuxième séparation angulaire θ_{S2} ,

caractérisée en ce que

le réflecteur (62) est unique, le réflecteur (62) étant un réflecteur non conformé, ledit réflecteur (62) est de diamètre supérieur à 4 mètres, et préférentiellement égal à 5 mètres, et

le plan (63) dans lequel sont disposées les sources radioélectriques (66) est un plan focal du réflecteur,

le plan focal (63) étant distant d'un centre de découpe du réflecteur (62) d'une longueur focale comprise entre 4 mètres et 7 mètres et

le bloc source (64) est dimensionné et agencé de sorte que chaque source est apte à générer et/ou recevoir un faisceau unique différent et que la première séparation angulaire θ_{S1} , est sensiblement égale à la deuxième séparation angulaire θ_{S2} ,

une source quelconque (66) du bloc source (64) a une taille d'ouverture notée T_{source} , qui vérifie la relation

- $T_{source} \leq F \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$, lorsque le réflecteur est une portion de paraboloïde centrée sur son centre de symétrie de paraboloïde C_P , et le plan focal (63) du réflecteur (62) dans lequel sont disposées les sources radioélectriques (66) est orthogonal à l'axe passant par le centre de symétrie C_P du paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde, et

- $T_{source} \leq F_{eq} \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$ lorsque le réflecteur (62) est une portion d'un paraboloïde décalée par rapport au bloc source (64) de façon à éviter le masquage des faisceaux secondaires par le bloc source (64), dans lesquelles

F désigne la distance focale égale à la distance entre le centre C_P de symétrie de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

F_{eq} désigne une distance focale équivalente égale à la distance entre un centre C_D de découpe de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,

θ_{S2} désigne la séparation angulaire de deux faisceaux adjacents secondaires, et

ε est un coefficient numérique compris entre 0 et +0,35,

et

les pertes d'énergie par débordement

associées à chaque source (66) sont comprises entre 3 et 10 dB, de préférence comprises entre 3 et 7,5 dB.

2. Antenne multifaisceaux selon la revendication précédente, dans laquelle le réflecteur est une portion d'un paraboloïde, et le bloc source (64) comprend au moins un ensemble de sources radioélectriques adjacentes formées de cornets à ouverture circulaire, chaque cornet de l'ensemble ayant un diamètre D_{source} incluant l'épaisseur métallique de la paroi du cornet, et le diamètre D_{source} de l'ouverture vérifie la relation :

$$D_{source} = F_{eq} * \tan(\theta_{S2} * (1 + \varepsilon))$$
 lorsque le réflecteur (62) est une portion d'un paraboloïde décalée par rapport au bloc source (64), et la relation

$$D_{source} = F * \tan(\theta_{S2} * (1 + \varepsilon))$$
 lorsque le réflecteur est une portion de paraboloïde centrée sur son centre de symétrie de paraboloïde C_P , dans lesquelles
 F désigne la distance focale égale à la distance entre le centre C_P de symétrie de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde, F_{eq} désigne une distance focale équivalente égale à la distance entre un centre C_D de découpe de la portion de paraboloïde et le point focal F1 du paraboloïde,
 θ_{S2} désigne la séparation angulaire de deux faisceaux adjacents secondaires, et
 ε est un coefficient numérique compris entre 0 et +0,35.
3. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans laquelle le bloc source (64) et le réflecteur (62) sont configurés pour fonctionner dans une bande de fréquence comprise dans l'ensemble des bandes C, K_U , K_A .
4. Antenne de télécommunication multifaisceaux selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans laquelle la disposition des sources radioélectriques (66) dans le plan (63) est celle d'une configuration correspondant à une distribution optimisée pour un nombre de couleurs égal à 3, 4, ou 7.
5. Antenne de télécommunication multifaisceaux selon la revendication 3, dans laquelle la valeur minimale sur la couverture géographique (26) du rapport C/I entre, d'une part l'énergie émise et/ou reçue par le réflecteur (62) dans un faisceau secondaire quelconque, et d'autre part la somme des énergies émises et/ou reçues dans le même faisceau secondaire et émises et/ou reçues par le réflecteur depuis les autres faisceaux de même couleur que le faisceau secondaire, est inférieur à 15 dB, de préférence à 12 dB.

6. Charge utile de télécommunication destinée à transmettre et/ou recevoir des données à débit élevé, comprenant une antenne (54) d'émission et/ou de réception définie selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et un répéteur (56), **caractérisé en ce que** le répéteur (56) comprend un ensemble de voies de transmission en émission et/ou en réception (608, 610, 612, 614), chaque voie de transmission (608, 610, 612, 614) comprenant une borne de sortie et/ou d'entrée radioélectrique (632, 634, 636, 638) connectée à une source radioélectrique unique et différente (502, 504, 510, 512) du bloc source (64), et étant configurée pour fournir des signaux radioélectriques dans une sous-bande de fréquence B(i) parmi un nombre prédéterminé Nb de sous-bandes de fréquences formant une bande de fréquence allouée, et **en ce que** chaque sous-bande B(i) étant associée à une couleur, les voies de transmission sont aptes à distribuer en émission et/ou en réception les sous-bandes de fréquences à l'ensemble des sources radioélectriques élémentaires de sorte que le diagramme au sol formé par les couleurs associées aux différents faisceaux secondaires générés par l'antenne (54) est un diagramme à Nb couleurs de réutilisation de fréquences optimisé, c'est-à-dire un diagramme pour lequel la distance angulaire entre deux faisceaux utilisant une même couleur est la plus grande sur l'ensemble des diagrammes possibles.
7. Système de télécommunications comprenant un satellite de télécommunication (12) équipé d'une charge utile définie selon la revendication précédente, un ensemble (4) de terminaux (6, 8, 10) de télécommunication pouvant transmettre et/ou recevoir des signaux radioélectriques vers/depuis le satellite (12), une ou plusieurs stations d'accès satellitaire (18, 19, 20, 21) aptes à émettre et/ou recevoir des signaux radioélectriques aux/des terminaux au travers du satellite (12) suivant une liaison montante aller (48) et/ou retour, **caractérisé en ce que** chaque terminal (6, 8, 10) est apte à déterminer le rapport C/I+N observé par son antenne respective et/ou par l'antenne satellite entre, d'une part l'énergie C reçue associée au signal radioélectrique utile du terminal et contenue dans le faisceau secondaire de couverture du terminal, et d'autre part, la somme I des énergies reçues dans le même faisceau secondaire mais émises depuis les autres faisceaux secondaires de même couleur que la source associée au faisceau secondaire de couverture du terminal et de l'énergie N du bruit thermique reçu, et comprend un dispositif d'adaptation de débit reçu ou transmis (250, 252, 254) en fonction des condi-

tions de C/I+N observées, le débit étant variable par la modification du nombre d'états d'une modulation et/ou le taux de codage et/ou le débit symbole.

