



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
30.12.2020 Bulletin 2020/53

(51) Int Cl.:
H01Q 3/40 (2006.01) **H01Q 1/28** (2006.01)
H01Q 3/26 (2006.01) **H01Q 3/38** (2006.01)
H01Q 25/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **20182142.8**

(22) Date de dépôt: **25.06.2020**

(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
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **FRAYSSE, Jean-Philippe**
31200 Toulouse (FR)
• **LEGAY, Hervé**
31830 Plaisance du Touch (FR)
• **VIDAL, Florian**
34740 Vendargues (FR)

(30) Priorité: **27.06.2019 FR 1907001**

(74) Mandataire: **Marks & Clerk France**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(71) Demandeur: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

(54) **FORMATEUR ANALOGIQUE MULTIFAISCEAUX BIDIMENSIONNEL DE COMPLEXITÉ RÉDUITE POUR ANTENNES RÉSEAUX ACTIVES RECONFIGURABLES**

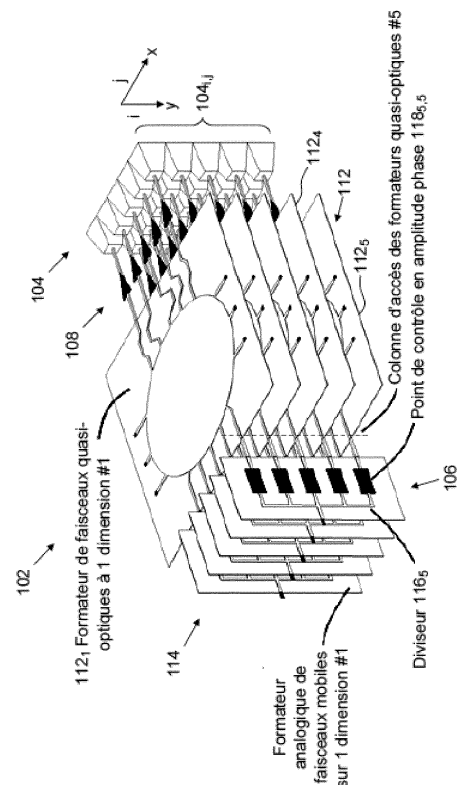
(57) L'invention concerne un formateur analogique multifaisceaux de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continument pour une antenne réseau active bidimensionnelle reconfigurable, comprend un premier ensemble (112) de formateurs analogiques multifaisceaux de faisceaux fixes unidimensionnels, de structure identique, superposés et connectés en sortie à des rangées de sources rayonnantes élémentaires d'un réseau antenne (104) plan suivant une première direction axiale X.

Le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble (114) de deuxième formateurs analogiques unidimensionnels de faisceaux radiofréquences, continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage θ_y le long d'une deuxième direction axiale Y.

Chaque deuxième formateur analogique est formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie du diviseur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase.

Chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateurs analogiques, une colonne d'accès étant formée de R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques.

[Fig. 3]



Description

[0001] La présente invention concerne un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel de complexité réduite pour antennes réseaux actives bidimensionnelles reconfigurables.

[0002] L'invention concerne également une antenne active multifaisceaux bidimensionnelle reconfigurable de complexité réduite en mode émission et/ou réception utilisant un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel de complexité réduite selon l'invention.

[0003] L'invention concerne également une charge utile satellitaire d'un satellite de télécommunications comprenant une antenne réception multifaisceaux et/ou une antenne émission multifaisceaux, interconnectées par un routeur, et dans lequel l'antenne réception multifaisceaux et/ou l'antenne d'émission multifaisceaux sont des antennes actives multifaisceaux bidimensionnelles reconfigurables de complexité réduite selon l'invention.

[0004] Les antennes réseaux actives reconfigurables sont connues pour générer, avec un seul réseau d'éléments rayonnants ou sources rayonnantes, plusieurs faisceaux reconfigurables qui peuvent s'adapter à l'évolution dans le temps d'un besoin de répartition spatiale d'un trafic de transmission.

[0005] Ces antennes conviennent particulièrement pour les applications satellitaires qui nécessitent une capacité ou aptitude à reconfigurer en fonction du temps la couverture des faisceaux générés par l'antenne. Cette exigence de pouvoir reconfigurer la couverture géographique des faisceaux en fonction du temps est prégnante pour un grand nombre d'applications satellitaires telles que les satellites télécoms que ce soit pour les orbites géostationnaires, moyennes ou basses.

[0006] Ainsi, par exemple, pour les constellations de satellites en orbites basses ou moyennes, de telles antennes permettent d'adapter la couverture de chaque satellite à l'évolution du besoin induite par le déplacement du satellite par rapport à la terre et sont donc très attractives.

[0007] Mais compte tenu du grand nombre de satellites de ces constellations, ces antennes doivent non seulement être reconfigurables mais doivent également satisfaire à l'exigence de coût réduit de ces systèmes, ce qui peut se traduire techniquement par une diminution de la complexité et/ou du traitement.

[0008] En outre, les ressources limitées en puissance des systèmes satellitaires requièrent également de minimiser la puissance consommée par de telles antennes. Il est connu qu'un des éléments principaux de ces antennes impactant les critères énoncés ci-dessus, est le formateur de faisceaux.

[0009] Différentes architectures sont connues pour réaliser des formateurs de faisceaux bidimensionnelles 2D reconfigurables et peuvent être regroupées dans deux familles en fonction du niveau ou degré de leur aptitude à reconfigurer la couverture des faisceaux, ce niveau étant appelé par la suite « niveau de

reconfigurabilité ». Une première famille regroupe les formateurs multifaisceaux ayant un niveau de reconfigurabilité « totale » et une deuxième famille regroupe les formateurs multifaisceaux ayant un niveau de reconfigurabilité « partielle ». De manière évidente, la reconfigurabilité totale d'une antenne réseau active bidimensionnelle est obtenue en s'appuyant sur des formateurs de faisceaux plus complexes que ceux qui permettent une reconfigurabilité partielle.

[0010] Dans le cas de formateurs de faisceaux avec une reconfigurabilité totale, la formation de faisceaux en numérique revient à disposer d'un accès numérisé associé à chaque élément rayonnant actif par l'intermédiaire d'interfaces de conversion numérique analogique. Ces interfaces sont onéreuses et énergivores d'autant plus que les fréquences de fonctionnement sont élevées. Dans le cas des applications satellitaires en bande Ka, cette consommation est accrue par la nécessité d'ajouter un étage de conversion de fréquence pour rester dans la plage de fonctionnement accessible par les convertisseurs numériques analogiques. Il est donc important de minimiser le nombre d'accès numérisés si les critères de complexité et puissance consommée réduites sont prépondérants dans la conception d'une charge utile. Ainsi l'intégration de formateurs de faisceaux dans la partie numérique des charges utiles de satellites conduit à très sensiblement augmenter la complexité et la consommation quand le nombre d'éléments rayonnants est supérieur au nombre de faisceaux à router.

[0011] Dans le cas de formateurs de faisceaux avec une reconfigurabilité totale, les formateurs analogiques de faisceaux mobiles constituent une alternative très attrayante aux formateurs de faisceaux numériques lorsque les critères de complexité et puissance consommée limitées doivent être privilégiés. Mais ces formateurs analogiques de faisceaux mobiles sont pénalisés par la difficulté à implémenter cette solution lorsque les nombres d'éléments rayonnants et de faisceaux sont élevés. Ainsi à titre d'exemple, la génération de 20 faisceaux à partir de 500 éléments rayonnants conduit à devoir implémenter dans le formateur de faisceaux analogique 20 diviseurs 1 vers 500, 10 000 points de contrôles amplitude/phase et 500 combineurs 20 vers 1. Il est précisé que chaque point de contrôle amplitude/phase intègre des déphaseurs ou lignes de retard variables et peut également intégrer des atténuateurs ou amplificateurs variables. L'implémentation physique de ces éléments se heurte non seulement à leur grand nombre mais également à la complexité des routages à effectuer entre ces différents éléments et à la difficulté de maîtriser les dispersions de phase de cette multitude de chemins radiofréquences. Ceci est d'autant plus vrai que la fréquence de fonctionnement est élevée.

[0012] Dans le cas de formateurs de faisceaux avec une reconfigurabilité partielle, une première solution consiste à mettre en œuvre des formateurs de faisceaux fixes associés à un dispositif de sélection de faisceaux. Les formateurs de faisceaux fixes peuvent être réalisées

à l'aide de matrices de Butler ou de Blass, de formateurs quasi-optiques tels que des lentilles de Rotman ou des lentilles à retard continu, ou de dispositifs hybrides associant différents types de formateurs de faisceaux fixes. Parmi les différents types de formateurs de faisceaux fixes, les formateurs de faisceaux quasi-optiques sont particulièrement intéressants car ils permettent avec un seul élément de réaliser simultanément plusieurs faisceaux à partir de plusieurs accès d'éléments rayonnants, et constituent ainsi une alternative à la complexité des formateurs de faisceaux analogiques à phase variable. De manière connue, des lentilles unidimensionnelles de Rotman ou à retard continu forment des faisceaux répartis sur un seul axe. Pour former des faisceaux répartis sur deux axes avec des formateurs de faisceaux quasi-optiques unidimensionnels à un axe de répartition, il est alors nécessaire de connecter deux ensembles différents de formateurs de faisceaux quasi-optiques, comme décrit par exemple dans un premier document, formé par le brevet US 5,936, 588 de S.K. Rao et al., intitulé « Reconfigurable multiple beam satellite phased array antenna ». Suivant ce premier document, les deux ensembles sont composés de formateurs de faisceaux quasi-optiques superposés et positionnés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre. Le principal inconvénient d'une telle architecture est que le nombre d'accès du formateur de faisceaux bidimensionnel 2D côté faisceaux est nettement plus élevé que le nombre de faisceaux lorsque le formateur de faisceaux doit adresser une large couverture avec des faisceaux étroits. En conséquence, pour minimiser le nombre de convertisseurs numériques-analogiques de la charge utile, il est alors nécessaire de placer en amont du formateur de faisceaux une matrice de sélection permettant de réduire le nombre d'accès traités par la partie numérique. Cette matrice de sélection est complexe à réaliser dans le cas d'un grand nombre d'accès du formateur de faisceaux quasi-optique bidimensionnel. Un autre inconvénient de cette architecture est l'encombrement important résultant de la mise en série des deux groupes de formateurs quasi-optiques et de la matrice de sélection. En outre une telle architecture conduit à une discrétisation de la couverture dans laquelle le déplacement d'un faisceau s'effectue par des sauts entre faisceaux préformés.

[0013] Dans le cas de formateurs de faisceaux avec une reconfigurabilité partielle, une deuxième solution consiste à mettre en œuvre l'association de sous-ensembles de formateurs de faisceaux à deux dimensions et d'un formateur de faisceaux final à deux dimensions.

[0014] Un deuxième document de Vincent Tugend et al., intitulé « Hybrid beamforming with reduced grating lobes for satellites applications » et publié dans EuCAP 2018, décrit différents types d'associations de la deuxième solutions parmi lesquelles :

- l'association de sous-ensembles de formateurs de faisceaux analogiques qui se chevauchent et d'un formateur de faisceaux numérique principal ;

- l'association de sous-ensembles de formateurs de faisceaux quasi-optiques qui se chevauchent et d'un formateur de faisceaux numérique principal ;

- 5 - l'association de sous-ensembles de formateurs quasi-optiques qui se chevauchent, de commutateurs et d'un formateurs de faisceaux numérique principal.

[0015] La demande de brevet US 8 344 945, ayant pour titre « System for simplification of reconfigurable beam-forming network processing within a phased array antenna for a telecommunications satellite » et formant un troisième document, décrit un autre type d'association de la deuxième solution dans lequel sont associés des sous-ensembles de formateurs de faisceaux analogiques qui se chevauchent et un formateur de faisceaux analogique principal.

[0016] L'approche présentée dans les deuxième et troisième documents permet de réduire le nombre de points de contrôle des formateurs de faisceaux en décomposant le formateur de faisceaux en deux parties, une première partie composée de formateurs de faisceaux à partir de sous-réseaux d'éléments rayonnants et une deuxième partie comprenant un formateur de faisceau principal. Cette approche a pour premier inconvénient de générer des lobes de réseaux néfastes aux performances de l'antenne qui peuvent être certes atténués mais au prix d'une utilisation de plusieurs niveaux d'amplificateurs et d'une augmentation des points de contrôle avec un chevauchement des sous-réseaux. Cette approche a pour deuxième inconvénient de générer des faisceaux regroupés et ne permet pas au même moment de générer des faisceaux dispersés sur l'ensemble de la couverture de l'antenne.

[0017] Aucun des modes de réalisation des formateurs de faisceaux ne permet de générer à partir d'un grand nombre d'éléments rayonnants d'un réseau antenneur bidimensionnel prédéterminé un nombre élevé de configurations de faisceaux reconfigurables en termes d'angles de pointage et/ou de tailles, pouvant être dispersés à un même moment sur l'ensemble de la couverture de l'antenne et à un autre moment regroupés en une zone compacte limitée de ladite couverture de l'antenne, en consommant une faible puissance électrique et en utilisant un nombre réduit de points de contrôle en amplitude phase.

[0018] Un premier problème technique est de fournir un formateur de faisceaux dont l'architecture permet de générer à partir d'un grand nombre d'éléments rayonnants d'un réseau antenneur bidimensionnel prédéterminé un nombre élevé de configurations de faisceaux reconfigurables en termes d'angles de pointage et/ou de tailles, pouvant être dispersés à un même moment sur l'ensemble de la couverture de l'antenne et à un autre moment regroupés en une zone compacte limitée de ladite couverture de l'antenne, en consommant une faible puissance électrique et en utilisant un nombre réduit de points de contrôle en amplitude phase.

[0019] Un deuxième problème technique est de fournir un formateur de faisceaux analogique qui résout le premier problème technique et dans lequel un nombre de points de contrôle amplitude phase limité est utilisé pour remplir les exigences de flexibilité et de vitesse de reconfigurabilité des faisceaux de l'antenne.

[0020] A cet effet, l'invention a pour objet un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continument pour une antenne réseau active bidimensionnelle reconfigurable, ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X.

[0021] Le formateur analogique multifaisceaux comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixées le long de la première direction axiale X, chaque premier formateur analogique, i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers de S voies de sortie en mode émission ou S voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage du réseau antenne, repérée par un indice de niveau i, i variant de 1 à R ; et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0022] Le formateur analogique multifaisceaux est caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission ou par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission ou d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formées par R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques.

