

(19)



(11)

EP 3 176 875 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

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

13.06.2018 Bulletin 2018/24

(51) Int Cl.:

H01Q 1/28 (2006.01) **H01Q 15/02** (2006.01)
H01Q 25/00 (2006.01) **H01Q 1/42** (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01) **H01Q 19/13** (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16199488.4**

(22) Date de dépôt: **18.11.2016**

(54) **ARCHITECTURE D'ANTENNE ACTIVE A FORMATION DE FAISCEAUX HYBRIDE
RECONFIGURABLE**

AUFBAU EINER AKTIVEN HYBRIDEN REKONFIGURIERBAREN STRAHLBILDUNGSANTENNE

ACTIVE ANTENNA ARCHITECTURE WITH RECONFIGURABLE HYBRID BEAM FORMATION

(84) Etats contractants désignés:

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

(30) Priorité: **04.12.2015 FR 1502522**

(43) Date de publication de la demande:
07.06.2017 Bulletin 2017/23

(73) Titulaire: **Thales**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeur: **LEGAY, Hervé**
31830 PLAISANCE DU TOUCH (FR)

(74) Mandataire: **Esselin, Sophie et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22 avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(56) Documents cités:
US-A- 3 170 158 US-A- 3 979 754
US-B1- 6 275 184

EP 3 176 875 B1

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

Description

[0001] La présente invention concerne une architecture d'antenne active à formation de faisceaux hybride reconfigurable. L'antenne peut s'appliquer au domaine terrestre ou spatial et notamment dans le domaine des télécommunications par satellite. Elle peut en particulier, être montée sur un terminal terrestre ou à bord d'un satellite.

[0002] Pour faciliter la description, le mode d'opération des formateurs de faisceaux est supposé en réception, mais une description similaire pourrait être formulée en transmission.

[0003] Une antenne active reconfigurable à formation de faisceaux électronique comporte plusieurs éléments rayonnants, des chaînes actives destinées à traiter les signaux reçus par les éléments rayonnants, et un formateur de faisceaux qui recombine les signaux reçus, de façon cohérente, dans différentes directions pour former différents faisceaux. Chaque élément rayonnant est connecté au formateur de faisceaux par l'intermédiaire d'une chaîne active dédiée. Lorsque la formation de faisceaux est réalisée sur des signaux hyperfréquences, les traitements réalisés par chaque chaîne active comportent un filtrage et une amplification des signaux reçus. Lorsque la formation de faisceaux est réalisée sur des signaux analogiques transposés en bande de base, les traitements réalisés par chaque chaîne active comportent en outre une transposition en fréquence. Les traitements peuvent aussi comporter une numérisation si la formation de faisceaux est réalisée sur des signaux numérisés.

[0004] Classiquement, comme représenté sur l'exemple de la figure 1, un formateur de faisceaux planaire radiofréquence divise les signaux reçus par chaque élément rayonnant $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_N$, en M sous-signaux qui sont véhiculés dans M canaux différents, puis applique à chacun des M sous-signaux, un déphasage et une atténuation de valeur contrôlable avant de recombinaison les sous-signaux provenant des N éléments rayonnants pour former M faisceaux différents $S_1, S_2, \dots, S_M$, appelés aussi spots. Cependant le formateur de faisceaux planaire radiofréquence nécessite de réaliser des croisements entre les canaux véhiculant les sous-signaux, le nombre de croisements étant égal au produit entre le nombre M de faisceaux et le nombre N d'éléments rayonnants. Par conséquent, plus le nombre de faisceaux à réaliser est important, plus la masse, l'encombrement et la complexité de ce formateur de faisceaux augmente. Ce formateur de faisceaux devient donc vite irréalisable lorsqu'il faut réaliser un grand nombre de faisceaux pour couvrir un large secteur angulaire.

[0005] Lorsque la formation de faisceaux est réalisée sur des signaux analogiques transposés en bande de base, les croisements sont plus faciles à réaliser en utilisant des ASICs. Cela permet de limiter la masse et l'encombrement du formateur de faisceaux, mais cette technologie entraîne une consommation de puissance trop importante.

[0006] Lorsque la formation de faisceaux est réalisée sur des signaux numériques, la numérisation des signaux sur un grand nombre d'éléments rayonnants conduit généralement à des puissances consommées importantes.

[0007] Selon une autre technologie, il existe des formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires utilisant une propagation électromagnétique des ondes radiofréquence provenant de plusieurs sources d'alimentation placées en entrée, par exemple des cornets internes, selon un mode de propagation en général TEM (en anglais : Transverse Electrique Magnétique) entre deux plaques métalliques parallèles (en anglais : parallel plates). La focalisation et la collimation des faisceaux peuvent être réalisées par une lentille, par exemple une lentille optique comme décrit notamment dans les documents US 3170158 et US 5936588 qui illustrent le cas d'une lentille de Rotman, la lentille étant insérée sur le trajet de propagation des ondes radiofréquences, entre les deux plaques métalliques parallèles. Différents types de lentilles peuvent être utilisés, ces lentilles servant essentiellement de correcteurs de phase et permettant dans la plupart des cas de convertir une, ou plusieurs, onde cylindrique émise par les sources en une, ou plusieurs, onde plane se propageant dans le guide d'onde à plaques métalliques parallèles. La lentille peut comporter deux bords opposés à profils paraboliques, respectivement d'entrée et de sortie. Alternativement, la lentille peut être une lentille diélectrique, ou une lentille à gradient d'indice, ou tout autre type de lentille. Comme cette technologie utilise des guides d'onde à plaques parallèles, en alternative à l'utilisation de plusieurs éléments rayonnants discrets alignés côte à côte, il est possible d'utiliser une ouverture linéaire rayonnante continue en sortie de chaque guide d'onde à plaques parallèles. Ces ouvertures linéaires rayonnantes, qui ne sont pas spatialement quantifiées, ont des performances très supérieures par rapport aux réseaux linéaires de plusieurs éléments rayonnants, pour les faisceaux dépointés, en raison de l'absence de quantification, et en bande passante en raison de l'absence de modes de propagation résonants.

[0008] Un formateur de faisceaux quasi-optique est de réalisation beaucoup plus simple que les formateurs de faisceaux traditionnels à guides d'onde individuels car il ne comporte ni coupleur, ni dispositif de croisement et permet de réaliser plusieurs faisceaux qui couvrent un large secteur angulaire, sans aucune aberration. En outre, leur bande passante est très importante et ils peuvent fonctionner à la fois dans une bande d'émission Rx et dans une bande de réception Tx. Cependant, les formateurs de faisceaux planaires connus ne sont capables de former des faisceaux que selon une seule dimension de l'espace, dans une direction parallèle au plan des plaques métalliques. Pour former des faisceaux selon deux dimensions de l'espace, dans deux directions, respectivement parallèle et orthogonale au plan des plaques métalliques, il est nécessaire de combiner orthogonalement

entre eux, deux ensembles de formation de faisceaux, chaque ensemble de formation de faisceaux étant constitué d'un empilement de plusieurs couches de formateurs de faisceaux unidirectionnels. Pour combiner orthogonalement deux ensembles de formation de faisceaux, il est en outre nécessaire d'aménager des interfaces de connexion, en particulier des connecteurs d'entrée/sortie, sur chaque ensemble de formation de faisceaux puis de relier deux à deux les différentes entrées et sorties correspondantes des deux ensembles de formation de faisceaux par des câbles d'interconnexion dédiés comme représenté par exemple dans le document US 5 936 588 pour des formateurs de faisceaux à lentille. Cette architecture est satisfaisante pour la formation d'un petit nombre de faisceaux, mais devient très complexe et d'encombrement trop important lorsque le nombre de faisceaux augmente.

[0009] Il n'existe pas de dispositif de formation de faisceaux planaire permettant de former des faisceaux selon deux dimensions de l'espace. Par ailleurs, il n'existe pas non plus de solutions simples d'interconnexion de deux formateurs de faisceaux unidirectionnels permettant de s'affranchir des interfaces de connexion et des câbles d'interconnexions.

[0010] Le but de l'invention est de réaliser une nouvelle architecture d'antenne active reconfigurable comportant un formateur de faisceaux électronique plus simple que les formateurs de faisceaux électroniques connus, permettant de réduire le nombre de signaux à contrôler en phase et en amplitude, de réduire le nombre de signaux à recombinaison électronique pour chaque faisceau, et de réaliser un grand nombre de faisceaux à partir d'un grand nombre d'éléments rayonnants.

[0011] Pour cela, l'invention concerne une architecture d'antenne active à formation de faisceaux reconfigurable, comportant un formateur de faisceaux hybride constitué d'une part,

- de N_y formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires empilés, où N_y est un nombre entier supérieur à un, chaque formateur de faisceaux quasi-optique comportant un guide d'onde à plaques parallèles ayant deux extrémités respectivement munies d'une ouverture rayonnante linéaire et de M_y ports d'accès de faisceaux, une lentille intégrée dans le guide d'onde à plaques parallèles, des cornets internes distribués périodiquement côte à côte le long d'un axe focal de la lentille, les ports d'accès de faisceaux étant respectivement associés aux cornets internes, chaque formateur de faisceaux quasi-optique étant apte à former des faisceaux dans deux bandes de fréquences séparées, respectivement d'émission et de réception, selon une première direction de l'espace parallèle au plan des guides d'ondes à plaques parallèles, et d'autre part,
- d'au moins un formateur de faisceaux électronique planaire comportant N_y chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et un dispositif de combinaison

comportant N_y entrées respectivement reliées aux N_y chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et au moins une sortie de faisceaux chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude étant connectée à un port d'accès de faisceaux respectif de chaque formateur de faisceaux quasi-optique, le formateur de faisceaux électronique étant apte à former des faisceaux selon une deuxième direction de l'espace, orthogonale à la première direction.

[0012] Avantageusement, l'architecture d'antenne peut comporter en outre des commutateurs aptes à sélectionner, dans chaque formateur de faisceaux quasi-optique, un port parmi tous les ports d'accès de faisceaux disponibles, chaque commutateur comportant une entrée connectée à une chaîne de contrôle de phase et d'amplitude du formateur de faisceaux électronique et plusieurs sorties respectivement connectées à plusieurs ports d'accès de faisceaux respectifs du formateur de faisceaux quasi-optique correspondant.

[0013] Avantageusement, les ports d'accès de faisceaux peuvent être constitués d'une première rangée de ports d'émission disposés côte à côte le long de l'axe focal de la lentille et d'une deuxième rangée de ports de réception disposés côte à côte le long de l'axe focal de la lentille, la première et la deuxième rangées étant empilées l'une au-dessus de l'autre, les ports d'émission et les ports de réception étant distincts et de tailles différentes, chaque port d'émission, respectivement de réception, étant muni d'un filtre respectif centré sur la bande de fréquences d'émission, respectivement de réception.

[0014] Avantageusement, les ouvertures rayonnantes linéaires des différents formateurs de faisceaux quasi-optiques peuvent être reliées en réseau à un radome partiellement réfléchissant unique, commun à tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques, le radome comportant une première surface partiellement réfléchissante dimensionnée pour la sous-bande de fréquences de réception et une deuxième surface partiellement réfléchissante dimensionnée pour la sous-bande de fréquences d'émission, les première et deuxième surfaces partiellement réfléchissantes étant respectivement disposées en sortie des ouvertures rayonnantes linéaires, à une distance correspondant à une longueur d'onde centrale respective des deux sous-bandes de fréquences d'émission et de réception.

[0015] Avantageusement, le formateur de faisceau hybride peut comporter un formateur de faisceaux quasi-optique commun à l'émission Tx et à la réception Rx, deux formateurs de faisceaux électroniques spécifiques distincts, respectivement dédiés à l'émission et à la réception, et des commutateurs comportant différentes positions respectivement aptes à sélectionner un port d'accès de faisceaux parmi plusieurs, chaque commutateur reliant sélectivement, selon sa position, une chaîne de contrôle de phase et d'amplitude du formateur de faisceaux électronique dédié à l'émission, respectivement à la réception, à l'un des ports d'émission, respectivement

de réception, de chaque formateur de faisceaux quasi-optique.

