

(19)



(11)

EP 1 955 405 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.11.2020 Bulletin 2020/48

(51) Int Cl.:
H01Q 3/26^(2006.01) H01Q 21/22^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06842043.9**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2006/051232

(22) Date de dépôt: **27.11.2006**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/060375 (31.05.2007 Gazette 2007/22)

(54) **ANTENNE RESEAU A MAILLAGE IRREGULIER ET EVENTUELLE REDONDANCE FROIDE**
ARRAY-ANTENNE MIT IRREGULÄREM NETZ UND POTENTIELLER KÄLTEREDUNDANZ
ARRAY ANTENNA WITH IRREGULAR MESH AND POSSIBLE COLD REDUNDANCY

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR

- **CAILLOCE, Yann**
F-31300 Toulouse (FR)
- **GUIRAUD, Cécile**
F-31120 Goyrans (FR)

(30) Priorité: **28.11.2005 FR 0553623**

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

(43) Date de publication de la demande:
13.08.2008 Bulletin 2008/33

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

(56) Documents cités:
EP-A- 0 474 977 GB-A- 2 384 914
US-A- 4 052 723 US-A1- 2002 140 616
US-B1- 6 246 364 US-B1- 6 288 673
US-B1- 6 374 104

(72) Inventeurs:

- **CAILLE, Gérard**
F-31170 Tournefeuille (FR)
- **VOISIN, Philippe**
F-31100 Toulouse (FR)

EP 1 955 405 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] L'invention concerne les antennes réseau.

[0002] On entend ici par « antenne réseau » une antenne pouvant fonctionner en émission et/ou en réception et comprenant un réseau de sous-réseaux d'au moins un élément rayonnant et des moyens de contrôle propres à contrôler au moyen de chaîne(s) active(s) l'amplitude et/ou la phase des signaux radiofréquences à transmettre (ou en sens inverse, reçus de l'espace sous forme d'ondes) par chacun des sous-réseaux afin qu'ils émettent (ou reçoivent) des signaux radiofréquences selon un diagramme choisi. Par conséquent, il s'agira aussi bien des antennes-réseau dites à rayonnement direct (souvent désignées par leur acronyme anglais DRA), actives ou plus rarement passives, que des « antennes réseau-rélecteur » (ou « reflectarray antennas »).

[0003] Comme le sait l'homme de l'art, certaines antennes réseau, comme par exemple les antennes à rayonnement direct à amplificateurs répartis juste derrière les éléments rayonnants, permettent de fonctionner en mode multifaisceaux, ce qui est une propriété de base requise par exemple dans le cadre de missions multimédia en bande Ka (18,2 GHz à 20,2 GHz en émission ou 27,5 GHz à 30 GHz en réception), ou de reconfigurer des faisceaux en vol, par exemple dans la bande Ku (10,7 GHz à 12,75 GHz en émission ou 13,75 GHz à 15,6 GHz en réception).

[0004] Cependant, ces réseaux présentent deux principaux inconvénients. Ils nécessitent en effet un grand nombre de chaînes actives dès que la zone de couverture doit être décomposée en faisceaux très fins (ou « spots ») et que l'on a une forte contrainte d'isolation entre zones proches afin de pouvoir réutiliser périodiquement une même sous-bande de fréquences. En outre, le faible rendement énergétique (critère déterminant en émission) des amplificateurs inclus dans leurs chaînes actives en présence de multi-porteuses large bande empire lorsqu'ils ne sont pas utilisés à leur niveau de puissance optimal. Cela résulte en effet de ce que l'on appelle l'apodisation (en anglais « taper ») indispensable lorsque l'on veut obtenir un niveau de lobes secondaires (des diagrammes d'antenne) assez bas. Il est rappelé que l'apodisation est une technique consistant à mettre plus d'énergie au centre du réseau qu'à sa périphérie.

[0005] Un troisième inconvénient peut venir s'ajouter aux deux principaux précédents lorsque l'on est en présence d'une forte contrainte d'isolation entre zones proches du fait d'une réutilisation de fréquence. En effet, la dégradation « douce » des performances lorsque quelques chaînes actives tombent en panne (progressivement en cours de mission) devient souvent inacceptable lorsque le pourcentage de pannes devient significatif. Pour remédier à cet inconvénient il est certes possible de prévoir une redondance classique de sous-réseaux d'éléments rayonnants, de type « 2 pour 1 », ou « 3 pour 2 », ou encore « 10 pour 8 », mais cela entraîne une complexité inacceptable pour les grands réseaux, et une aug-

mentation significative de la masse (inconvenient particulièrement pénalisant pour les antennes embarquées à bord de satellites).

[0006] Pour tenter de remédier aux inconvénients précités, il a été proposé dans le document brevet FR 2762937 une antenne réseau lacunaire à « redondance froide ». Cette solution consiste à prévoir en des endroits choisis du réseau un nombre restreint de sous-réseaux de substitution et de chaînes actives de contrôle associées, qui ne sont utilisés qu'en cas de panne d'une ou plusieurs chaînes actives de contrôle. Les emplacements de ces sous-réseaux de substitution sont choisis de sorte que l'émission et/ou la réception continue de répondre aux besoins : en première approximation, la loi de répartition apodisée de l'énergie doit rester globalement similaire avant et après activation de certaines des redondances.