[0023] Selon des modes particuliers de réalisation, le

formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou en combinaison :

- 5 - les premiers formateurs analogiques sont superposés le long de la deuxième direction axiale Y et correspondent chacun à une rangée différente de sources rayonnantes le long de la première direction axiale X ; et les deuxième formateurs analogiques
- 10 sont alignés côte à côte le long de la première direction axiale X et correspondent chacun à une ou plusieurs colonnes voisines d'accès aux deuxième formateurs analogiques du deuxième ensemble ;
- 15 - les R premiers formateurs analogiques superposés du premier ensemble sont des formateurs quasi-optiques ou des matrices de Butler ;
- les points de contrôle en amplitude et en phase des
- 20 R branches de sortie en mode émission ou R branches d'entrée en mode réception de chacun des Q deuxième formateurs analogiques, alignés côte à côte, du deuxième ensemble sont des composants électriques analogiques de déphasage et d'amplification ou atténuation à déphasage et gain variables
- 25 continument ou quasi-continument en fonction de commandes analogiques ou de commandes discrètes à résolution fine sur une plage large ;
- 30 - le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend en outre, pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé i, i variant de 1 à R, un combineur en mode émission suivant une configuration de combinaison prédéterminée ou un
- 35 diviseur en mode réception suivant une configuration de division prédéterminée, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxième formateurs analogiques ayant le niveau associé i du premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire ;
- 40 - le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend en outre, pour chaque premier formateur analogique et le niveau i associé, i variant de 1 à R, intérieure au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel, une première matrice de
- 45 commutation, suivant une première configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxième formateurs analogiques ayant le même niveau associé i du premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire X ;
- 50
- 55 - le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend en outre, périphérique au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes du

- réseau antenne, une deuxième matrice de commutation, suivant une deuxième configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des Q entrées en mode émission ou des Q sorties en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques sur un nombre entier T, supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à Q, d'entrées de faisceaux en mode émission ou de sorties de faisceaux en mode réception ;
- le formateur analogique multifaisceaux comprend en outre, pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé i, i variant de 1 à R, intérieure au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel, une première matrice de commutation, suivant une première configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire ; et, périphérique au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes de l'antenne, une deuxième matrice de commutation, suivant une deuxième configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des Q entrées en mode émission ou des Q sorties en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques sur un nombre entier T, supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à Q, d'entrées de faisceaux en mode émission ou de sorties de faisceaux en mode réception ;
 - le nombre P de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception de chaque premier formateur analogique est strictement supérieur au premier nombre R de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception des sources rayonnantes d'une même rangée suivant la première direction axiale ; et formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend, pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé, un diviseur en mode émission suivant une configuration de diviseur prédéterminée ou un combineur en mode réception suivant une configuration de combinaison prédéterminée, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé du premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire, le diviseur en mode émission ou le combineur en mode réception étant connecté entre les sorties en mode émission ou les entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire, et les entrées en mode émission ou les sorties en mode réception du premier formateur analogique ;
 - le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend en outre, pour chaque premier formateur analogique de faisceaux unidimensionnels et le niveau associé i, i variant de 1 à R, en mode émission, connecté aux entrées dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes, un diviseur suivant une configuration de division des sorties des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux de faisceaux ayant le niveau associé i dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes, ou en mode réception, connecté aux sortie dudit premier formateur analogique de faisceaux un combineur suivant une configuration de combinaison des entrées des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux de faisceaux ayant le niveau associé j dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes ; et en mode émission la configuration de division est fonction d'un motif prédéterminé des largeurs des faisceaux émission suivant la première direction angulaire Ax ; ou en mode réception la configuration de combinaison est fonction d'un motif prédéterminé des largeurs des faisceaux réception suivant la première direction angulaire Ax ;
 - en mode émission, les points de contrôle en amplitude et en phase des deuxièmes formateurs de faisceaux variables continuent en taille sont ajustés de sorte que les diagrammes de rayonnement des faisceaux émissions générés suivant des pointages prédéterminés présentent des diagrammes de rayonnement iso-flux ; ou en mode réception, les points de contrôle en amplitude et en phase des deuxièmes formateurs de faisceaux variables continuent en taille sont ajustés de sorte que les diagrammes de rayonnement des faisceaux réception générés suivant des pointages prédéterminés présentent des diagrammes de rayonnement iso-flux ;
 - les deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles du deuxième ensemble sont intégrés dans un circuit unique de forme plane, le circuit intégré étant disposé dans un plan perpendiculaire aux plans d'extension des circuits des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes et jouxtant en bout des bordures desdits circuits, parallèles entre elles et contenues dans un même plan.
- [0024]** L'invention a pour objet un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continuent pour une antenne réseau active bidimensionnelle reconfigurable, ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes, formant un réseau antenne et réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de rangées r(i) parallèles entre elles et orientées suivant

une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées r(i), chaque rangée r(i), i variant de 1 à R ayant un nombre entier S(i) fonction du niveau i de sources rayonnantes, la somme des entiers S(i) i variant de 1 à R étant égal au nombre M.

[0025] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixées le long de la première direction locale axiale X, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier S(i) de voies de sortie en mode émission ou S(i) voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à la rangée r(i) des S(i) sources rayonnantes du réseau antenne ; et chaque premier formateur analogique ayant P voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0026] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel est caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continuellement variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission ou par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission ou d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateurs de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques.

[0027] L'invention a pour également pour objet une antenne active bidimensionnelle d'émission reconfigurable pour émettre des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux émission de tailles et/ou directions de pointage variables continuellement, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes, un ensemble d'amplificateurs de puissance RF HP, et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0028] Le réseau antenne de sources rayonnantes a un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier

R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X.

[0029] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes d'émission suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixés le long de la première direction axiale X fixés, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers de S voies de sortie en mode émission, correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne, repérée par un indice de niveau i, i variant de 1 à R ; et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0030] L'antenne active bidimensionnelle multifaisceaux d'émission est caractérisée en ce que le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q, supérieur ou égal à 2, de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continuellement variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateurs de faisceaux, une colonne d'accès étant formée de R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques.

[0031] L'invention a pour également pour objet une antenne active de réception bidimensionnelle reconfigurable pour recevoir des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux réception de tailles et/ou directions de pointage variables continuellement, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes, un ensemble d'amplificateurs RF à faible bruit (LNA), et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0032] Le réseau antenne de sources rayonnantes a un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X.

[0033] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés S premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former R faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage Ax le long de la première direction axiale X fixés, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers de S voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne, repérée par un indice de niveau i, i variant de 1 à R ; et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0034] L'antenne active bidimensionnelle d'émission est caractérisée en ce que le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche d'entrée d'un combineur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble, une colonne d'accès étant formées R bornes d'accès aux voies de sortie de même rang i des premiers formateurs analogiques.

[0035] L'invention a également pour objet une antenne active d'émission bidimensionnelle reconfigurable pour émettre des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux émission de tailles et/ou directions de pointage variables continument, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes, un ensemble d'amplificateurs de puissance RF HP, et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0036] Le réseau antenne de sources rayonnantes a un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de rangées r(i) parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées r(i), chaque rangée r(i), i variant de 1 à R ayant un nombre entier S(i) fonction du niveau i de sources rayonnantes, la somme des entier S(i) i variant de 1 à R étant égal au nombre M.

[0037] Le formateur analogique multifaisceaux bidi-

mensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes d'émission suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixées le long de la première direction locale axiale X, chaque premier formateur analogique de niveau i, i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier S(i) de voies de sortie en mode émission, correspondantes à la rangée r(i) des S(i) sources rayonnantes du réseau antenne ; et chaque premier formateur analogique ayant P voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0038] L'antenne active bidimensionnelle d'émission est caractérisée en ce que le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques.

[0039] L'invention a également pour objet une antenne active bidimensionnelle de réception reconfigurable pour recevoir des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux réception de tailles et/ou directions de pointage variables continument, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes, un ensemble d'amplificateurs RF à faible bruit (LNA), et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0040] Le réseau antenne de sources rayonnantes a un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de rangées r(i) parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées r(i), chaque rangée r(i), i variant de 1 à R ayant un nombre entier S(i) fonction du niveau i de sources rayonnantes, la somme des entier S(i) i variant de 1 à R étant égal au nombre M.

[0041] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel

sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes de réception suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixées le long de la première direction locale axiale X, chaque premier formateur analogique de niveau i, i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier S(i) de voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à la rangée r(i) des S(i) sources rayonnantes du réseau antennaire ; et chaque premier formateur analogique ayant P voies de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X.

[0042] L'antenne active bidimensionnelle de réception est caractérisée en ce que le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies de sortie en mode réception de même rang j des premiers formateurs analogiques.

[0043] L'invention a pour également pour objet une charge utile satellitaire d'un satellite de télécommunications comprenant une antenne réception multifaisceaux, une antenne émission multifaisceaux, et un routeur interconnectant l'antenne réception multifaisceaux et l'antenne émission multifaisceaux, l'antenne émission multifaisceaux étant défini que décrit ci-dessus et/ou l'antenne réception multifaisceaux étant défini tel que décrit ci-dessus.

[0044] Selon des modes particuliers de réalisation, la charge utile de satellite comprend l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou en combinaison :

- le routeur est un processeur numérique transparent (DTP).

[0045] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description de plusieurs formes 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 d'une antenne active 2D bidimensionnelle en mode émission selon l'invention ;

La figure 2 est une vue générale d'une antenne active 2D bidimensionnelle en mode réception selon l'invention ;

La figure 3 est une vue en perspective d'un premier mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 4 est une vue de dessus schématique de l'antenne active de la figure 3 dans laquelle seul est visible le rang du premier niveau de dessus de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant la première direction axiale X ;

La figure 5 est une vue à un instant donné des faisceaux émission reconfigurables produits par l'antenne active d'émission des figures 3 et 4 et leur aptitude à la mobilité ;

La figure 6 est une vue en perspective d'un deuxième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 7 est une vue de dessus schématique de l'antenne active de la figure 6 dans laquelle seul est visible le rang du premier niveau de dessus de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant la première direction axiale X ;

La figure 8 est une vue à un instant donné des faisceaux émission reconfigurables produits par l'antenne active d'émission des figures 6 et 7 et leur aptitude à la mobilité ;

La figure 9 est une vue en perspective d'un troisième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 10 est une vue de dessus schématique de l'antenne active de la figure 9 dans laquelle seul est visible le rang du premier niveau de dessus de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant la première direction axiale X ;

La figure 11 est une vue à un instant donné des faisceaux émission reconfigurables produits par l'antenne active d'émission des figures 9 et 10 et leur aptitude à la mobilité ;

La figure 12 est une vue en perspective d'un quatrième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 13 est une vue de dessus schématique de

l'antenne active de la figure 12 dans laquelle seul est visible le rang du premier niveau de dessus de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant la première direction axiale X ;

La figure 14 est une vue à un instant donné des faisceaux émission reconfigurables produits par l'antenne active d'émission des figures 12 et 13 et leur aptitude à la mobilité ;

La figure 15 est une vue en perspective d'un cinquième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 16 est une vue de dessus schématique de l'antenne active de la figure 15 dans laquelle seul est visible le rang du premier niveau de dessus de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant la première direction axiale X ;

La figure 17 est une vue à un instant donné des faisceaux émission reconfigurables produits par l'antenne active d'émission des figures 15 et 16 et leur aptitude à la mobilité ;

La figure 18 est une vue en perspective d'un sixième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 19 une vue en perspective d'un septième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé, la vue étant limitée à un rang de sources rayonnantes élémentaires, alignées suivant une première direction axiale X et situées à un niveau donné quelconque, et étant limitée aux composants (un premier formateur analogique de faisceaux fixes unidimensionnel et un diviseur) connectés audit rang de source, situées juste en aval d'un premier ensemble non représenté de deuxième formateurs analogiques de faisceaux mobiles ;

La figure 20 est une vue à instant donné des faisceaux émission produits par le rang de sources seuls de l'antenne de la figure 19 ;

La figure 21 est une vue de l'éclairement de la surface de Terre par une antenne satellitaire multifaisceaux permettant de visualiser la dépendance du flux reçu dans un faisceau donné en fonction de l'angle de pointage du faisceau par rapport au nadir du satellite et de la largeur du faisceau ;

La figure 22 est une vue des diagrammes de rayonnement iso-flux produits par une antenne active d'un

huitième mode de réalisation de l'invention en ajustant uniquement les points de contrôle amplitude phases des deuxième formateurs analogiques de faisceaux mobiles ;

La figure 23 est une vue en perspective d'un neuvième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 24 est une vue en perspective d'un dixième mode de réalisation d'une antenne active émission selon l'invention incluant son formateur analogique multifaisceaux reconfigurable associé ;

La figure 25 est une vue d'un exemple de charge utile satellite intégrant une antenne émission selon l'invention et une antenne réception selon l'invention.

[0046] Suivant la figure 1, une antenne réseau active 2 selon l'invention est formée par un réseau antennaire 4 d'un nombre M d'éléments rayonnants actifs ou de sources rayonnantes élémentaires actives $4_1, 4_2, 4_3, \dots, 4_M$, associés à un formateur analogique 6 de faisceaux reconfigurables selon l'invention générant un nombre N de faisceaux.

[0047] Ici, l'antenne réseau active 2 est configurée en mode émission et comporte M amplificateurs de puissance radiofréquence RF de puissance HPA $8_1, 8_2, 8_3, \dots, 8_M$, connectés entre le formateur analogique 6 de faisceaux et les M sources rayonnantes élémentaires $4_1, 4_2, 4_3, \dots, 4_M$.

[0048] Suivant le nombre d'axes nécessaires pour repérer le positionnement des faisceaux générés, le formateur de faisceaux analogique est appelé formateur de faisceaux analogique à une ou deux dimensions (1D ou 2D).

[0049] Selon l'invention, le formateur de faisceaux analogiques est un formateur de faisceaux analogique à deux dimensions 2D ou encore bidimensionnel.

[0050] Le terme actif indique qu'à chaque source rayonnante est associé un amplificateur, ici un amplificateur de puissance HPA pour l'antenne en mode émission. Cette proximité entre les amplificateurs et les sources rayonnantes permet de minimiser les pertes entre ces deux types de dispositif et ainsi maximiser les performances RF globales du système antennaire.

[0051] Le formateur de faisceaux analogique permet de créer pour chaque faisceau à générer la loi de phase et d'amplitude (A, ϕ) à appliquer aux sources rayonnantes du réseau antennaire.

[0052] La modification de la loi de phase et d'amplitude d'un faisceau permet de reconfigurer les caractéristiques de ce faisceau en termes de direction de pointage, largeur du faisceau ou d'autres paramètres de la forme du faisceau.

[0053] Suivant la figure 2 et l'invention, une antenne

réseau active 52, ici en mode réception, comporte un réseau antenne 54 formé par un nombre M prédéterminé de sources rayonnantes élémentaires actives $54_1, 54_2, 54_3, \dots, 54_M$, associés à un formateur analogique 56 de faisceaux selon l'invention générant un nombre N de faisceaux réception.

[0054] L'antenne réseau active 52 comporte M amplificateurs radiofréquence RF $58_1, 58_2, 58_3, \dots, 58_M$, connectés entre les M sources rayonnantes élémentaires $54_1, 54_2, 54_3, \dots, 54_M$, et le formateur analogique multifaisceaux, qui à la différence des amplificateurs de puissance HPA de l'antenne émission de la figure 1, sont des amplificateurs radiofréquence RF à faible bruit LNA (en anglais Low Noise Amplifier).

[0055] A l'instar de l'antenne réseau active d'émission 2 de la figure 1 le formateur de faisceaux analogique 56 permet de créer pour chaque faisceau réception à générer la loi de phase et d'amplitude (A, ϕ) à appliquer aux sources rayonnantes du réseau antenne.

[0056] La modification de la loi de phase et d'amplitude d'un faisceau réception permet de reconfigurer les caractéristiques de ce faisceau en termes de direction de pointage, largeur du faisceau ou d'autres paramètres de la forme du faisceau.

[0057] De manière générale, les formateurs de faisceaux analogiques à deux dimensions et à complexité limitée pour antennes réseaux actives reconfigurables selon l'invention sont fondés sur une architecture associant des formateurs analogiques unidimensionnels de faisceaux fixes suivant une première direction angulaire avec des formateurs analogiques unidimensionnels de faisceaux mobiles suivant une deuxième direction angulaire différente de la première direction angulaire.

[0058] La complexité limitée des formateurs de faisceaux analogiques à deux dimensions est obtenue par un dimensionnement de la flexibilité du formateur de faisceaux au juste besoin. Une flexibilité totale est inutile lorsque l'antenne est connectée à un processeur numérique, gérant plusieurs faisceaux en parallèle. La zone de couverture de chacun des accès faisceaux peut être limitée, et la complexité du formateur associé peut être ainsi réduite. La couverture totale est alors la concaténation des couvertures associées à chaque faisceau. Pour permettre d'adresser des trafics d'utilisateurs spatialement concentrés, un recouvrement des couvertures individuelles de chaque faisceau est permis.