[0016] Avantageusement, les ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés et reliés à un même formateur de faisceaux électronique, peuvent avoir une direction d'orientation identique et couvrir un secteur géographique identique.

[0017] Alternativement, une première partie des ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés, peuvent couvrir un premier secteur géographique et une deuxième partie des ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés, peuvent couvrir un deuxième secteur géographique adjacent au premier secteur géographique.

[0018] Avantageusement, le dispositif de combinaison peut être constitué par un combineur/diviseur comportant N_x entrées respectivement reliées aux N_x chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et une sortie de faisceaux.

[0019] Avantageusement, le dispositif de combinaison peut comporter une dérivation pour scinder chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude en plusieurs voies différentes, chaque voie comportant un déphaseur dédié.

[0020] Avantageusement, le dispositif de combinaison peut être constitué par un formateur de faisceaux quasi-optique en technologie PCB comportant N_x entrées respectivement reliées aux N_x chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et plusieurs sorties de faisceaux.

[0021] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma synoptique d'un exemple de formateur de faisceaux électronique, selon l'art antérieur ;
- figure 2 : un schéma synoptique, en vue de côté, d'un exemple de formateur de faisceaux hybride multifaisceaux, selon l'invention ;
- figure 3 : un schéma, en perspective, de quatre formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés, selon l'invention ;
- figure 4 : un schéma, en vue de dessus, d'un formateur de faisceaux quasi-optique, selon l'invention ;
- figure 5 : un schéma synoptique partiel d'un exemple de formateur de faisceaux hybride dans lequel les fonctions des formateurs de faisceaux électroniques sont détaillées, selon l'invention ;
- figures 6a, 6b, 6c: trois schémas, respectivement en coupe longitudinale, en vue de dessus et en vue de dessous, d'un formateur de faisceaux quasi-optique comportant des ports dédiés à la réception Rx et des ports dédiés à l'émission Tx, selon l'invention ;

- figure 7 : une vue en coupe longitudinale, d'un exemple de trois formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés munis d'un radome commun équipé de deux surfaces partiellement réfléchissantes, selon l'invention ;
- figure 8a : architecture d'antenne pour un terminal utilisateur asservi sur un satellite, apte à former un faisceau d'émission et un faisceau de réception avec sélection de la direction d'orientation du faisceau, selon l'invention ;
- figure 8b : un exemple de faisceaux formés par le formateur de faisceaux hybride, dans le cas de la sélection, dans deux formateurs de faisceaux quasi-optiques adjacents, de ports d'accès de faisceaux couvrant des secteurs géographiques adjacents, selon l'invention ;
- figure 9 : architecture d'antenne multifaisceaux d'émission et de réception avec sélection de la direction d'orientation des faisceaux, dans le cas où les faisceaux couvrent un secteur géographique prédéterminé, selon l'invention ;
- figure 10 : architecture d'antenne multifaisceaux d'émission et de réception avec sélection de la direction d'orientation des faisceaux, dans le cas où chaque formateur de faisceaux électronique comporte plusieurs voies de déphasage différentes, selon l'invention ;
- figure 11 : architecture d'antenne multifaisceaux d'émission et de réception avec sélection de la direction d'orientation des faisceaux, dans le cas où chaque formateur de faisceaux électronique comporte un formateur de faisceaux quasi-optique en technologie PCB, selon l'invention.

[0022] La nouvelle architecture d'antenne active à formation de faisceaux reconfigurable selon l'invention comporte un formateur de faisceaux hybride constitué d'au moins deux formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires empilés les uns au-dessus des autres, et d'au moins un formateur de faisceaux électronique planaire connecté sur un port respectif de chaque formateur de faisceaux quasi-optique planaire. Chaque formateur de faisceaux quasi-optique est apte à former des faisceaux selon une première direction de l'espace parallèle au plan du formateur de faisceaux quasi-optique. Le formateur de faisceaux électronique est apte à former les faisceaux selon une deuxième direction de l'espace, orthogonale à la première direction.

[0023] Dans l'exemple représenté sur la figure 2, le formateur de faisceaux hybride comporte N_y formateurs de faisceaux quasi-optiques 101, 102,..., 10i,..., 10N_y, empilés les uns au-dessus des autres, et N_x formateurs de faisceaux électroniques 201, ..., 20N_x, où N_x et N_y sont des nombres entiers supérieurs à un. Par exemple, sur la figure 3, N_y est égal à quatre et sur la figure 5, N_x et N_y sont égaux à deux.

[0024] Comme représenté sur les figures 2, 3 et 4, chaque formateur de faisceaux quasi-optique comporte un

guide d'onde 10 à plaques parallèles (en anglais : parallel guide plate) constitué de deux plaques métalliques parallèles 11, 12, espacées entre elles, une lentille 13 intégrée dans le guide d'onde 10, entre les deux plaques métalliques, My cornets internes 141, 142,..., 14k,...14My, distribués périodiquement côte à côte le long d'un axe focal de la lentille 13, où My est supérieur ou égal à 2, My ports d'accès de faisceaux 161, 162,..., 16k,...16My, respectivement associés aux My cornets internes et connectés à une première extrémité du guide d'onde 10 et une ouverture rayonnante linéaire 15 aménagée à une deuxième extrémité du guide d'onde 10. L'ouverture rayonnante linéaire 15 peut être associée à un cornet linéaire ou à un radome commun à tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques du formateur de faisceaux hybride. Le formateur de faisceaux quasi-optique permet de focaliser, selon la première direction de l'espace, les signaux reçus par l'ouverture rayonnante linéaire 15, sur les My ports d'accès de faisceaux 161, 162,..., 16k,...16My, en fonction de la direction d'arrivée de ces signaux reçus. La première direction de l'espace est parallèle au plan des plaques métalliques 11, 12 des guides d'onde des formateurs de faisceaux quasi-optiques. La lentille 13 peut être une lentille optique répartie dans une grande partie du volume du guide d'onde 10 à plaques parallèles, telle que par exemple du type lentille de Rotman ou du type lentille à gradient d'indice, par exemple une lentille de Luneberg. Alternativement, la lentille 13 peut être une lentille métallique à gradient de retards localisée dans une zone limitée du guide d'onde à plaques parallèles comme le montre par exemple la lentille 13 illustrée sur la figure 2 et sur la figure 4, qui s'étend transversalement dans une zone du guide d'onde située devant l'ouverture rayonnante linéaire 15. Le formateur de faisceaux quasi-optique peut en outre comporter un dispositif focalisant, par exemple un réflecteur parabolique, intégré transversalement dans le guide d'onde 10, entre les deux plaques parallèles. Dans ce cas le formateur de faisceaux quasi-optique a une structure appelée classiquement pillbox.

[0025] Chaque formateur de faisceaux électronique 201, ..., 20Nx comporte Ny ports d'entrée respectivement connectés aux Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques 101, 102,..., 10i,..., 10Ny, chaque formateur de faisceaux électronique 201,..., 20Nx comportant Mx sorties aptes à délivrer Mx faisceaux différents, où Mx est supérieur ou égal à un. Chaque formateur de faisceaux électronique 201, ..., 20Nx est relié à un port d'accès de faisceaux sélectionné de chacun des Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques et applique sur les signaux issus des Ny ports d'accès de faisceaux correspondants, un contrôle de phase et d'amplitude, puis recombine électroniquement les Ny signaux délivrés par ledit port d'accès de faisceaux de chacun des Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques pour former Mx faisceaux selon la deuxième direction de l'espace orthogonale à la première direction. Pour réaliser l'interconnexion entre chacun des My ports d'accès de faisceaux des Ny formateurs

de faisceaux quasi-optiques et les Nx formateurs de faisceaux électroniques, il faut que le nombre My de ports d'accès de faisceaux de chaque formateur de faisceaux quasi-optique soit égal au nombre Nx de formateurs de faisceaux électroniques. La formation de faisceaux électronique est reconfigurable par modification de la loi de phase et d'amplitude appliquée sur chaque port d'accès de faisceaux des formateurs de faisceaux quasi-optiques. Les formateurs de faisceaux électroniques permettent une reconfiguration, selon la deuxième direction de l'espace, des faisceaux formés dans la première direction par les formateurs de faisceaux quasi-optiques.

[0026] Par rapport à un formateur de faisceaux électronique classique portant sur un réseau d'éléments rayonnants à deux dimensions, cette formation de faisceaux hybride permet de réduire considérablement le nombre de signaux sur lesquels un contrôle de phase et d'amplitude doit être appliqué, puisque pour chaque formateur de faisceaux électronique, le contrôle de phase et d'amplitude ne porte que sur Ny ports d'accès de faisceaux issus de chacun des Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques au lieu de porter sur Nx*Ny' éléments rayonnants d'un réseau d'éléments rayonnants à deux dimensions, où Nx' serait le nombre d'éléments rayonnants selon un premier axe X et Ny' serait le nombre d'éléments rayonnants selon un deuxième axe Y.

[0027] L'exemple de la figure 5 illustre un schéma synoptique simplifié, en réception, d'un exemple de formateur de faisceaux hybride dans lequel seuls deux formateurs de faisceaux quasi-optiques et deux formateurs de faisceaux électroniques sont représentés et dans lequel un seul faisceau est délivré en sortie de chaque formateur de faisceaux électronique. Dans cet exemple, chaque formateur de faisceaux électronique 201,..., 20Nx comporte un dispositif de combinaison 34 planaire, par exemple un combineur de type chandelier, apte à fonctionner, à la réception, en combineur de puissance, et Ny chaînes de contrôle de phase et d'amplitude 221, ..., 22Ny respectivement reliées sur des entrées du dispositif de combinaison 34 pour former les faisceaux en sortie du dispositif de combinaison 34. Les Ny chaînes de contrôle de phase et d'amplitude 221, ..., 22Ny de chaque formateur de faisceaux électronique sont respectivement reliées à un port d'accès de faisceaux 161,..., 16Ny correspondant de chaque formateur de faisceaux quasi-optique 101,..., 10Ny. Ce formateur de faisceaux électronique est donc particulièrement simple et réalisable car il ne comporte que des combinaisons de Ny signaux délivrés sur Ny ports d'accès de faisceaux des Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques. Chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude 221,..., 22Ny comporte en série, un filtre 30 connecté à un port d'accès de faisceaux 16i,..., 16Ny d'un formateur de faisceaux quasi-optique 101,..., 10Ny, un amplificateur 31, ainsi qu'un atténuateur variable 33 et un déphaseur variable 32 permettant d'appliquer un contrôle de phase et d'amplitude aux signaux issus du port d'accès de faisceaux correspondant de chacun des Ny formateurs de faisceaux quasi-optiques. Sur

la figure 5, il n'y a qu'un seul faisceau formé en sortie du dispositif de combinaison 34, mais, selon l'application souhaitée, il est bien entendu possible de former plusieurs faisceaux en utilisant des dispositifs de combinaison/division plus complexes ou des formateurs de faisceaux quasi-optiques en technologie SIW (en anglais : Substrate Integrated Waveguide) réalisés sous forme de circuits imprimés PCB (en anglais : Printed Circuit Board) tels qu'illustrés par exemple sur les modes de réalisation des figures 10 et 11 décrites plus loin.

