

(19)



(11)

EP 2 706 613 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

12.03.2014 Bulletin 2014/11

(51) Int Cl.:

H01Q 3/24 (2006.01)**H01Q 21/06** (2006.01)**H01Q 21/29** (2006.01)**H01Q 25/00** (2006.01)**H01Q 5/00** (2006.01)**H01Q 1/24** (2006.01)**H01Q 3/40** (2006.01)(21) Numéro de dépôt: **12306096.4**(22) Date de dépôt: **11.09.2012**

(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

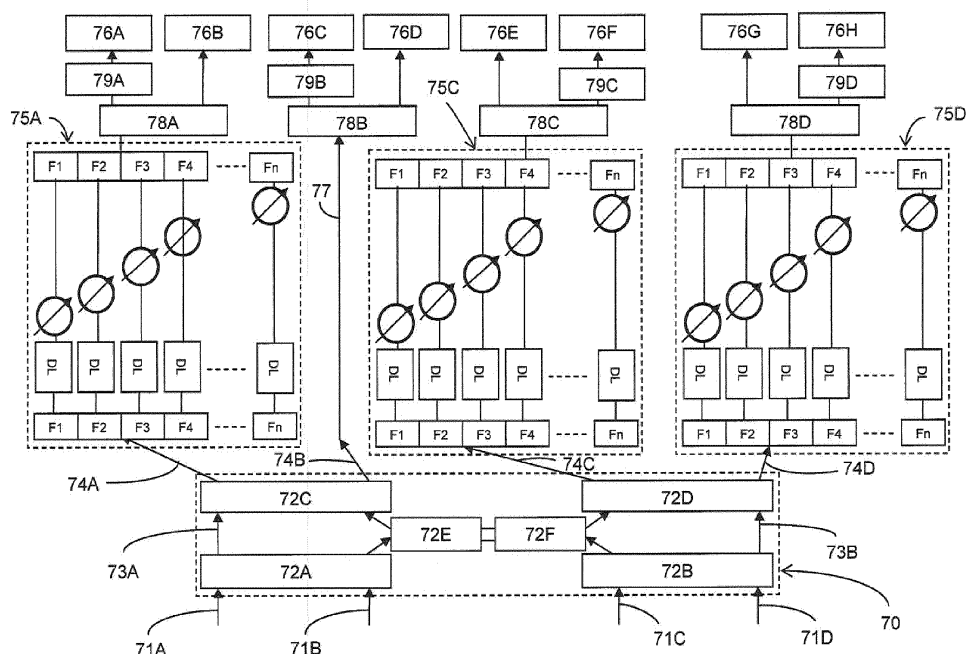
Etats d'extension désignés:

BA ME(71) Demandeur: **Alcatel Lucent****75007 Paris (FR)**(72) Inventeur: **Harel, Jean-Pierre****22305 Lannion (FR)**(74) Mandataire: **Sciaux, Edmond****Alcatel-Lucent International****32, avenue de Kléber****92700 Colombes (FR)**(54) **Antenne multibande à inclinaison électrique variable**

(57) Un système d'alimentation pour la commande de l'inclinaison électrique variable dans le plan vertical des éléments rayonnants en réseau d'une antenne multibande, comprend une matrice de Butler à N entrées et N sorties comportant des coupleurs hybrides, chaque entrée étant apte à recevoir un signal radiofréquence et chaque sortie étant apte à transmettre le signal à au moins un élément rayonnant.

Au moins une sortie de la matrice de Butler est reliée à un module permettant une inclinaison électrique indé-

pendante pour chaque bande de fréquence, le module comprenant (i) un premier étage de diplexeurs qui sépare le signal selon différentes bandes de fréquence, (ii) un deuxième étage de lignes à retard fixe qui applique un retard électrique donné au signal dans chaque bande de fréquence, (iii) un troisième étage de déphaseurs variable qui introduisent un déphasage ajusté du signal dans chaque bande de fréquence, et (iv) un quatrième étage de diplexeurs qui regroupe les signaux dans les différentes bandes de fréquence pour les transmettre à au moins un élément rayonnant.

FIG. 6

Description

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des antennes de télécommunications transmettant des ondes radioélectriques dans le domaine des hyperfréquences au moyen d'éléments rayonnants. Il s'agit de systèmes d'antennes adapté pour une utilisation dans de nombreux systèmes de télécommunications, et notamment pour une application dans les réseaux cellulaires de radiocommunications mobiles. Elle concerne en particulier une antenne-panneau de station de base, à large bande et à double polarisation, dont l'inclinaison électrique est ajustable.

[0002] Une zone de couverture est généralement divisée en un certain nombre de cellules, chacune associée à une station de base et une antenne respective. Les réseaux cellulaires de radiocommunications mobiles utilisent des antennes multiéléments ("Array Antenna" en anglais) qui comprennent un réseau d'éléments rayonnants individuels tels que des dipôles. On entend ici par antenne-panneau, un alignement d'éléments rayonnants fonctionnant dans un domaine de fréquence donné et comportant son propre système d'alimentation. Les antennes-panneaux possèdent généralement un connecteur d'accès par bande de fréquence et par polarisation.

[0003] La modification de l'angle vertical du faisceau principal de l'antenne, également connu sous le nom "tilt", permet d'ajuster la zone de couverture de l'antenne. L'angle d'inclinaison de l'antenne peut être ajusté électriquement en changeant le retard temporel ou la phase du signal envoyé ou reçu par chaque élément rayonnant du réseau formant l'antenne, c'est ce qu'on appelle l'inclinaison électrique réglable ou variable. Dans la configuration habituelle, un seul système de commande de l'inclinaison électrique variable VET (pour "Variable Electrical Tilt" en anglais) réalise le pilotage de l'inclinaison dans le plan vertical de l'antenne pour toute la bande de fréquence disponible pour chaque polarisation. Si le spectre de fréquence disponible doit être divisé en plusieurs bandes de fréquence étroites, l'introduction de diplexeurs devient nécessaire. Néanmoins, si le diplexeur est placé à l'accès du système de commande de l'inclinaison électrique VET, l'inclinaison électrique de l'antenne ne peut pas être réglée indépendamment pour chaque bande de fréquence étroite.

[0004] Une solution concernant la possibilité de commander l'inclinaison électrique variable VET par bande de fréquence est de connecter un diplexeur à chaque élément rayonnant, et d'utiliser un système d'alimentation de l'inclinaison électrique variable VET pour chaque bande à contrôler. On entend par diplexeur un dispositif passif qui réalise un multiplexage permettant de mélanger/séparer les signaux dans des bandes de fréquences différentes selon le sens dans lequel il est monté. Dans le cas présent le diplexeur se comporte comme deux filtres fonctionnant dans des bandes de fréquence différentes avec un de leur accès mis en commun. Un tel

diplexeur permet à l'élément rayonnant auquel il est relié de fonctionner en même temps dans les deux bandes de fréquences associées aux deux systèmes d'alimentation connectés au diplexeur, que ce soit en transmission ou en réception. Il existe plusieurs technologies de réalisation de ces diplexeurs dont le poids, le volume, les performances et le coût sont variables.

[0005] Si le nombre d'éléments rayonnants est important, il ne sera pas possible d'utiliser des diplexeurs dits "haute performance" (utilisant des résonateurs à cavité à air par exemple) en raison du volume, du poids, et du coût que ce type d'appareil peut représenter. Par conséquent, des diplexeurs de type à taille réduite sont choisis, comme par exemple des diplexeurs utilisant des lignes microrubans formées sur des substrats à constante diélectrique de valeur élevée (par exemple en céramique) ou utilisant des techniques d'ondes acoustiques de surface SAW (pour "Surface Acoustic Wave" en anglais). Les performances de ces diplexeurs de taille réduite sont diminuées par rapport à celles des diplexeurs utilisant par exemple des résonateurs de type à cavité à air. Les pertes IL (pour "Insertion Loss" en anglais), l'adaptation d'impédance RL (pour "Return Loss" en anglais) et l'isolation entre les bandes de fréquence vont impacter de manière importante les performances RF globales de l'antenne. En outre, un réseau d'alimentation complet dédié à chaque bande, et pour chaque polarisation, à contrôler est nécessaire. Selon la technologie utilisée pour assurer ces fonctions, cela peut être rédhibitoire en raison du volume, du poids et du coût que les besoins d'un diplexeur unitaire et d'un réseau d'alimentation par bande de fréquence peuvent représenter.