[0059] Par ailleurs il est à remarquer que le rapport minimum requis entre les signaux utiles et les signaux parasites (C/I) limite la proximité entre deux faisceaux simultanément actifs et induit une restriction de pointage relative de chaque faisceau, même si chaque faisceau avait une flexibilité totale.

[0060] Ainsi de trop fortes proximités entre les faisceaux conduisent à induire des niveaux d'interférences entre les faisceaux qui ne permettent pas d'utiliser toutes les configurations. Il s'ensuit que la prise en compte des contraintes de C/I dans le dimensionnement des formateurs de faisceaux pour répondre au mieux aux besoins

des utilisateurs de satellites conduit à mettre en évidence que des architectures à flexibilité réduite peuvent permettre d'atteindre des niveaux de satisfaction des besoins des clients équivalents à ceux obtenus avec des formateurs de faisceaux totalement reconfigurables. Ainsi des simulations s'appuyant sur les architectures de formateurs de faisceaux selon l'invention montrent que malgré une réduction d'environ un facteur 10 du nombre de points de contrôle, ces architectures permettent d'atteindre un niveau équivalent de satisfaction du besoin des utilisateurs qu'avec des architectures totalement reconfigurables pour des applications de satellites en orbites basses.

[0061] De manière particulière, les formateurs analogiques unidimensionnels de faisceaux fixes peuvent être des formateurs de faisceaux quasi-optiques.

[0062] De manière particulière, les antennes réseau actives reconfigurables selon l'invention conviennent et sont utilisées pour des applications satellitaires.

[0063] Suivant la figure 3 et un premier mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 102, ici configurée en mode émission, comporte un réseau antenne 104 de sources rayonnantes élémentaires $104_{i,j}$, un formateur analogique multifaisceaux 106 selon l'invention de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, et un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA $108_{i,j}$ interconnectant le formateur analogique multifaisceaux 106 de faisceaux d'émission aux sources rayonnantes élémentaires $104_{i,j}$.

[0064] Le réseau antenne 104 comporte un nombre total entier N , supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes élémentaires réparties sur une surface plane suivant un maillage ou réseau formé par les points d'intersection d'une première série d'un premier nombre entier R , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X , numérotées par un indice i variant de 1 à R de haut en bas sur la figure, et d'une deuxième série d'un deuxième nombre entier S , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y , différente de la première direction axiale X , numérotées par un indice j variant de 1 à S de gauche à droite sur la figure 3.

[0065] Ici, de manière particulière et à titre d'exemple, le nombre total N de sources rayonnantes $104_{i,j}$, le nombre R de premières lignes orientées suivant la première direction axiale X et le nombre S de deuxièmes lignes orientées suivant la deuxième direction axiale Y sont respectivement égaux à 25, 5 et 5.

[0066] Le formateur analogique multifaisceaux 106 des faisceaux émission comprend un premier ensemble 112 de R premiers formateurs analogiques 112_i , i variant de 1 à R , superposés et ayant une structure identique, et configurés pour former S faisceaux radiofréquences RF fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x le long de la première direction axiale X fixes.

[0067] Chaque premier formateur analogique 112_i , i variant de 1 à R , est configuré pour être connecté au

travers de S voies de sortie en mode émission, correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes du réseau antenne et correspondantes à une ligne i de la première série du maillage de l'antenne, repérée par l'indice de niveau i, i étant un entier variant de 1 à R.

[0068] Chaque premier formateur analogique 112i comporte un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X, j variant de 1 à P.

[0069] Le formateur analogique multifaisceaux 106 de faisceaux émission comprend également un deuxième ensemble 114 d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques 114_k de faisceaux radiofréquences continuent variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y.

[0070] Chaque deuxième formateur analogique 114_k, k variant de 1 à Q, est formé par un diviseur 116k à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur 116k incluant un point 118_{k,i} de contrôle en amplitude et en phase.

[0071] Chaque deuxième formateur analogique 114_k du deuxième ensemble 114 est connecté à une colonne d'accès 118k du premier ensemble, une colonne d'accès 118k étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques 112i.

[0072] Ici, de manière particulière et à titre d'exemple, le nombre P de voies d'entrée de chaque premier formateur analogique est égal à S, c'est à dire 5, et le nombre Q de deuxième formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences, continuent variables en taille et/ou en direction de pointage, est égal à S, c'est-à-dire 5.

[0073] Ici, les cinq (R=5) premiers formateurs analogiques 112i de faisceaux fixes sont des formateurs de faisceaux quasi-optiques, regroupés dans le premier ensemble 112, et placés du côté des éléments rayonnants 104_{i,j}.

[0074] L'architecture du formateur analogique multifaisceaux 106 est illustré ici pour un nombre limité d'éléments rayonnants par un souci de clarté, et elle est d'autant plus intéressante et avantageuse que le nombre d'éléments rayonnants est élevé.

[0075] L'association d'un premier ensemble 112 de premiers formateurs de faisceaux quasi-optiques fixes et d'un deuxième ensemble 114 de deuxième formateurs analogiques de faisceaux d'émission variables continûment selon l'agencement bidimensionnel décrit ci-dessus permet :

- une implémentation aisée du formateur de faisceaux mobiles à 2 dimensions grâce à la simplification apportée par l'utilisation des formateurs de faisceaux quasi-optiques, connectés en entrée des sources rayonnantes au travers des amplificateurs de puissance HPA ;

- le remplacement de la classique association d'une matrice de connexion et d'un ensemble de formateurs de faisceaux quasi-optiques par un seul ensemble de formateurs analogiques, ce qui a pour effet de simplifier et compacter la structure global du formateur de faisceaux ;

- d'obtenir un nombre réduit d'accès de faisceaux à traiter in fine par la charge utile ;

- de minimiser la consommation en puissance et diminuer la complexité de fabrication.

[0076] Dans le cas de la structure de l'antenne et du formateur multifaisceaux décrit dans les figures 3 et 4, cela conduit à disposer de faisceaux mobiles uniquement sur une dimension suivant la deuxième direction angulaire By. Chacun des faisceaux est mobile sur une colonne, toutes les colonnes étant différentes et parallèles entre elles. Cela permet avantageusement de disperser les cinq faisceaux 140, 141, 142, 143, 144 sur l'ensemble de la couverture 146, comme le montre la figure 5.

[0077] En variante du premier mode de réalisation, d'autres modes de réalisations, décrits ci-dessous, permettent d'augmenter le nombre de faisceaux le long de la deuxième direction angulaire By par colonne correspondant chacune à une position angulaire différente le long de la première direction angulaire Ax, ou de commuter des faisceaux entre plusieurs colonnes correspondant à des positions angulaires différentes le long de la première direction angulaire Ax.

[0078] En utilisant ces variantes, la flexibilité du formateur multifaisceaux analogique peut être améliorée sans augmenter significativement sa complexité. Les architectures de ces variantes, dérivées du premier mode de réalisation, permettent de dimensionner le formateur multifaisceaux analogique de faisceaux émission au juste besoin de l'application visée et ainsi de réduire significativement le nombre de point de contrôle du formateur de faisceaux par rapport à un formateur de faisceaux totalement flexible.

[0079] Suivant les figures 6, 7 et 8 un deuxième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 152, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 156 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0080] Le formateur analogique multifaisceaux 156 diffère du formateur analogique multifaisceaux 106 de la figure 3 en ce qu'il comprend, pour chaque niveau i, i variant de 1 à 5 (R=5), un combineur 172i combinant suivant une configuration prédéterminée des sorties en mode émission des deuxième formateurs analogiques 164k, k variant de 1 à 10 (Q=10) ayant le même niveau

i associé du premier formateur analogique 162i de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire Ax, et en ce que le nombre Q de deuxièmes formateurs analogiques 164k de faisceaux variables continuent suivant la deuxième direction angulaire By du deuxième ensemble 164 est le double de celui du deuxième ensemble 114 de la figure 3.

[0081] Ici, chaque entrée d'un deuxième formateur analogique 164k, k variant de 1 à 10, correspond à un faisceau émission différent, et les sorties en colonne des deuxièmes formateurs analogiques sont combinés par deux à deux par les combineurs 172i des premiers formateurs analogiques 162i, i variant de 1 à 5.

[0082] L'architecture ici proposée permet, comme illustré sur la figure 8, de doubler le nombre de faisceaux mobiles par colonne 182, suivant la deuxième direction angulaire By par rapport au premier mode de réalisation, le nombre de colonnes étant égale ici à 5.

[0083] De manière plus générale, en plaçant plusieurs deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles unidimensionnels sur une même colonne d'accès des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes, ici des formateurs quasi-optiques, plusieurs faisceaux mobiles se déplaçant sur une même colonne sont obtenus.

[0084] Suivant les figures 9, 10 et 11 et un troisième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 202, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission 104 de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 206 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0085] Le formateur analogique multifaisceaux 206 diffère du formateur analogique multifaisceaux 106 de la figure 3 en ce qu'il comprend, intérieure audit formateur analogique multifaisceaux 206, pour chaque niveau i, i variant de 1 à 5 (R=5), une première matrice de commutation 220i, suivant une première configuration prédéterminée d'un ensemble de routages, des sorties en mode émission des deuxièmes formateurs analogiques 214k, k variant de 1 à 5, (Q=5) ayant le même niveau i associé du premier formateur analogique 212i de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire Ax.

[0086] Les premières matrices de commutation 220i, i variant de 1 à 5, sont ajoutées en entrée des premiers formateurs analogiques de faisceaux 212i et en sortie des deuxièmes formateurs analogiques 214k de faisceaux continûment variables en position angulaire suivant la deuxième position angulaire By.

[0087] Ici, chaque entrée d'un deuxième formateur analogique 214k, k variant de 1 à 5, correspond à un faisceau émission différent.

[0088] L'architecture ici proposée permet, comme illustré sur la figure 11, de commuter les faisceaux mobiles par colonne suivant la deuxième direction angulaire By par rapport au premier mode de réalisation, le nombre

de colonnes étant égale ici à 5.

[0089] De manière plus générale, en ajoutant une première matrice de commutation entre les accès de sortie des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles unidimensionnels et les accès d'entrées sur une même colonne d'accès des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes, ici des formateurs quasi-optiques, il est possible de déplacer les faisceaux entre plusieurs colonnes.

[0090] Suivant les figures 12, 13, 14 et un quatrième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 252, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission 102 de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 256 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0091] Le formateur analogique multifaisceaux 256 diffère du formateur analogique multifaisceaux 106 de la figure 3 en ce qu'il comprend, périphérique audit formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel 256 et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes 104_{i,j} du réseau antenne 104, une deuxième matrice de commutation 272, suivant une deuxième configuration prédéterminée d'un ensemble de routages, des Q entrées en mode émission des deuxièmes formateurs analogiques 264k, k variant de 1 à 5 (Q=5).

[0092] La deuxième matrice de commutation 272 est ajoutée en entrée des deuxièmes formateurs analogiques 264k, k variant de 1 à 5, de faisceaux continûment variables en position angulaire suivant la deuxième position angulaire By.

[0093] L'architecture ici proposée permet, comme illustrée sur la figure 14, de réduire le nombre de faisceaux dans la couverture 292 à deux faisceaux 294, 296. Par rapport au premier mode de réalisation de la figure 3, le nombre de faisceaux passe de cinq à deux.

[0094] De manière plus générale, en ajoutant une deuxième matrice de commutation en entrée des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles unidimensionnels, le nombre d'accès de faisceaux, le nombre de faisceaux à un instant donné est réduit.

[0095] Suivant les figures 15, 16 et 17 et un cinquième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 302, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission 102 de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 306 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0096] Le formateur analogique multifaisceaux 306 diffère du formateur analogique multifaisceaux 106 de la figure 3 en ce qu'il comprend :

- pour chaque premier formateur analogique 312i et le niveau i associé, i variant de 1 à 5 (R=5), intérieure au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel 306, une première matrice de commutation 320i, suivant une première configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des sorties en mode émission des deuxièmes formateurs analogiques 314k, k variant de 1 à 5 (Q=5) ayant le même niveau i associé du premier formateur analogique 312i de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire Ax ; et
- périphérique au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel 306 et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes 104_{i,j} de l'antenne, une deuxième matrice de commutation 322, suivant une deuxième configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des Q entrées en mode émission des deuxièmes formateurs analogiques 314k sur un nombre entier T, supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à Q, d'entrées de faisceaux en mode émission.

[0097] Chaque première matrice 320i associée à un niveau i donné, i variant de 1 à 5, interposée entre le premier formateur analogique 316i de faisceaux de même niveau i, comporte ici cinq commutateurs 332, 334, 336, 338, 340 à une entrée et deux sortie.

[0098] La deuxième matrice commutation 322, connectée en entrée du deuxième ensemble 314 de deuxièmes formateurs de faisceaux analogiques 314k, comporte ici une ligne de connexion fixe 342 et deux aiguilleurs ou commutateurs 344, 346 à une entrée-deux sorties.

[0099] L'architecture ici proposée est une architecture hybride des troisième et quatrième modes de réalisation, et comme illustré sur la figure 17, cette architecture permet de réduire le nombre de faisceaux en passant de cinq à trois faisceaux 347, 348, 349, et de commuter par colonne les faisceaux, mobiles continuent suivant la deuxième direction angulaire By, des trois colonnes.

[0100] De manière générale, les architectures généralisées des deuxième, troisième et quatrième modes de réalisation peuvent être combinées.

[0101] Suivant la figure 18 et un sixième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 352, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 356 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, et un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0102] Le formateur analogique multifaisceaux 356 diffère du formateur analogique multifaisceaux de la Figure 3 en ce qu'il comprend quatre entrées de faisceaux et au moins une deuxième matrice de commutation de réduction à quatre faisceaux.

[0103] Ici, les cinq deuxièmes formateurs analogiques 364k, k variant de 1 à 5, du deuxième ensemble 364 sont intégrés sur un seul circuit 368 placé sur un plan perpendiculaire à ceux des formateurs quasi-optiques 362i, i variant de 1 à 5.

[0104] De manière générale et indépendamment de l'architecture du formateur analogique multifaisceaux selon l'invention utilisé, les deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles du deuxième ensemble sont intégrés dans un circuit unique de forme plane, le circuit intégré étant disposé dans un plan perpendiculaire aux plans d'extension des circuits des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes et jouxtant en bout des bordures desdits circuits, parallèles entre elles et contenues dans un même plan.

[0105] L'ensemble des modes de réalisation du formateur analogique multifaisceaux décrit ci-dessus utilisent des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes, réalisés par des formateurs quasi-optiques. En variante, les premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes peuvent être réalisés par d'autres types de formateurs de faisceaux analogiques fixes tels que les matrices de Butler.

[0106] Les formateurs analogiques multifaisceaux décrits ci-dessus peuvent être utilisés avec

- un système partageant dans le temps un ou plusieurs accès faisceaux entre plusieurs faisceaux distincts sur la couverture de l'antenne selon le principe d'accès multiple à répartition dans le temps ;
- un étage supplémentaire de formation numérique de faisceaux avec potentiellement une fonction de pré-codage.

[0107] Les premier, deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième modes de réalisation décrits ci-dessus dans les figures 3 à 18 des antennes actives émission et leurs formateur analogiques associés selon l'invention, sont configurés pour générer des faisceaux émission de tailles identiques.

[0108] En variante des configurations décrites ci-dessus, des réglages différents des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire et des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles selon la deuxième direction angulaire By peuvent être utilisés pour générer des faisceaux émission de tailles différentes.

[0109] Suivant la figure 19 et un septième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 402, ici configurée en mode émission, comporte le même réseau antenne 104 que celui de l'antenne émission 102 de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 406 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou de directions de pointage variables continûment, un ensemble 108 d'amplificateurs de puissance de HPA, identiques à ceux de la figure 3.