[0028] Le formateur de faisceaux quasi-optique présente l'avantage de fonctionner dans une très large bande de fréquences car il propage le mode de propagation TEM (Transverse Electro Magnétique) qui est non dispersif en fréquences. Il peut donc être utilisé pour propager des signaux dans deux sous-bandes de fréquences très séparées, comme par exemple des bandes d'émission Tx et de réception Rx dans les bandes Ka et Ku. Dans ce cas, pour réaliser une antenne d'émission et de réception, l'invention consiste en outre, dans chaque formateur de faisceaux quasi-optique, à aménager des ports d'émission Tx, et de réception Rx distincts, respectivement dédiés à l'émission Tx et à la réception Rx, et à munir chaque port Tx, Rx de filtres respectifs respectivement centrés sur les bandes de fréquences d'émission et de réception pour séparer les signaux d'émission et de réception. La figure 6a représente un exemple d'aménagement de deux ports d'émission 16k1 et de réception 16k2 en extrémité d'un guide d'onde 10 d'un formateur de faisceaux quasi-optique. Sur cette figure 6a, les deux ports Tx, Rx sont munis de filtres 181, 182 correspondants et le guide d'onde est pourvu d'une extrémité élargie permettant de loger les deux ports Tx et Rx empilés l'un au-dessus de l'autre. Les deux ports Tx, Rx distincts peuvent être associés à des cornets distincts, internes au formateur de faisceaux quasi-optique. La taille physique de l'ouverture des cornets internes est différente pour les deux sous-bandes de fréquences d'émission et de réception, de sorte à avoir une même dimension normalisée par la longueur d'onde centrale correspondant à chaque sous-bande de fréquences. A titre d'exemple non limitatif, pour un fonctionnement dans la bande Ka, dans laquelle la fréquence centrale de réception Rx est égale à 30 GHz et la fréquence centrale d'émission Tx est égale à 20 GHz, il est possible de disposer une première rangée de trois cornets de réception 14k2 côte à côte le long de l'axe focal de la lentille du formateur de faisceaux quasi-optique et dans le même encombrement, de disposer une deuxième rangée de deux cornets d'émission 14k1 côte à côte le long de l'axe focal de la lentille du formateur de faisceaux quasi-optique, comme le montrent les deux aménagements illustrés sur la figure 6b, les première et deuxième rangées étant empilées à l'intérieur du guide d'onde 10 à plaques parallèles. Dans cette configuration, les faisceaux élaborés à l'émission Tx et à la réception Rx se recoupent au même niveau et il y a 3/2 fois plus de faisceaux de réception Rx que de faisceaux d'émission Tx sur le même

secteur angulaire couvert par le formateur de faisceau quasi-optique.

[0029] Lorsque les sous-bandes de fréquences d'émission et de réception sont très séparées l'une de l'autre, il peut y avoir apparition de lobes de réseau lors de la formation électronique des faisceaux. Ce problème est dû à la largeur d'ouverture en sortie des cornets linéaires du formateur de faisceaux quasi-optique, qui doivent avoir une ouverture dont la taille maximale correspond à une fraction de la longueur d'onde et qui ne sont donc pas adaptés pour un fonctionnement dans les deux sous-bandes de fréquences différentes Rx, Tx lorsqu'elles sont très éloignées. Pour dimensionner de façon optimale les ouvertures rayonnantes linéaires de chaque formateur de faisceaux quasi-optique, l'invention peut consister en outre, à supprimer les cornets linéaires et à les remplacer par un radome partiellement réfléchissant unique, commun à tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques, et connecté à toutes les ouvertures rayonnantes linéaires des formateurs de faisceaux quasi-optiques, comme représenté sur l'exemple de la figure 7 qui concerne le cas de la mise en réseau de trois formateurs de faisceaux quasi-optiques. Sur cette figure 7, le radome 70 comporte une première surface partiellement réfléchissante 71 dimensionnée pour la sous-bande de fréquences de réception et une deuxième surface partiellement réfléchissante 72 dimensionnée pour la sous-bande de fréquences d'émission. Les deux surfaces partiellement réfléchissantes sont respectivement disposées en sortie des ouvertures rayonnantes linéaires des différents formateurs de faisceaux quasi-optiques, à une distance correspondant à la longueur d'onde centrale respective des deux sous-bandes de fréquences. Les deux surfaces réfléchissantes répartissent les signaux radiofréquences, respectivement en réception Rx et en émission Tx. Afin d'obtenir la même directivité en réception et en émission, en sortie des deux surfaces réfléchissantes les ouvertures rayonnantes sont de largeurs différentes pour les deux sous-bandes de fréquences Rx et Tx, l'ouverture rayonnante en émission étant plus grande que l'ouverture rayonnante en réception.

[0030] En outre, l'architecture de l'antenne peut être différente selon que le fonctionnement est en émission ou en réception. Notamment, sur l'exemple de la figure 7, seuls deux formateurs de faisceaux quasi-optiques sur trois comportent deux ports d'accès de faisceaux équipés de filtres respectifs 181, 182 et fonctionnent donc dans les deux sous-bandes Rx, Tx. Le formateur de faisceaux quasi-optique intermédiaire ne comporte qu'un seul port d'accès de faisceaux équipé d'un filtre 182 dédié à la réception et ne fonctionne donc que dans la sous-bande Rx. Ce formateur de faisceaux quasi-optique intermédiaire, comporte un deuxième filtre 182 logé dans l'ouverture rayonnante linéaire 15 afin de sélectionner, au niveau de l'ouverture rayonnante linéaire correspondante, uniquement la bande de réception.

[0031] Différentes applications sont possibles. Le formateur de faisceaux hybride de l'invention peut être uti-

lisé dans une antenne pour un terminal utilisateur nécessitant de délivrer un faisceau asservi sur un satellite. Pour réduire le coût de cette application, il est particulièrement intéressant que l'antenne fonctionne en émission Tx et en réception Rx. Un exemple d'architecture d'une telle antenne est représenté sur la figure 8a. Seuls deux formateurs de faisceaux quasi-optiques 101, 102 sont illustrés mais il peut y en avoir beaucoup plus que deux. Dans cet exemple, le formateur de faisceau hybride comporte au moins deux formateurs de faisceaux quasi-optiques communs à l'émission Tx et à la réception Rx, deux formateurs de faisceaux électroniques spécifiques distincts, respectivement dédiés à l'émission 201, et à la réception 203, et des commutateurs 211, 212, 231, 232 comportant différentes positions respectivement aptes à sélectionner, selon leur position, un port d'accès de faisceaux parmi plusieurs, les commutateurs reliant sélectivement, le formateur de faisceaux électronique 201, 203 dédié à l'émission, respectivement à la réception, à l'un des ports d'émission, respectivement de réception, de chaque formateur de faisceaux quasi-optique 101, 102 du formateur de faisceaux hybride. Le formateur de faisceaux quasi-optique, commun à l'émission Tx et à la réception Rx, préforme les faisceaux selon la première direction de l'espace, les deux formateurs de faisceaux électroniques spécifiques 201, 203, respectivement dédiés à l'émission et à la réception, forment les faisceaux selon la deuxième direction de l'espace, orthogonale à la première direction. Sur la figure 8a, chaque formateur de faisceaux électronique spécifique 201, 203 comporte deux chaînes 221, 222, 242, 243 de contrôle de phase et d'amplitude respectivement dédiées aux deux formateurs de faisceaux quasi-optiques 101, 102, chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude étant sélectivement reliée, par l'intermédiaire d'un commutateur à plusieurs positions 211, 212, 231, 232, à un port d'accès de faisceaux choisi du formateur de faisceaux quasi-optique respectif. Chaque commutateur comporte une entrée connectée à une chaîne de contrôle de phase et d'amplitude d'un formateur de faisceaux électronique et plusieurs sorties respectivement connectées à différents ports respectifs des différents cornets internes d'un formateur de faisceaux quasi-optique correspondant.

[0032] Les faisceaux préformés par le formateur de faisceau quasi-optique et délivrés sur les différents ports d'accès de faisceaux du formateur de faisceau quasi-optique ont des directions d'orientation différentes les unes des autres. Par conséquent, la direction de pointage du faisceau engendré par le formateur de faisceaux hybride peut être choisie, selon la position du commutateur, par sélection d'un port du formateur de faisceau quasi-optique parmi plusieurs.

[0033] Les ports d'accès, sélectionnés par les commutateurs dans tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés et reliés à un même formateur de faisceaux électronique, peuvent avoir une direction d'orientation identique et couvrir un secteur géographique identique. Dans ce cas, le formateur de faisceaux hybride

pointe dans le secteur géographique couvert par les ports d'accès correspondants de chaque formateur de faisceaux quasi-optique. Comme, pour chaque formateur de faisceaux quasi-optique, les secteurs géographiques couverts par deux ports d'accès adjacents se recoupent avec des atténuations pouvant atteindre entre 3 dB et 6 dB, le formateur de faisceau hybride présentera alors également une atténuation d'un même ordre de grandeur dans les deux directions correspondantes. Pour améliorer le gain de l'antenne incluant le formateur de faisceaux hybride, il est possible de pointer un faisceau dans une direction intermédiaire située entre deux secteurs géographiques adjacents. Pour cela, l'invention consiste à alterner les ports d'accès sélectionnés dans différents formateurs de faisceaux quasi-optiques successifs de sorte qu'une première partie des ports d'accès sélectionnés couvre un premier secteur géographique et une deuxième partie des ports d'accès sélectionnés couvre un deuxième secteur géographique, adjacent du premier secteur géographique. Le nombre de ports d'accès sélectionnés dans chacun des deux secteurs géographiques adjacents, dépend de la direction intermédiaire de pointage souhaitée pour le faisceau correspondant. La figure 8b illustre un exemple de pointage intermédiaire du faisceau situé entre deux faisceaux adjacents. Dans cette figure 8b, les deux ellipses 81, 82 représentées en traits pointillés représentent les deux faisceaux engendrés dans une première direction de l'espace, par deux formateurs de faisceaux quasi-optiques adjacents et les trois cercles 83, 84, 85 en traits pleins représentent les faisceaux délivrés en sortie du formateur de faisceaux hybride, après formation de faisceaux électronique dans la deuxième direction de l'espace, orthogonale à la première direction. Chacun des deux cercles extérieurs 83, 84 est obtenu par sélection, pour les deux formateurs de faisceaux quasi-optiques, des ports d'accès couvrant un premier secteur géographique, respectivement un deuxième secteur géographique adjacent au premier secteur géographique. Les deux cercles extérieurs correspondent donc à deux secteurs géographiques adjacents. Le cercle intermédiaire 85 situé entre les deux cercles extérieurs 83, 84 est obtenu par sélection, pour une première moitié, des ports d'accès couvrant le premier secteur géographique et, pour une deuxième moitié, des ports d'accès couvrant le deuxième secteur géographique adjacent au premier secteur géographique.

[0034] En outre, dans le cas où un dépointage important est souhaité, à ce dépointage du faisceau par sélection des ports du formateur de faisceau quasi-optique, il est possible d'ajouter un dépointage mécanique du formateur de faisceaux quasi-optique afin de positionner le formateur de faisceaux quasi-optique dans la bonne direction et de réduire ainsi la complexité de la formation de faisceaux électronique.