[0006] La présente invention a pour but d'éliminer les inconvénients de l'art antérieur, et en particulier de proposer un système d'alimentation unique et simple permettant d'alimenter l'ensemble d'une l'antenne à large bande et de commander individuellement l'inclinaison électrique variable VET dans le plan vertical de cette antenne pour chaque bande de fréquence étroite.

[0007] L'objet de la présente invention est un système d'alimentation pour la commande de l'inclinaison électrique variable dans le plan vertical des éléments rayonnants en réseau d'une antenne multibande, comprenant une matrice de Butler à N entrée et N sorties comportant des coupleurs hybrides, chaque entrée étant apte à recevoir un signal radiofréquence et chaque sortie étant apte à transmettre le signal à au moins un élément rayonnant. Au moins une sortie de la matrice de Butler est reliée à un module permettant une inclinaison électrique indépendante pour chaque bande de fréquence, le module comprenant

- un premier étage de diplexeurs qui sépare le signal selon différentes bandes de fréquence,
- un deuxième étage de lignes à retard fixe qui applique un retard électrique donné au signal dans chaque bande de fréquence,
- un troisième étage de déphaseurs variable qui intro-

duisent un déphasage ajusté du signal dans chaque bande de fréquence, et

- un quatrième étage de diplexeurs qui regroupe les signaux dans les différentes bandes de fréquence pour les transmettre à au moins un élément rayonnant.

[0008] Selon un premier aspect, le module est relié à une paire d'éléments rayonnants par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance et d'au moins une ligne à retard fixe. De préférence la sortie du module est reliée à l'entrée d'un diviseur de puissance, l'une des sorties du diviseur de puissance étant reliée à un premier élément rayonnant et l'autre sortie du diviseur de puissance étant reliée à une ligne à retard fixe reliée à un second élément rayonnant.

[0009] Selon un deuxième aspect, le système comprend un nombre de modules qui est inférieur au nombre N de sorties de la matrice de Butler. De préférence le nombre de modules est égal à N-1.

[0010] Selon une première variante, la matrice de Butler comprend N coupleurs hybrides dont N/2 coupleurs hybrides appartenant à un premier groupe et N/2 coupleurs hybrides appartenant à un deuxième groupe. De préférence la matrice de Butler comprend N entrées reliées aux N/2 coupleurs hybrides du premier groupe, chaque coupleur hybride du premier groupe comportant deux sorties et chaque sortie étant respectivement reliée à un coupleur hybride différent d'un deuxième groupe.

[0011] Selon une deuxième variante, la matrice de Butler comprend N+N/2 coupleurs hybrides dont N/2 coupleurs hybrides appartenant à un premier groupe, N/2 coupleurs hybrides appartenant à un deuxième groupe et N/2 coupleurs hybrides appartenant à un troisième groupe. De préférence la matrice de Butler comprend N entrées reliées à N/2 coupleurs hybrides d'un premier groupe, chaque coupleur hybride du premier groupe comportant deux sorties, une première sortie étant directement reliée à un coupleur hybride d'un deuxième groupe et la seconde sortie étant reliée à un coupleur hybride du deuxième groupe par l'intermédiaire d'un coupleur hybride du troisième groupe.

[0012] L'invention concerne l'art du couplage de circuits pour le phasage des signaux. Plus particulièrement, cette invention se rapporte au contrôle de phase des antennes multiéléments phasées. Chaque élément rayonnant de l'antenne multiélément phasée traite un signal qui est déphasé par rapport aux signaux traités par les autres éléments rayonnants dans l'antenne. La raison de cela est qu'un champ de rayonnement combiné développé par une antenne multiélément phasée en un point éloigné est la somme vectorielle des champs de rayonnement produits par les éléments rayonnants individuels dans l'antenne phasée. En commandant correctement les phases respectives des signaux traités par les éléments d'antenne multiélément phasée, il est possible de concentrer un champ de rayonnement combiné très fortement dans une direction souhaitée, et dans une

forme du diagramme rayonnant souhaitée.

[0013] Ce système a comme avantage de permettre de partager une antenne large bande entre plusieurs utilisateurs (c'est-à-dire une antenne comportant plusieurs entrées) et/ou entre plusieurs bandes de fréquence plus étroites.

[0014] Ce système permet une inclinaison électrique indépendante pour chaque bande de fréquence étroite avec un réseau d'alimentation unique. L'inclinaison électrique variable VET dans le plan vertical du diagramme de rayonnement de l'antenne est contrôlée de façon indépendante pour chaque bande de fréquence. Un seul système d'alimentation est nécessaire, quel que soit le nombre de bandes de fréquence.

[0015] Les accès de l'antenne ne sont pas spécifiques à une bande de fréquence prédéterminée, c'est-à-dire qu'un signal entrant dans une bande de fréquence donnée peut être relié à n'importe lequel des connecteurs d'entrée. Le nombre d'accès est indépendant du nombre de bandes de fréquence pouvant être commandé par inclinaison électrique variable VET.

[0016] L'invention a aussi pour objet un procédé de commande de l'inclinaison électrique variable dans le plan vertical des éléments rayonnants en réseau d'une antenne multibande au moyen d'un système d'alimentation selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'inclinaison électrique est ajustée de manière indépendante pour chaque bande de fréquence au moyen d'un module, reliant la matrice de Butler aux éléments rayonnants, qui comprend un déphaseur variable sur le trajet du signal dans chaque bande de fréquence.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation, donné bien entendu à titre illustratif et non limitatif, et dans le dessin annexé sur lequel

- la figure 1 illustre le principe d'une matrice de Butler 4X4 sans ligne à retard,
- la figure 2 illustre un premier mode de réalisation d'un système d'alimentation pour quatre éléments rayonnants d'antenne dans lequel les inclinaisons dans quatre bandes de fréquence sont indépendamment commandées,
- la figure 3 illustre un deuxième mode de réalisation d'un système d'alimentation d'antenne qui est une variante simplifiée du mode de réalisation de la figure 3,
- la figure 4 illustre un troisième mode de réalisation d'un système d'alimentation pour huit éléments rayonnants d'antenne dans lequel les inclinaisons dans quatre bandes de fréquence sont indépendamment commandées,
- la figure 5 illustre un quatrième mode de réalisation d'un système d'alimentation pour huit éléments rayonnants d'antenne dans lequel les inclinaisons dans deux bandes de fréquence sont indépendam-

ment commandées,

- la figure 6 illustre un cinquième mode de réalisation d'un système d'alimentation pour huit éléments rayonnants d'antenne dans lequel les inclinaisons dans n bandes de fréquence indépendamment commandées.

[0018] La figure 1 est une illustration d'une matrice de Butler. En 1961, Jesse Butler et Ralf Lowe ont proposé une topologie disruptive d'un système d'alimentation d'une antenne qui permet la génération directe de faisceaux multiples d'antenne à éléments rayonnants en réseau. A l'origine, destiné aux radars de surveillance et d'altimétrie, ce principe d'alimentation est aujourd'hui largement utilisé dans de nombreuses applications.

[0019] Cette configuration d'alimentation d'antenne utilise principalement des coupleurs hybrides connus et des lignes à retard. Une matrice de Butler permet de produire M faisceaux en utilisant M (ou M-1) connecteurs d'entrée. Il s'agit d'un dispositif passif réciproque hyperfréquence qui est un agencement de coupleurs hybrides avec N entrées et N sorties, où N est en général une puissance de 2. Plus généralement, une matrice de Butler à 2^N entrées est constituée de $N2^{N-1}$ coupleurs hybrides et $(N-1)2^{N-1}$ déphaseurs, soit un total de $(2N-1)2^{N-1}$ composants. Le nombre de croisements imposé par la topologie spécifique des matrices de Butler est de 2^{N-1} ($2^N - N - 1$).

[0020] Prenons l'exemple d'une matrice de Butler 2x2 connue. Lorsque la première entrée est utilisée, un signal de phase de 0° est envoyé au premier élément rayonnant alors qu'un signal de phase -90° est envoyé au second élément rayonnant. Ce déphasage de 90° entre les deux signaux est dû à des coupleurs hybrides -3dB qui divisent les signaux d'entrée en deux signaux ayant la moitié de l'énergie initiale et une phase de sortie qui est décalée de 90° l'un par rapport à l'autre. Par conséquent, en utilisant la première entrée, le diagramme de réseau présente une certaine inclinaison d'angle θ , et en utilisant la seconde entrée le diagramme de réseau présente une certaine inclinaison d'angle $-\theta$.