[0110] Le formateur analogique multifaisceaux 406 diffère du formateur analogique multifaisceaux 106 de la figure 3 en ce qu'il comprend, pour chaque premier formateur analogique de faisceaux unidimensionnels et le niveau associé i , i variant de 1 à 5 ($R=5$), connecté aux entrées dudit premier formateur analogique 412i de faisceaux émission fixes, un diviseur 432i suivant une configuration de division des sorties des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux ayant le même niveau associé i dudit premier formateur analogique 412i de faisceaux fixes.

[0111] La configuration de division du diviseur 432i est fonction d'un motif prédéterminé des largeurs des faisceaux émission suivant la première direction angulaire A_x , dans lequel les accès uniques des faisceaux F1, F2, F3, F4, F5 en sortie des cinq deuxièmes formateurs de faisceaux mobiles, non représentés sur la figure 19, se divisent respectivement en une, deux, trois, deux, une branches qui accèdent chacune à une entrée associée unique du premier formateur de faisceaux quasi-optiques.

[0112] Ainsi, les diviseurs élémentaires de chaque diviseur 432i, connecté en entrée au premier formateur analogique de faisceaux unidimensionnel 412i, de même niveau i et formé ici par un premier formateur de faisceaux quasi-optiques, sont configurés de sorte à obtenir une augmentation de gain au fur et à mesure que les faisceaux sont excentrés du centre de phase de l'antenne en s'en écartant suivant première direction angulaire A_x . Comme illustré sur les figures 20 et 21, cette variation de gain peut avoir pour but de compenser l'augmentation des pertes de propagation entre un satellite et la terre lorsque le trajet de propagation devient plus long et l'augmentation des empreintes au sol lorsque l'angle de projection au sol devient plus grand au fur et à mesure que les faisceaux émis depuis le satellite sont excentrés. Cette compensation permet de fournir aux différents utilisateurs répartis sur la terre un niveau de signal quasi-équivalent (isoflux).

[0113] Suivant la figure 22, cette variation du gain des faisceaux peut être également obtenue en agissant seulement sur les points de contrôle en amplitude phase de 12 formateurs électroniques mobiles d'un huitième mode de réalisation d'une antenne active selon l'invention non représenté. La variation de la taille d'un faisceau peut également être dictée par un besoin de couvrir une surface plus ou moins grande avec ce faisceau.

[0114] De manière générale, une antenne active bidimensionnelle d'émission selon l'invention, telle que représentée sur la figure 1, est à complexité réduite et reconfigurable pour émettre des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment. L'antenne active bidimensionnelle d'émission reconfigurable selon l'invention comprend un réseau antenne de sources rayonnantes élémentaires d'émission, un ensemble d'amplificateurs de puissance RF HPA, et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0115] Le réseau antenne de sources rayonnantes d'émission est formée par un nombre total entier N , supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes RF élémentaires d'émission, réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'une première série d'un premier nombre entier R , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X , et d'une deuxième série d'un deuxième nombre entier S , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y , différente de la première direction axiale X .

[0116] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés S premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes unidimensionnels de structure identique suivant la deuxième direction axiale Y .

[0117] Les R premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes unidimensionnels sont configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes d'émission suivant des premières directions angulaires de pointage A_x le long de la première direction axiale X fixes.

[0118] Chaque premier formateur analogique de faisceaux unidimensionnel est connecté au travers de R voies de sortie en mode émission, correspondantes à une rangée de R sources rayonnantes élémentaires du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne active, repérée par un indice de niveau j .

[0119] Chaque premier formateur analogique a un nombre entier P , supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours i le long de la première direction axiale X .

[0120] Le formateur analogique multifaisceaux comporte en outre un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y .

[0121] Chaque deuxième formateur analogique est formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase. Chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble, une colonne d'accès étant formée de S bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang i des premiers formateurs analogiques.

[0122] Il est à remarquer que les mêmes architectures des antennes actives multifaisceaux d'émission reconfigurables et leurs formateurs analogiques multifaisceaux bidimensionnels associés selon l'invention, décrites dans les figures 3 à 22 peuvent être utilisés de manière correspondante dans des antennes actives multifaisceaux de réception reconfigurables. Les antennes actives multifaisceaux de réception reconfigurables sont les antennes actives multifaisceaux d'émission reconfigurables des figures 3 à 22 dans lesquelles les amplificateurs

radiofréquences de puissance HPA ont été remplacés par des amplificateurs radiofréquence à faible bruit LNA.

[0123] De manière générale, une antenne active bidimensionnelle de réception selon l'invention, telle que représentée sur la figure 2, est à complexité réduite et reconfigurable pour recevoir des signaux radiofréquences RF sur une pluralité de faisceaux réception de tailles et/ou directions de pointage variables continûment. L'antenne active bidimensionnelle de réception selon l'invention comprend un réseau antenne de sources rayonnantes élémentaires, un ensemble d'amplificateurs RF à faible bruit (LNA), et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel.

[0124] Le réseau antenne de sources rayonnantes est formé par un nombre total entier N , supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes RF élémentaires, réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'une première série d'un premier nombre entier R , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X , et d'une deuxième série d'un deuxième nombre entier S , supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y , différente de la première direction axiale X .

[0125] Le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x le long de la première direction axiale X fixés, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers de R voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à une rangée de R sources rayonnantes du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne, repérée par un indice de niveau j ; et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P , supérieur ou égal à 2, de voies de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours i le long de la première direction axiale X .

[0126] Le formateur analogique multifaisceaux en mode de réception comporte également un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y .

[0127] Chaque deuxième formateur analogique est formé par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche d'entrée d'un combineur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase. Chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble, une colonne d'accès étant formées S bornes d'accès aux voies de sortie de même rang i des premiers formateurs analogiques.

[0128] De manière encore plus générale, un formateur analogique multifaisceaux selon l'invention est configuré

pour former plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continûment d'une antenne réseau active bidimensionnelle reconfigurable ayant un réseau antennaire.

[0129] Le réseau antenne est formé d'un nombre total entier M , supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes, réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R , supérieur ou égal à 2, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X , l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y , différente de la première direction locale axiale X . i désigne un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$. Chaque rangée $r(i)$, i variant de 1 à R a un nombre entier $S(i)$ fonction du niveau i de sources rayonnantes, la somme des entier $S(i)$ i variant de 1 à R étant égal au nombre M .

[0130] Le formateur analogique multifaisceaux comprend un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P , supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X . Chaque premier formateur analogique associé au niveau i , i variant de 1 à R , est configuré pour être connecté au travers du nombre entier $S(i)$ de voies de sortie en mode émission ou $S(i)$ voies d'entrée en mode de réception, correspondantes à la rangée $r(i)$ des $S(i)$ sources rayonnantes du réseau antenne. Chaque premier formateur analogique a P voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X .

[0131] Le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y . Chaque deuxième formateur analogique est formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission ou par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission ou d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle en amplitude et en phase. Chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques.

[0132] De manière correspondante, une antenne active multifaisceaux bidimensionnelle d'émission ou une antenne active multifaisceaux bidimensionnelle de ré-

ception utilise un formateur analogique multifaisceaux généralisé tel que décrit ci-dessus.

[0133] Suivant la figure 23 et un neuvième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 502, ici configurée en mode émission, comporte un réseau antenne 504 différent de celui de l'antenne émission 102 de la figure 3, un formateur analogique multifaisceaux 506 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 508 d'amplificateurs de puissance de HPA, différents de celui de la figure 3.

[0134] Le réseau antenne 504 est formé d'un nombre total M, égal ici à 21, de sources rayonnantes, réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, ici égal à 5, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, l'indice de niveau i variant de 1 à 5 dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$. Les nombres $S(1)$, $S(2)$, $S(3)$, $S(4)$, $S(5)$ de sources rayonnantes des rangées $r(1)$, $r(2)$, $r(3)$, $r(4)$, $r(5)$ sont respectivement égaux 3, 5, 5, 5, 3.

[0135] La somme des entier $S(i)$ i variant de 1 à 5 est égal au nombre M ayant ici pour valeur 21.

[0136] Le formateur analogique multifaisceaux 506 comprend un premier ensemble 512 dans lequel sont superposés 5 premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, ici égal à 5, de faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X. Chaque premier formateur analogique 512i associé au niveau i , i variant de 1 à 5, est configuré pour être connecté au travers du nombre entier $S(i)$ de voies de sortie en mode émission, correspondantes à la rangée $r(i)$ des $S(i)$ sources rayonnantes du réseau antenne. Chaque premier formateur analogique a 5 voies d'entrée en mode d'émission.

[0137] Le formateur analogique multifaisceaux 506 comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q, ici égal à 5, de deuxièmes formateurs analogiques 514k, k variant de 1 à 5, de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y. Chaque deuxième formateur analogique 514k, k variant de 1 à 5, est formé par un diviseur à entrée unique et 5 branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission incluant un point de contrôle en amplitude et en phase. Chaque deuxième formateur analogique 514k du deuxième ensemble 514 est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par 5 bornes d'accès aux

voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques 512i.

[0138] Suivant la figure 24 et un dixième mode de réalisation, une antenne réseau active bidimensionnelle 552, ici configurée en mode émission, comporte un réseau antenne 554 différent de celui de l'antenne émission 102 de la figure 3 et de l'antenne émission de la figure 23, un formateur analogique multifaisceaux 556 de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, un ensemble 508 d'amplificateurs de puissance de HPA différent de celui de la figure 3.

[0139] Le réseau antenne 554 est formé d'un nombre total M, égal ici à 19, de sources rayonnantes, réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, ici égal à 5, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, l'indice de niveau i variant de 1 à 5 dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$. Les nombres $S(1)$, $S(2)$, $S(3)$, $S(4)$, $S(5)$ de sources rayonnantes des rangées $r(1)$, $r(2)$, $r(3)$, $r(4)$, $r(5)$ sont respectivement égaux 3, 4, 5, 4, 3.

[0140] La somme des entier $S(i)$, i variant de 1 à 5, est égal au nombre M ayant ici pour valeur 19.

[0141] Le formateur analogique multifaisceaux 556 comprend un premier ensemble 562 dans lequel sont superposés 5 premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, ici égal à 5, de faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X. Chaque premier formateur analogique 562i associé au niveau i , i variant de 1 à 5, est configuré pour être connecté au travers du nombre entier $S(i)$ de voies de sortie en mode émission, correspondantes à la rangée $r(i)$ des $S(i)$ sources rayonnantes du réseau antenne. Chaque premier formateur analogique a 5 voies d'entrée en mode d'émission.

[0142] Le formateur analogique multifaisceaux 506 comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q, ici égal à 5, de deuxièmes formateurs analogiques 564k, k variant de 1 à 5, de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y. Chaque deuxième formateur analogique 564k, k variant de 1 à 5, est formé par un diviseur à entrée unique et 5 branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission incluant un point de contrôle en amplitude et en phase. Chaque deuxième formateur analogique 564k du deuxième ensemble 564 est connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par 5 bornes d'accès aux

voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques 562i.

[0143] Il est à remarquer que les figures 3 à 20 et 23 à 24 sont des illustrations de modes de réalisation de l'invention dans lesquelles un nombre limité d'éléments rayonnants sont représentés par un souci de clarté. Ces modes de réalisations sont destinés à être appliqués pour des nombres d'éléments supérieurs à ceux des illustrations des figures 3 à 20 et 23 à 24. Typiquement, ces modes de réalisation ont pour vocation à être appliqués pour des antennes actives constituées d'une à plusieurs centaines d'éléments rayonnants. Ils sont d'autant plus intéressants et avantageux que le nombre d'éléments rayonnants est élevé.

[0144] L'invention s'applique plus particulièrement aux charges utiles de satellites incorporant une fonction de routage entre le ou les antennes de réception et le ou les antennes d'émission comme la charge utile 602 illustrée sur la figure 25. Cette fonction a pour objectif de diriger une partie ou toute la bande d'un faisceau d'entrée vers un ou plusieurs faisceaux de sortie. Afin de bénéficier d'une flexibilité importante de connexion entre les faisceaux d'entrée et les faisceaux de sortie et d'un filtrage fin des bandes de fréquence à router, ces routeurs sont généralement implémentés en numérique dans la partie numérique de la charge utile. Suivant la figure 25, le routeur est implanté dans le module numérique désigné par la référence numérique 606.

[0145] Ici, deux formateurs analogiques multifaisceaux de faisceaux reconfigurables selon l'invention tels que décrits ci-dessus sont utilisés par la charge utile. Un premier formateur analogique multifaisceaux est configuré pour générer des faisceaux réception et un deuxième formateur analogique multifaisceaux est configuré pour générer des faisceaux émission.

[0146] En variante, un seul des deux formateurs de faisceaux est un formateur analogique multifaisceaux selon l'invention, le formateur de faisceaux restant étant d'un autre type et utilisant une architecture différente.

Revendications

1. Formateur analogique multifaisceaux de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continûment pour une antenne réseau active bidimensionnelle (104) reconfigurable, ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X, et ayant un ensemble (58) de M

amplificateurs RF, chaque source rayonnante active étant connectée directement à un amplificateur ; le formateur analogique multifaisceaux comprenant un premier ensemble (112 ; 162 ; 212 ; 262 ; 312 ; 362) dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques (112i ; 162i ; 212i ; 262i ; 312i ; 362i) de structure identique et configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixées le long de la première direction axiale X, chaque premier formateur analogique (112i ; 162i ; 212i ; 262i ; 312i ; 362i), i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers de S voies de sortie en mode émission ou S voies d'entrée en mode de réception, incluant chacune un amplificateur RF et correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes actives du réseau antenne (104) et correspondantes à une ligne différente du maillage du réseau antenne, repérée par un indice de niveau i, i variant de 1 à R ; et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ;

le formateur analogique multifaisceaux étant **caractérisé en ce qu'il** comporte un deuxième ensemble (114 ; 164 ; 214 ; 264 ; 314 ; 364) d'un nombre entier Q de deuxième formateurs analogiques (114k ; 164k ; 214k ; 264k ; 314k ; 364k) de faisceaux radiofréquences continûment variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxième directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur (116k ; 166k ; 216k ; 266k) à entrée unique et R branches de sortie en mode émission ou par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission ou d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle (118_{k,i} ; 168_{k,i} ; 218_{k,i} ; 268_{k,i} ; 318_{k,i} ; 368_{k,i}) en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique (114k ; 164k ; 214k ; 264k ; 314k ; 364k) du deuxième ensemble (114 ; 164 ; 214 ; 264 ; 314 ; 364) étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formées par R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques.