[0035] Le formateur de faisceaux hybride de l'invention peut aussi être utilisé dans une antenne multifaisceaux d'émission et de réception comme représenté sur l'exemple d'antenne de la figure 9 dans le cas où les spots

couvrent un secteur géographique prédéterminé. Dans cet exemple, les formateurs de faisceaux quasi-optiques sont identiques à celui décrit en liaison avec la figure 8a. Seul le nombre de formateurs de faisceaux électroniques spécifiques dédiés à l'émission et à la réception est augmenté en fonction du nombre de faisceaux à élaborer. Sur la figure 9, deux faisceaux sont élaborés à l'émission et deux faisceaux sont élaborés à la réception. Pour chaque faisceau à élaborer, si le formateur de faisceaux quasi-optique comporte N_y étages, avec N_y égal à deux sur l'exemple de la figure 8a, le formateur de faisceaux électronique comporte N_y chaînes de contrôle de phase et d'amplitude, chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude dédiée à l'émission, respectivement à la réception, étant sélectivement reliée, par l'intermédiaire d'un commutateur à plusieurs positions différentes, par exemple quatre positions sur la figure 9, à un port choisi d'un formateur de faisceaux quasi-optique respectif, les ports pouvant être sélectionnés à l'émission, respectivement à la réception, par un premier commutateur étant différents des ports pouvant être sélectionnés à l'émission, respectivement à la réception, par un deuxième commutateur. Dans le cas d'une application pour laquelle il est nécessaire de réaliser n'importe quel pointage à partir de n'importe lequel des ports du formateur de faisceaux quasi-optique, la sélection des ports sera plus importante et les commutateurs seront beaucoup plus complexes. Plus la sélection des ports est complexe, plus il y a des pertes de puissance. Pour masquer les pertes de puissance, il est alors possible d'ajouter des amplificateurs distribués entre les commutateurs du formateur de faisceaux quasi-optique.

[0036] Dans une autre application à une antenne multifaisceaux montée à bord d'un satellite d'une constellation de satellites défilant en orbite basse ou moyenne, il est nécessaire de pouvoir réaliser n'importe quel pointage de l'antenne à partir de n'importe lequel des ports d'accès de faisceaux des formateurs de faisceaux quasi-optiques. Dans ce cas, plusieurs faisceaux doivent être formés en sortie de chaque formateur de faisceaux électronique. Pour cela, comme représenté par exemple sur la figure 10, chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude 221, 222 connectée aux formateurs de faisceaux quasi-optiques peut comporter une dérivation 52 pour scinder la chaîne de contrôle de phase et d'amplitude en plusieurs voies différentes 221a, 221b, 222a, 222b, chaque voie comportant un déphaseur 50a, 50b, 51a, 51b dédié. Cela permet d'attribuer différents déphasages à chaque port d'accès de faisceaux d'un formateur de faisceaux quasi-optique. En sortie des déphaseurs, un combineur/diviseur de puissance recombine les voies de façon à délivrer plusieurs faisceaux différents F_a , F_b correspondant à des lois de phase différentes. Sur l'exemple de la figure 10, deux faisceaux sont délivrés en sortie de chaque formateur de faisceau électronique, mais bien entendu cela n'est pas limitatif, en utilisant un nombre de voies supérieur à deux, il est possible de former un nombre de faisceaux supérieur à deux.

[0037] Alternativement, comme représenté sur la figure 11, pour réaliser des faisceaux multiples en sortie de chaque formateur de faisceaux électronique, chaque formateur de faisceaux électronique peut inclure un formateur quasi-optique 60 en technologie PCB comportant plusieurs sorties de faisceaux correspondant à des déphasages différents et plusieurs entrées auxquelles sont reliées les chaînes actives 221, 222. Le formateur de faisceaux quasi-optique en technologie PCB est alors utilisé à la place du combineur/diviseur de signaux représenté sur la figure 8.

Dans les deux modes de réalisation représentés sur les figures 10 et 11, les faisceaux ainsi obtenus sont alors inclinés uniquement en fonction du déphasage appliqué sur chaque voie. Dans le cas de la figure 10, les faisceaux formés sont indépendants entre eux, et peuvent être pointés dans des directions quelconques. Dans le cas de la figure 11, une grappe de faisceaux est réalisée, et cette grappe est orientable et les faisceaux ne sont pas indépendants entre eux.

[0038] Les formateurs de faisceaux quasi-optiques peuvent être montés avec leur axe longitudinal orienté parallèlement à l'axe orthogonal au défilement du satellite afin de préformer une rangée de faisceaux selon cet axe orthogonal et de recombinaison les ports de ces formateurs de faisceaux quasi-optiques avec le formateur de faisceaux électronique. Cela permet de suivre une même zone géographique au sol au cours du défilement du satellite et permet également de dépointer l'ensemble des faisceaux formés selon l'axe de défilement lorsque le satellite défile au-dessus d'une zone à faible trafic, comme les océans.

Revendications

1. Architecture d'antenne active à formation de faisceaux reconfigurable, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un formateur de faisceaux hybride constitué d'une part,

- N_y formateurs de faisceaux quasi-optiques planaires empilés, où N_y est un nombre entier supérieur à un, chaque formateur de faisceaux quasi-optique comportant un guide d'onde (10) à plaques parallèles (11, 12) ayant deux extrémités respectivement munies d'une ouverture rayonnante linéaire (15) et de M_y ports d'accès de faisceaux (161, 162, ..., 16k, ..., 16My), une lentille (13) intégrée dans le guide d'onde à plaques parallèles, des cornets internes (141, 142, ..., 14k, ..., 14My) distribués périodiquement côte à côte le long d'un axe focal de la lentille (13), les ports d'accès de faisceaux (161, 162, ..., 16k, ..., 16My) étant respectivement associés aux cornets internes (141, 142, ..., 14k, ..., 14My), chaque formateur de faisceaux quasi-optique étant apte à former des faisceaux dans deux bandes

- de fréquences séparées, respectivement d'émission et de réception, selon une première direction de l'espace parallèle au plan des guides d'ondes à plaques parallèles, et d'autre part, - d'au moins un formateur de faisceaux électronique planaire (201, 202, 203,...20Nx) comportant Ny chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et un dispositif de combinaison (34) comportant Ny entrées respectivement reliées aux Ny chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et au moins une sortie de faisceaux chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude étant connectée à un port d'accès de faisceaux respectif de chaque formateur de faisceaux quasi-optique, le formateur de faisceaux électronique étant apte à former des faisceaux selon une deuxième direction de l'espace, orthogonale à la première direction.
2. Architecture d'antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'elle** comporte en outre des commutateurs (211, 212, 231, 232) aptes à sélectionner, dans chaque formateur de faisceaux quasi-optique, un port parmi tous les ports d'accès de faisceaux disponibles, chaque commutateur comportant une entrée connectée à une chaîne de contrôle de phase et d'amplitude du formateur de faisceaux électronique et plusieurs sorties respectivement connectées à plusieurs ports d'accès de faisceaux respectifs du formateur de faisceaux quasi-optique correspondant.
 3. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les ports d'accès de faisceaux (161, 162,..., 16k,...16M) sont constitués d'une première rangée de ports d'émission (16k1) disposés côte à côte le long de l'axe focal de la lentille (13) et d'une deuxième rangée de ports de réception (16k2) disposés côte à côte le long de l'axe focal de la lentille (13), la première et la deuxième rangées étant empilées l'une au-dessus de l'autre, les ports d'émission (16k1) et les ports de réception (16k2) étant distincts et de tailles différentes, chaque port d'émission, respectivement de réception, étant muni d'un filtre (181, 182) respectif centré sur la bande de fréquences d'émission, respectivement de réception.
 4. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** les ouvertures rayonnantes linéaires (15) des différents formateurs de faisceaux quasi-optiques sont reliées en réseau à un radome (70) partiellement réfléchissant unique, commun à tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques, le radome (70) comportant une première surface partiellement réfléchissante (71) dimensionnée pour la sous-bande de fréquences de réception et une deuxième surface partiellement réfléchissante (72) dimensionnée pour la sous-bande de fréquences d'émission, les première et deuxième surfaces partiellement réfléchissantes étant respectivement disposées en sortie des ouvertures rayonnantes linéaires, à une distance correspondant à une longueur d'onde centrale respective des deux sous-bandes de fréquences d'émission et de réception.
 5. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 3 ou 4, **caractérisée en ce que** le formateur de faisceau hybride comporte un formateur de faisceaux quasi-optique (101, 102) commun à l'émission Tx et à la réception Rx, deux formateurs de faisceaux électroniques spécifiques (201, 203) distincts, respectivement dédiés à l'émission et à la réception et des commutateurs (211, 212, 231, 232) comportant différentes positions respectivement aptes à sélectionner un port d'accès de faisceaux parmi plusieurs, chaque commutateur reliant sélectivement, selon sa position, une chaîne de contrôle de phase et d'amplitude du formateur de faisceaux électronique dédié à l'émission, respectivement à la réception, à l'un des ports d'émission, respectivement de réception, de chaque formateur de faisceaux quasi-optique.
 6. Architecture d'antenne selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** les ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans tous les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés et reliés à un même formateur de faisceaux électronique, ont une direction d'orientation identique et couvrent un secteur géographique identique.
 7. Architecture d'antenne selon la revendication 5, **caractérisée en ce qu'une** première partie des ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés, couvre un premier secteur géographique et une deuxième partie des ports d'accès de faisceaux, sélectionnés par les commutateurs dans les formateurs de faisceaux quasi-optiques empilés, couvre un deuxième secteur géographique adjacent au premier secteur géographique.
 8. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** le dispositif de combinaison (34) est constitué par un combineur/diviseur comportant Nx entrées respectivement reliées aux Nx chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et une sortie de faisceaux.
 9. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** le dispositif de combinaison (34) comporte une dérivation (52) pour scinder chaque chaîne de contrôle de phase et d'amplitude en plusieurs voies différentes (221a, 221b, 222a, 222b), chaque voie comportant un déphaseur

(50a, 50b, 51a, 51b) dédié.

10. Architecture d'antenne selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** le dispositif de combinaison (34) est constitué par un formateur de faisceaux quasi-optique en technologie PCB comportant Nx entrées respectivement reliées aux Nx chaînes de contrôle de phase et d'amplitude et plusieurs sorties de faisceaux.

Patentansprüche

1. Aktive Antennenarchitektur mit Formung umkonfigurierbarer Strahlen, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen hybriden Strahlformer umfasst, einerseits gebildet aus

- Ny gestapelten planaren quasioptischen Strahlformern, wobei Ny eine ganze Zahl größer als eins ist, wobei jeder quasioptische Strahlformer Folgendes umfasst: einen Wellenleiter (10) mit parallelen Platten (11, 12) jeweils mit zwei Enden, ausgestattet mit einer linearen Strahlungsöffnung (15) und mit My Strahlzugangspunkten (161, 162, ..., 16k, ... 16My), eine Linse (13), die in den Wellenleiter mit parallelen Platten integriert ist, interne Hörner (141, 142, ..., 14k, ..., 14My), die periodisch Seite an Seite entlang einer Brennnachse der Linse (13) verteilt sind, wobei die Strahlungsöffnungen (161, 162, ..., 16k, ... 16My) jeweils mit den internen Hörnern (141, 142, ..., 14k, ..., 14My) assoziiert sind, wobei jeder quasioptische Strahlformer Strahlen in zwei separaten Frequenzbändern, jeweils zum Senden und zum Empfangen, gemäß einer ersten Richtung des Raums parallel zur Ebene der Wellenleiter mit parallelen Platten formen kann, und andererseits aus - wenigstens einem planaren elektronischen Strahlformer (201, 202, 203, ... 20Nx), umfassend Ny Ketten zum Regeln von Phase und Amplitude und eine Kombinationsvorrichtung (34) mit Ny Eingängen, die jeweils mit den Ny Ketten zum Regeln von Phase und Amplitude und wenigstens einem Strahlenausgang verbunden sind, wobei jede Kette zum Regeln von Phase und Amplitude mit einem jeweiligen Strahlzugangspunkt von jedem quasioptischen Strahlformer verbunden ist, wobei der elektronische Strahlformer Strahlen gemäß einer zweiten Richtung des Raums orthogonal zur ersten Richtung bilden kann.

2. Antennenarchitektur nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ferner Schalter (211, 212, 231, 232) umfasst, die in jedem quasioptischen Strahlformer einen Port unter allen verfügbaren

Strahlzugangspunkten auswählen können, wobei jeder Schalter einen Eingang, der mit einer Kette zum Regeln von Phase und Amplitude des elektronischen Strahlformers verbunden ist, und mehrere Ausgänge umfasst, die jeweils mit mehreren jeweiligen Strahlzugangspunkten des entsprechenden quasioptischen Strahlformers verbunden sind.