[0007] Lorsqu'un sous-réseau de substitution n'est pas utilisé, il forme un trou d'émission et/ou de réception dans le réseau, qui est pris en compte lors de l'optimisation de l'antenne. Cependant, la présence d'un nombre important de trous dans le réseau abaisse la directivité de l'antenne pour une dimension extérieure donnée. Par ailleurs, en raison du maillage régulier du réseau avant la définition des trous, si l'on veut obtenir des lobes secondaires de niveau faible (pour éviter en particulier que les « lobes de réseau » dus à la périodicité ne viennent interférer dans le domaine angulaire utile) on est obligé d'utiliser des sous-réseaux dont le nombre d'éléments rayonnants est faible, si bien que l'on ne peut que réduire légèrement le nombre total de sous-réseaux.

[0008] Un document US 6 246 364 B1 divulgue une antenne d'émission et de réception comprenant un réseau de sous-réseaux.

[0009] Aucune solution connue n'apportant une entière satisfaction, l'invention a donc pour but d'améliorer la situation.

[0010] Elle propose à cet effet une antenne réseau d'émission et/ou de réception selon la première revendication.

[0011] L'antenne réseau selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment :

- ses sous-réseaux peuvent être agencés les uns par rapport aux autres selon une distribution de type pseudo-aléatoire optimisée sous contrainte(s), par exemple avec des algorithmes de type « génétique » ou « recuit simulé » ;
- son réseau peut par exemple comprendre une partie centrale dans laquelle les sous-réseaux comprennent entre un et quatre (et par exemple entre un et deux) éléments rayonnants, et entourée par une partie périphérique où ils comprennent de préférence entre un et seize éléments, avec un nombre moyen beaucoup plus élevé que dans la partie centrale ;
- le maillage irrégulier peut être réalisé à partir de sous-réseaux constitués de groupes d'au moins

deux éléments rayonnants planaires compacts ;

➤ le maillage irrégulier est par exemple réalisé à partir de premiers deuxièmes et troisièmes sous-réseaux constitués de groupes comportant respectivement quatre, huit et seize éléments rayonnants planaires compacts ;

➤ les éléments rayonnants planaires compacts sont par exemple des petits pavés métalliques (ou « patches ») ;

- certains sous-réseaux, dits « de substitution », implantés en des endroits choisis, peuvent n'être prévus que pour être utilisés en cas de défaillance d'au moins un autre sous-réseau. Dans ce cas, la plupart des sous-réseaux de substitution peuvent par exemple être implantés dans une partie périphérique du réseau, là où la présence de « trous » dans l'illumination de l'antenne n'est pas pénalisante (mais contribue avec la maille irrégulière à créer l'apodisation nécessaire) ;
- elle peut se présenter sous la forme d'une antenne active à rayonnement direct (communément appelée *DRA*). Dans ce cas, ses moyens de contrôle comprennent un « formateur de faisceau » (dont l'acronyme anglais est *BFN*), commandable au non, et des amplificateurs de signaux (ou chaînes actives) associés chacun à l'un des sous-réseaux (y compris ceux dits de substitution, lorsqu'ils existent) et chargés de fonctionner selon des puissances sensiblement identiques à l'émission ;
- un tel formateur de faisceau, couplé aux chaînes actives, est en particulier indispensable pour permettre l'émission et/ou la réception d'au moins deux faisceaux de signaux radiofréquences selon des directions choisies ;
- les moyens de formation de faisceaux peuvent être reconfigurables de manière à permettre la modification des directions choisies des faisceaux et/ou le nombre de faisceaux ;
- dans une variante, elle peut se présenter sous la forme d'une antenne réseau réflecteur. Dans ce cas, on n'a pas de formateur de faisceau(x) sous forme de circuit. La distribution du signal en émission (ou sa sommation en réception) s'effectue en espace libre depuis (ou vers) une source primaire, et la forme et l'orientation du faisceau sont commandables grâce à des dispositifs intégrés aux éléments rayonnants.

[0012] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon très schématique et fonctionnelle un exemple de réalisation d'une antenne

réseau à rayonnement direct à laquelle peut s'appliquer l'invention,

- la figure 2 illustre de façon très schématique un premier exemple de réseau à maillage irrégulier selon l'invention, dans une phase intermédiaire d'optimisation,
- la figure 3 illustre de façon très schématique un deuxième exemple de réseau à maillage irrégulier selon l'invention,
- la figure 4 illustre de façon très schématique un exemple de réseau à maillage irrégulier et redondance froide.
- la figure 5 illustre de façon très schématique un troisième exemple de réseau à maillage irrégulier selon l'invention.

[0013] Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

[0014] L'invention a notamment pour objet de permettre la réduction du nombre de sous-réseaux d'une antenne réseau, une apodisation au moyen d'amplificateurs de puissances sensiblement identiques (dans le cas le mieux adapté d'une antenne d'émission), ainsi qu'une éventuelle redondance pour pallier les pannes.

[0015] Dans ce qui suit, on considère à titre d'exemple non limitatif que l'antenne réseau est à rayonnement direct (ou *DRA*). Mais, l'invention n'est pas limitée à ce type de réseau. Elle concerne également les antennes réseau réflecteur.

[0016] Il est rappelé qu'une antenne réseau réflecteur est constituée d'éléments rayonnants chargés d'intercepter avec des pertes minimales des ondes, comportant des signaux radiofréquences à transmettre, délivrées par une source primaire, afin de les réfléchir dans une direction choisie, appelée direction de pointage. Afin de permettre la reconfigurabilité du diagramme d'antenne, chaque élément rayonnant est équipé d'un dispositif de contrôle de phase avec lequel il constitue une cellule déphaseuse passive ou active.