2. Formateur analogique multifaisceaux selon la revendication 1 dans lequel, les premiers formateurs analogiques (112i ; 162i ; 212i ; 262i ; 312i ; 362i) sont superposés le long de la deuxième direction axiale Y et correspondent chacun à une rangée différente de sources rayonnantes actives le long de la première direction axiale X ; et

- les deuxièmes formateurs analogiques (114k ; 164k ; 214k ; 264k ; 364k ; 364k) sont alignés côte à côte le long de la première direction axiale X et correspondent chacun à une ou plusieurs colonnes voisines d'accès aux deuxièmes formateurs analogiques du deuxième ensemble (112 ; 162 ; 212 ; 262 ; 312 ; 362).
3. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel les R premiers formateurs analogiques superposés du premier ensemble (112 ; 162 ; 212 ; 262 ; 312 ; 362) sont des formateurs quasi-optiques ou des matrices de Butler. 10
 4. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les points de contrôle en amplitude et en phase (118k,i) des R branches de sortie en mode émission ou R branches d'entrée en mode réception de chacun des Q deuxièmes formateurs analogiques, alignés côte à côte, du deuxième ensemble (114 ; 164 ; 214 ; 264 ; 314 ; 364), sont des composants électriques analogiques de déphasage et d'amplification ou atténuation à déphasage et gain variables continuellement ou quasi-continuellement en fonction de commandes analogiques ou de commandes discrètes à résolution fine sur une plage large. 15
 5. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre, pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé i, i variant de 1 à R, 20
 - un combineur (172i) en mode émission suivant une configuration de combinaison prédéterminée ou un diviseur en mode réception suivant une configuration de division prédéterminée, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé i du premier formateur analogique (112i ; 162i ; 212i ; 262i ; 312i ; 362i) de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire. 25
 6. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre, pour chaque premier formateur analogique et le niveau i associé, i variant de 1 à R, 30
 - intérieure au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel, une première matrice de commutation (220i), suivant une première configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques (114k ; 164k ; 214k ; 264k ; 314k ; 364k) ayant le même niveau associé i du 35
 7. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre, 40
 - périphérique au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes du réseau antenne (104), une deuxième matrice de commutation (322), suivant une deuxième configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des Q entrées en mode émission ou des Q sorties en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques sur un nombre entier T, supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à Q, d'entrées de faisceaux en mode émission ou de sorties de faisceaux en mode réception. 45
 8. Formateur analogique multifaisceaux selon l'une des revendications 1 à 4, comprenant en outre, 50
 - pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé i, i variant de 1 à R, intérieure au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel, une première matrice de commutation (320i), suivant une première configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire ; et 55
 - périphérique au formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel et à l'opposé des voies d'accès aux sources rayonnantes de l'antenne, une deuxième matrice de commutation (322), suivant une deuxième configuration d'un ensemble de routages prédéterminé, des Q entrées en mode émission ou des Q sorties en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques sur un nombre entier T, supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à Q, d'entrées de faisceaux en mode émission ou de sorties de faisceaux en mode réception.
 9. Formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le nombre P de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception de chaque premier formateur analogique est strictement supérieur au premier nombre R de voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception des sources rayonnantes d'une même rangée suivant la première direction axiale ; et comprenant, pour chaque premier formateur analogique et le niveau associé, un diviseur en mode émission suivant une configuration de diviseur prédéter-

minée ou un combineur en mode réception suivant une configuration de combinaison prédéterminée, des sorties en mode émission ou des entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé du premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire, le diviseur en mode émission ou le combineur en mode réception étant connecté entre les sorties en mode émission ou les entrées en mode réception des deuxièmes formateurs analogiques ayant le niveau associé dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes suivant la première direction angulaire, et les entrées en mode émission ou les sorties en mode réception du premier formateur analogique.

10. Formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel selon l'une des revendications 1 à 4,

- comprenant en outre, pour chaque premier formateur analogique de faisceaux unidimensionnels et le niveau associé i , i variant de 1 à R ,

en mode émission, connecté aux entrées dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes, un diviseur suivant une configuration de division des sorties des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux de faisceaux ayant le niveau associé i dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes, ou en mode réception, connecté aux sortie dudit premier formateur analogique de faisceaux un combineur suivant une configuration de combinaison des entrées des deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux de faisceaux ayant le niveau associé j dudit premier formateur analogique de faisceaux fixes ; et

dans lequel

en mode émission la configuration de division est fonction d'un motif prédéterminé des largeurs des faisceaux émission suivant la première direction angulaire A_x ; ou en mode réception la configuration de combinaison est fonction d'un motif prédéterminé des largeurs des faisceaux réception suivant la première direction angulaire A_x .

11. Formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel en mode émission les points de contrôle en amplitude et en phase des deuxièmes formateurs de faisceaux variables continuent en taille sont ajustés de sorte que les diagrammes de rayonnement des faisceaux émissions générés suivant des pointages prédéterminés présentent des diagrammes de rayonnement iso-flux ; ou en mode réception les points de contrôle en amplitude et en phase des deuxièmes formateurs de faisceaux variables continuent en taille sont ajustés de sorte que les diagrammes de rayonnement des faisceaux réception

générés suivant des pointages prédéterminés présentent des diagrammes de rayonnement iso-flux.

12. Formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel les deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux mobiles du deuxième ensemble sont intégrés dans un circuit unique (368) de forme plane, le circuit intégré (368) étant disposé dans un plan perpendiculaire aux plans d'extension des circuits des premiers formateurs analogiques de faisceaux fixes et jouxtant en bout des bordures desdits circuits, parallèles entre elles et contenues dans un même plan.
13. Formateur analogique multifaisceaux de plusieurs faisceaux radiofréquences bidimensionnels de tailles et/ou directions de pointage variables continuellement pour une antenne réseau active bidimensionnelle reconfigurable, ayant un nombre total entier M , supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives, formant un réseau antenne et réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R , supérieur ou égal à 2, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X , l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y , différente de la première direction locale axiale X , i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$, chaque rangée $r(i)$, i variant de 1 à R ayant un nombre entier $S(i)$ fonction du niveau i de sources rayonnantes actives, la somme des entier $S(i)$ i variant de 1 à R étant égal au nombre M , et ayant un ensemble (58) de M amplificateurs RF, chaque source rayonnante active étant connectée directement à un amplificateur ; le formateur analogique multifaisceaux comprenant un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P , supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X , chaque premier formateur analogique (512i), i variant de 1 à R , étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier $S(i)$ de voies de sortie en mode émission ou $S(i)$ voies d'entrée en mode de réception, incluant chacune un amplificateur RF et correspondantes à la rangée $r(i)$ des $S(i)$ sources rayonnantes actives du réseau antenne (104); et chaque premier formateur analogique ayant P voies d'entrée en mode d'émission ou de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ; le formateur analogique multifaisceaux étant **carac-**

térisé en ce qu'il comporte un deuxième ensemble (514) d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques (514) de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur (516k) à entrée unique et R branches de sortie en mode émission ou par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission ou d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle (518_{k,i}) en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique (514k) du deuxième ensemble (516) étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques.

14. Antenne active bidimensionnelle d'émission reconfigurable pour émettre des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, comprenant un réseau antenne (4) de sources rayonnantes actives, un ensemble (8) d'amplificateurs de puissance RF HP, et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel ;

- le réseau antenne de sources rayonnantes actives ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X ;
- le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprenant un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former P faisceaux radiofréquences fixes d'émission suivant des premières directions angulaires de pointage Ax fixés le long de la première direction axiale X fixés, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers de S voies de sortie en mode émission, incluant chacune un amplificateur de puissance RF HP et correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes actives du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne, repérée par un indice de niveau i, i variant de 1 à R ;

et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ;

l'antenne active bidimensionnelle d'émission étant **caractérisée en ce que** le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage By le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateurs de faisceaux, une colonne d'accès étant formée de R bornes d'accès aux voies d'entrées de même rang j des premiers formateurs analogiques.

15. Antenne active bidimensionnelle de réception reconfigurable pour recevoir des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux réception de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, comprenant un réseau antenne (54) de sources rayonnantes actives, un ensemble (58) d'amplificateurs RF à faible bruit (LNA), et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel (56) ;

- le réseau antenne de sources rayonnantes actives ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives réparties sur une surface plane ou courbe suivant un maillage formé par les points d'intersection d'un premier réseau d'un premier nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une première direction axiale X, et d'un deuxième réseau d'un deuxième nombre entier S, supérieur ou égal à 2, de lignes parallèles suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction axiale X ;
- le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprenant un premier ensemble dans lequel sont superposés S premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former R faisceaux radiofréquences fixes suivant des premières directions angulaires de pointage Ax le long de la première direction axiale X fixés, chaque premier formateur analogique étant configuré pour être connecté au travers de S voies d'entrée en mode de réception, incluant chacune un amplifica-

teurs RF à faible bruit (LNA), correspondantes à une rangée de S sources rayonnantes actives du réseau antenne et correspondantes à une ligne différente du maillage de l'antenne, repérée par un indice de niveau i , i variant de 1 à R ;
 et chaque premier formateur analogique ayant un nombre entier P, supérieur ou égal à 2, de voies de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ;

l'antenne active bidimensionnelle d'émission étant **caractérisée en ce que**

le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche d'entrée d'un combineur incluant un point de contrôle en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique du deuxième ensemble étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble, une colonne d'accès étant formées R bornes d'accès aux voies de sortie de même rang i des premiers formateurs analogiques.

16. Antenne active bidimensionnelle d'émission reconfigurable pour émettre des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux émission de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes actives, un ensemble d'amplificateurs de puissance RF HP, et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel ;

- le réseau antenne de sources rayonnantes actives ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives éparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier R, supérieur ou égal à 2, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$, chaque rangée $r(i)$, i variant de 1 à R ayant un nombre entier S(i) fonction du niveau i de sources rayonnantes actives, la somme des entier S(i) i variant de 1 à

R étant égal au nombre M ;

- le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprenant un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes d'émission suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X, chaque premier formateur analogique 512i, i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier S(i) de voies de sortie en mode émission, incluant chacune un amplificateur RF de puissance HP et correspondantes à la rangée $r(i)$ des S(i) sources rayonnantes du réseau antenne (504) ; et chaque premier formateur analogique ayant P voies d'entrée en mode d'émission, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ;

l'antenne active bidimensionnelle d'émission étant **caractérisée en ce que** le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble (514) d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques (514) de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un diviseur (116k ; 166k ; 216k ; 266k) à entrée unique et R branches de sortie en mode émission, chaque branche de sortie d'un diviseur en mode émission incluant un point de contrôle (518_{k,i}) en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique (514k ; 164k ; 214k ; 264k ; 314k ; 364k) du deuxième ensemble (114 ; 164 ; 214 ; 264 ; 314 ; 364) étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies d'entrée de même rang des premiers formateurs analogiques.

17. Antenne active bidimensionnelle de réception reconfigurable pour recevoir des signaux radiofréquences sur une pluralité de faisceaux réception de tailles et/ou directions de pointage variables continûment, comprenant un réseau antenne de sources rayonnantes actives, un ensemble d'amplificateurs RF à faible bruit (LNA), et un formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel ;

- le réseau antenne de sources rayonnantes actives ayant un nombre total entier M, supérieur ou égal à 4, de sources rayonnantes actives réparties réparties sur une portion compacte et d'un seul tenant D d'une surface plane ou courbe suivant un empilement compact d'un nombre entier

R, supérieur ou égal à 2, de rangées $r(i)$ parallèles entre elles et orientées suivant une première direction locale axiale X, l'empilement étant orienté suivant une deuxième direction axiale Y, différente de la première direction locale axiale X, i désignant un indice de niveau et de numérotation de 1 à R dans le sens de parcours de la deuxième direction axiale Y d'empilement desdites rangées $r(i)$, chaque rangée $r(i)$, i variant de 1 à R ayant un nombre entier $S(i)$ fonction du niveau i de sources rayonnantes, la somme des entier $S(i)$ i variant de 1 à R étant égal au nombre M ;

- le formateur analogique multifaisceaux bidimensionnel comprenant un premier ensemble dans lequel sont superposés R premiers formateurs analogiques de structure identique et configurés pour former un nombre P, supérieur ou égal à 2, de faisceaux radiofréquences fixes de réception suivant des premières directions angulaires de pointage A_x fixées le long de la première direction locale axiale X, chaque premier formateur analogique de niveau i , i variant de 1 à R, étant configuré pour être connecté au travers du nombre entier $S(i)$ de voies d'entrée en mode de réception, incluant chacune un amplificateurs RF à faible bruit (LNA) et correspondantes à la rangée $r(i)$ des $S(i)$ sources rayonnantes du réseau antenne; et chaque premier formateur analogique ayant P voies de sortie en mode réception, numérotés par un indice de parcours j le long de la première direction axiale X ;

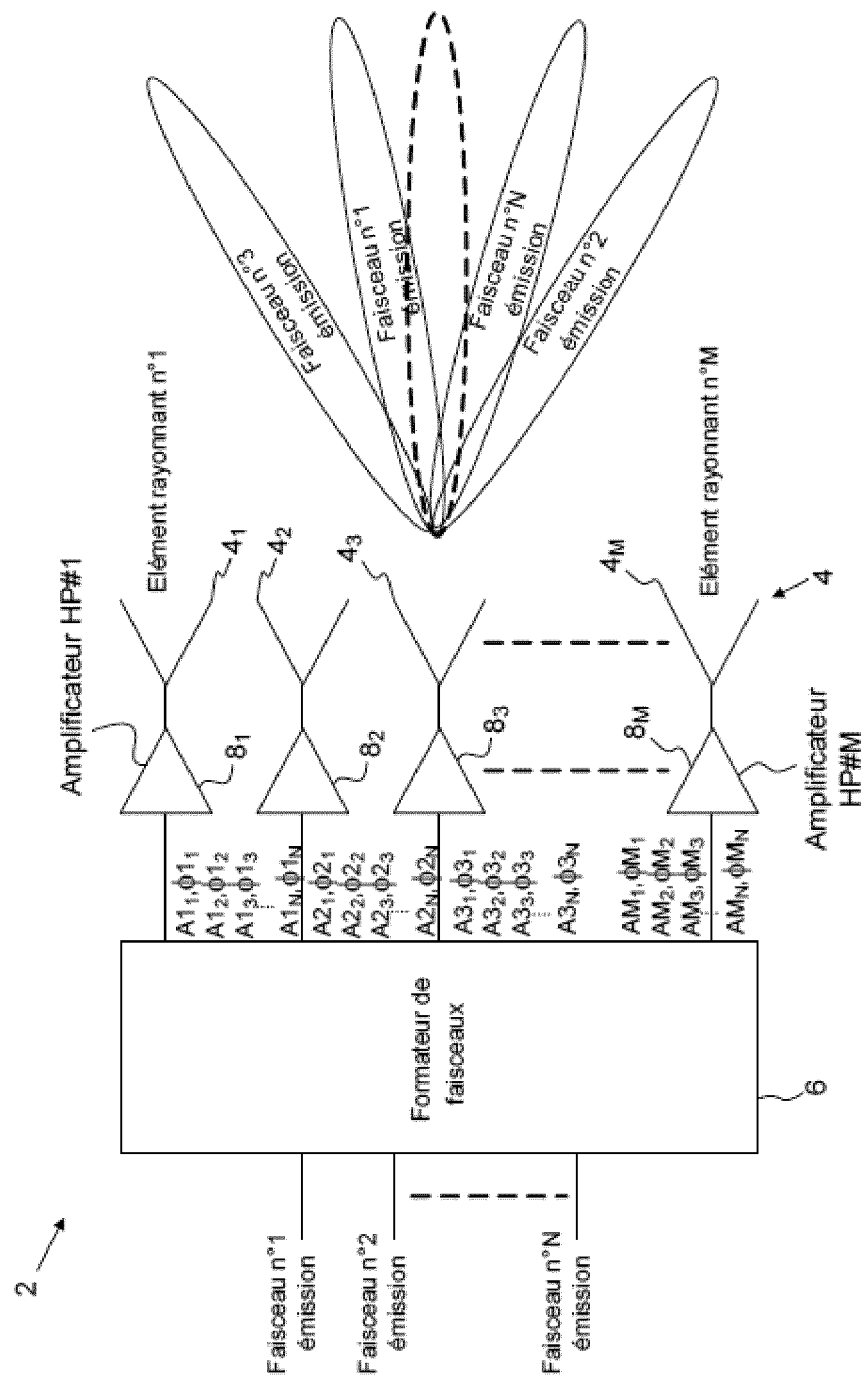
l'antenne active bidimensionnelle de réception étant **caractérisée en ce que** le formateur analogique multifaisceaux comporte un deuxième ensemble d'un nombre entier Q de deuxièmes formateurs analogiques de faisceaux radiofréquences continument variables en taille et/ou en direction de pointage suivant des deuxièmes directions angulaires de pointage B_y le long de la deuxième direction axiale Y, chaque deuxième formateur analogique étant formé par un combineur à sortie unique et R branches d'entrée en mode réception, chaque branche d'entrée d'un combineur en mode réception incluant un point de contrôle $(518_{k,i})$ en amplitude et en phase ; chaque deuxième formateur analogique (514_k) à du deuxième ensemble (516) étant connecté à au moins une colonne d'accès du premier ensemble de premiers formateur de faisceaux, une colonne d'accès étant formée par R bornes d'accès aux voies de sortie en mode réception de même rang j des premiers formateurs analogiques .

ception multifaisceaux et l'antenne émission multifaisceaux,
l'antenne émission multifaisceaux étant défini selon la revendication 14 ou 16 ; et/ou l'antenne réception multifaisceaux étant défini selon la revendication 15 ou 17.