[0021] Sur la figure 1 est illustré un exemple d'une matrice de Butler 1 dite 4X4, ne comportant pas de ligne à retard. La matrice de Butler 1 est destinée à alimenter quatre éléments rayonnants **2A-2D** d'antenne, et comprend quatre entrées **3A-3D** et quatre sorties **4A-4B**. Chacune des quatre sorties **4A-4B** est reliée à chaque élément rayonnant **2A-2D** respectivement. La matrice de Butler comprend aussi quatre coupleurs hybrides -3dB **5A-5D**, les coupleurs hybrides **5A** et **5B** d'un premier groupe étant reliés respectivement aux coupleurs hybrides **5C** et **5D** d'un deuxième groupe par des liaisons **6A** et **6B** d'une part et par des liaisons **6C** et **6D** d'autre part. Un commutateur de premier étage **7** est habituellement utilisé avant les entrées **4A-4B** pour permettre de sélectionner l'entrée à alimenter.

[0022] Lorsque l'entrée **3A** est utilisée, la présence du coupleur hybride **5A** sur le trajet du signal divise le signal

d'entrée en deux signaux, chacun ayant la moitié de l'énergie, avec une phase de sortie décalée de 90° pour un signal par rapport à l'autre. Le coupleur hybride **5A** produit ainsi d'une part un signal de phase 0° qui est envoyé au coupleur hybride **5C** par la liaison **6A**, et un signal de phase 90° qui est envoyé au coupleur hybride **5D** par la liaison **6B**. Le coupleur hybride **5C** introduit à son tour un retard électrique qui entraîne un déphasage du signal de phase 0° entré par la liaison **6A**. L'élément rayonnant **2B** reçoit à son entrée **4B** un signal qui est déphasé de 90° par rapport au signal d'entrée et par rapport au signal reçu par l'élément rayonnant **2A** à son entrée **4A**.

[0023] De même, lorsque l'entrée **3C** est utilisée, le coupleur hybride **5B** produit ainsi d'une part un signal de phase 0° qui est envoyé au coupleur hybride **5C** par la liaison **6C**, et un signal de phase 90° qui est envoyé au coupleur hybride **5D** par la liaison **6D**. Le coupleur hybride **5D** introduit à son tour un retard électrique qui entraîne un déphasage supplémentaire de 90° du signal entré par la liaison **6D**. L'élément rayonnant **2C** reçoit à son entrée **4C** un signal déphasé de 90° par rapport au signal d'entrée et l'élément rayonnant **2D** reçoit à son entrée **4D** un signal déphasé de 180° par rapport au signal d'entrée.

[0024] A chacune des quatre sorties **4A-4D** de la matrice de Butler 1, on recueille un signal sortant ayant le quart de l'énergie du signal entrant. Les déphasages observés à la sortie **4A-4B** de la matrice de Butler 1 en fonction de l'entrée **3A-3D** choisie sont reportés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU

	4A	4B	4C	4D
3A	0°	90°	90°	180°
3B	90°	180°	0°	90°
3C	90°	0°	180°	90°
3D	180°	0°	90°	0°

[0025] On constate alors que si l'on souhaite que tous les éléments rayonnants en réseau soient alimentés avec la même phase, il est nécessaire d'introduire des retards électriques compensatoires à l'entrée des éléments rayonnants **2A**, **2B**, **2C** et **2D**. Par exemple, dans le cas de l'utilisation de l'entrée **3A**, des retards électriques de 180° , 90° , 90° et 0° doivent être introduits à l'entrée des éléments rayonnants **2A**, **2B**, **2C** et **2D** respectivement pour compenser le déphasage observé à la sortie de la matrice de Butler 1 (cf. la première ligne du tableau). La phase résultante observée à l'entrée de chaque élément rayonnant **2A-2D** sera alors la même, et sera décalée de 180° par rapport au signal d'entrée : $0^\circ + 180^\circ = 180^\circ$ (élément **2A**) ; $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ (élément **2B**) ; $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ (élément **2C**) ; $180^\circ + 0^\circ = 180^\circ$ (élément **2D**).

[0026] Mais il faut noter que la même combinaison de

retards ne permet pas d'obtenir une alimentation en phase de tous les éléments rayonnants si l'une des trois autres entrées **11A-11D** est utilisée, la combinaison de retards à appliquer est spécifique à chaque entrée **11A-11D**. Par exemple, dans le cas de l'utilisation de l'entrée **3B**, il serait nécessaire d'ajouter des retards électriques compensatoires de 90°, 0°, 180° et 90° à l'entrée des éléments rayonnants **2A**, **2B**, **2C** et **2D** respectivement. La phase résultante observée à l'entrée de chaque élément rayonnant **2A-2D** sera alors la même et sera décalée de 180° par rapport au signal d'entrée : $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ (élément **2A**) ; $180^\circ + 0^\circ = 180^\circ$ (élément **2B**) ; $0^\circ + 180^\circ = 180^\circ$ (élément **2C**) ; $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ (élément **2D**).

[0027] Dans le premier mode de réalisation illustré sur la figure 2, une matrice de Butler 4X4 **10** ne comportant pas de lignes à retard, analogue à la matrice de Butler 4X4 **1** de la figure 1, comprend quatre entrées **11A-11D** reliées à quatre coupleurs hybrides **12A-12D**. A chaque accès radiofréquence **11A-11D** est injecté un signal d'entrée, qui peut être un signal monobande ou bien un signal multibande comprenant par exemple plusieurs bandes de fréquence **F1-F4**.

[0028] La matrice de Butler 4X4 **10** comprend donc aussi quatre sorties **13A-13D**. A chacune des sorties **13A-13D** de la matrice de Butler **10** est connecté un module **14A-14D** qui relie respectivement les sorties **13A-13D** aux éléments rayonnants **15A-15D**. Un retard électrique et un déphasage appropriés sont introduits par les modules **14A-14D**. Les accès **11A-11D** de l'antenne ne sont pas spécifiques à une bande de fréquence prédéterminée. Quelle que soit l'entrée **11A-11D** utilisée, un signal peut être dirigé vers l'un des éléments rayonnants **15A-15D**.

[0029] Le signal multibande entrant dans le module **14A-14D** est séparé en bandes de fréquence **F1**, **F2**, **F3** ou **F4** étroites grâce à un premier étage **16** de diplexeurs **17**.

[0030] Un deuxième étage **18** comportant une ligne à retard DL fixe **19** (pour "Delay Line" en anglais) pour chaque canal de bande de fréquence **F1-F4** afin d'appliquer un retard électrique approprié au signal dans chaque bande de fréquence **F1-F4** respectivement. On peut souhaiter par exemple que tous les signaux dans la bande de fréquence **F1** atteignant les éléments rayonnants **15A-15D** soient en phase à la sortie des lignes à retard fixe **19**. Dans ce cas la ligne à retard fixe **19** associée au canal de bande de fréquence **F1** relié à l'élément rayonnant **15A** introduira probablement une valeur de retard différente de celle introduite par la ligne à retard fixe **19** associée au canal de bande de fréquence **F1** relié à l'élément rayonnant **15B**. Ceci est dû au fait que les signaux dans la bande de fréquence **F1** n'ont pas tous suivi précédemment le même chemin dans la matrice de Butler **10**.

[0031] Le signal passe ensuite dans un étage **20** de déphaseurs variables **21** qui introduit un déphasage adapté à chaque bande de fréquence **F1-F4**. Les dépha-

seurs variables **21** permettent de faire varier l'inclinaison électrique de l'antenne indépendamment pour chacune des bandes de fréquence **F1-F4**. En l'absence de déphaseurs variables **21**, l'antenne aurait une inclinaison fixe dans la bande de fréquence **F1** par exemple, c'est-à-dire que le diagramme de rayonnement de l'antenne dans la bande de fréquence **F1** serait dirigé selon un angle fixe donné par rapport à l'horizon. Cette inclinaison fixe résulte du retard introduit par la ligne à retard fixe **19**.