[0017] Pour simplifier la description, on considère dans ce qui suit que l'antenne réseau est dédiée à l'émission de signaux radiofréquences. Mais, l'invention n'est pas limitée à ce cas. Elle concerne en effet les antennes réseau dédiées à l'émission et/ou la réception de signaux radiofréquences.

[0018] On se réfère tout d'abord à la figure 1 pour décrire une antenne réseau à rayonnement direct *AR* capable de mettre en œuvre l'invention.

[0019] Comme cela est schématiquement et fonctionnellement illustré sur la figure 1, une antenne réseau à rayonnement direct *AR* comporte un réseau *R* de *M* ($M > 1$) sous-réseaux d'au moins un élément rayonnant (non représentés), *M* chaînes actives *C_m* ($m = 2 \text{ à } M$) couplées chacune à l'un des *M* sous-réseaux, éventuellement par l'intermédiaire d'un filtre *F_m*, par exemple de type passe-bande, et un module (ou réseau) de formation de faisceau(x) *MFF* (ou *BFN* pour « Beam Forming

Network ») comprenant N ports d'entrées Pn ($n = 1$ à N, $N > 0$) et M ports de sortie couplés chacun à l'entrée d'une chaîne active Cm.

[0020] Tous les éléments rayonnants d'un réseau (ou panneau d'éléments rayonnants) R sont généralement du même type. Il s'agit par exemple de pavés (ou « patches »), de cornets, de dipôles, ou d'hélices. Les pavés (ou patches), qui sont des éléments compacts mais peu directifs, sont utilisés de préférence en sous-réseaux, c'est-à-dire en sous-ensembles (plus directifs) constitués de plusieurs patches reliés par des lignes fixes, comme c'est le cas sur la figure 5, sur laquelle on reviendra plus loin. Ils se prêtent donc particulièrement bien à un agencement variable à granularité fine (sans coût excessif), ce qui est l'un des objectifs de la présente invention.

[0021] Chaque chaîne active Cm comprend un déphaseur Dm, chargé d'appliquer un déphasage choisi aux signaux que le sous-réseau associé doit transmettre sous forme d'ondes, et un amplificateur de puissance Am, chargé d'appliquer une amplification choisie aux signaux déphasés devant être transmis par les éléments rayonnants concernés sous la forme d'ondes (ou rayonnement électromagnétique).

[0022] Les amplificateurs Am sont le plus souvent de type dit SSPA (« Solid State Power Amplifier » - amplificateur de puissance à état solide délivrant une puissance de quelques Watts). Plus rarement, si la puissance à fournir excède la dizaine de Watts, et qu'une faible consommation est prépondérante par rapport à l'augmentation de la masse, les amplificateurs peuvent être des « mini-tubes » (version compacte des « Tubes à Ondes Progressives (ou TOP) ») utilisés depuis longtemps dans le domaine des radars et des systèmes de communication par satellite).

[0023] Le module de formation de faisceau(x) MFF peut être soit de type analogique, soit de type numérique. Il est chargé d'alimenter les différentes chaînes actives Cm en signaux à déphaser (pour re-pointer simultanément tous les faisceaux, en cas de mouvement parasite du porteur de l'antenne-réseau), et à amplifier (ainsi qu'éventuellement à filtrer). Dans les cas où l'on veut que les directions de chacun des faisceaux soient commandables indépendamment, les déphaseurs commandables, représentés sur la figure 1, sont également inclus dans le module de formation de faisceau(x) MFF : il y en a alors autant que de faisceaux et d'éléments rayonnants.

[0024] L'ensemble des phases et niveaux d'amplification qui doivent être appliqués aux signaux par les différentes chaînes actives Cm est appelé une loi de phase et/ou d'amplitude. Cette loi définit un diagramme (ici d'émission) pour l'antenne AR. Le nombre de diagrammes différents qu'une antenne AR peut générer simultanément dépend du nombre de ports d'entrée Pn du module de formation de faisceau(x) MFF. Chaque port d'entrée Pn est en effet chargé d'activer un diagramme donné. Chaque diagramme (d'émission) correspond à

l'émission d'un faisceau d'ondes dans une direction donnée de manière à couvrir une zone (ou spot).

[0025] Il est important de noter qu'une antenne AR peut émettre simultanément plusieurs faisceaux correspondant à des diagrammes différents activés par des ports d'entrée Pn différents (on parle alors de fonctionnement multifaisceaux). Par ailleurs, lorsque la programmation des diagrammes est figée dans le module de formation de faisceau(x) MFF, l'antenne est dite « à faisceaux fixes », souvent appelée « antenne passive ». Dans le cas contraire, l'antenne est dite reconfigurable, souvent appelée « antenne active », car la présence d'éléments commandables est presque toujours associée à celle d'amplificateurs répartis sur toutes les voies. Elle comprend alors, comme illustré sur la figure 1, une entrée de configuration EC (c'est-à-dire une connexion filaire avec un module de commande pré-programmé).