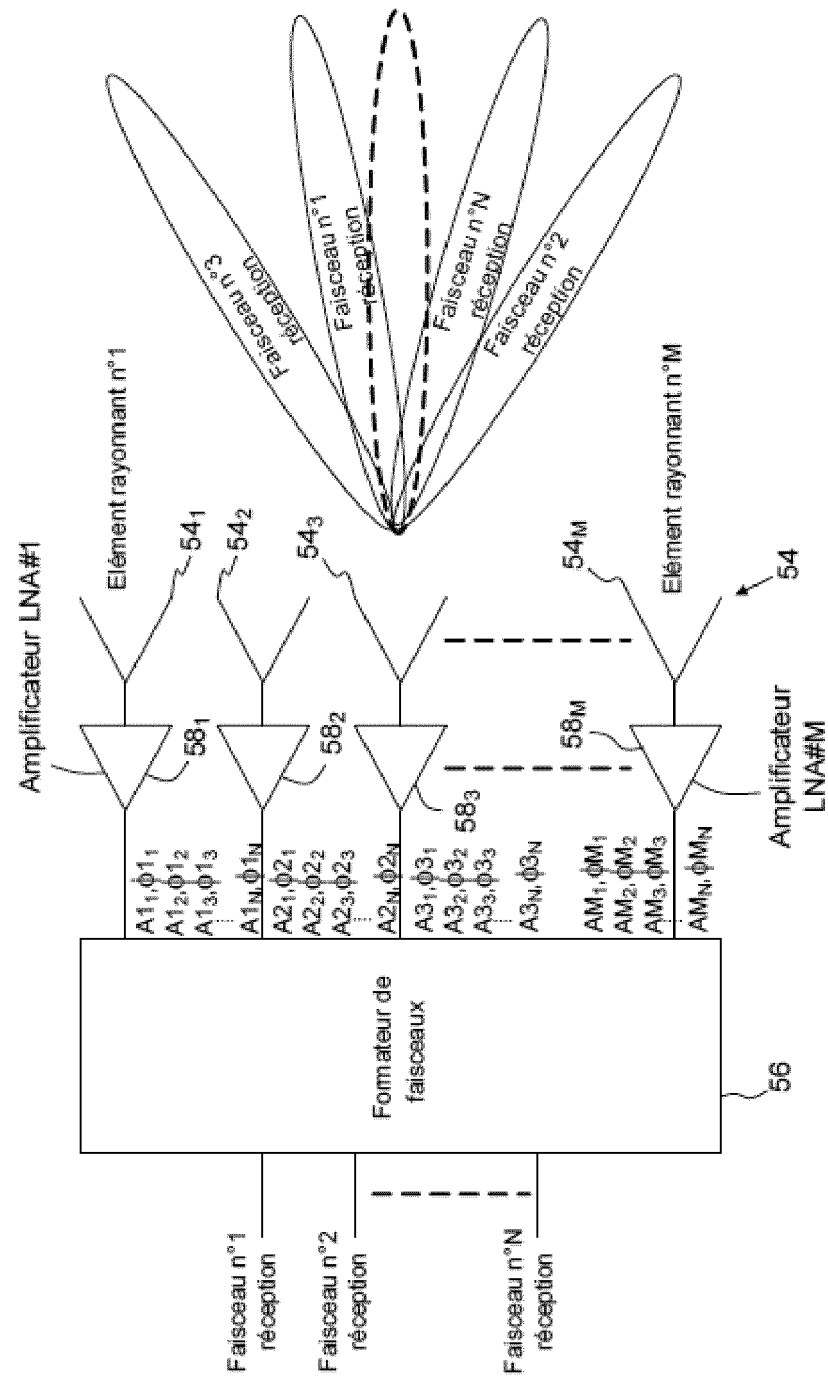
19. Charge utile satellitaire d'un satellite de télécommunications selon la revendication 18, dans lequel le routeur (604) est un processeur numérique transparent (DTP).

18. Charge utile satellitaire d'un satellite de télécommunications comprenant une antenne réception multifaisceaux (52), une antenne émission multifaisceaux (2), et un routeur (604) interconnectant l'antenne ré-

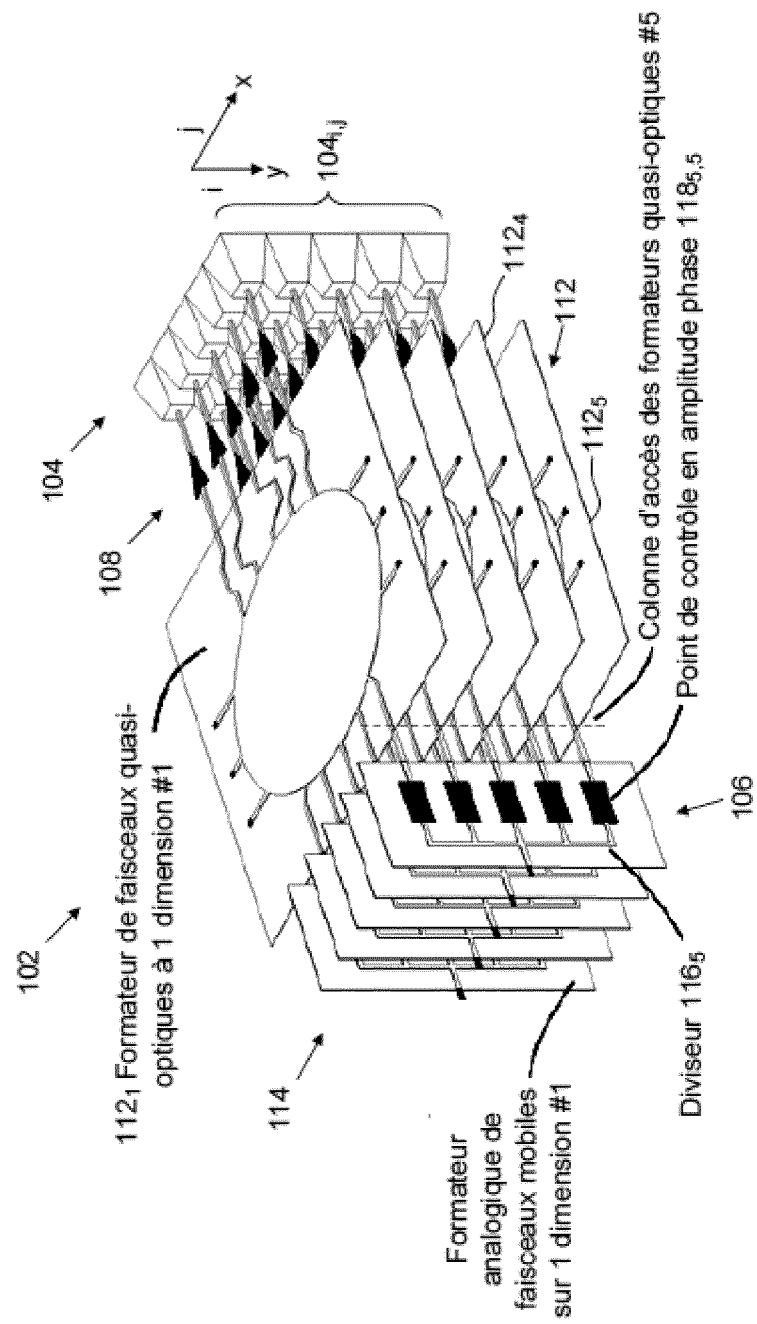
[Fig. 1]



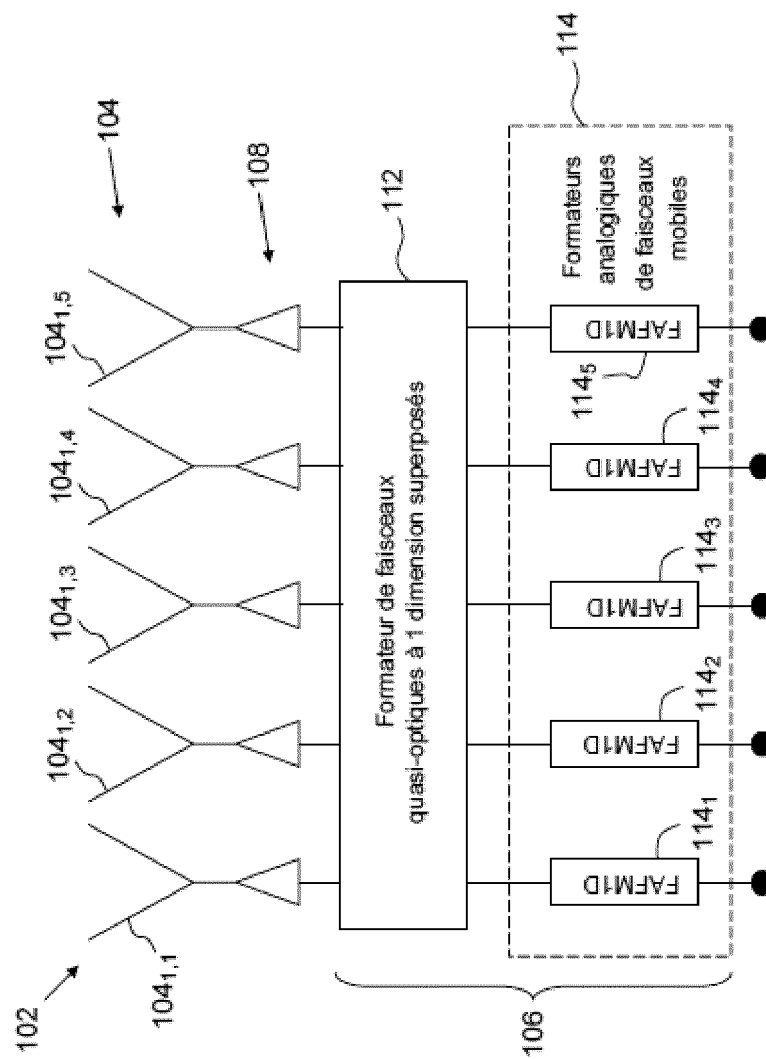
[Fig. 2]



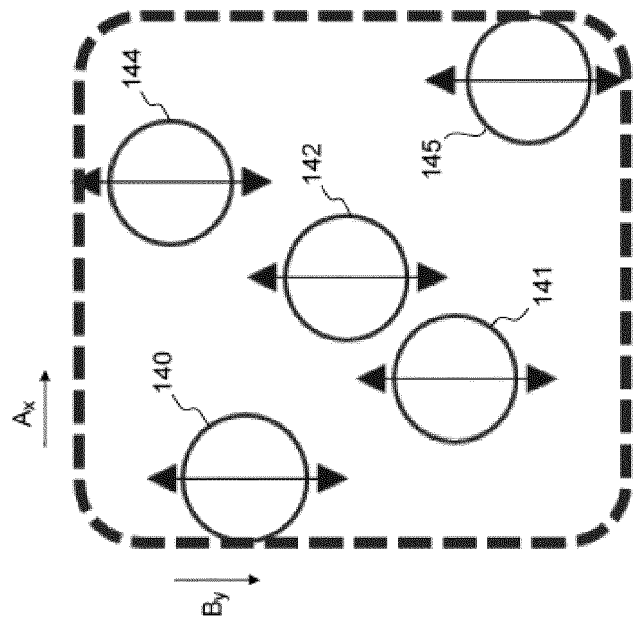
[Fig. 3]



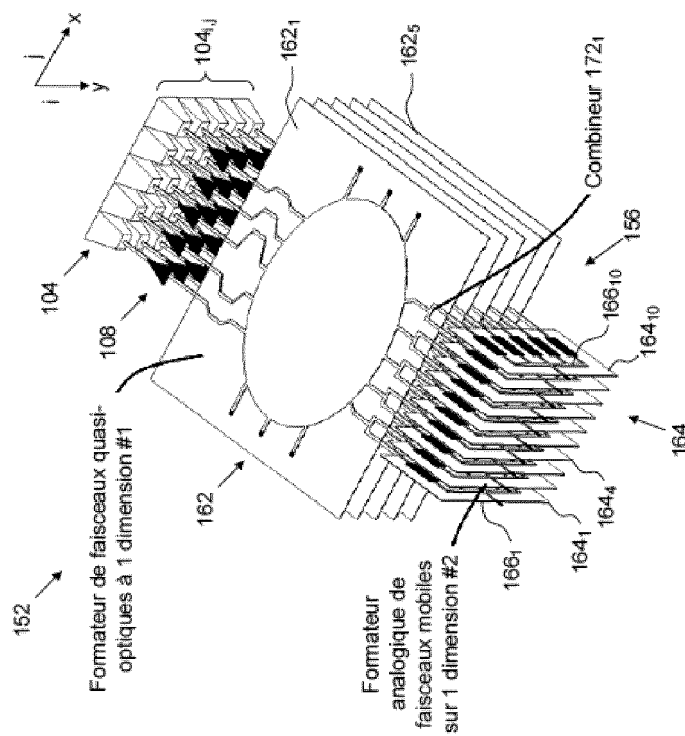
[Fig. 4]



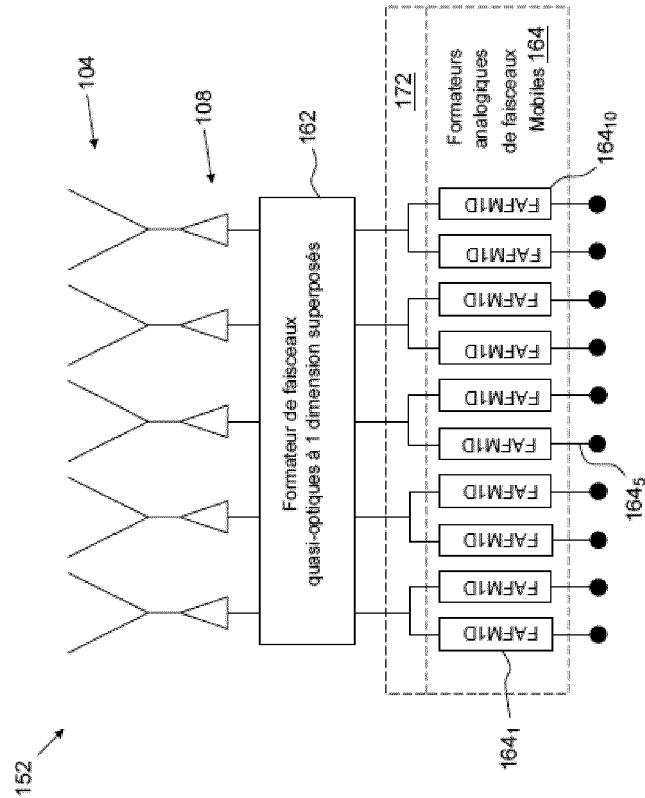
[Fig. 5]