Patentansprüche

1. Mehrstrang-Telekommunikationsantenne, die dazu bestimmt ist, eine Telekommunikationsnutzlast (46) mit erhöhtem Durchsatz auszustatten, um eine geografische Zone (26) aus einer geostationären Umlaufbahn durch Senden und/oder Empfangen abzudecken, die imstande ist, mechanisch auf einer oder zwei Plattformen (40) eines Satelliten (12) montiert zu werden, und elektromagnetisch an einen Verstärker (56) gekoppelt zu werden, umfassend:

mindestens einen Funkreflektor (62) und einen zugeordneten Quellblock (64), der aus einer Vielzahl von elementaren Funkquellen (66) gebildet wird, die auf einer Ebene (63) angeordnet sind,

wobei die Vielzahl (64) der elementaren Funkquellen (66) konfiguriert ist, um den Reflektor (62) durch eine elektromagnetische Strahlung in einem Frequenzband anzustrahlen, und/oder durch eine elektromagnetische Strahlung in einem Frequenzband, die durch den Reflektor (62) reflektiert wird, gemäß einer primären Mehrstrangeinheit an benachbarten primären Strängen angestrahlt zu werden, die in mindestens einer verbundenen Einheit benachbarter primärer Stränge verteilt sind, wobei zwei beliebige benachbarte primäre Stränge durch eine erste Winkeltrennung θ_{S1} getrennt sind, wobei der Reflektor (62) konfiguriert ist, um einen Teil der durch den Quellblock (64) ausgegebenen elektromagnetischen Energie zu reflektieren, und/oder um einen Teil der von der geografischen Zone (26) ausgegebenen elektromagnetischen Energie gemäß einer sekundären Mehrstrangeinheit benachbarter reflektierter sekundärer Stränge abzufangen, die in mindestens einer verbundenen Einheit benachbarter sekundärer Stränge (68) verteilt sind, wobei zwei beliebige benachbarte sekundäre Stränge durch eine zweite Winkeltrennung θ_{S2} getrennt sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Reflektor (62) einmalig ist, wobei der Reflektor (62) ein nicht angepasster Reflektor ist, der Reflektor (62) in einem Durchmesser größer als 4 Meter, und vorzugsweise gleich 5 Meter ist, und

die Ebene (63), auf der die Funkquellen (66) angeordnet sind, eine Brennebene des Reflektors ist,

wobei die Brennebene (63) um eine Brennweite,

die zwischen 4 Metern und 7 Metern enthalten ist, von einem Schnitzzentrum des Reflektors (62) entfernt ist, und der Quellblock (64) derart bemessen und angeordnet ist, dass jede Quelle imstande ist, einen unterschiedlichen einmaligen Strang zu generieren und/oder zu empfangen, und die erste Winkeltrennung θ_{S1} im Wesentlichen gleich der zweiten Winkeltrennung θ_{S2} ist, eine beliebige Quelle (66) des Quellblocks (64) eine notierte Öffnungsgröße T_{source} aufweist, die folgende Beziehung erfüllt

- $T_{source} \leq F \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$, wenn der Reflektor ein Parabelabschnitt ist, der auf seinem Parabelsymmetriezentrum C_p zentriert ist, und die Brennebene (63) des Reflektors (62), auf der die Funkquellen (66) angeordnet sind, orthogonal zu der Achse ist, die durch das Symmetriezentrum C_p der Parabel und den Brennpunkt F1 der Parabel verläuft, und

- $T_{source} \leq F_{eq} \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$, wenn der Reflektor (62) ein im Verhältnis zu dem Quellblock (64) versetzter Abschnitt einer Parabel ist, um die Verdeckung der sekundären Stränge durch den Quellblock (64) zu vermeiden, wobei

F den Brennabstand gleich dem Abstand zwischen dem Symmetriezentrum C_p des Parabelabschnitts und dem Brennpunkt F1 der Parabel bezeichnet,

F_{eq} einen gleichwertigen Brennabstand gleich dem Abstand zwischen einem Schnitzzentrum C_D des Parabelabschnitts und dem Brennpunkt F1 der Parabel bezeichnet,

θ_{S2} die Winkeltrennung zweier benachbarter sekundärer Stränge bezeichnet, und

ε ein numerischer Faktor ist, der zwischen 0 und +0,35 enthalten ist, und

die jeder Quelle (66) zugeordneten Energieverluste durch Überlauf zwischen 3 und 10 dB enthalten sind, vorzugsweise zwischen 3 und 7,5 dB enthalten sind.

2. Mehrstrang-Antenne nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Reflektor ein Abschnitt einer Parabel ist, und der Quellblock (64) mindestens eine Einheit an benachbarten Funkquellen umfasst, die aus Hörnern

mit kreisförmiger Öffnung gebildet werden, wobei jedes Horn der Einheit einen Durchmesser D_{source} aufweist, der die Metalldicke der Wand des Horns beinhaltet, und

der Durchmesser D_{source} der Öffnung die folgende Beziehung erfüllt:

$D_{source} = F_{eq} * \tan(\theta_{S2} * (1 + \varepsilon))$, wenn der Reflektor (62) ein im Verhältnis zu dem Quellblock (64) versetzter Abschnitt einer Parabel ist, und das Verhältnis

$D_{source} = F * \tan(\theta_{S2} * (1 + \varepsilon))$, wenn der Reflektor ein Parabelabschnitt ist, der auf seinem Parabelsymmetriezentrum C_p zentriert ist, wobei F den Brennabstand gleich dem Abstand zwischen dem Symmetriezentrum C_p des Parabelabschnitts und dem Brennpunkt $F1$ der Parabel bezeichnet,

F_{eq} einen gleichwertigen Brennabstand gleich dem Abstand zwischen einem Schnitzzentrum C_D des Parabelabschnitts und dem Brennpunkt $F1$ der Parabel bezeichnet,

θ_{S2} die Winkeltrennung zweier benachbarter sekundärer Stränge bezeichnet, und

ε ein numerischer Faktor ist, der zwischen 0 und +0,35 enthalten ist.

3. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei der Quellblock (64) und der Reflektor (62) konfiguriert sind, um in einem Frequenzband zu arbeiten, das in der Einheit der Bänder C , K_u , K_A enthalten ist.
4. Mehrstrang-Telekommunikationsantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Anordnung der Funkquellen (66) auf der Ebene (63) jene einer Konfiguration ist, die einer optimierten Verteilung für eine Anzahl an Farben gleich 3, 4 oder 7 ist.
5. Mehrstrang-Telekommunikationsantenne nach Anspruch 3, wobei der Mindestwert über die geografische Abdeckung (26) des Verhältnisses C/I zwischen einerseits der durch den Reflektor (62) in einem beliebigen sekundären Strang ausgegebenen und/oder empfangenen Energie, und andererseits der Summe der in demselben Strang ausgegebenen und/oder empfangenen Energie und durch den Reflektor ausgegebenen und/oder empfangenen Energie aus den anderen Strängen derselben Farbe wie der sekundäre Strang kleiner als 15 dB, vorzugsweise als 12 dB ist.
6. Telekommunikationsnutzlast, die dazu bestimmt ist, Daten mit erhöhtem Durchsatz zu übertragen und/oder zu empfangen, umfassend eine Ausgabe- und/oder Empfangsantenne (54) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und einen Verstärker (56), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verstärker (56) eine Einheit an Übertragungs-

strecken zum Ausgeben und/oder Empfangen (608, 610, 612, 614) umfasst,

wobei jede Übertragungsstrecke (608, 610, 612, 614) umfasst

eine Funkeingangs- und/oder -ausgangsklemme (632, 634, 636, 638), die an eine einmalige, und vom Quellblock (64) unterschiedliche Funkquelle (502, 504, 510, 512) angeschlossen ist, und

konfiguriert ist, um Funksignale in einem Frequenzteilband $B(i)$ aus einer vorbestimmten Anzahl N_b an Frequenzteilbändern bereitzustellen, die ein zugeteiltes Frequenzband bilden, und dadurch, dass jedes Teilband $B(i)$ einer Farbe zugeordnet ist, die Übertragungsstrecken imstande sind, die Frequenzteilbänder zum Ausgeben und/oder Empfangen an alle elementaren Funkquellen zu verteilen, sodass das Diagramm am Boden, das durch die den verschiedenen sekundären Strängen, die durch die Antenne (54) generiert werden, zugeordneten Farben gebildet wird, ein optimiertes Diagramm mit N_b Farben zur Wiederverwendung von Frequenzen ist, das heißt, ein Diagramm, bei dem der Winkelabstand zwischen zwei Strängen, die eine selbe Farbe verwenden, in allen möglichen Diagrammen der größte ist.

7. Telekommunikationssystem, umfassend einen Telekommunikationssatelliten (12), der mit einer Nutzlast nach dem vorstehenden Anspruch ausgestattet ist, eine Einheit (4) an Telekommunikationsendgeräten (6, 8, 10), die Funksignale an den/von dem Satelliten (12) übertragen und/oder empfangen können, eine oder mehrere Satellitenzugriffsstationen (18, 19, 20, 21), die imstande sind, Funksignale anhand des Satelliten (12) entsprechend einer Aufwärtsverbindung für hin (48) und/oder her an die/von den Endgeräte(n) auszugeben und/oder zu empfangen, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Endgerät (6, 8, 10) imstande ist, das durch dessen jeweilige Antenne und/oder durch die Satellitenantenne beobachtete Verhältnis $C/I+N$ zu bestimmen, zwischen einerseits der empfangenen Energie C , die dem Nutzfunksignal des Endgerätes zugeordnet, und in dem sekundären Abdeckungsstrang des Endgerätes enthalten ist, und andererseits der Summe I der empfangenen Energien in demselben sekundären Strang, jedoch von den anderen sekundären Strängen einer selben Farbe wie die zugeordnete Quelle an den sekundären Abdeckungsstrang des Endgerätes ausgegeben, und der Energie N des empfangenen thermischen Rauschens, und eine Vorrichtung zur Anpassung eines empfangenen oder übertragenen Durchsatzes (250, 252, 254) in Abhängigkeit von den beobachteten Bedingungen von $C/I+N$ umfasst, wobei der Durchsatz durch die Änderung der Anzahl von Zuständen einer

Modulation und/oder die Codier-Rate und/oder den Symboldurchsatz variabel ist.

Claims

1. A multibeam telecommunication antenna intended to equip a high rate telecommunication payload (46) to cover in emission and/or in reception a geographical area (26) from a geostationary orbit adapted to be mechanically mounted on one or two satellite (12) platform(s) (40) and to be electromagnetically coupled to a repeater (56), comprising:

at least one radio-frequency reflector (62) and an associated source block (64), formed by a plurality of elementary radio-frequency sources (66) disposed in a plane (63), the plurality (64) of the elementary radio-frequency sources (66) being configured to illuminate the reflector (62) with an electromagnetic radiation in a frequency band and/or to be illuminated by an electromagnetic radiation in a frequency band reflected by the reflector (62) according to a primary multibeam set of primary adjacent beams distributed in at least one connected set of adjacent primary beams, any two adjacent primary beams being separated by a first angular separation θ_{S1} ,

the reflector (62) being configured to reflect a portion of the electromagnetic energy emitted by the source block (64) and/or to intercept a portion of the electromagnetic energy emitted from the geographic area (26), according to a secondary multibeam set of secondary adjacent reflected beams distributed in at least one connected set of adjacent secondary beams (68), any two adjacent secondary beams being separated by a second angular separation θ_{S2} ,

characterized in that

the reflector (62) is unique, the reflector (62) being a non-shaped reflector, said reflector (62) has a diameter larger than 4 meters, and preferably equal to 5 meters, and the plane (63) in which the radio-frequency sources (66) are disposed is a focal plane of the reflector,

the focal plane (63) being distant from a cutting center of the reflector (62) by a focal length comprised between 4 meters and 7 meters and

the source block (64) is dimensioned and arranged such that each source is adapted to generate and/or receive a different single beam and that the first angular separation θ_{S1} , is substantially equal to the second angular separation θ_{S2} , any source (66) of the source block (64) has an opening size denoted T_{source} , which meets the relationship

- $T_{source} \leq F \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$, when the reflector is a paraboloid portion centered on its paraboloid center of symmetry C_P , and the focal plane (63) of the reflector (62), in which the radio-frequency sources (66) are disposed, is orthogonal to the axis passing through the center of symmetry C_P of the paraboloid and the focal point F1 of the paraboloid, and

- $T_{source} \leq F_{eq} \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$ when the reflector (62) is a portion of a paraboloid offset with respect to the source block (64) so as to avoid the masking of the secondary beams by the source block (64), in which

F refers to the focal distance equal to the distance between the center of symmetry C_P of the paraboloid portion and the focal point F1 of the paraboloid, F_{eq} refers to an equivalent focal distance equal to the distance between a cutting center C_D of the paraboloid portion and the focal point F1 of the paraboloid,

θ_{S2} refers to the angular separation of two secondary adjacent beams, and ε is a numerical coefficient comprised between 0 and +0.35,

and

the energy losses by overflow associated to each source (66) are comprised between 3 and 10 dB, preferably comprised between 3 and 7.5 dB.