[0026] On notera par ailleurs qu'une antenne réseau dédiée à la réception présente un agencement similaire à celle de l'antenne réseau dédiée à l'émission présentée ci-avant. Ce qui les différencie c'est le fait que l'énergie est transmise en sens inverse (des éléments rayonnants vers le module de formation de faisceau(x)) par l'intermédiaire d'amplificateurs à faible bruit (ou LNAs pour (« Low Noise Amplifiers »)).

[0027] L'invention porte sur l'agencement particulier du réseau R de sous-réseaux SR d'éléments rayonnants ER.

[0028] Plus précisément, selon l'invention et comme illustré sur les trois exemples non limitatifs des figures 2 à 4, les sous-réseaux SR du réseau R, d'une part comprennent un nombre moyen d'éléments rayonnants ER qui croît du centre PC du réseau R vers sa périphérie PP (sauf dans le cas de la figure 2, qui illustre une configuration intermédiaire ne prenant pas en compte la totalité des critères), et d'autre part sont agencés les uns par rapport aux autres de manière à constituer un maillage irrégulier.

[0029] On entend ici par « nombre moyen d'éléments rayonnants ER », un nombre moyen par rapport à un ensemble de sous-réseaux SR situés dans une même région du réseau R (par exemple une partie centrale PC ou une partie périphérique PP). Il ne s'agit donc pas obligatoirement d'avoir dans une même région du réseau R des sous-réseaux SR dont le nombre d'éléments rayonnants ER est systématiquement plus petit que celui des sous-réseaux SR situés dans une autre région du réseau R, plus éloignée de son centre. Mais, cela est souvent le cas. Ainsi, on peut par exemple envisager que le réseau R comprenne une partie centrale PC dans laquelle les sous-réseaux SR comprennent entre un et trois éléments rayonnants ER, voire même entre un et deux éléments rayonnants ER, et une partie périphérique PP entourant la partie centrale PC et dans laquelle les sous-réseaux SR comprennent entre un et quatorze éléments rayonnants ER, ou bien entre trois et quatorze éléments.

[0030] Il est important d'insister sur le fait que la croissance moyenne du nombre d'éléments du centre vers la

périphérie, ou en d'autres termes la décroissance de la densité des points d'alimentation du centre vers la périphérie, permet d'obtenir une apodisation avec des amplificateurs de même puissance.

[0031] En effet, la variation du nombre moyen d'éléments rayonnants ER du centre PC vers la périphérie PP permet d'obtenir une apodisation de l'illumination avec un minimum de variation spatiale de la puissance des amplificateurs de puissance Am couplés à chaque sous-réseau SR. Cela permet d'utiliser des amplificateurs de puissance Am fonctionnant avec des puissances sensiblement égales (« équi-puissance ») à ± 1 dB à trois écarts types (3σ), par exemple. Ces amplificateurs de puissance Am sont ainsi optimisés pour obtenir le meilleur rendement énergétique possible, tout en évitant le cas coûteux d'utilisation de plusieurs types d'amplificateurs de puissances différentes.

[0032] Le maillage irrégulier, au moyen de sous-réseaux SR de nombres d'éléments rayonnants ER différents et/ou de formes différentes, permet d'obtenir des diagrammes dont les lobes secondaires sont de faible intensité ainsi qu'un gain élevé dans une direction privilégiée (puisqu'on évite de très nombreux trous dans le réseau). Plus le maillage est irrégulier, plus le niveau des « lobes de réseau » est faible. Ces « lobes de réseau » sont en effet les lobes secondaires les plus élevés, dus à la périodicité du maillage d'un réseau classique.

[0033] Ce maillage irrégulier résulte par exemple d'une distribution des sous-réseaux SR de type pseudo-aléatoire sous contrainte(s). Il est déterminé en fonction des spécifications sur les lobes secondaires de l'antenne, de l'isolation entre zones proches dans le cas d'une réutilisation de fréquence, et de la ou des contraintes sur la forme des sous-réseaux. De nombreux types de contrainte peuvent être envisagés, comme par exemple la ou les formes des sous-réseaux (des sous-réseaux à contour rectangulaire sont plus faciles à réaliser par exemple avec des petits cornets ou des pavés rayonnants), ou la décomposition du réseau en quadrants symétriques.

[0034] La détermination du maillage se fait au moyen d'un algorithme spécialisé, comme par exemple un algorithme génétique (basé sur des tirages au sort successifs organisés de manière judicieuse), un algorithme dit « de recuit simulé », ou tout autre type d'algorithme connu des spécialistes en optimisation de problèmes à variables discrètes.

[0035] Sur la figure 2 se trouve illustré un premier exemple de réseau R à maillage irrégulier selon l'invention, dans une phase intermédiaire d'optimisation (c'est-à-dire avant prise en compte du critère d'apodisation par la géométrie). Dans ce premier exemple, chaque sous-réseau SR est délimité par des traits continus, tandis que les éléments rayonnants ER d'un sous réseau SR sont séparés par des pointillés.

[0036] Par exemple, si l'on se réfère aux axes X (abscisses) et Y (ordonnées) du repère :

- entre les ordonnées -12 et -11 (partie périphérique PP) et entre les abscisses -3 et +3 on trouve trois sous-réseaux SR de forme rectangulaire comportant chacun deux éléments rayonnants ER,
- entre les ordonnées -11 et -10 (partie périphérique PP) et entre les abscisses -5 et +5 on trouve deux sous-réseaux SR comportant chacun deux éléments rayonnants ER et deux sous-réseaux SR comportant chacun quatre éléments rayonnants ER,
- entre les abscisses -2 et +2 on trouve quatre colonnes qui s'étendent entre les ordonnées -8 et +8, chaque colonne comportant huit sous-réseaux SR rectangulaires de deux éléments rayonnants ER. Il s'agit d'une zone située dans la partie centrale PC du réseau R,
- entre les abscisses -4 et -2 et les ordonnées -6 et -4 on trouve un sous-réseau SR carré de quatre éléments rayonnants ER.