[0032] Enfin les signaux des différentes bandes de fréquence **F1-F4** atteignent un étage **22** de diplexeurs **23**. Ces diplexeurs **23** permettent le regroupement des signaux appartenant aux différentes bandes de fréquence **F1-F4** issus de l'étage **20** de déphaseurs variables **21**, et leur transmission simultanée par un canal commun vers l'élément rayonnant **15A-15D**.

[0033] Les signaux sortants des modules **14A-14D** alimentent respectivement les éléments rayonnants **15A-15D** qui sont tous aptes à fonctionner dans toutes les bandes de fréquence **F1-F4**. Par conséquent, l'inclinaison électrique variable VET dans le plan vertical du diagramme de rayonnement de l'antenne peut être contrôlée de façon indépendante pour chaque bande de fréquence **F1**, **F2**, **F3** et **F4** grâce aux modules **14A-14D** comprenant des déphaseurs variables **21**.

[0034] La figure 3 illustre un deuxième mode de réalisation analogue à celui de la figure 2 mais dans lequel l'un des éléments rayonnants n'est pas associé à un module.

[0035] Une matrice de Butler 4X4 **30** ne comportant pas de lignes à retard, analogue à la matrice de Butler 4X4 **10** de la figure 2, comprend quatre entrées **31A-31D** reliées à quatre coupleurs hybrides **32A-32D**. A chaque entrée **31A-11D** peut être introduit un signal multibande comprenant par exemple plusieurs bandes **F1-F4**. La matrice de Butler 4X4 **30** comprend donc aussi quatre sorties **33A-33D**. A trois des sorties **33A**, **33C** et **33D** de la matrice de Butler **30** est attribué un module **34A**, **33C** et **34D** qui relie respectivement les sorties **33A**, **33C** et **33D** aux éléments rayonnants **35A**, **35C** et **35D**. La sortie **33B** est directement reliée par un câble coaxial **36** à l'élément rayonnant **35B**.

[0036] Le diagramme de rayonnement de l'antenne dans le plan vertical est obtenu par la sommation en champ lointain des différents champs rayonnés par chacun des éléments rayonnants. Or, cette sommation s'effectue en utilisant comme référence l'un des éléments rayonnants choisi arbitrairement. Il suffit donc de contrôler la différence de phase entre l'élément rayonnant **35B** par exemple, choisi arbitrairement comme référence, et les autres éléments rayonnants **35A**, **35C** et **35D**. Le contrôle de la phase absolue de chaque élément rayonnant n'est donc plus nécessaire. Par rapport au mode de réalisation de la figure 2, l'un des modules, associé à l'élément rayonnant **35B** choisi, a pu être supprimé, et le contrôle de la différence de phase entre les éléments **35A-35D** peut être effectué par les modules **34A**, **34C** et **34D** qui sont maintenus.

[0037] Les modes de réalisation illustrés par les figures 2 et 3 présentent de nombreux avantages par rapport à l'art antérieur.

(i) Un seul réseau d'alimentation est nécessaire pour toutes les bandes de fréquences (comme les bandes **F1-F4** dans les modes de réalisation des figures 2 et 3), quel que soit le nombre de bandes disponibles. Dans l'art antérieur, un réseau complet d'alimentation dédié était nécessaire pour chacune des bandes de fréquences.

(ii) A chaque accès radiofréquence (comme les entrées **11A-11D** ou **31A-31 D** dans les modes de réalisation des figures 2 et 3 respectivement), peut être injecté un signal multibande qui comprend plusieurs bandes de fréquence (comme les bandes **F1-F4** dans les modes de réalisation des figures 2 et 3) étant donné que les accès RF sont isolés les uns des autres. Des modules assurant les fonctions de filtrage et de déphasage (comme les modules **14A-14D** ou **34A, 34C** et **31 D** dans les modes de réalisation des figures 2 et 3 respectivement), gèrent la répartition de fréquence de la multibande en plusieurs bandes de fréquence plus étroites, et adapte le déphasage pour chaque bande de fréquence. Dans ce cas le positionnement de l'inclinaison électrique variable VET est géré par la bande de fréquence **F1-F4**, et non par l'entrée **11A-11D** ou **31A-31D**.

(iii) A chaque accès RF, un signal appartenant à n'importe quelle bande de fréquence peut être injecté, c'est à dire qu'il est possible par exemple d'envoyer un signal dans la bande de fréquence **F1** à l'entrée **11A**, un signal dans la bande de fréquence **F2** à l'entrée **11B**, un signal dans la bande de fréquence **F3** à l'entrée **11C**, un signal dans la bande de fréquence **F4** à l'entrée **11 D**, mais aussi un signal dans la bande de fréquence **F4** à l'entrée **11A**, un signal dans les bandes de fréquence **F1** et **F3** à l'entrée **11B**, un signal dans les bandes de fréquence **F2** et **F4** à l'entrée **11C**, un signal dans la bande de fréquence **F1** à l'entrée **11D**, ou bien encore toute autre permutation ou combinaison. Un accès RF n'est donc pas dédié à une bande de fréquence spécifique. Les valeurs de déphasage introduits par les modules (comme les modules **14A-14D** ou **34A, 34C** et **31D** dans les modes de réalisation des figures 2 et 3 respectivement) doivent seulement être fixées à des valeurs adaptées selon la configuration choisie.

[0038] On a illustré un troisième mode de réalisation sur la figure 4. Une matrice de Butler 4X4 **40**, ne comportant pas de lignes à retard, comprend quatre entrées **41A-41D** reliées à deux coupleurs hybrides **42A** et **42B** d'un premier groupe. A chaque entrée **41A-41D** peut être introduit un signal multibande comprenant par exemple plusieurs bandes de fréquence **F1-F4**. Les coupleurs **42A** et **42B** du premier groupe sont reliés respectivement

aux coupleurs **42C** et **42D** d'un deuxième groupe par des liaisons directes **43A** et **43B** d'une part, et d'autre part les coupleurs **42A** et **42B** du premier groupe sont reliés aux coupleurs **42C** et **42D** du deuxième groupe par l'intermédiaire des coupleurs hybrides **42E** et **42F** d'un troisième groupe. Dans ce mode de réalisation avancé, les lignes de croisement de la matrice de Butler ont été remplacées par des coupleurs hybrides **42E** et **42F**, ce qui permet de réaliser une matrice de Butler complète qui ne comporte aucune liaison croisées. La matrice de Butler 4X4 **30** comprend donc aussi quatre sorties **44A-44D**. A chacune des quatre sorties **44A-44D** de la matrice de Butler **30**, on recueille un signal sortant ayant le quart de l'énergie du signal entrant.

[0039] Chacune des sorties **44A, 44C** et **44D** est respectivement reliée à un module **45A, 45C** et **45D**. Un retard électrique et un déphasage appropriés sont introduits par les modules **45A, 45C** et **45D**. Les deux éléments rayonnants **46A** et **46B** sont reliés à au module **45A** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **48A** et d'une ligne à retard **49A** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **46A** et **46B**, par exemple ici l'élément rayonnant **46A**. La sortie **44B** est reliée par un câble coaxial **47** aux deux éléments rayonnant **46C** et **46D** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **48B** et d'une ligne à retard **49B** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **46C** et **46D**, par exemple l'élément rayonnant **46C**. De même le module **45C** est relié aux deux éléments rayonnants **46E** et **46F** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **48C** et d'une ligne à retard **49C** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **46E** et **46F**, par exemple l'élément rayonnant **46F**. Et les deux éléments rayonnants **46G** et **46H** sont reliés à au module **45D** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **48D** et d'une ligne à retard **49D** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **46G** et **46H**, par exemple ici l'élément rayonnant **46H**. Les sorties ont été dédoublées, grâce à la combinaison de diviseurs et de lignes à retard, afin de permettre de passer de quatre à huit éléments rayonnants alimentés sans augmenter le nombre des entrées.

[0040] Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 4, les éléments rayonnants sont donc contrôlés en phase par paire d'éléments. D'autres configurations basées sur le même principe sont réalisables comme par exemple en limitant le dédoublement de la sortie à certains modules seulement, ou bien au contraire en triplant, voire en quadruplant, la sortie de certains modules en multipliant les diviseurs combinés aux lignes à retard.

[0041] Bien entendu le contrôle de huit éléments rayonnants serait aussi possible grâce à l'utilisation d'une matrice de Butler 8x8 par exemple suivie de huit ou sept modules tels que décrit respectivement dans les modes de réalisation des figures 2 et 3. Néanmoins la figure 4 illustre un mode de réalisation avantageux au point de vue du coût, du poids et du volume de l'antenne.