2. The multibeam antenna according to the preceding claim, wherein the reflector is a portion of a paraboloid, and the source block (64) comprises at least one set of adjacent radio-frequency sources formed by circular opening horns, each horn of the set having a diameter D_{source} including the metal thickness of the wall of the horn, and the diameter D_{source} of the opening meets the relationship:

$D_{source} = F_{eq} \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$ when the reflector (62) is a portion of a paraboloid offset with respect to the source block (64), and the relationship

$D_{source} = F \cdot \tan(\theta_{S2} \cdot (1 + \varepsilon))$ when the reflector (62) is a paraboloid portion centered on its paraboloid center of symmetry C_P , in which F refers to the focal distance equal to the distance between the center of symmetry C_P of the paraboloid portion and the focal point F1 of the paraboloid,

F_{eq} refers to an equivalent focal distance equal

- to the distance between a cutting center C_D of the paraboloid portion and the focal point F1 of the paraboloid,
 θ_{S2} refers to the angular separation of two secondary adjacent beams, and
 ε is a numerical coefficient comprised between 0 and +0.35.
3. The antenna according to any one of claims 1 to 2, wherein the source block (64) and the reflector (62) are configured to operate in a frequency band comprised in the set of the bands C, K_U K_A .
 4. The multibeam telecommunication antenna according to any one of claims 1 to 3, wherein the arrangement of the radio-frequency sources (66) in the plane (63) is that of a configuration corresponding to an optimized distribution for a number of colors equal to 3, 4, or 7.
 5. The multibeam telecommunication antenna according to claim 3, wherein the minimum value over the geographical coverage (26) of the ratio C/I between, on the one hand, the energy emitted and/or received by the reflector (62) in any secondary beam, and on the other hand, the sum of the energies emitted and/or received in the same secondary beam and emitted and/or received by the reflector from the other beams of the same color as the secondary beam, is lower than 15 dB, preferably lower than 12 dB.
 6. A telecommunication payload intended to transmit and/or receive high rate data, comprising an emission and/or reception antenna (54) defined according to any one of claims 1 to 4 and a repeater (56), **characterized in that** the repeater (56) comprises a set of channels of transmission in emission and/or reception (608, 610, 612, 614), each transmission channel (608, 610, 612, 614) comprising a radio-frequency output and/or input terminal (632, 634, 636, 638) connected to a unique and different radio-frequency source (502, 504, 510, 512) of the source block (64), and being configured to provide radio-frequency signals in a frequency sub-band B(i) among a predetermined number Nb of frequency sub-bands forming an allocated frequency band, and **in that** each sub-band B(i) being associated with a color, the transmission channels are adapted to distribute in emission and/or in reception, the frequency sub-bands to all of the elementary radio-frequency sources such that the ground diagram formed by the colors associated with the different secondary beams generated by the antenna (54) is an optimized diagram with Nb frequency reuse colors, that is to say a diagram for which the angular distance between two

beams using the same color is the largest on all of the possible diagrams.

7. A telecommunication system comprising a telecommunication satellite (12) equipped with a payload defined according to the preceding claim, a set (4) of telecommunication terminals (6, 8, 10) capable of transmitting and/or receiving radio-frequency signals to/from the satellite (12), one or several satellite access station(s) (18, 19, 20, 21) adapted to emit and/or receive radio-frequency signals to/from the terminals throughout the satellite (12) according to a forward and/or reverse uplink (48), **characterized in that** each terminal (6, 8, 10) is adapted to determine the ratio C/I+N observed by its respective antenna and/or by the satellite antenna between, on the one hand, the received energy C associated with the useful radio-frequency signal of the terminal and contained in the secondary beam of coverage of the terminal, and on the other hand, the sum I of the energies received in the same secondary beam but emitted from the other secondary beams of the same color as the source associated with the secondary beam of coverage of the terminal and the energy N of the received thermal noise, and comprises a received or transmitted rate matching device (250, 252, 254) according to the observed conditions of C/I+N, the rate being variable by changing the number of states of a modulation and/or the encoding ratio and/or the symbol rate.