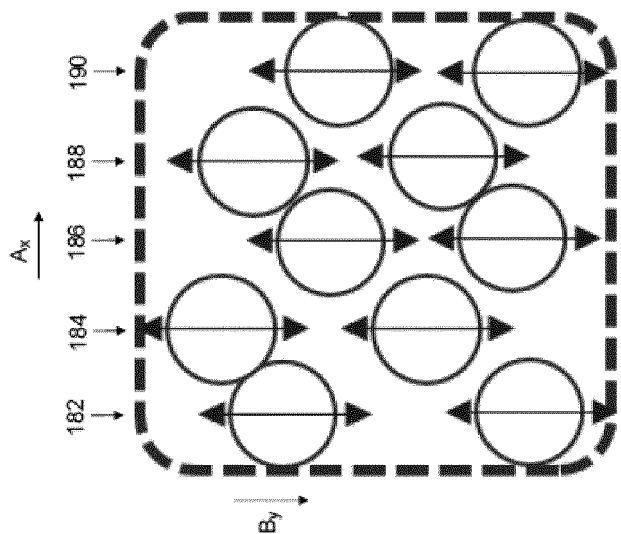
[Fig. 6]



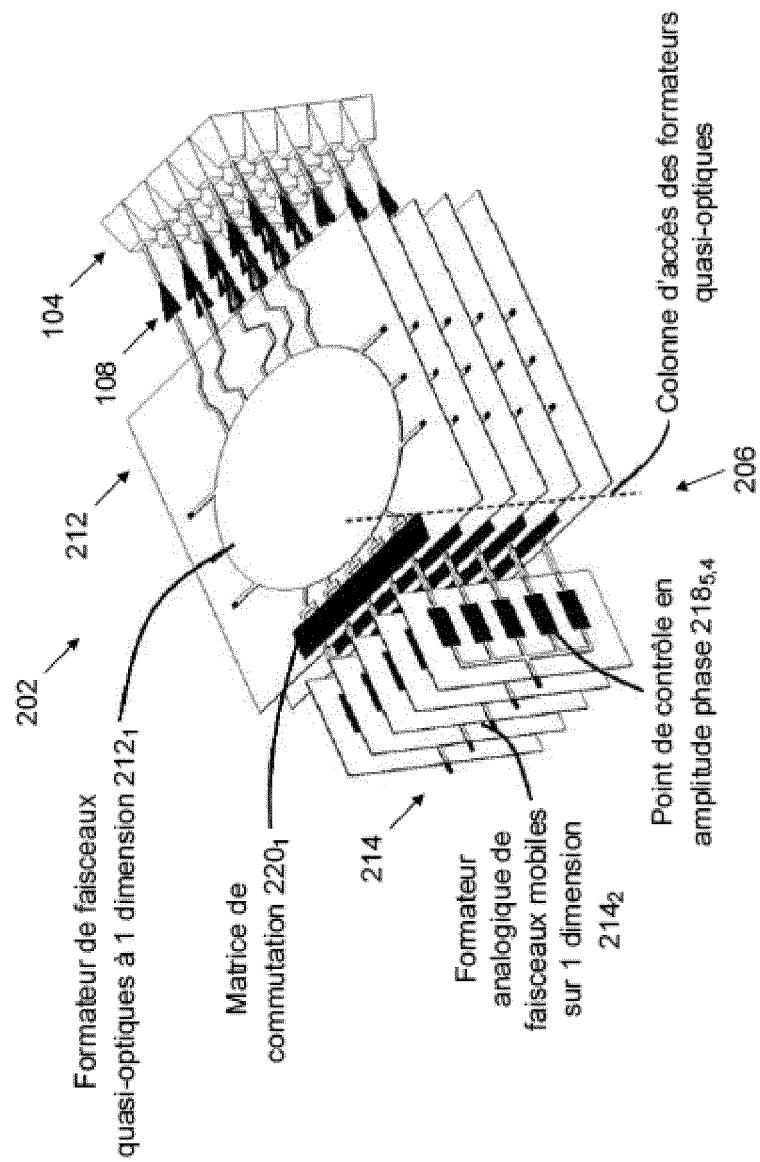
[Fig. 7]



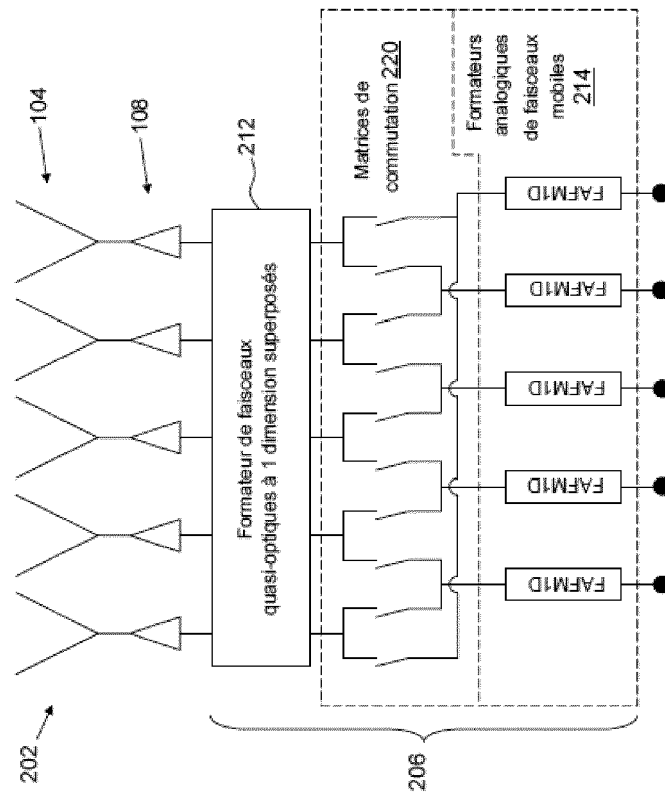
[Fig. 8]



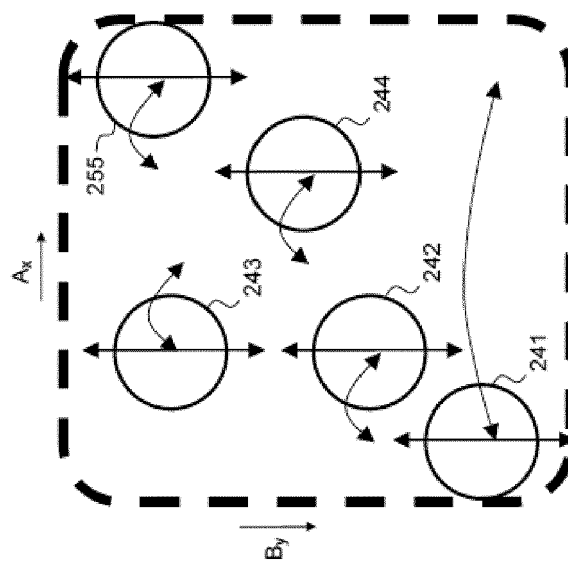
[Fig. 9]



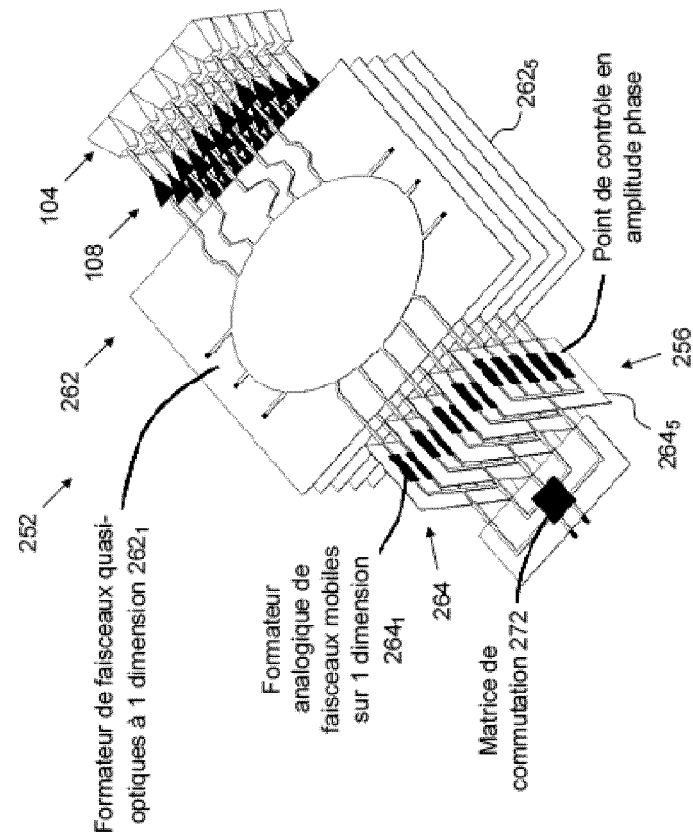
[Fig. 10]



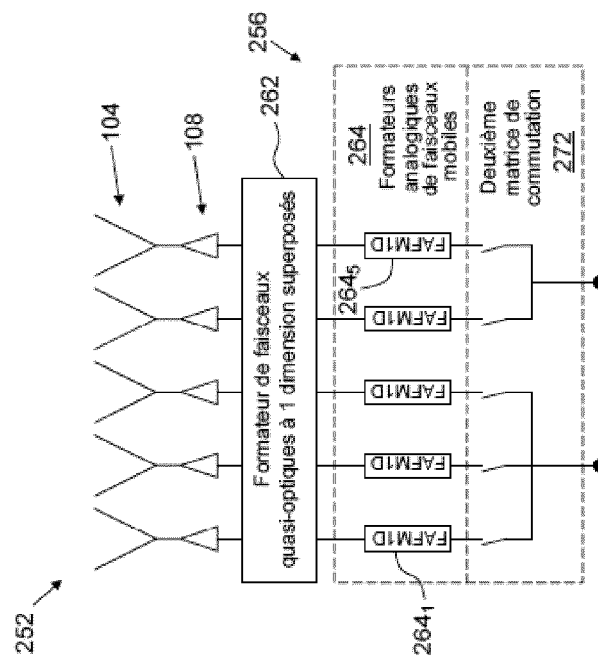
[Fig. 11]



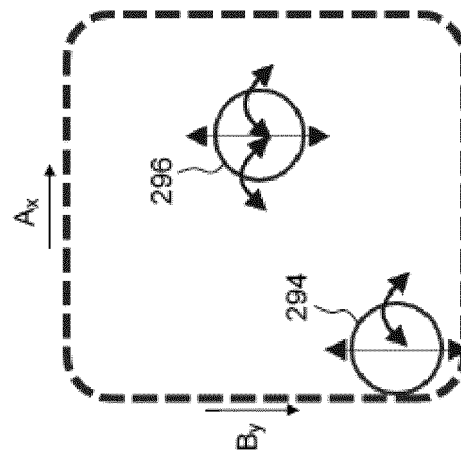
[Fig. 12]



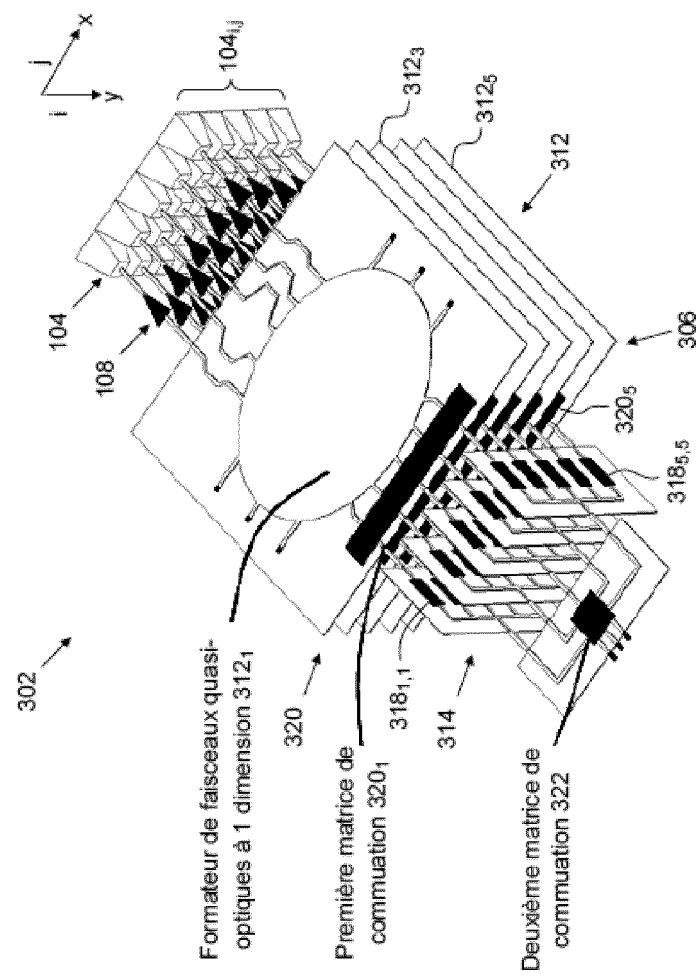
[Fig. 13]



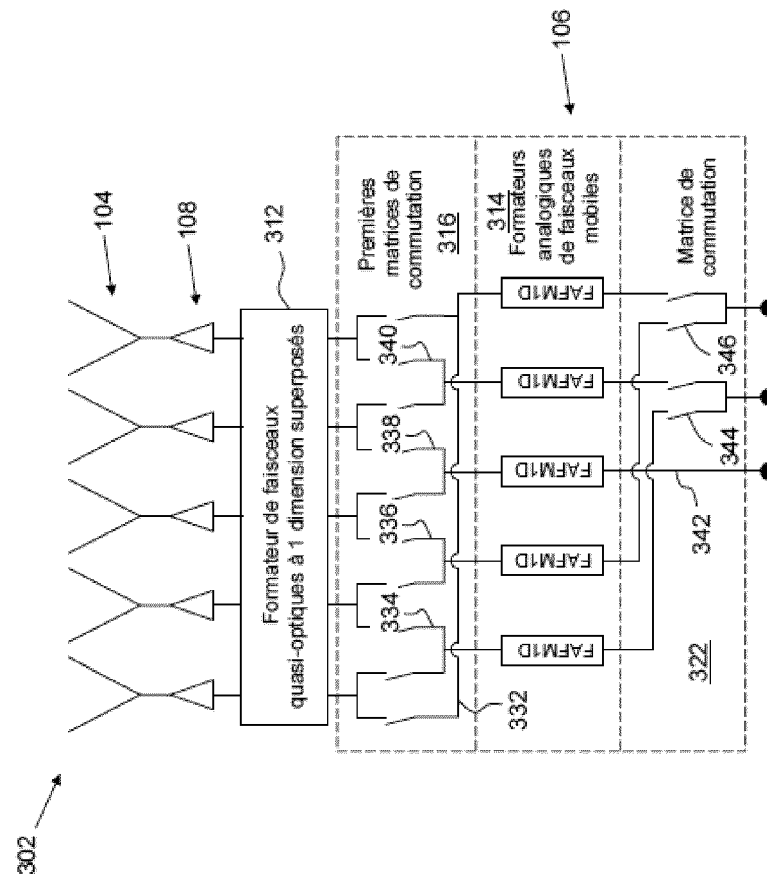
[Fig. 14]



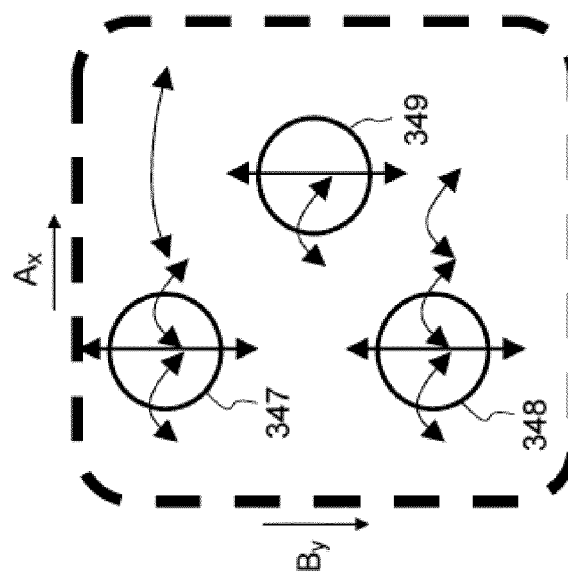
[Fig. 15]