[0037] Cet exemple correspond à une situation évoquée ci-avant, dans laquelle la partie centrale PC comprend essentiellement des sous-réseaux SR dont le nombre moyen d'éléments rayonnants ER est égal à deux et est inférieur à celui (égal à environ trois) des sous-réseaux SR situés dans la partie périphérique PP, qui comprend également des sous-réseaux SR de petits nombres d'éléments rayonnants (deux, voire même un seul).

[0038] Sur la figure 3 se trouve illustré un deuxième exemple de réseau R à maillage irrégulier selon l'invention. Dans ce deuxième exemple, tous les symboles identiques adjacents définissent des éléments rayonnants ER d'un même sous-réseau SR, connecté à une chaîne active Cm.

[0039] Cet exemple correspond plus clairement au critère évoqué ci-avant, dans laquelle la partie centrale PC comprend des sous-réseaux SR dont le nombre d'éléments rayonnants ER est compris entre un et deux, puis la partie intermédiaire PI comprend des sous-réseaux SR dont le nombre d'éléments rayonnants ER est compris entre un et trois, et la partie périphérique PP comprend des sous-réseaux SR dont le nombre d'éléments rayonnants ER est compris entre un et quatorze. On a donc bien des sous-réseaux SR pour lesquels le nombre moyen d'éléments rayonnants ER croît nettement du centre vers la périphérie.

[0040] Sur la figure 4 se trouve illustré un troisième exemple de réseau R ayant à la fois un maillage irrégulier et des redondances froides. Dans cet exemple, tous les symboles identiques adjacents définissent des éléments rayonnants d'un même sous-réseau, connecté à une chaîne active Cm. Chaque zone grisée représente un sous-réseau de substitution SRS connecté à une chaîne active Cm dite en redondance froide. Cette dernière est décrite en détail dans le document brevet FR 2762937. Elle ne sera donc pas re-décrite ici. Il est simplement rappelé qu'une chaîne active Cm est dite en redondance froide lorsqu'elle demeure éteinte (ou non activée) tant

qu'elle ne doit pas remplacer une ou plusieurs autres chaînes actives (non redondantes) tombées en panne.

[0041] L'utilisation de chaînes actives en redondance froide impose simplement d'intégrer des commutateurs à bas niveau dans le module de formation de faisceau(x) MFF. Par ailleurs, les chaînes actives en redondance froide n'entraînent pas de sur-consommation puisqu'elles ne sont alimentées que lorsqu'elles sont utilisées pour remplacer au moins une chaîne active défaillante (dont l'alimentation est alors coupée soit par une commande spécifique, soit automatiquement en cas de protection par fusible contre les courts-circuits).

[0042] Dans la situation illustrée sur la figure 4, le réseau R comprend donc des sous-réseaux de substitution SRS et des sous-réseaux dits principaux SRP (utilisés lorsque leurs chaînes actives Cm respectives ne sont pas en panne).

[0043] Ces sous-réseaux de substitution SRS sont implantés en des endroits choisis de sorte que l'émission et/ou la réception puisse continuer de se faire normalement (c'est-à-dire avec un ou plusieurs diagrammes quasi inchangés). Les emplacements, formes et nombres d'éléments rayonnants ER des sous-réseaux de substitution SRS sont de préférence déterminés en même temps que ceux des sous-réseaux principaux SRP. Pour ce faire, on introduit dans le calcul, dès le début, une contrainte initiale supplémentaire consistant à prévoir des trous d'émission et/ou de réception.

[0044] Comme cela est illustré sur la figure 4, la plupart des sous-réseaux de substitution SRS peuvent être de préférence implantés dans les parties intermédiaire PI et périphérique PP du réseau R. Dans cette situation optionnelle, l'apodisation est forte car il n'y a pas de trou dans la partie centrale ; mais la compensation des pannes survenant dans la partie centrale n'est qu'imparfaite. Par conséquent plusieurs options existent sur les contraintes que l'on se donne sur les emplacements des sous-réseaux de substitution SRS, selon les poids relatifs attribués pour l'application considérée aux différents « critères de qualité » de l'antenne-réseau à concevoir.

[0045] Sur la figure 5 se trouve illustré un troisième exemple de réseau R à maillage irrégulier selon l'invention. Cet exemple de réseau est bien adapté aux antennes-réseaux embarquées sur des satellites (par exemple dans des applications de télécommunication).

[0046] Dans ce troisième exemple, chaque bloc géométrique (carré ou rectangulaire) représente un sous-réseau d'au moins deux éléments rayonnants ER de type planaire compact, comme par exemple des petits pavés métalliques (ou patches). Plus précisément, le maillage irrégulier est ici constitué à partir de trois types différents de sous-réseaux. Chaque premier sous-réseau SR1 est constitué d'un groupe de quatre éléments rayonnants planaires compacts ER. Chaque deuxième sous-réseau SR2 est constitué d'un groupe de huit éléments rayonnants planaires compacts ER. Chaque troisième sous-réseau SR3 est constitué d'un groupe de seize éléments rayonnants planaires compacts ER.