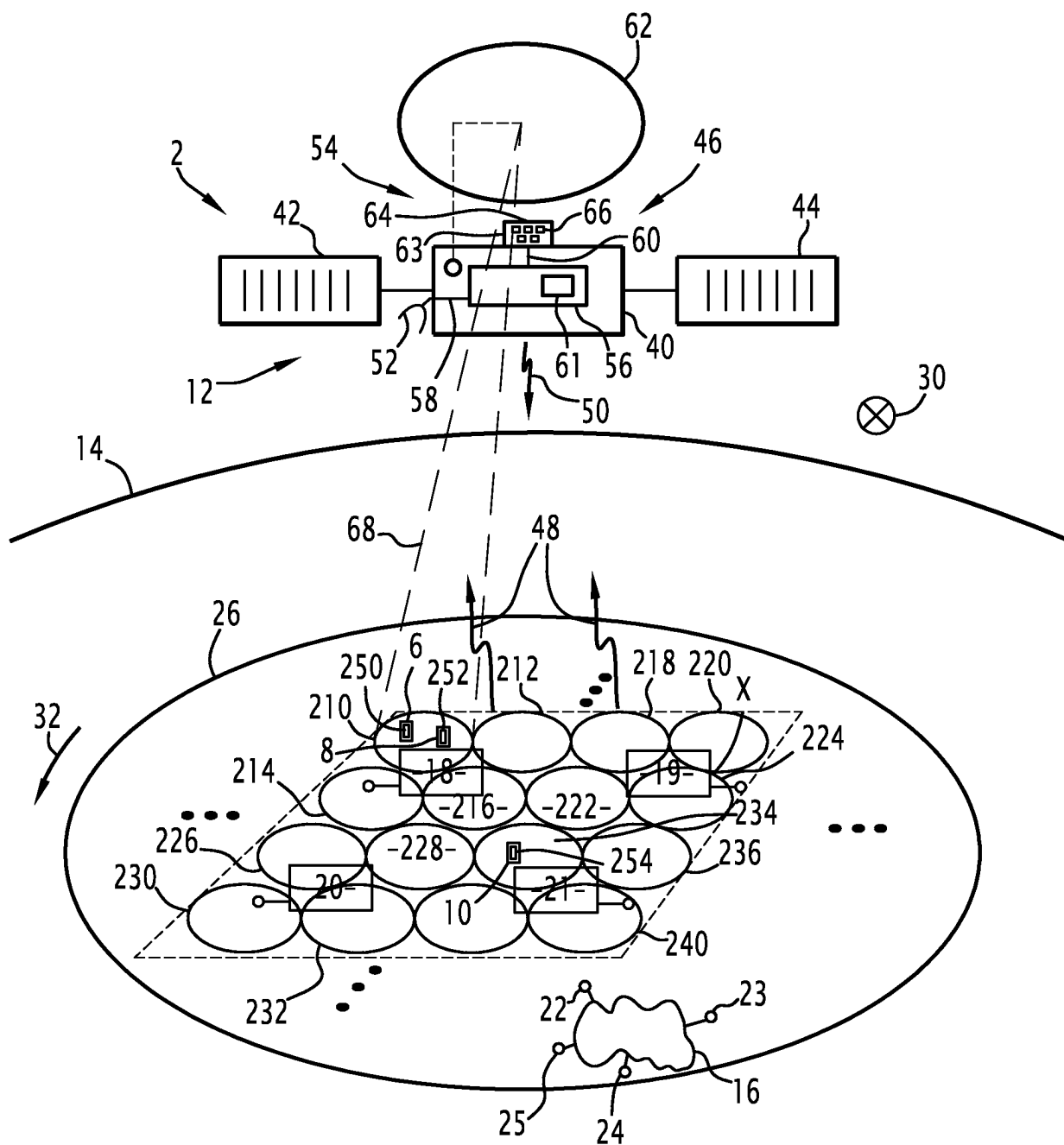


FIG.1

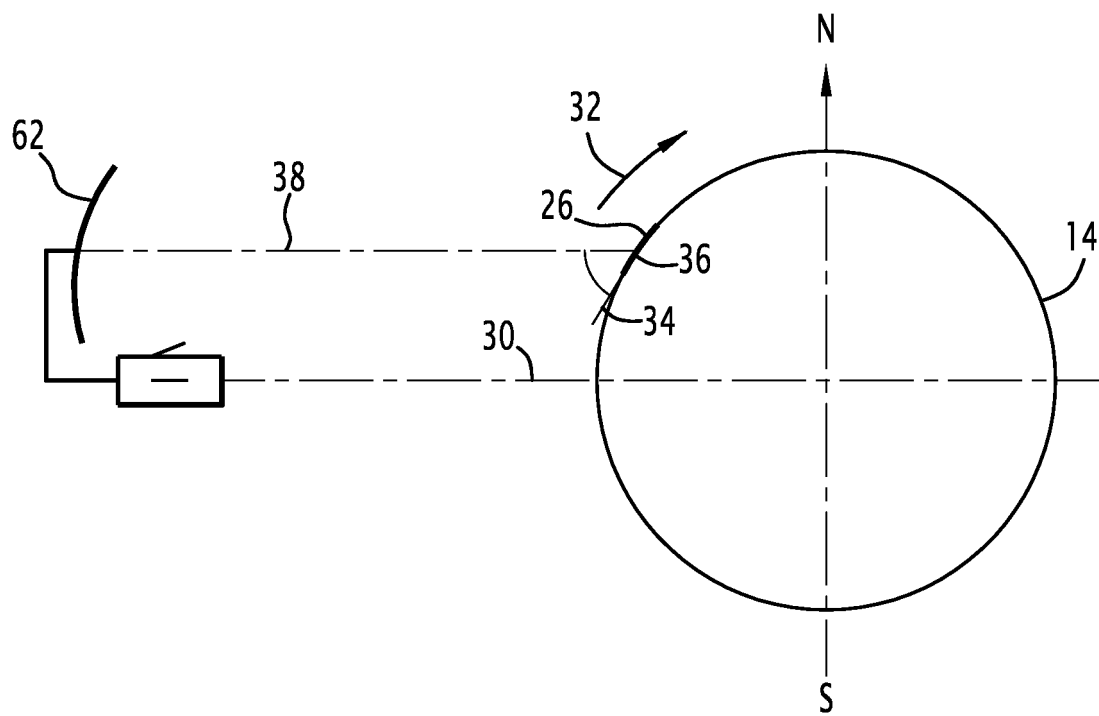