[0042] La limitation du nombre de composants nécessaires, et donc la simplification de l'architecture de l'an-

tenne, n'est envisageable que si on accepte une réduction partielle des performances radiofréquences qui se reflète sur le diagramme de rayonnement de l'antenne.

[0043] La figure 5 illustre un mode de réalisation particulier où l'inclinaison de l'antenne est contrôlée seulement pour deux bandes de fréquences **F1** et **F2**.

[0044] Une matrice de Butler 4X4 **50**, ne comportant pas de lignes à retard, comprend quatre entrées **51A-51D** reliées à deux coupleurs hybrides **52A** et **52B** d'un premier groupe. A chaque entrée **51A-51D** peut être introduit un signal bibande comprenant deux bandes de fréquence **F1** et **F2**. Les coupleurs hybrides **52A** et **52B** sont reliés respectivement aux coupleurs hybrides **52C** et **52D** d'un deuxième groupe par des liaisons directes **53A** et **53B** d'une part, et d'autre part les coupleurs **52A** et **52B** sont reliés aux coupleurs **52C** et **52D** par l'intermédiaire des coupleurs hybrides **52E** et **52F** d'un troisième groupe. A chacune des quatre sorties **54A-54D** de la matrice de Butler **50**, on recueille un signal sortant ayant le quart de l'énergie du signal entrant.

[0045] Chacune des sorties **54A**, **54C** et **54D** de la matrice de Butler **50** est respectivement reliée à un module **55A**, **55C** et **55D**. Les deux éléments rayonnants **56A** et **56B** sont reliés à au module **55A** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **58A** et d'une ligne à retard **59A** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **56A** et **56B**, par exemple l'élément rayonnant **56A**. La sortie **54B** est reliée par un câble coaxial **57** aux deux éléments rayonnant **56C** et **56D** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **58B** et d'une ligne à retard **59B** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **56C** et **56D**, par exemple l'élément rayonnant **56C**. De même le module **55C** est relié aux deux éléments rayonnants **56E** et **56F** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **58C** et d'une ligne à retard **59C** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **56E** et **56F**, par exemple ici l'élément rayonnant **56F**. Et les deux éléments rayonnants **56G** et **56H** sont reliés à au module **55D** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **58D** et d'une ligne à retard **59D** placée avant l'un des deux éléments rayonnants **56G** et **56H**, par exemple l'élément rayonnant **56H**.

[0046] Un retard électrique et un déphasage appropriés sont introduits par les modules **55A**, **55C** et **55D**. Le signal bibande entrant dans le module **55A**, par exemple, est séparé en deux bandes de fréquence **F1** et **F2** étroites grâce à un premier étage **60** de diplexeurs. Un deuxième étage **61** comportant des lignes à retard fixe applique un retard électrique déterminé au signal dans chaque bande de fréquence **F1** et **F2** respectivement. Le signal passe ensuite dans un troisième étage **62** de déphaseurs variables qui adapte le déphasage dans chaque bande de fréquence **F1** et **F2** afin de faire varier l'inclinaison électrique indépendamment pour chacune des bande de fréquence **F1** et **F2**. Enfin le signal atteint le quatrième étage **63** de diplexeurs qui regroupe les signaux appartenant aux deux bandes de fréquence **F1** et **F2** pour les envoyer dans le diviseur de puissance **58A**. Le signal sortant du diviseur de puissance **58A** ali-

mente l'élément rayonnant **56A** et, via la ligne à retard fixe **59A**, l'élément rayonnant **56B** qui sont aptes à fonctionner dans les deux bandes de fréquence **F1** et **F2**. L'inclinaison électrique variable VET dans le plan vertical du diagramme de rayonnement de l'antenne peut ainsi être contrôlée de façon indépendante pour chacune des deux bandes de fréquence **F1** et **F2** grâce au module **55A**. De même, les explications données pour le module **55A** sont applicables aux modules **55C** et **55D**.

[0047] Le mode de réalisation illustré sur la figure 6 permet de contrôler de 1 à n bandes de fréquence **F1-Fn** où n est supérieur à 4.

[0048] Une matrice de Butler 4X4 **70**, ne comportant pas de lignes à retard, analogue à la matrice de Butler 4X4 **50** de la figure 5, comprend quatre entrées **71A-71D** reliées à deux coupleurs hybrides **72A** et **72B** d'un premier groupe. Les coupleurs hybrides **72A** et **72B** sont reliés respectivement aux coupleurs hybrides **72C** et **72D** d'un deuxième groupe par des liaisons directes **73A** et **73B** d'une part, et d'autre part les coupleurs **72A** et **72B** sont reliés aux coupleurs **72C** et **72D** par l'intermédiaire des coupleurs hybrides **72E** et **72F** d'un troisième groupe. Chacune des sorties **74A**, **74C** et **74D** de la matrice de Butler **70** est respectivement reliée à un module **75A**, **75C** et **75D**, analogues aux modules **55A**, **55C** et **55D** de la figure 5. Les modules **75A**, **75C** et **75D** sont eux-mêmes reliés chacun à une paire d'éléments rayonnants **76A-76B**, **76E-76F** et **76G-76H** respectivement par l'intermédiaire de diviseurs de puissance **78A**, **78C** et **78D** et de lignes à retard **79A**, **79C** et **79D**. La sortie **74B** est reliée par un câble coaxial **77** à la paire d'éléments rayonnants **76C-76D** par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance **78B** et d'une ligne à retard **79B**.

[0049] A chaque accès radiofréquence **71A-71D** est injecté un signal d'entrée, qui peut être un signal monobande ou bien un signal multibande comprenant par exemple plusieurs bandes de fréquence **F1-Fn**. L'inclinaison électrique variable VET dans le plan vertical du diagramme de rayonnement de l'antenne est contrôlée de façon indépendante pour chaque bande de fréquence **F1-Fn**. Le nombre de bande de fréquence **F1-Fn** n'est a priori pas limité, sinon par des contraintes que l'on s'imposerait. Le signal multibande entrant dans les modules **74A**, **74C** et **74D** est séparé en bandes de fréquence **F1-Fn** étroites grâce à un premier étage de diplexeurs.

[0050] Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits. En particulier, on pourra élargir les exemples décrits à tous les types de matrice de Butler ayant de 2 à N entrées et sorties, pour contrôler de 1 à n bandes de fréquence **F1-Fn** et alimenter de 1 à X éléments rayonnants à partir de chacune des sorties.

55 Revendications

1. Système d'alimentation pour la commande de l'inclinaison électrique variable dans le plan vertical des

éléments rayonnants en réseau d'une antenne multibande, comprenant une matrice de Butler à N entrée et N sorties comportant des coupleurs hybrides, chaque entrée étant apte à recevoir un signal radiofréquence et chaque sortie étant apte à transmettre le signal à au moins un élément rayonnant, **caractérisé en ce que** au moins une sortie de la matrice de Butler est reliée à un module permettant une inclinaison électrique indépendante pour chaque bande de fréquence, le module comprenant

- un premier étage de diplexeurs qui sépare le signal selon différentes bandes de fréquence,
- un deuxième étage de lignes à retard fixe qui applique un retard électrique donné au signal dans chaque bande de fréquence,
- un troisième étage de déphaseurs variables qui introduit un déphasage ajusté du signal dans chaque bande de fréquence, et
- un quatrième étage de diplexeurs qui regroupe les signaux dans les différentes bandes de fréquence pour les transmettre à au moins un élément rayonnant.