3. Antennenarchitektur nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlzugangspunkte (161, 162, ..., 16k, ... 16M) von einer ersten Reihe von Sendepunkten (16k1) gebildet werden, die Seite an Seite entlang der Brennnachse der Linse (13) angeordnet sind, und einer zweiten Reihe von Empfangspunkten (16k2), die Seite an Seite entlang der Brennnachse der Linse (13) angeordnet sind, wobei die erste und zweite Reihe aufeinander gestapelt sind, wobei die Sendepunkte (16k1) und die Empfangspunkte (16k2) getrennt sind und unterschiedliche Größen haben, wobei jeder Sende- bzw. Empfangspunkt mit einem jeweiligen Filter (181, 182) ausgestattet ist, zentriert auf dem Sende- bzw. Empfangsfrequenzband.
4. Antennenarchitektur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die linearen Strahlungsöffnungen (15) der unterschiedlichen quasioptischen Strahlformer in einem Netzwerk mit einem einzigen teilweise reflektierenden Radom (70) verbunden sind, das allen quasioptischen Strahlformern gemein ist, wobei das Radom (70) eine erste teilweise reflektierende Fläche (71) aufweist, dimensioniert für das Empfangsfrequenzband, und eine zweite teilweise reflektierende Fläche (72), dimensioniert für das Sendefrequenzband, wobei die erste und zweite teilweise reflektierende Fläche jeweils am Ausgang der linearen Strahlungsöffnungen angeordnet sind, in einem Abstand, der einer jeweiligen zentralen Wellenlänge der zwei Sende- und Empfangsfrequenzbänder entspricht.
5. Antennenarchitektur nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der hybride Strahlformer einen gemeinsamen quasioptischen Strahlformer (101, 102) zum Senden Tx und Empfangen Rx, zwei separate spezifische elektronische Strahlformer (201, 203), die jeweils zum Senden und zum Empfangen dediziert sind, und Schalter (211, 212, 231, 232) umfasst, die unterschiedliche Positionen haben, die jeweils einen Strahlzugangspunkt unter mehreren auswählen können, wobei jeder Schalter jeweils gemäß seiner Position eine Kette zum Regeln von Phase und Amplitude des zum Senden bzw. Empfangen dedizierten elektronischen Strahlformers mit einem der Sende- bzw. Empfangspunkte von jedem quasioptischen Strahlformer verbindet.

6. Antennenarchitektur nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die von den Schaltern in allen gestapelten und mit einem selben elektronischen Strahlformer verbundenen quasioptischen Strahlformern gewählten Strahlzugangsports eine identische Orientierungsrichtung haben und einen identischen geografischen Sektor abdecken. 5
7. Antennenarchitektur nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Teil der Strahlzugangsports, gewählt durch die Schalter in den gestapelten quasioptischen Strahlformern, einen ersten geografischen Sektor abdeckt, und ein zweiter Teil der Strahlzugangsports, gewählt durch die Schalter in den gestapelten quasioptischen Strahlformern, einen zweiten geografischen Sektor neben dem ersten geografischen Sektor abdeckt. 10
8. Antennenarchitektur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kombinationsvorrichtung (34) von einem Kombinator/Teiler mit Nx Einträgen gebildet wird, die jeweils mit den Nx Ketten zum Regeln von Phase und Amplitude und einem Strahlenausgang verbunden sind. 15
9. Antennenarchitektur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kombinationsvorrichtung (34) eine Ableitung (52) zum Aufspalten jeder Kette zum Regeln von Phase und Amplitude in mehrere unterschiedliche Kanäle (221a, 221b, 222a, 222b) umfasst, wobei jeder Kanal einen dedizierten Phasenschieber (50a, 50b, 51a, 51b) umfasst. 20
10. Antennenarchitektur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kombinationsvorrichtung (34) von einem quasioptischen Strahlformer in PCB-Technologie gebildet wird, umfassend Nx Einträge, die jeweils mit den Nx Ketten zum Regeln von Phase und Amplitude und mehreren Strahlenausgängen verbunden sind. 25

Claims

1. Active antenna architecture with reconfigurable beam formation, **characterised in that** it comprises a hybrid beamformer constituted of on the one hand, 30
- Ny stacked planar quasi-optical beamformers, where Ny is an integer greater than one, each quasi-optical beamformer comprising a waveguide (10) of parallel plates (11, 12) having two ends respectively provided with a linear radiating aperture (15) and My beam access ports (161, 162,..., 16k,... 16My), a lens (13) integrated into the waveguide of parallel plates, internal horns (141, 142,..., 14k,... 14My) distributed pe-

riodically side by side along a focal axis of the lens (13), the beam access ports (161, 162,..., 16k,... 16My) being respectively associated with internal horns (141, 142,..., 14k,... 14My), each quasi-optical beamformer being capable of forming beams in two separate frequency bands, transmission and reception respectively, according to a first direction in space parallel to the plane of the waveguides of parallel plates, and of on the other hand, 35

- at least one planar electronic beamformer (201, 202, 203,... 20Nx) comprising Ny phase and amplitude control chains and a combining device (34) comprising Ny inputs respectively linked to Ny phase and amplitude control chains and at least one beam output, each phase and amplitude control chain being connected to a respective beam access port of each quasi-optical beamformer, the electronic beamformer being capable of forming beams according to a second direction in space, orthogonal to the first direction. 40

2. Antenna architecture according to claim 1, **characterised in that** it further comprises switches (211, 212, 231, 232) capable of selecting, in each quasi-optical beamformer, a port from among all the available beam access ports, each switch comprising an input connected to a phase and amplitude control chain of the electronic beamformer and several outputs respectively connected to several respective beam access ports of the corresponding quasi-optical beamformer. 45

3. Antenna architecture according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** the beam access ports (161, 162,..., 16k,... 16M) are constituted of a first row of transmission ports (16k1) disposed side by side along the focal axis of the lens (13) and a second row of reception ports (16k2) disposed side by side along the focal axis of the lens (13), the first and second rows being stacked one on top of the other, the transmission ports (16k1) and reception ports (16k2) being distinct and of different sizes, each transmission port, or reception respectively, being provided with a respective filter (181, 182) centred on the transmission frequency band, or reception frequency band respectively. 50

4. Antenna architecture according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the linear radiating apertures (15) of the different quasi-optical beamformers are linked as an array to a single partially reflecting radome (70), common to all of the quasi-optical beamformers, the radome (70) comprising a first partially reflecting surface (71) dimensioned for the reception frequency sub-band and a second partially reflecting surface (72) dimensioned for the transmis-

sion frequency sub-band, the first and second partially reflecting surfaces being respectively disposed at the exit of the linear radiating apertures, at a distance corresponding to a respective central wavelength of the two transmission and reception frequency sub-bands.

chains and several beam outputs.

5. Antenna architecture according to one of claims 3 or 4, **characterised in that** the hybrid beamformer comprises a quasi-optical beamformer (101, 102) common to transmission Tx and reception Rx, two distinct specific electronic beamformers (201, 203), respectively dedicated to transmission and reception and switches (211, 212, 231, 232) comprising different positions respectively capable of selecting a beam access port from among several, each switch selectively linking, according to its position, a phase and amplitude control chain of the electronic beamformer dedicated to transmission, or reception respectively, to one of the transmission ports, or reception ports respectively, of each quasi-optical beam former.

5
10
15
20
6. Antenna architecture according to claim 5, **characterised in that** the beam access ports, selected by the switches in all the stacked quasi-optical beamformers and linked to a same electronic beamformer, have an identical direction of orientation and cover an identical geographical sector.

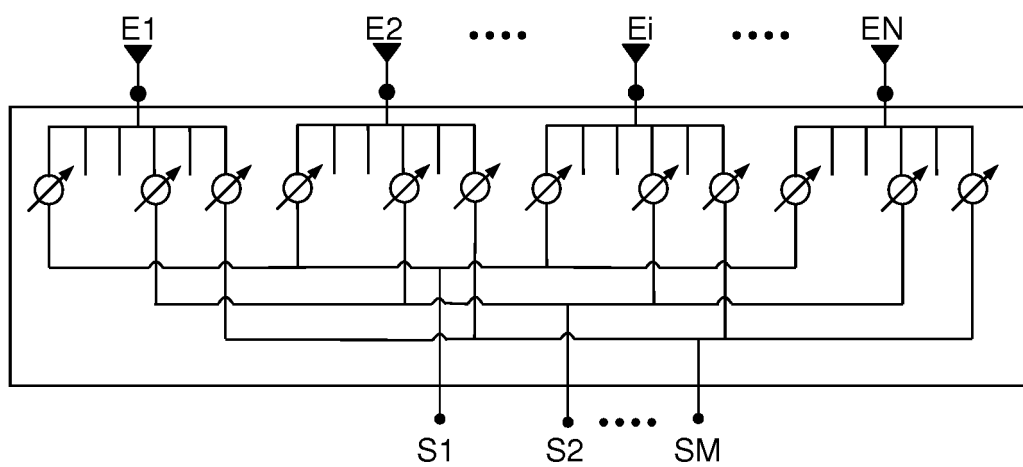
25
30
7. Antenna architecture according to claim 5, **characterised in that** a first part of the beam access ports, selected by the switches in the stacked quasi-optical beamformers, covers a first geographical sector and a second part of the beam access ports, selected by the switches in the stacked quasi-optical beamformers, covers a second geographical sector adjacent to the first geographical sector.

35
8. Antenna architecture according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the combining device (34) is constituted by a combiner/divider comprising Nx inputs respectively linked to Nx phase and amplitude control chains and a beam output.

40
45
9. Antenna architecture according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the combining device (34) comprises a bypass (52) to split each phase and amplitude control chain into several different channels (221a, 221b, 222a, 222b), each channel comprising a dedicated phase shifter (50a, 50b, 51a, 51b).

50
10. Antenna architecture according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the combining device (34) is constituted by a quasi-optical beamformer based on PCB technology comprising Nx inputs respectively linked to the Nx phase and amplitude control