FIG.2

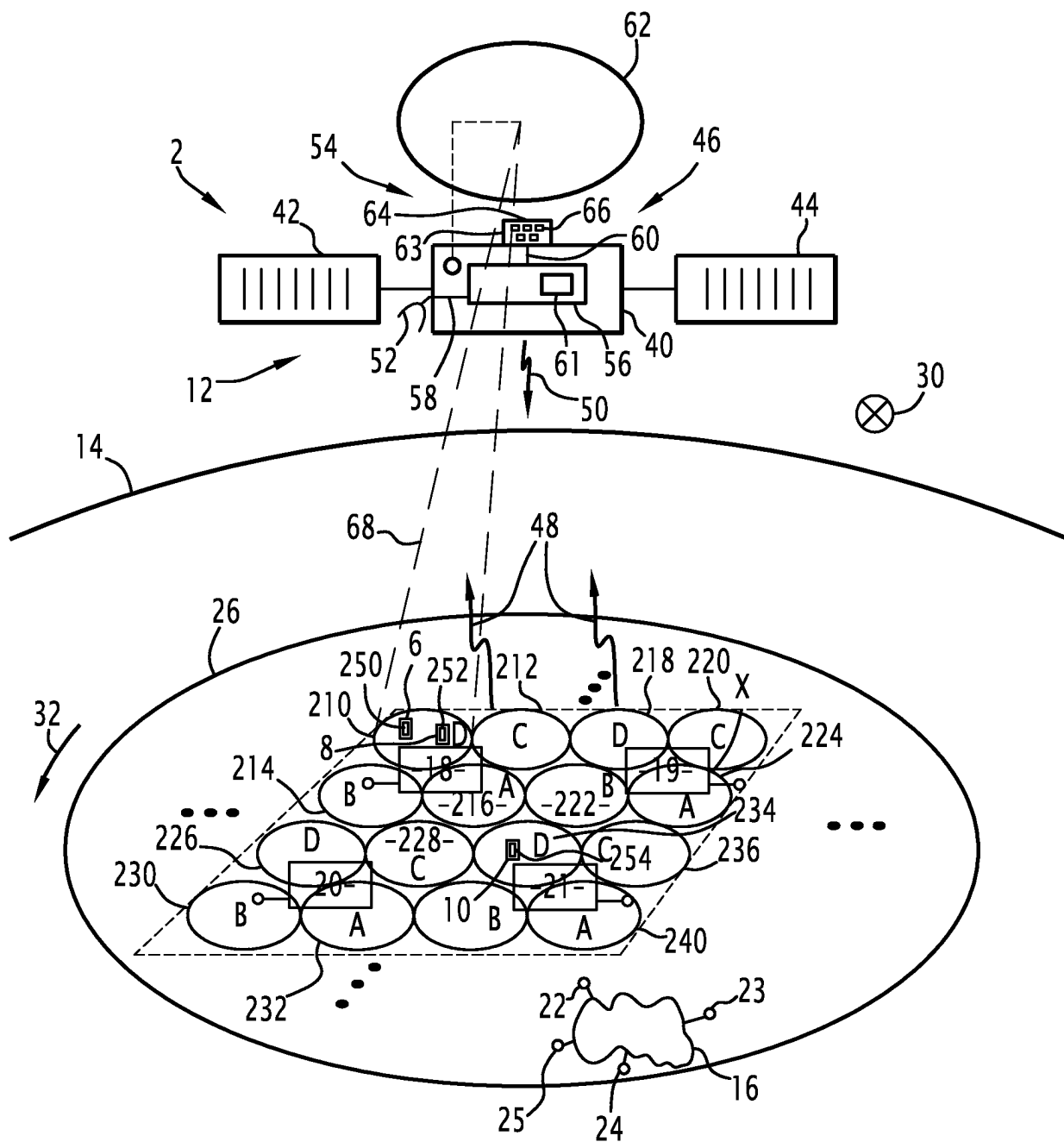


FIG. 3

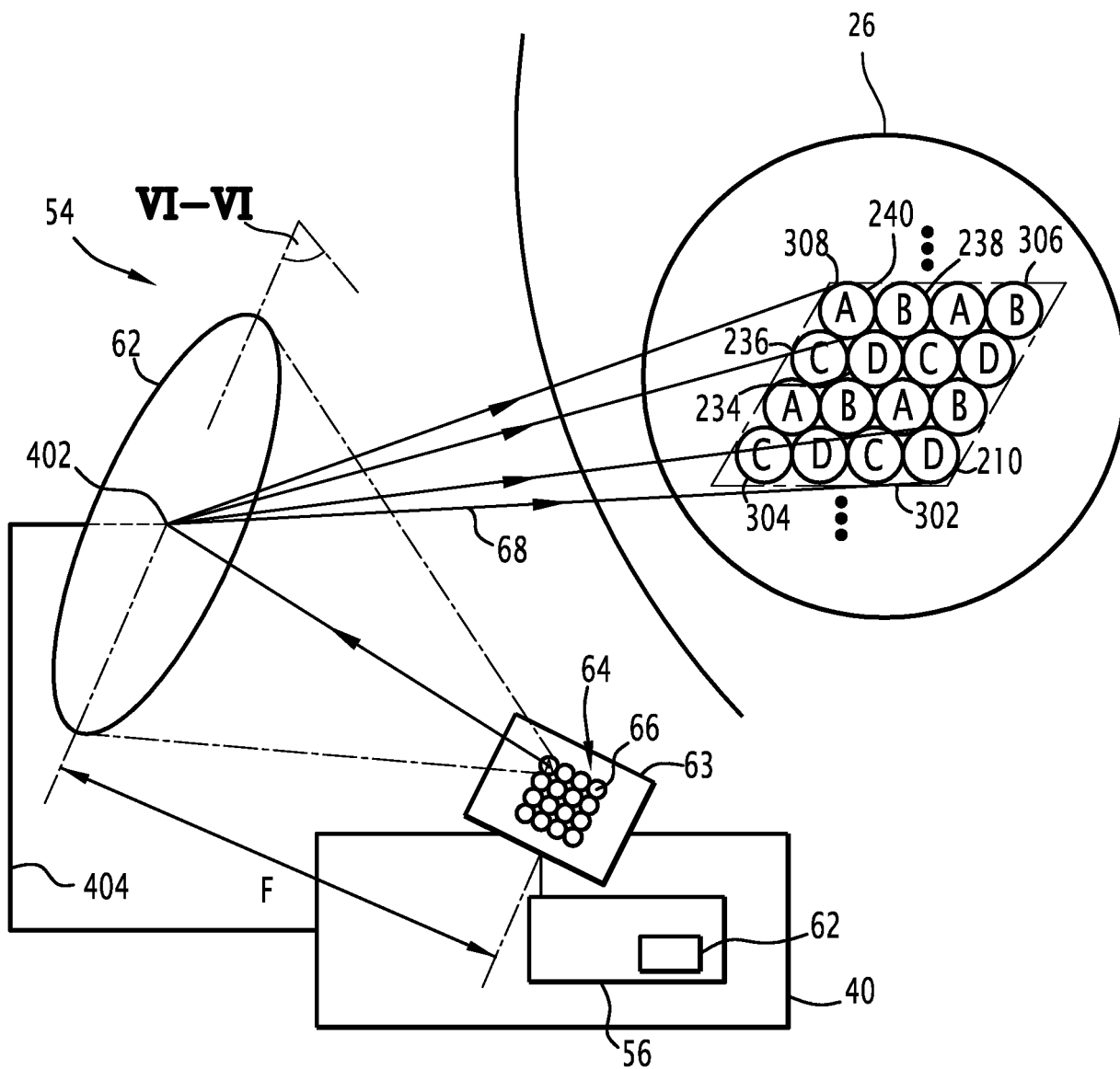