2. Système d'alimentation selon la revendication 1, dans lequel le module est relié à une paire d'éléments rayonnants par l'intermédiaire d'un diviseur de puissance et d'au moins une ligne à retard fixe.
3. Système d'alimentation selon la revendication 2, dans lequel la sortie du module est relié à l'entrée d'un diviseur de puissance, l'une des sortie du diviseur de puissance étant relié à un premier élément rayonnant et l'autre sortie du diviseur de puissance étant reliée à une ligne à retard fixe reliée à un second élément rayonnant.
4. Système d'alimentation selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant un nombre de modules qui est inférieur au nombre N de sorties de la matrice de Butler.
5. Système d'alimentation selon la revendication 4, dans lequel le nombre de modules est égal à N-1.
6. Système d'alimentation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la matrice de Butler comprend N coupleurs hybrides dont N/2 coupleurs hybrides appartenant à un premier groupe et N/2 coupleurs hybrides appartenant à un deuxième groupe, chaque coupleur hybride du premier groupe comportant deux sorties et chaque sortie étant respectivement reliée à un coupleur hybride différent d'un deuxième groupe.
7. Système d'alimentation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la matrice de Butler comprend N+N/2 coupleurs hybrides dont N/2 cou-

pleurs hybrides appartenant à un premier groupe, N/2 coupleurs hybrides appartenant à un deuxième groupe et N/2 coupleurs hybrides appartenant à un troisième groupe, chaque coupleur hybride du premier groupe comportant deux sorties, une première sortie étant directement reliée à un coupleur hybride du deuxième groupe et la seconde sortie étant reliée à un coupleur hybride du deuxième groupe par l'intermédiaire d'un coupleur hybride du troisième groupe.

8. Procédé de commande de l'inclinaison électrique variable dans le plan vertical des éléments rayonnants en réseau d'une antenne multibande au moyen d'un système d'alimentation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'inclinaison électrique est ajustée de manière indépendante pour chaque bande de fréquence au moyen d'un module, reliant la matrice de Butler aux éléments rayonnants, qui comprend un déphaseur variable sur le trajet du signal dans chaque bande de fréquence.