55



ART ANTERIEUR

FIG.1

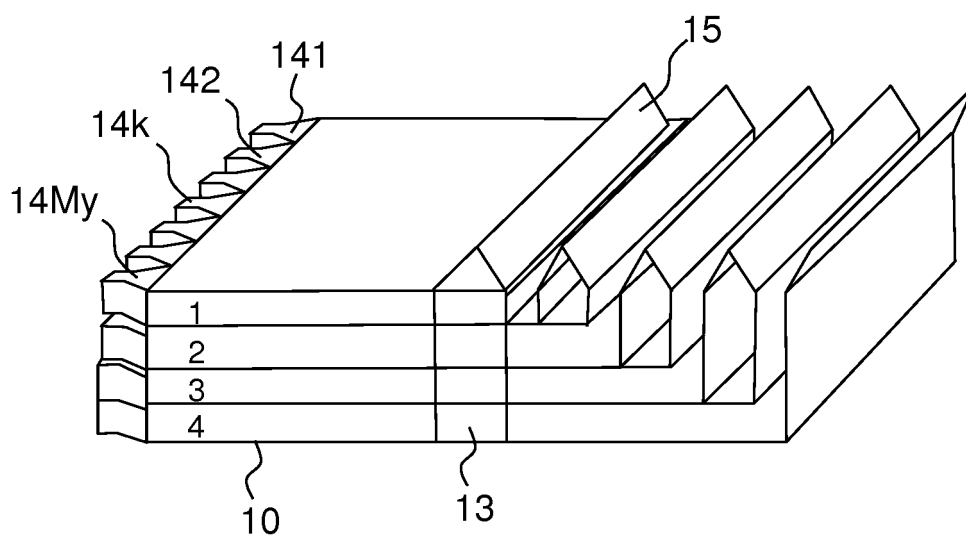


FIG.3

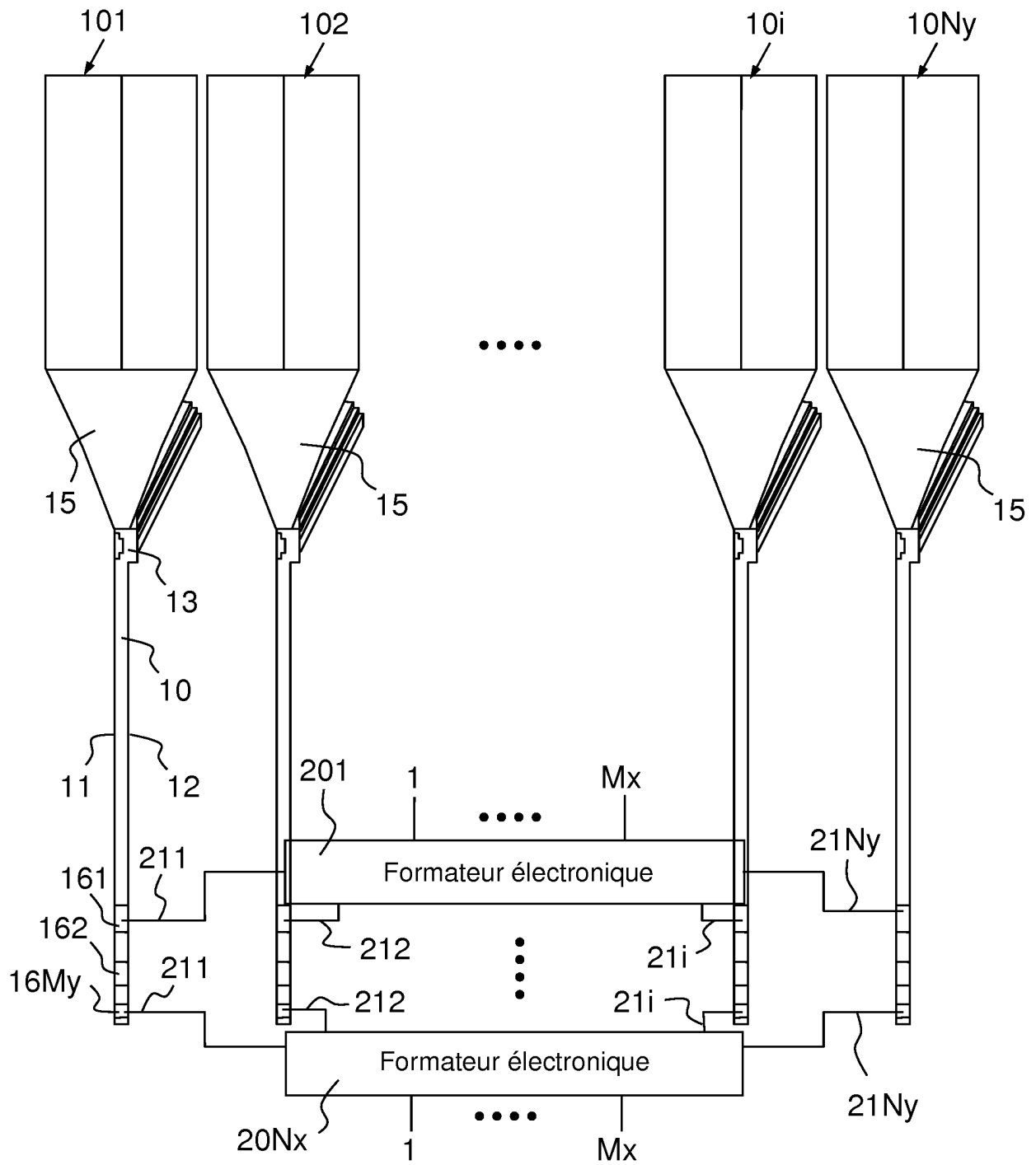


FIG.2

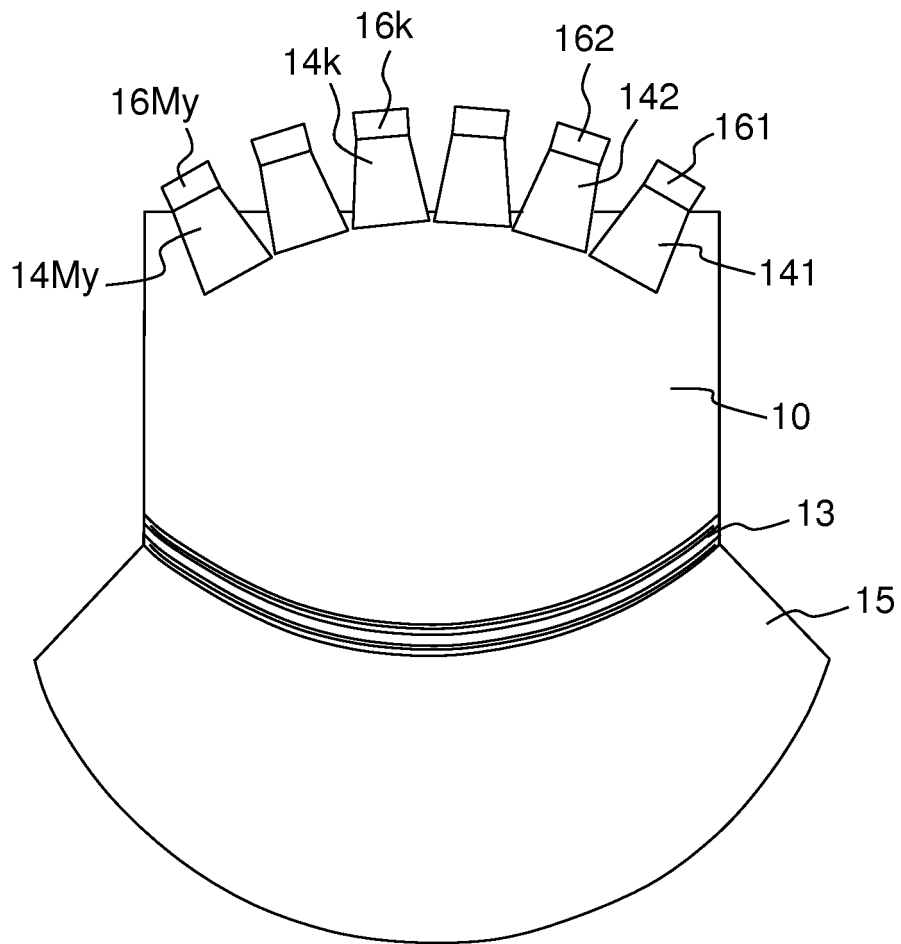


FIG.4

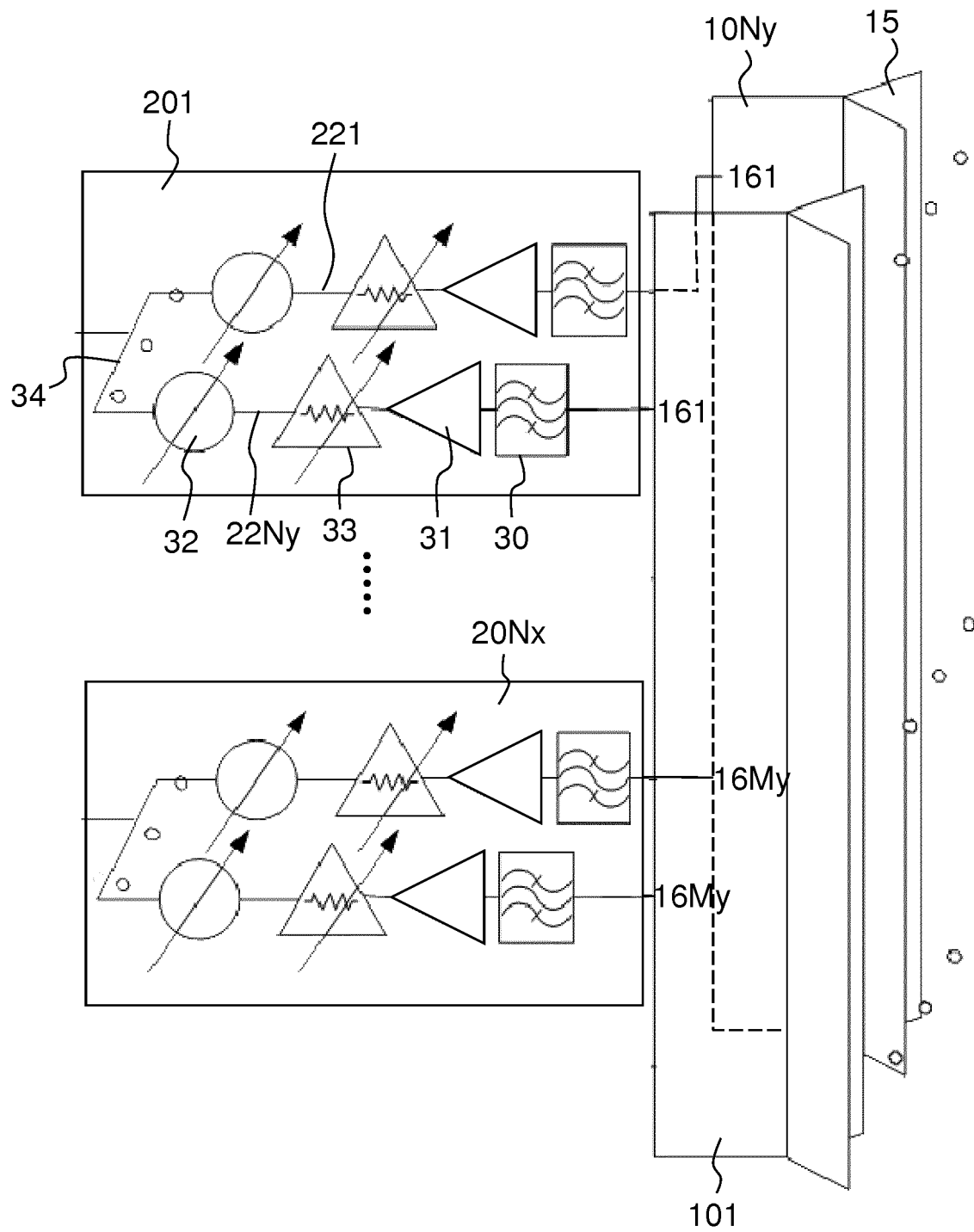


FIG.5

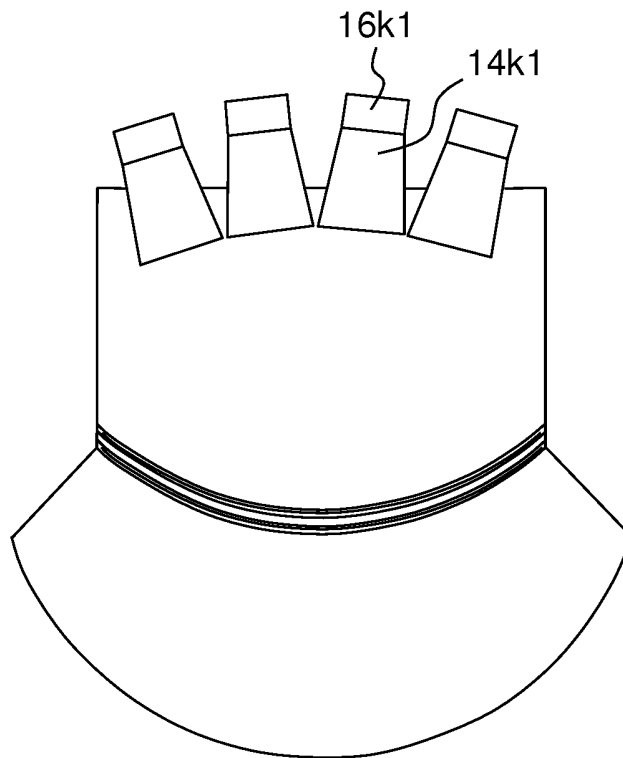