FIG. 4

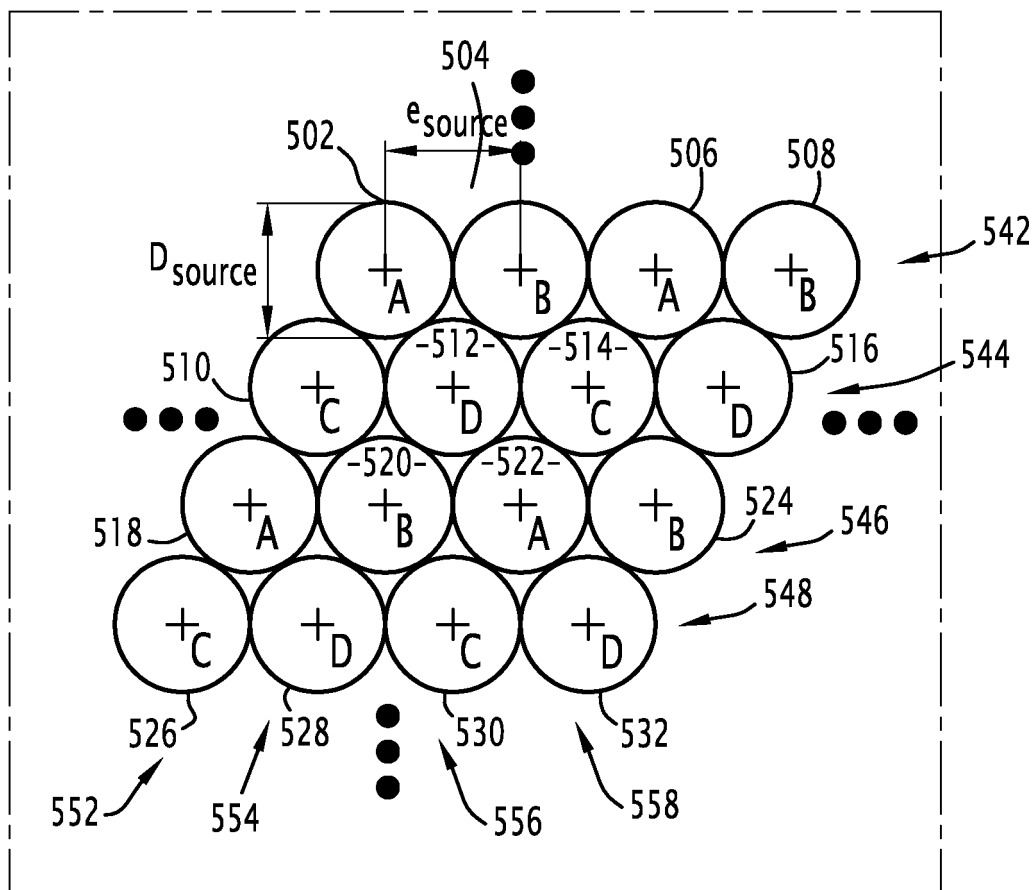
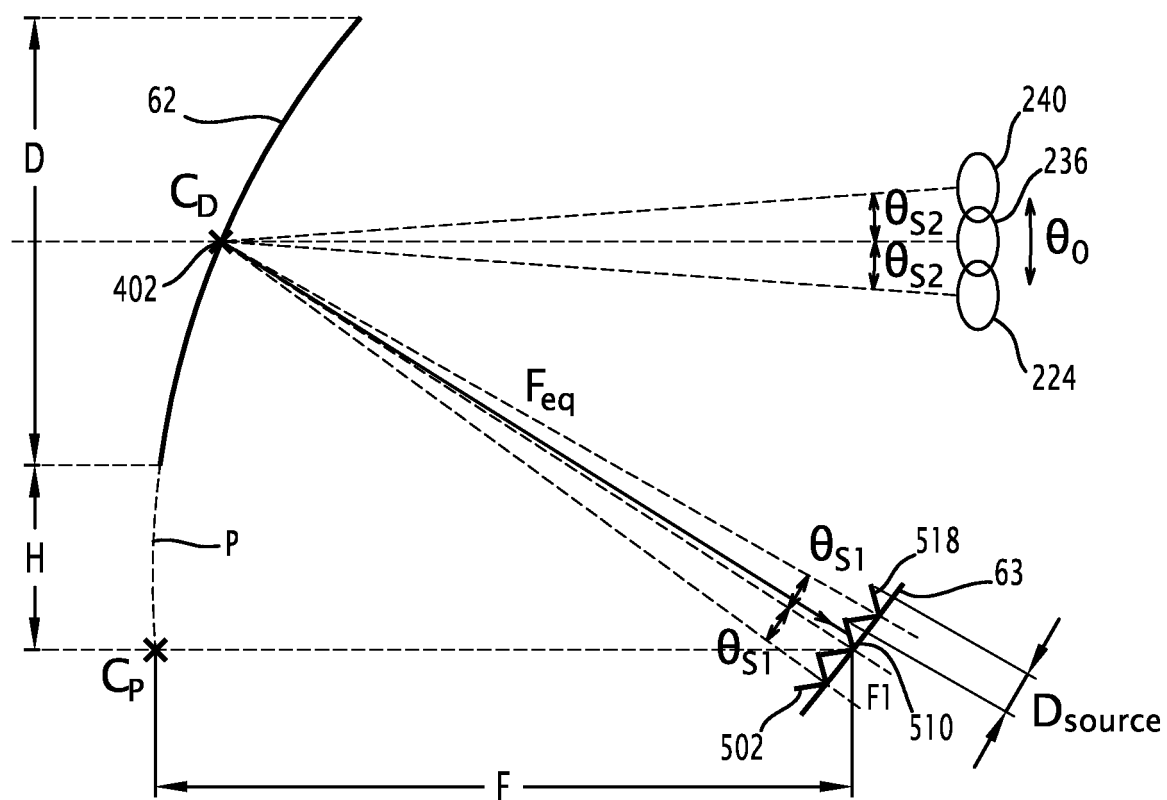