[0047] Comme dans les autres exemples, les éléments rayonnants ER d'un même sous-réseau SR1, SR2 ou SR3 sont connectés à une chaîne active Cm.

[0048] Comme cela est bien connu de l'homme de l'art, chaque sous-réseau peut être constitué à partir d'un empilement comprenant par exemple une structure (par exemple en aluminium) définissant des premières cavités et les canaux des différentes lignes d'excitation, puis un circuit (par exemple en duroïd ou en quartz polyimide) définissant des pavés dits « directeurs » et incluant les lignes de répartition, puis une structure (par exemple en aluminium) définissant des secondes cavités, puis un circuit (par exemple en duroïd ou en quartz polyimide) définissant des pavés dits « parasites », et enfin un circuit de protection contre les radiations.

[0049] Comme cela est illustré, les premiers sous-réseaux SR1 (qui contiennent le nombre d'éléments rayonnants ER le plus faible) sont placés dans une partie centrale PC du réseau R, les deuxième sous-réseaux SR2 (qui contiennent un nombre intermédiaire d'éléments rayonnants ER) sont placés dans une partie intermédiaire PI du réseau R, et les troisième sous-réseaux SR3 (qui contiennent le nombre d'éléments rayonnants ER le plus grand) sont placés dans une partie périphérique PP du réseau R. On a donc bien des sous-réseaux SR pour lesquels le nombre moyen d'éléments rayonnants ER croît nettement du centre vers la périphérie.

[0050] Bien entendu, le nombre d'éléments rayonnants planaires compacts ER des différents types de sous-réseau peut être différent de celui illustré. Par exemple, on peut avoir des premiers SR1, deuxième SR2 et troisième SR3 sous-réseaux comportant respectivement 2, 4 et 8 éléments rayonnants planaires compacts ER, ou bien 2, 8 et 16 éléments rayonnants planaires compacts ER, ou encore 2, 8 et 32 éléments rayonnants planaires compacts ER. Toutes autres valeurs peuvent être envisagées.

[0051] Par ailleurs, un maillage irrégulier peut être défini à partir de deux types de sous-réseaux ou bien de plus de trois types.

[0052] Grâce à l'invention, le nombre de chaînes actives de l'antenne réseau, et donc son coût, peut être notablement réduit, comparé à une antenne réseau classique (c'est-à-dire à maille régulière) présentant des performances sensiblement équivalentes. Cette réduction peut atteindre 50% dans certains cas n'utilisant pas de chaîne active en redondance froide. Le fonctionnement en redondance froide nécessite un ajout d'environ 10% de chaînes actives en redondance froide, si bien que la réduction globale devient inférieure ou égale à 40%. Mais, il permet de conserver de meilleures performances pour l'antenne réseau en présence de pannes de chaînes actives principales.

[0053] Par ailleurs, l'invention permet d'utiliser des amplificateurs sensiblement de même puissance, ce qui permet encore de réduire le coût de l'antenne réseau et d'améliorer son rendement énergétique (il est en effet rappelé que dans une antenne réseau à maillage régulier

l'apodisation nécessite des puissances fortement différentes).

Revendications

1. Antenne réseau d'émission et/ou réception (AR) comprenant un réseau (R) de sous-réseaux (SR) d'au moins un élément rayonnant (ER) et des moyens de contrôle (Cm, MFF) propres à contrôler l'amplitude et/ou la phase des signaux radiofréquences à transmettre ou reçus sous forme d'ondes par chacun desdits sous-réseaux (SR), lesdits sous-réseaux (SR) comprenant un nombre moyen d'éléments rayonnants (ER) qui croît du centre dudit réseau (R) vers sa périphérie, chaque sous-réseau étant couplé à une chaîne active comportant un déphaseur (Dm) et un amplificateur (Am) permettant d'activer l'amplitude et/ou la phase des signaux hyperfréquences à transmettre ou reçus, lesdits sous-réseaux étant agencés les uns par rapport aux autres de manière à constituer un maillage irrégulier offrant des lobes secondaires de diagramme de faible intensité et un gain élevé dans une direction privilégiée, **caractérisé en ce que** les éléments rayonnants (ER) constituant un même sous-réseau (R) sont couplés à une même chaîne active (Cm), les amplificateurs (Am) des différentes chaînes actives étant configurés pour fonctionner avec des puissances sensiblement égales.
2. Antenne réseau selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ledit réseau (R) comprend une partie périphérique (PP) entourant une partie centrale (PC) dans laquelle lesdits sous-réseaux (SR) comprennent entre un et quatre éléments rayonnants (ER).
3. Antenne réseau selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** ladite partie centrale (PC) ne comporte que des sous-réseaux (SR) comprenant entre un et deux éléments rayonnants (ER).
4. Antenne selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ledit maillage irrégulier est réalisé à partir de sous-réseaux constitués de groupes d'au moins deux éléments rayonnants planaires compacts.
5. Antenne réseau selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ledit maillage irrégulier est réalisé à partir de premiers sous-réseaux constitués de groupes de quatre éléments rayonnants planaires compacts, de deuxièmes sous-réseaux constitués de groupes de huit éléments rayonnants planaires compacts, et de troisièmes sous-réseaux constitués de groupes de seize éléments rayonnants planaires compacts.