FIG. 6b

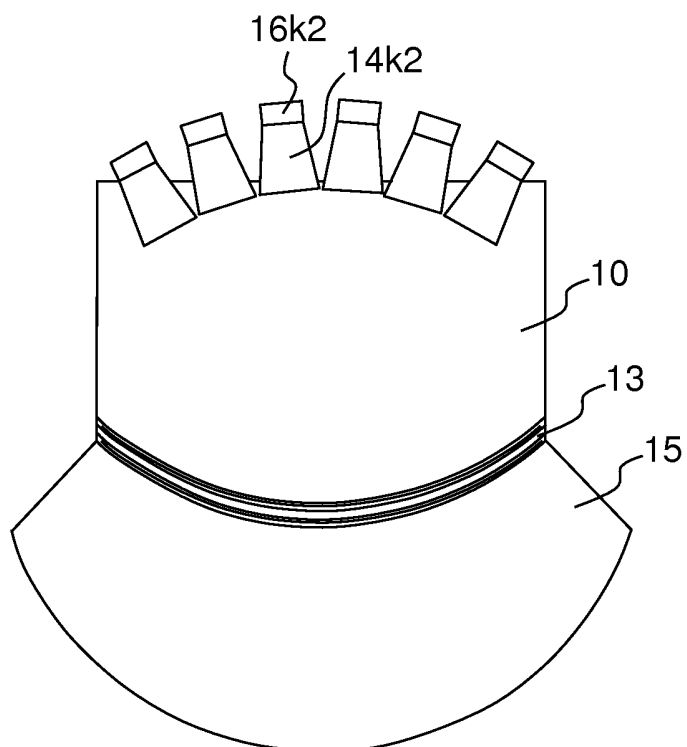


FIG. 6c

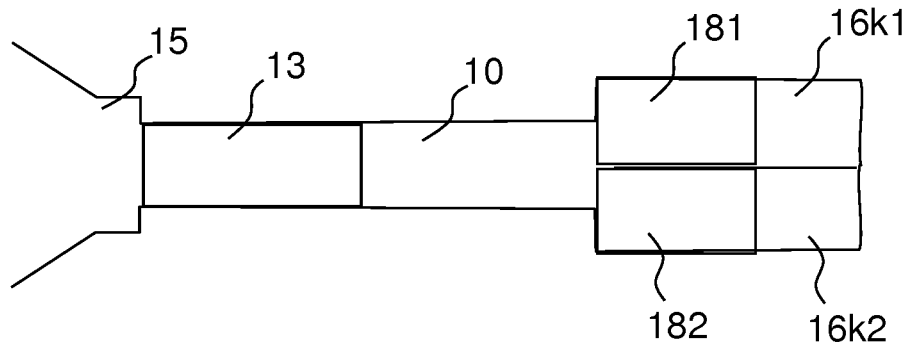


FIG. 6a

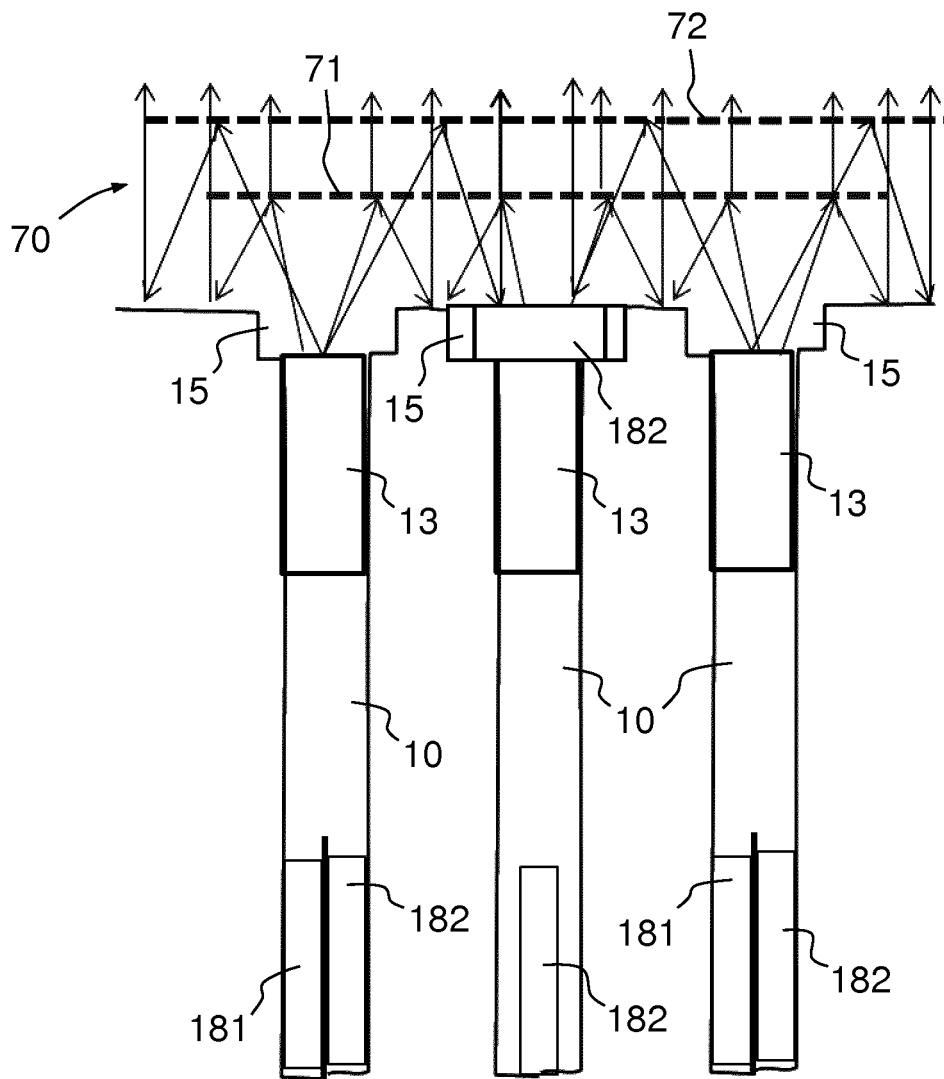


FIG. 7

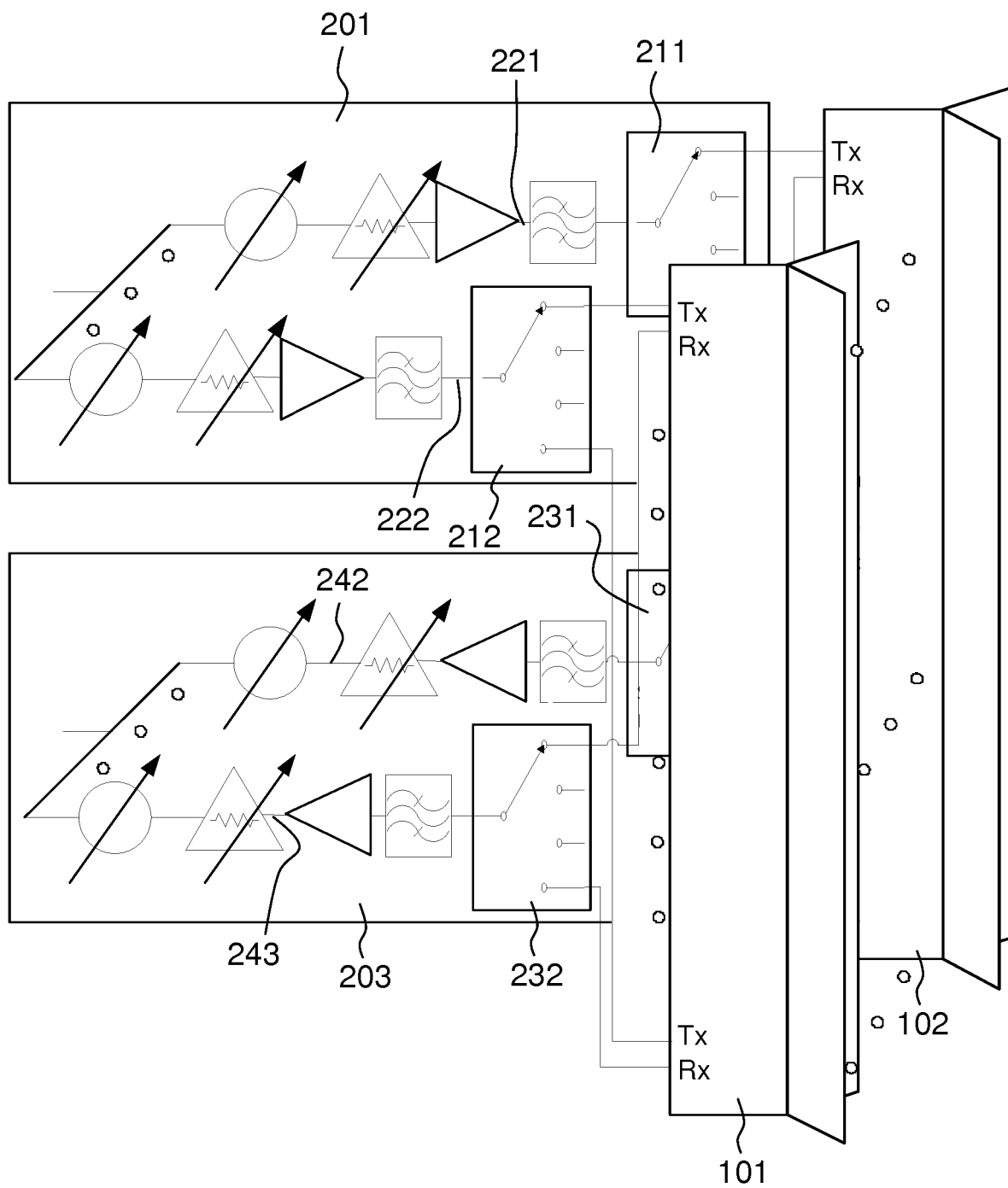


FIG.8a

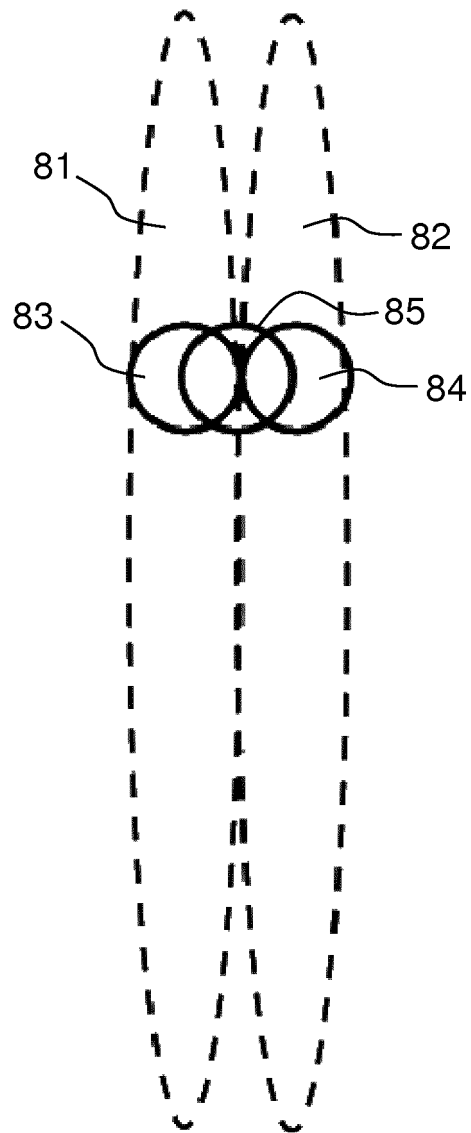