FIG.5

FIG.6

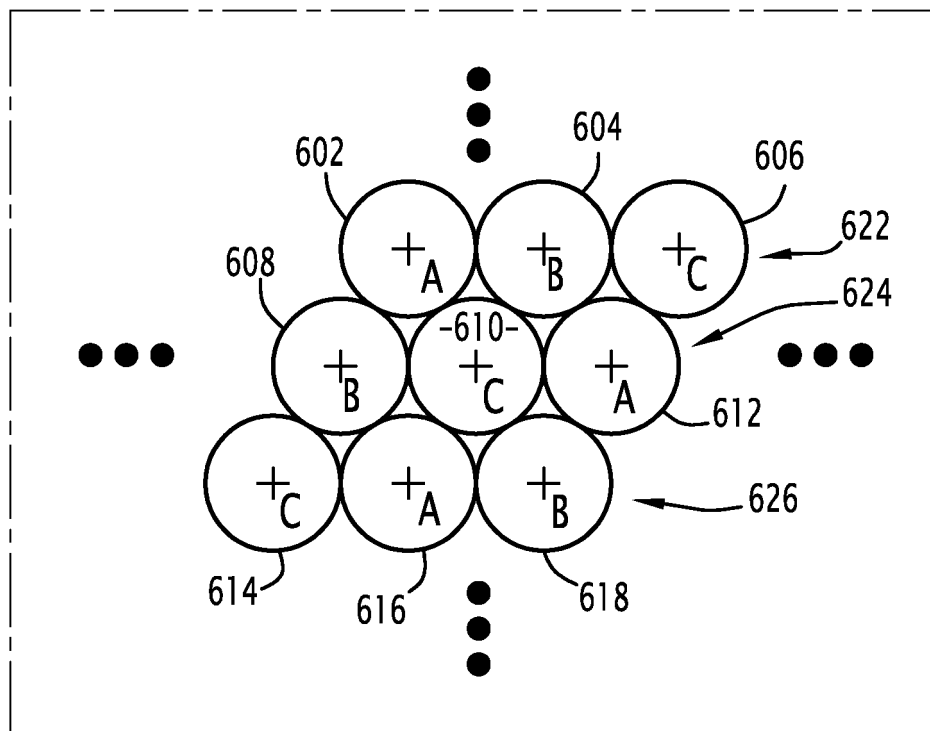


FIG. 7

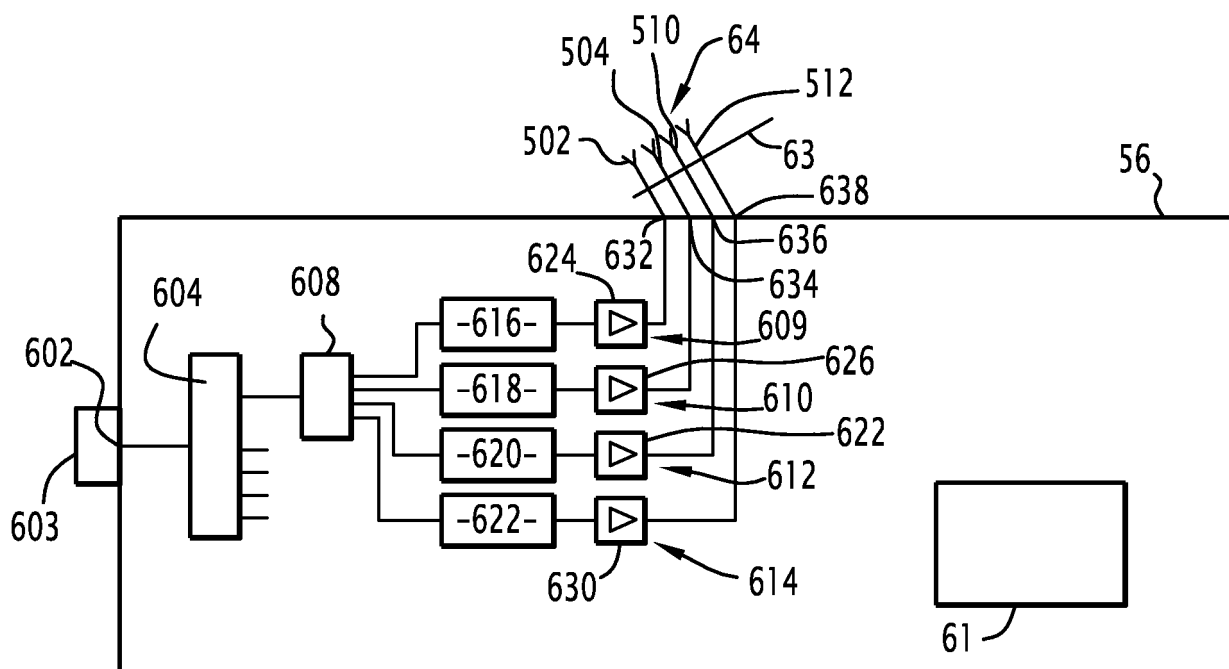


FIG. 8

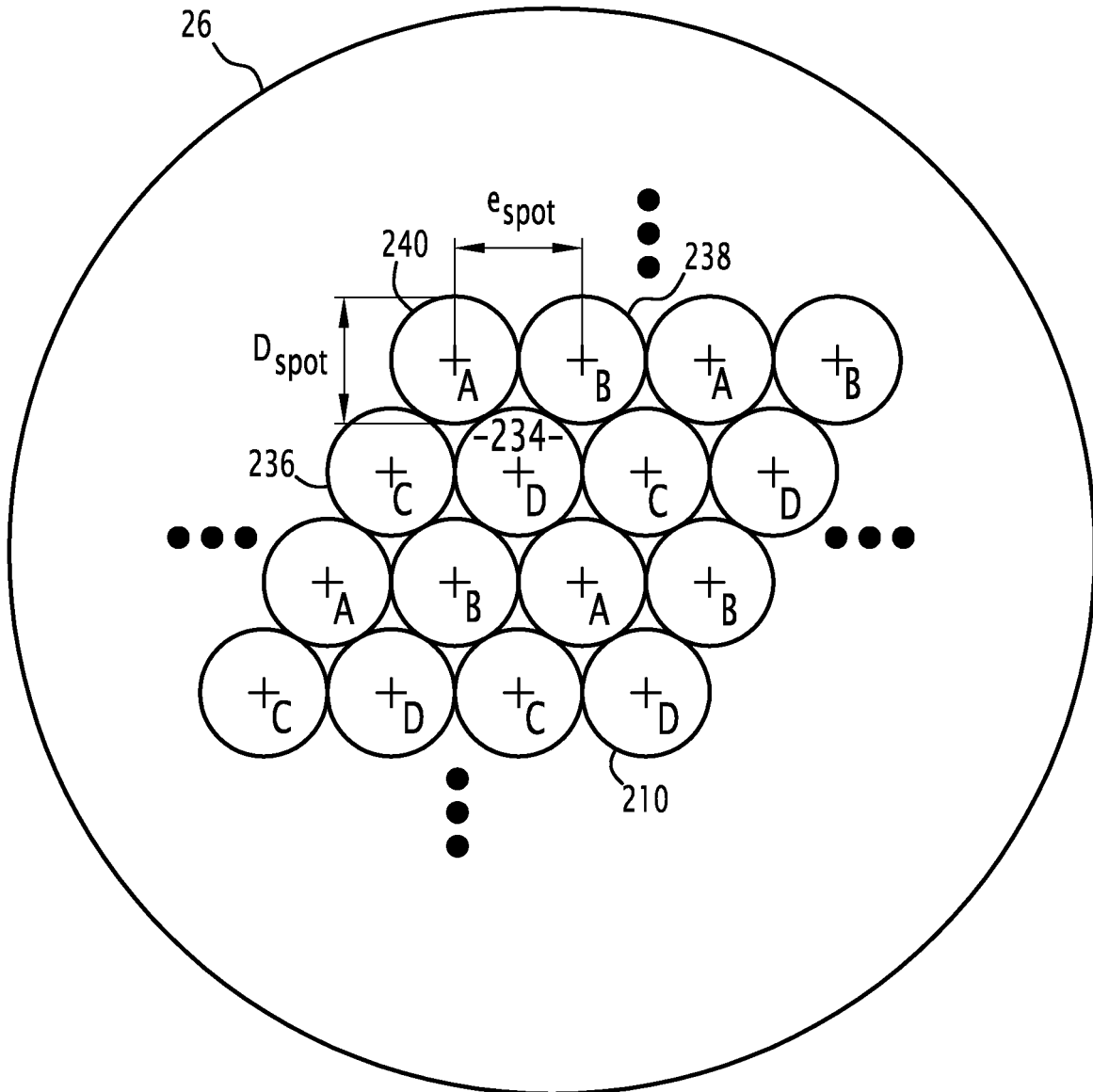


FIG.9

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 6157811 A [0005]
- US 7161549 B1 [0006]