6. Antenne selon l'une des revendications 4 ou 5, **caractérisée en ce que** lesdits éléments rayonnants planaires compacts sont des petits pavés métalliques.
7. Antenne réseau selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** lesdits moyens de contrôle (Cm, MFF) comprennent des moyens de formation de faisceaux (MFF), couplés auxdites chaînes de contrôle actif (Cm)
8. Antenne réseau selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** lesdits moyens de formation de faisceaux (MFF) sont reconfigurables.
9. Antenne réseau selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce qu'elle** est du type dit « antenne réseau réflecteur ».

Patentansprüche

1. Netzwerk-Sende- und/oder Empfangsantenne (AR), umfassend ein Netzwerk (R) aus Teilnetzwerken (SR) von mindestens einem Abstrahlelement (ER) und Steuermittel (Cm, MFF) zum Steuern der Amplitude und/oder der Phase der durch jedes der Teilnetzwerke (SR) in Form von Wellen zu übertragenden oder empfangenen Funkfrequenzsignale, wobei die Teilnetzwerke (SR) eine mittlere Anzahl von Abstrahlelementen (ER) umfassen, welche vom Mittelpunkt des Netzwerks (R) in Richtung seiner Peripherie ansteigt, wobei jedes Teilnetzwerk mit einer aktiven Kette gekoppelt ist, umfassend einen Phasenschieber (Dm) und einen Verstärker (Am), der es ermöglicht, die Amplitude und/oder die Phase der zu übertragenden oder empfangenen Mikrowellen-signale zu aktivieren, wobei die Teilnetzwerke zueinander so eingerichtet sind, dass sie ein unregelmäßiges Raster bilden, welches Diagrammnebenkeulen mit geringer Intensität und eine hohe Verstärkung in einer bevorzugten Richtung bietet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstrahlelemente (ER), die ein gleiches Teilnetzwerk (R) bilden, mit einer gleichen aktiven Kette (Cm) gekoppelt sind, wobei die Verstärker (Am) der unterschiedlichen aktiven Ketten konfiguriert sind, um mit im Wesentlichen gleichen Leistungen zu arbeiten.
2. Netzwerkantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Netzwerk (R) einen peripheren (PP) Teil umfasst, der einen mittleren Teil (PC) umgibt, wobei die Teilnetzwerke (SR) zwischen einem und vier Abstrahlelementen (ER) umfassen.
3. Netzwerkantenne nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mittlere Teil (PC) nur Teilnetzwerke (SR) umfasst, welche zwischen einem

und zwei Abstrahlelementen (ER) umfassen.

4. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das unregelmäßige Raster aus Teilnetzwerken gebildet wird, welche aus Gruppen von mindestens zwei kompakten, planaren Abstrahlelementen bestehen. 5
5. Netzwerkantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das unregelmäßige Raster aus ersten Teilnetzwerken gebildet wird, bestehend aus Gruppen von vier kompakten, planaren Abstrahlelementen, aus zweiten Teilnetzwerken, bestehend aus Gruppen von acht kompakten, planaren Abstrahlelementen, und aus dritten Teilnetzwerken, bestehend aus Gruppen von sechzehn kompakten, planaren Abstrahlelementen. 10
6. Antenne nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kompakten, planaren Abstrahlelemente kleine metallische Blöcke sind. 15
7. Netzwerkantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuermittel (Cm, MFF) Strahlformmittel (MFF) umfassen, welche mit den aktiven Steuerketten (Cm) gekoppelt sind. 20
8. Netzwerkantenne nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlformmittel (MFF) rekonfigurierbar sind. 25
9. Netzwerkantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Antenne vom Typ "Reflektor-Netzwerkantenne" ist. 30

Claims

1. A transmit and/or receive array antenna (AR) comprising an array (R) of sub-arrays (SR) of at least one radiating element (ER) and control means (Cm, MFF) suitable for controlling the amplitude and/or the phase of the radiofrequency signals to be transmitted or received in the form of waves by each of said sub-arrays (SR), said sub-arrays (SR) comprising a mean number of radiating elements (ER) which increases from the center of said array (R) to its periphery, each sub-array being coupled to an active chain comprising a phase shifter (Dm) and an amplifier (Am) allowing to activate the amplitude and/or the phase of the microwave signals to be transmitted or received, said sub-arrays being arranged with respect to one another so as to constitute an irregular mesh offering pattern sidelobes of low intensity and a high gain in a favored direction, **characterized in that** the radiating elements (ER) constituting a same 50

sub-array (R) are coupled to a same active chain (Cm), the amplifiers (Am) of different active chains being configured to operate with substantially equal power levels.