FIG. 8b

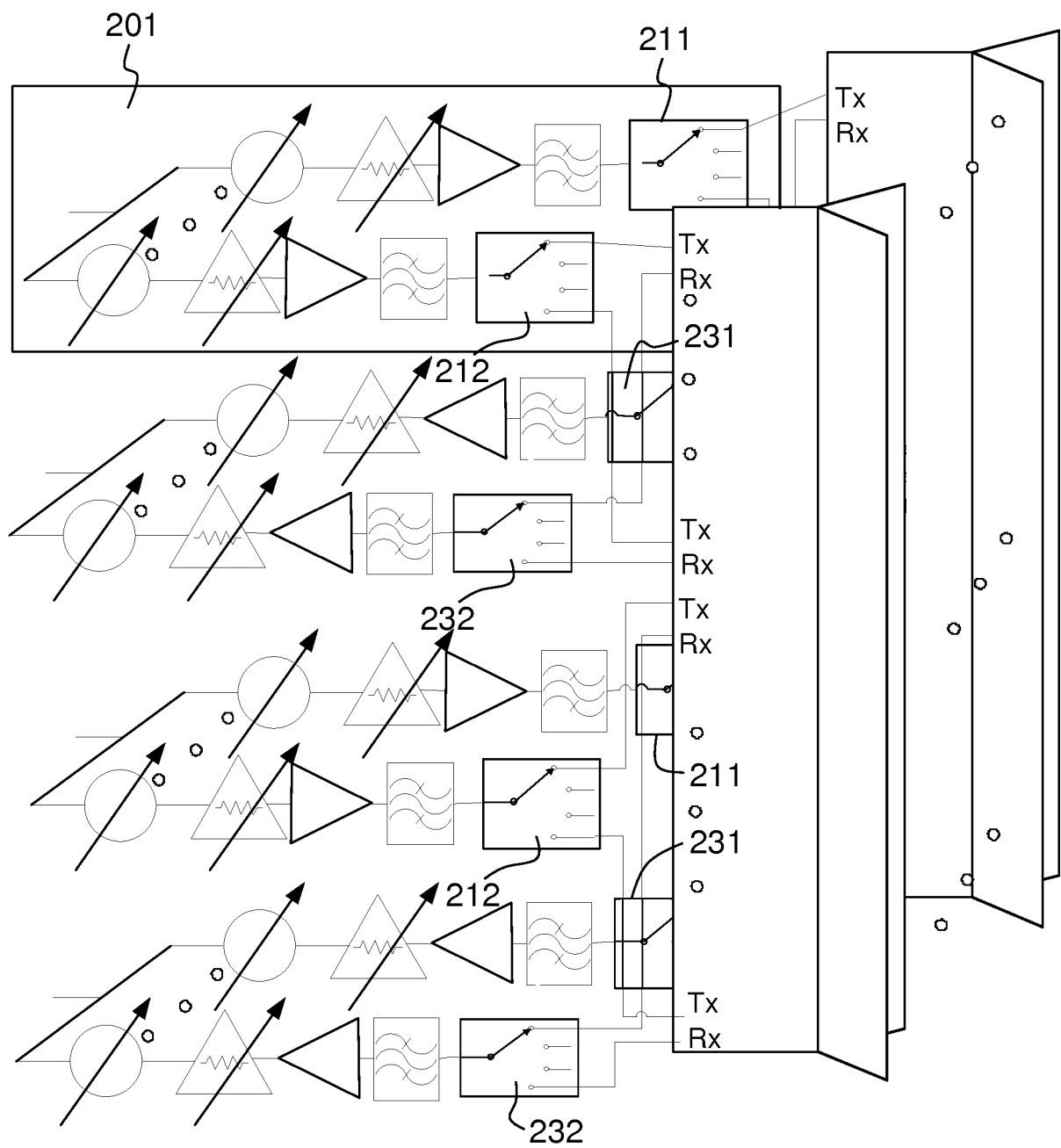


FIG.9

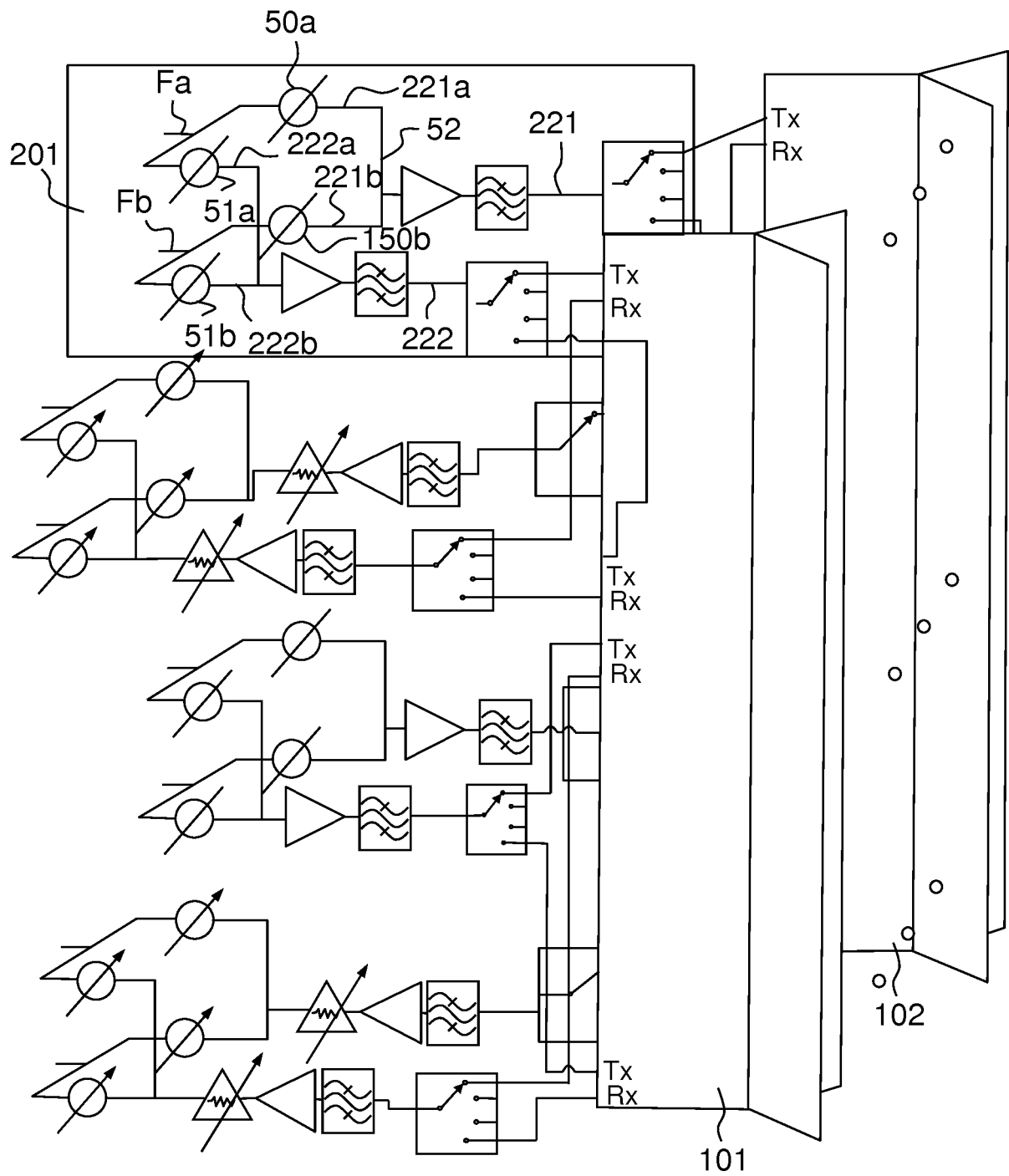


FIG.10

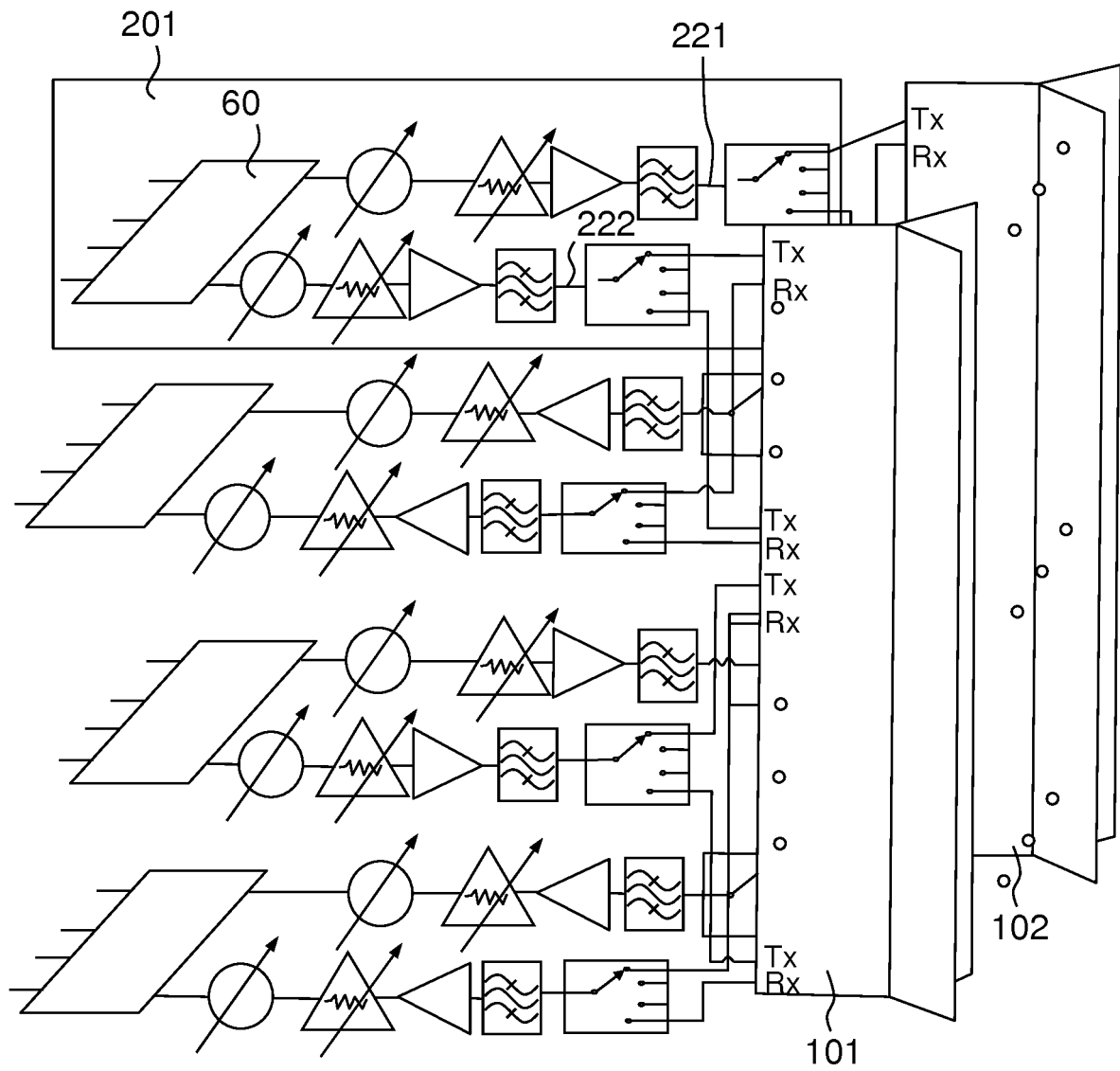


FIG.11

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 3170158 A [0007]
- US 5936588 A [0007] [0008]