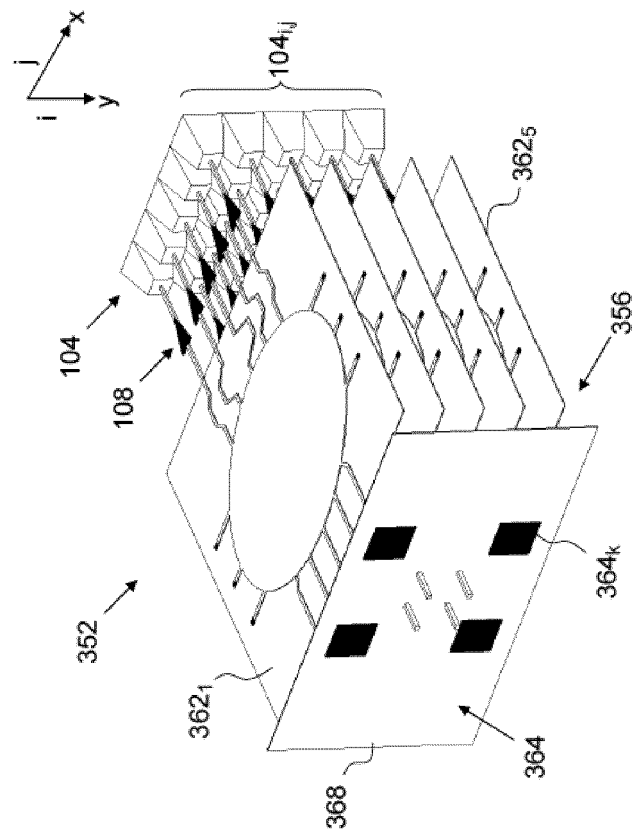
[Fig. 16]



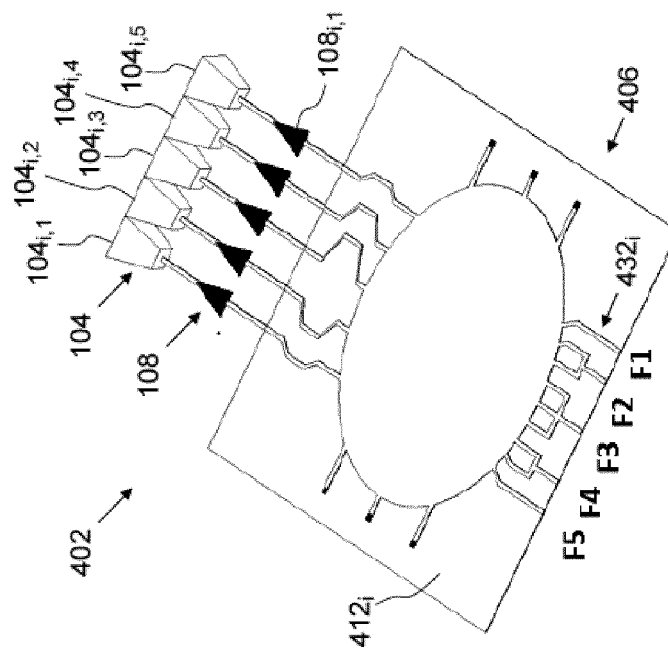
[Fig. 17]



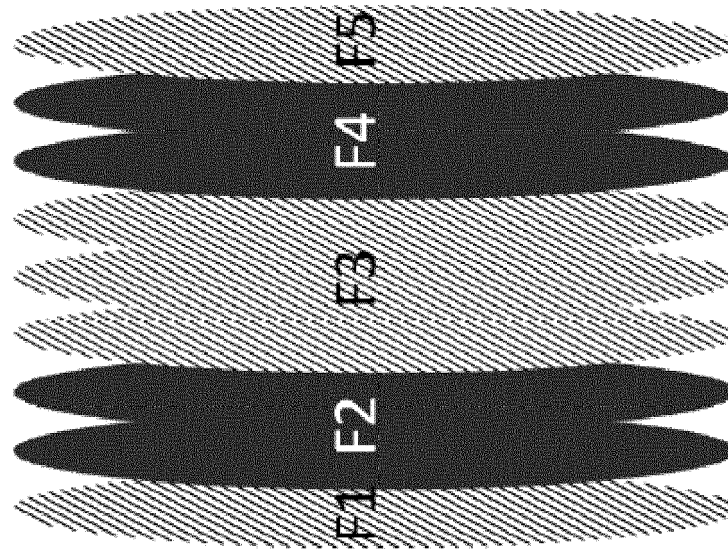
[Fig. 18]



[Fig. 19]



[Fig. 20]



[Fig. 21]

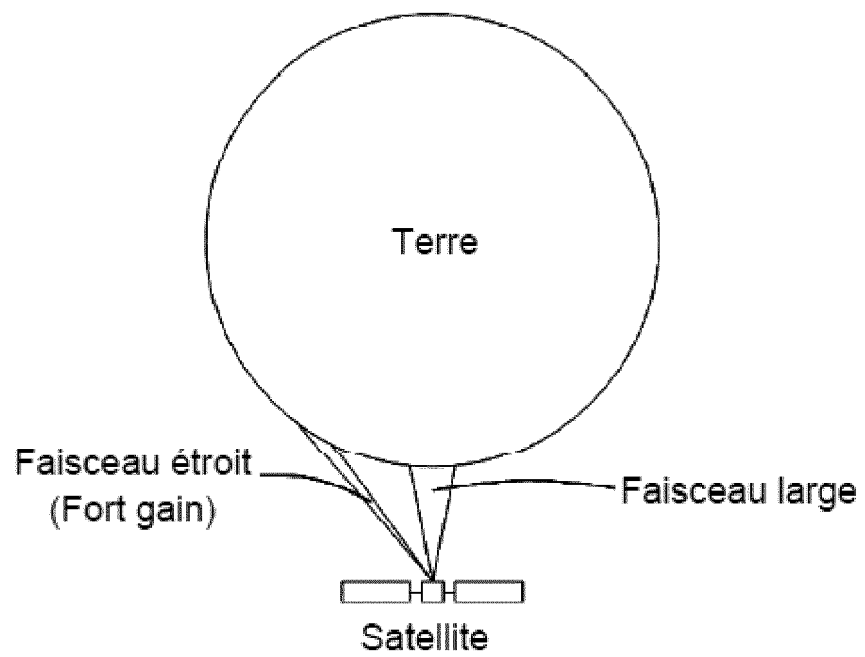
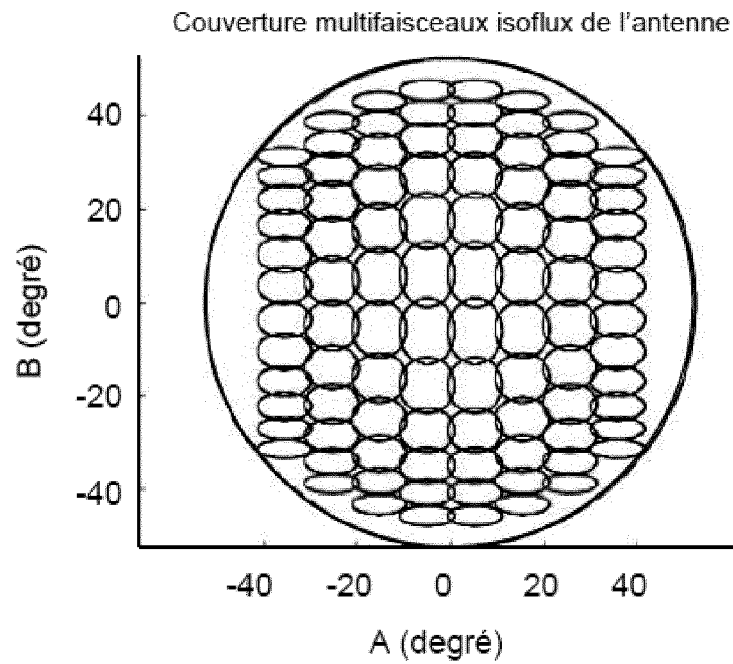
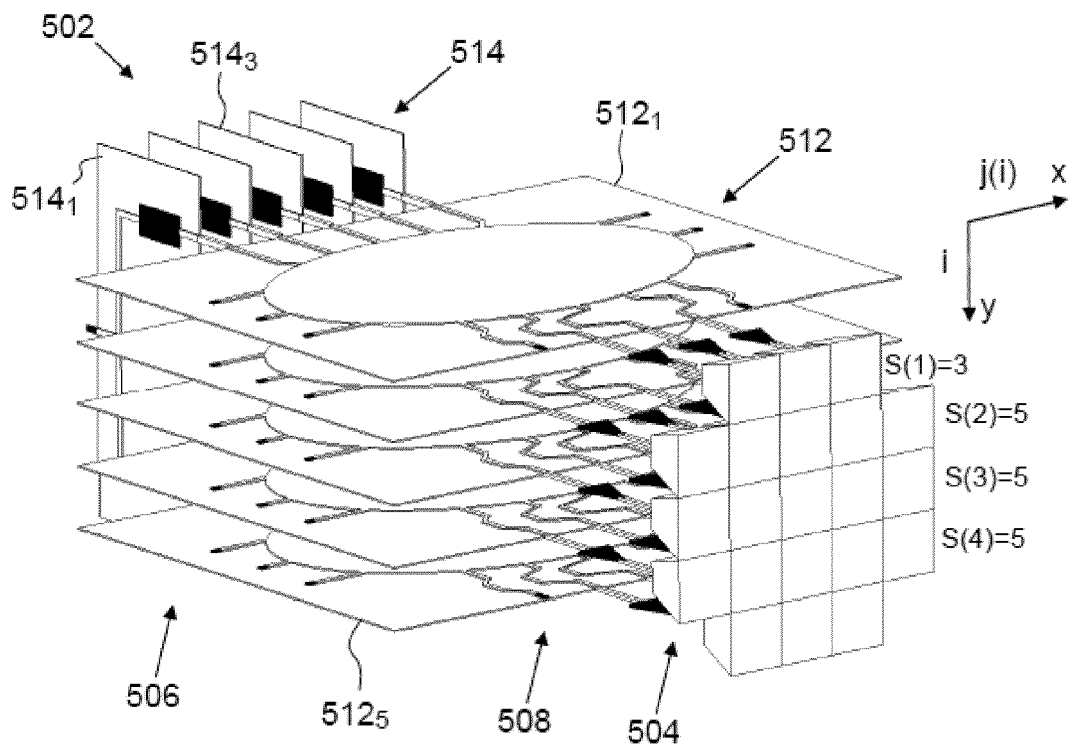


FIG.21

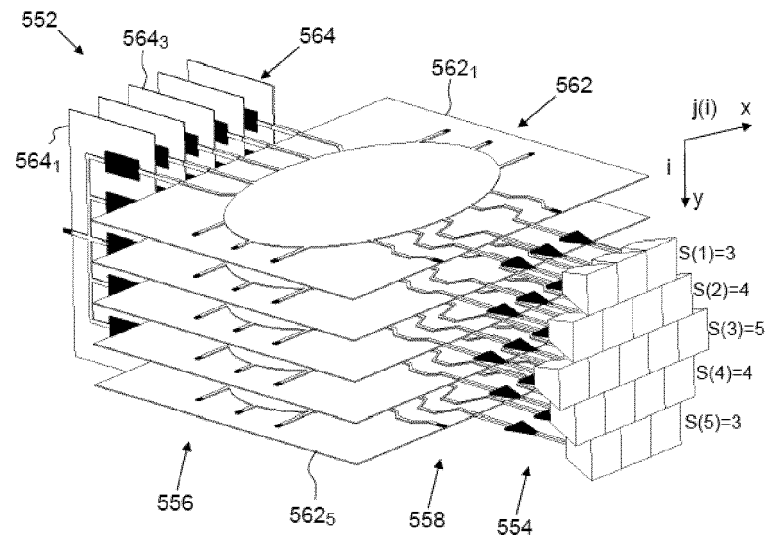
[Fig. 22]



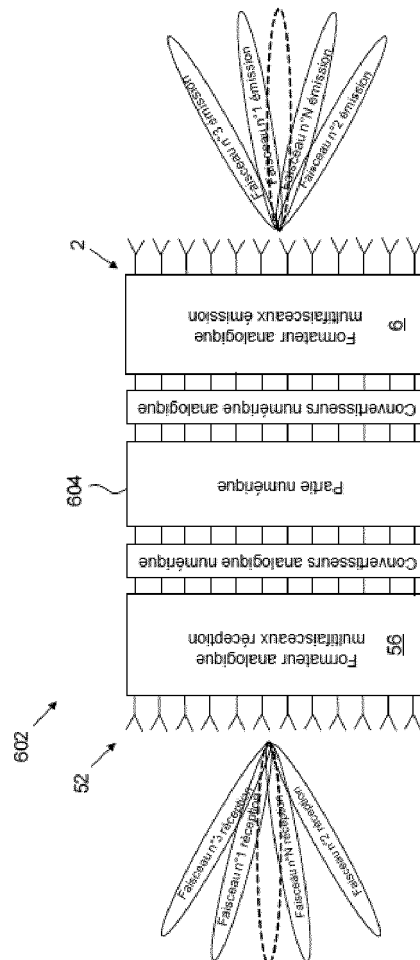
[Fig. 23]



[Fig. 24]



[Fig. 25]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 18 2142

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 3 176 875 A1 (THALES SA [FR]) 7 juin 2017 (2017-06-07) * alinéas [0001], [0002], [0003], [0007], [0008], [0010], [0011], [0012], [0015], [0018] - [0020], [0022] - [0028], [0030], [0033], [0035], [0036], [0039]; figures 5,8a,9-11 *	1-19	INV. H01Q3/40 H01Q1/28 H01Q3/26 H01Q3/38 H01Q25/00
X	US 2003/038752 A1 (PARK PYONG K [US]) 27 février 2003 (2003-02-27) * figures 7,8 * * alinéas [0002], [0007] - [0009], [0022], [0023], [0030] - [0035] *	1-5, 13-18	
X	EP 1 170 823 A1 (CIT ALCATEL [FR]) 9 janvier 2002 (2002-01-09) * figures 2,3,6 * * alinéas [0013] - [0015], [0038] - [0054], [0064] *	1-5, 13-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		20 novembre 2020	Wattiaux, Véronique
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 20 18 2142

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

20-11-2020

10

Document brevet cité
au rapport de recherche

Date de
publication

Membre(s) de la
famille de brevet(s)

Date de
publication

15

EP 3176875 A1 07-06-2017

EP 3176875 A1 07-06-2017

ES 2681675 T3 14-09-2018

FR 3044832 A1 09-06-2017

US 2017162943 A1 08-06-2017

20

US 2003038752 A1 27-02-2003

AU 2002331683 B2 22-04-2004

CA 2426763 A1 06-03-2003

DE 60225453 T2 26-02-2009

EP 1421650 A2 26-05-2004

JP 4163109 B2 08-10-2008

JP 2005501453 A 13-01-2005

KR 20030042024 A 27-05-2003

US 2003038752 A1 27-02-2003

WO 03019726 A2 06-03-2003

25

EP 1170823 A1 09-01-2002

AT 339023 T 15-09-2006

CA 2351119 A1 06-01-2002

DE 60122832 T2 12-04-2007

EP 1170823 A1 09-01-2002

FR 2811480 A1 11-01-2002

JP 5007005 B2 22-08-2012

JP 2002111361 A 12-04-2002

US 2002005800 A1 17-01-2002

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 5936 A [0012]
- US 588 A, S.K. Rao [0012]
- US 8344945 B [0015]