FIG. 1

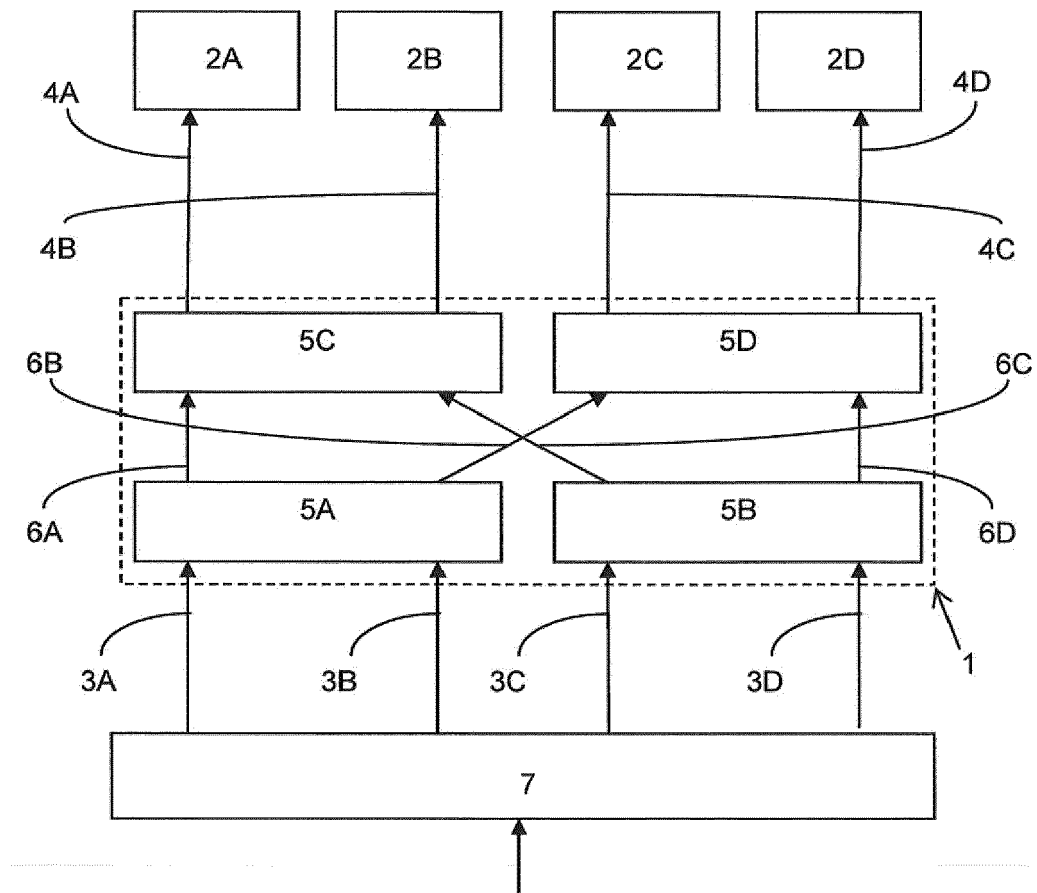


FIG. 2

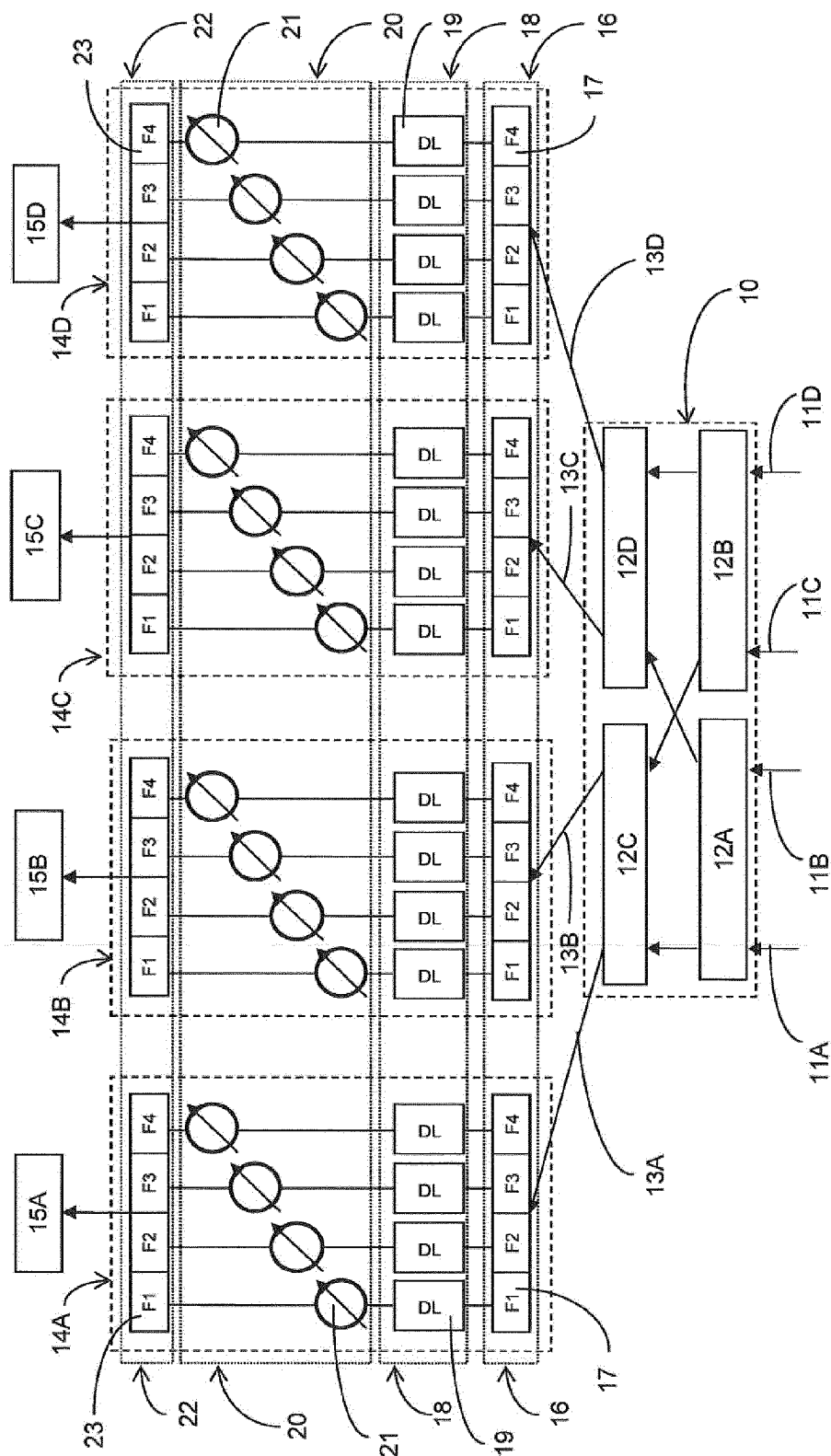


FIG. 3

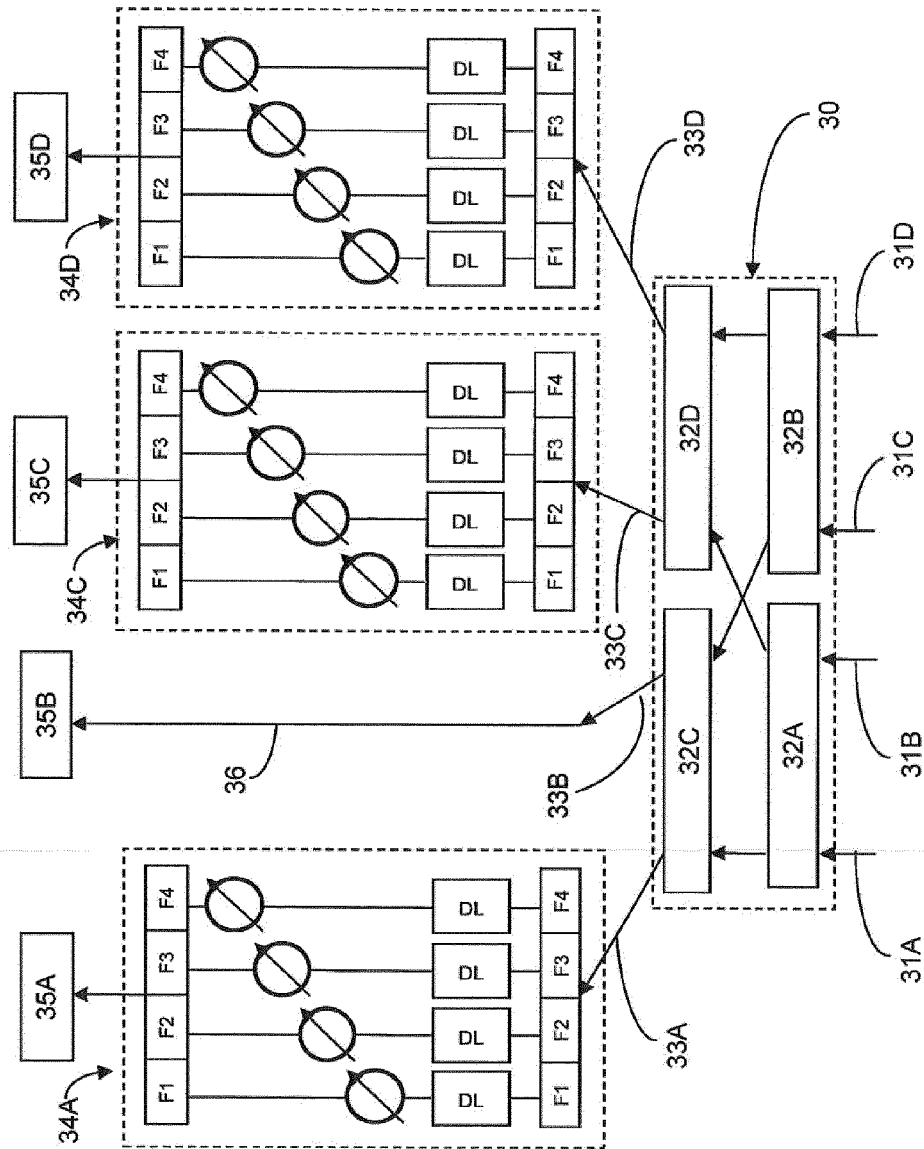


FIG. 4

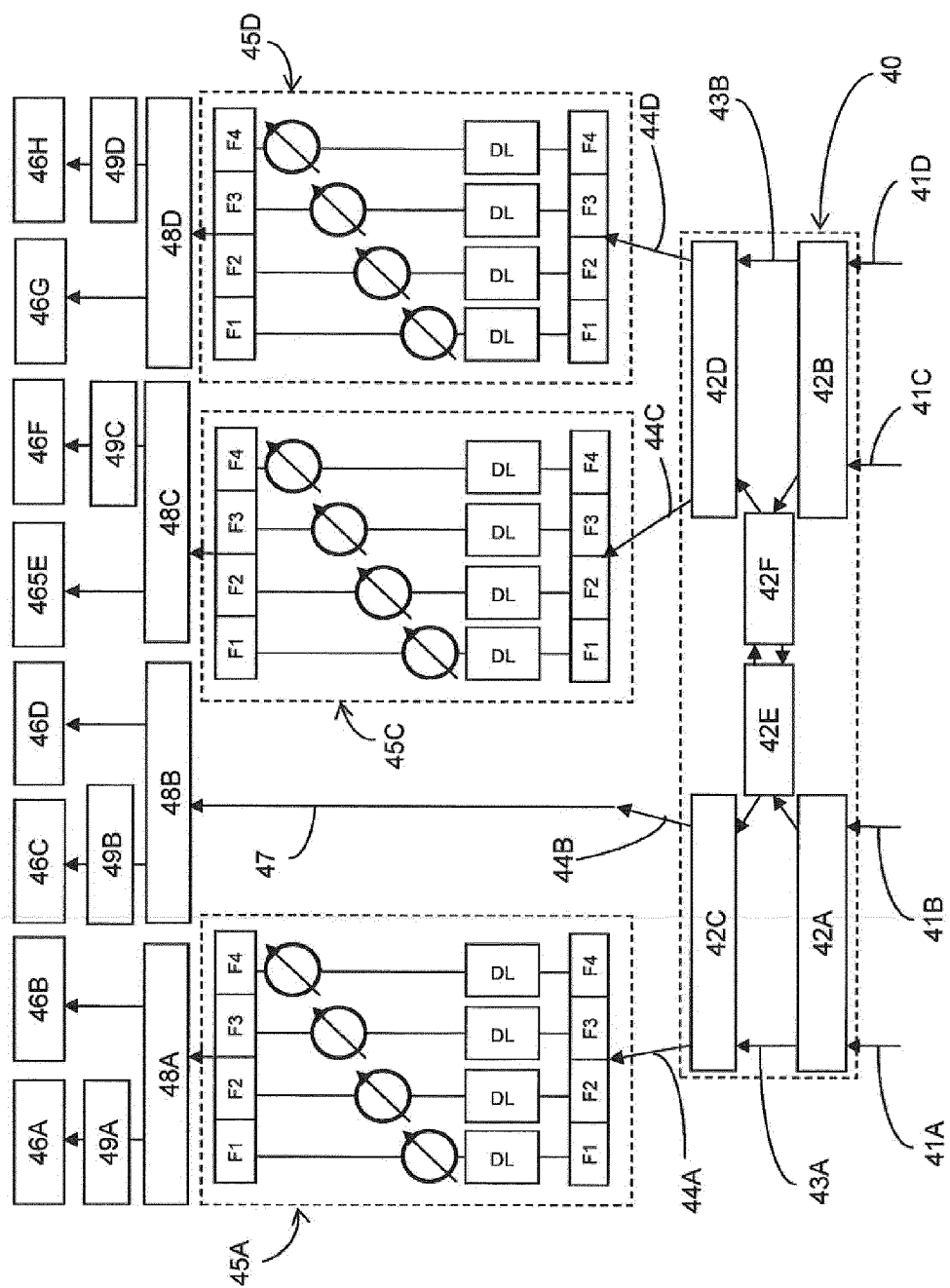


FIG. 5

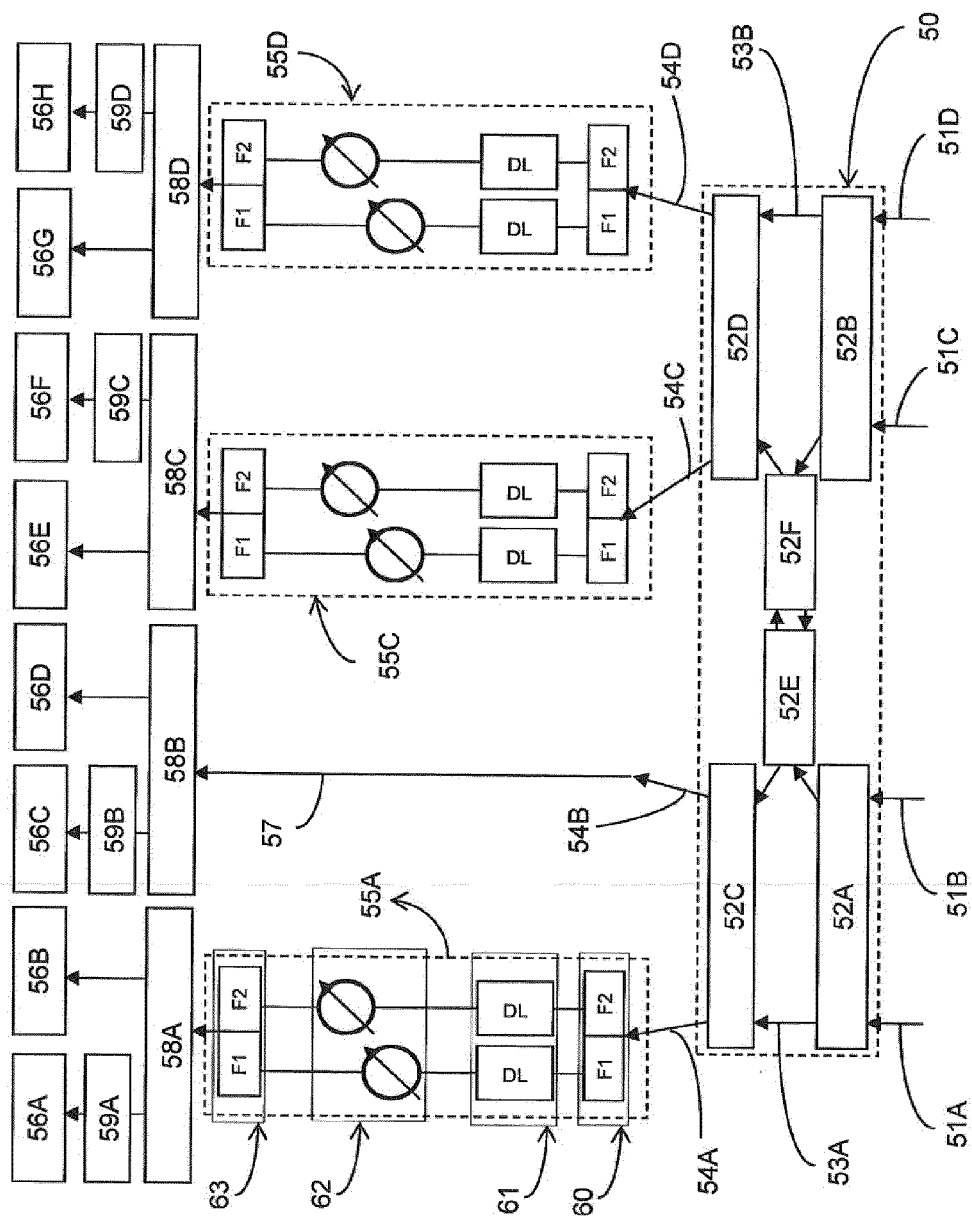
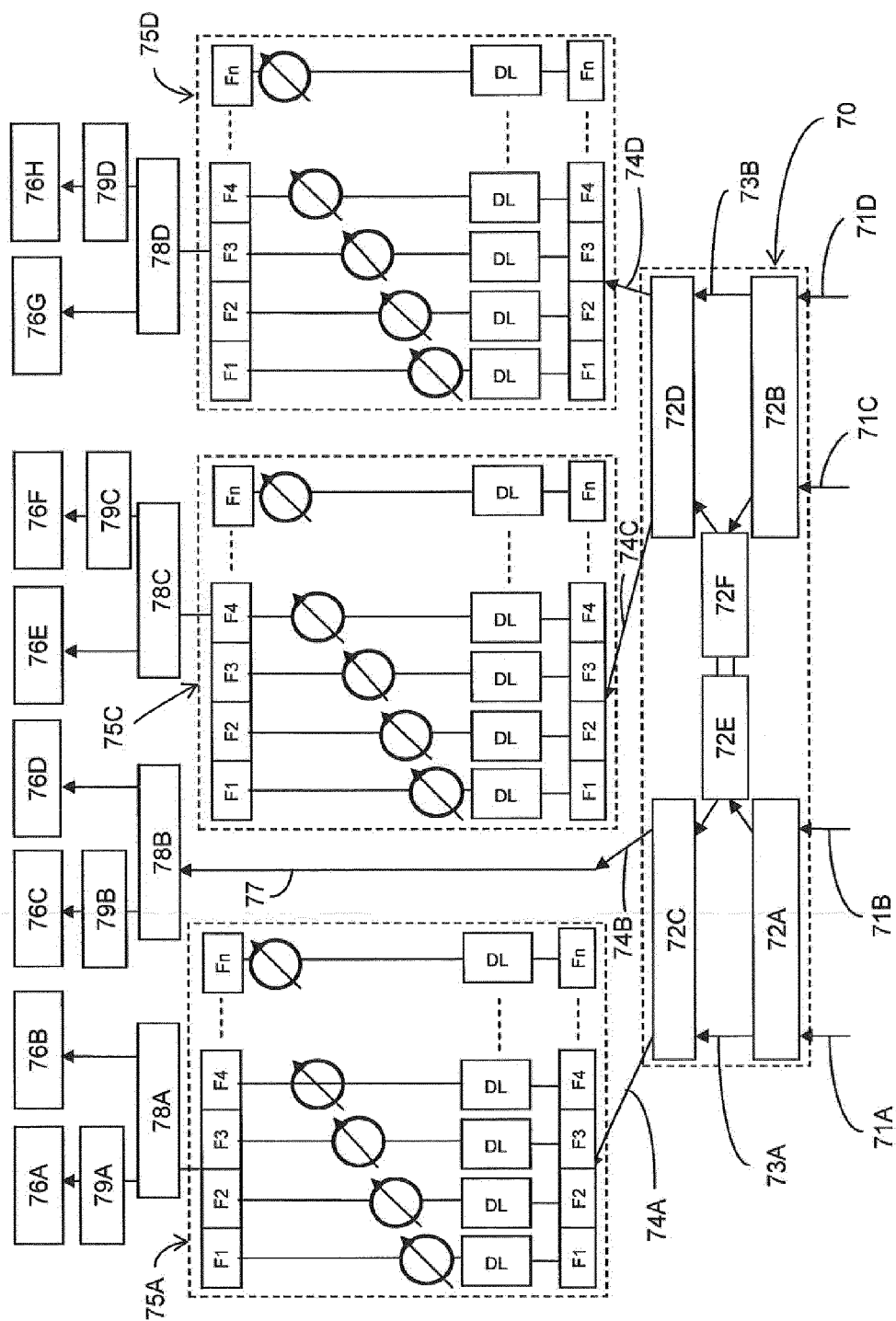


FIG. 6





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 30 6096

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 0 395 239 A1 (HUGHES AIRCRAFT CO [US]) 31 octobre 1990 (1990-10-31)	1,4-8	INV. H01Q3/24
Y	* colonne 3, ligne 39 - ligne 52 * * colonne 5 - colonne 8; figure 7 *	2,3	H01Q21/06 H01Q21/29 H01Q25/00
Y	JP 2000 223924 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 11 août 2000 (2000-08-11) * alinéa [0001] - alinéas [0006], [0012]; figure 1 *	2,3	H01Q5/00 H01Q1/24 H01Q3/40
A	HOSSEIN HABIBIFAR, SAEID REZA SEYDNEJAD: "A broadband beamforming method based on frequency band decomposition", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS ENGINEERING, 22 décembre 2010 (2010-12-22), - 24 décembre 2010 (2010-12-24), pages 92-97, XP002689687, * figure 3 *	1-8	
A	S. EJAZ, M. J. MUGAHL, O. M. KHAN, M. SHABIR: "Design and analysis of butler matrix for planar array applications", PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL BHURBAN CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY, 10 janvier 2011 (2011-01-10), - 13 janvier 2011 (2011-01-13), pages 15-21, XP002689688, * Section II; figure 1 *	7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q H03F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 29 janvier 2013	Examineur Hueso González, J
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	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 12 30 6096

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.

29-01-2013

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0395239	A1	31-10-1990	CA 2011483 A1	24-10-1990
			DE 69007157 D1	14-04-1994
			DE 69007157 T2	13-10-1994
			EP 0395239 A1	31-10-1990
			JP 2302102 A	14-12-1990
			US 5233358 A	03-08-1993

JP 2000223924	A	11-08-2000	AUCUN	

EPO FORM P0460

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