2. The array antenna according to claim 1, **characterized in that** said array (R) comprises a peripheral part (PP) surrounding a central part (PC) in which said sub-arrays (SR) comprise between one and four radiating elements (ER). 10
3. The array antenna according to claim 2, **characterized in that** said central part (PC) comprises only sub-arrays (SR) comprising between one and two radiating elements (ER). 15
4. The antenna according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** said irregular mesh is achieved on the basis of sub-arrays consisting of groups of at least two compact planar radiating elements. 20
5. The array antenna according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** said irregular mesh is achieved on the basis of first sub-arrays consisting of groups of four compact planar radiating elements, of second sub-arrays consisting of groups of eight compact planar radiating elements, and of third sub-arrays consisting of groups of sixteen compact planar radiating elements. 25
6. The antenna according to one of claims 4 or 5, **characterized in that** said compact planar radiating elements are small metal tiles. 30
7. The array antenna according to one of claims 1 to 6, **characterized in that** said control means (Cm, MFF) comprise beam-forming means (MFF), coupled to said active-control chains (Cm). 35
8. The array antenna according to claim 7, **characterized in that** said beam-forming means (MFF) are reconfigurable. 40
9. The array antenna according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** it is of the type termed "reflector array antenna". 45

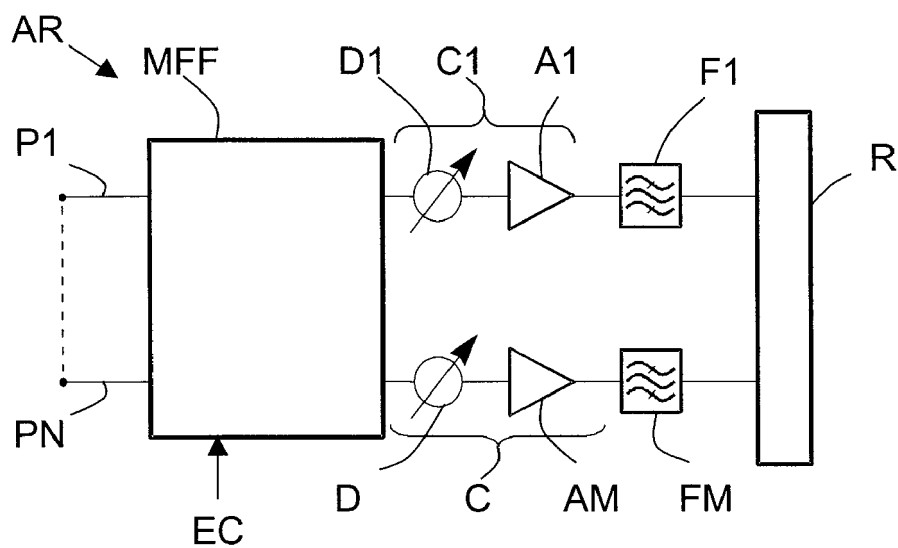


FIG.1

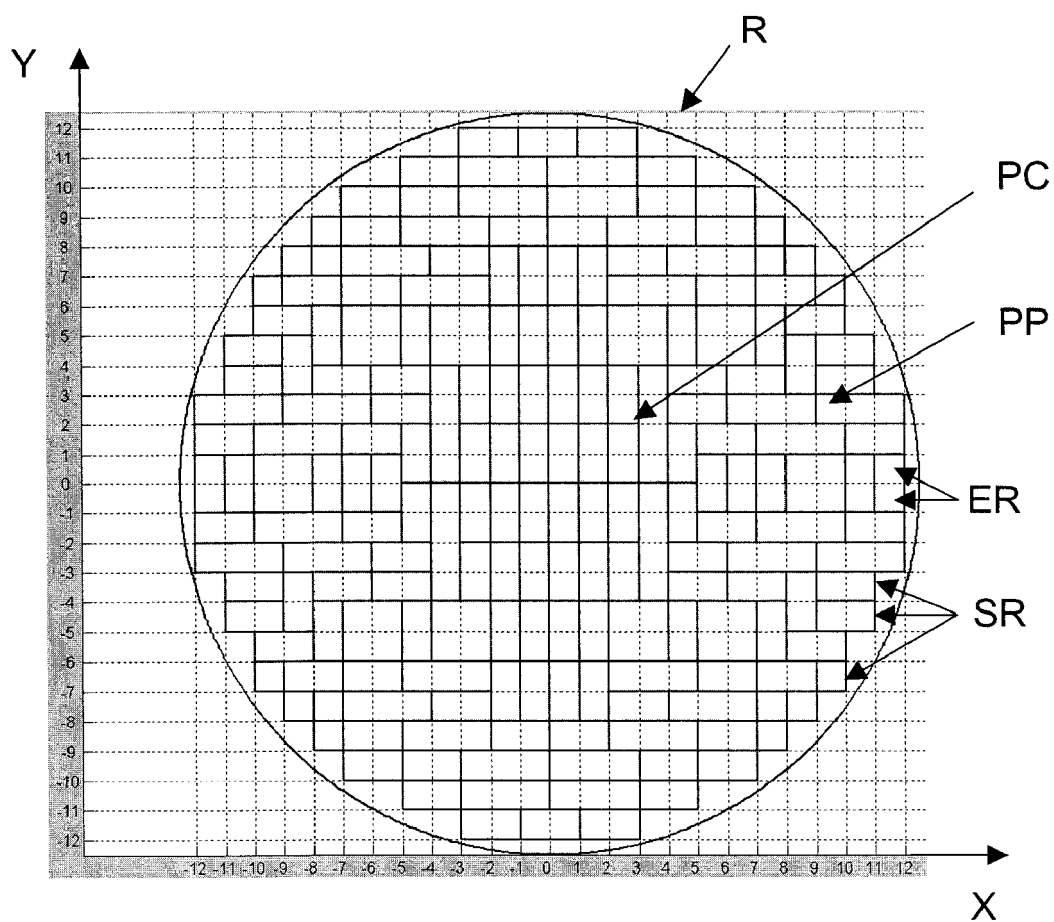


FIG.2

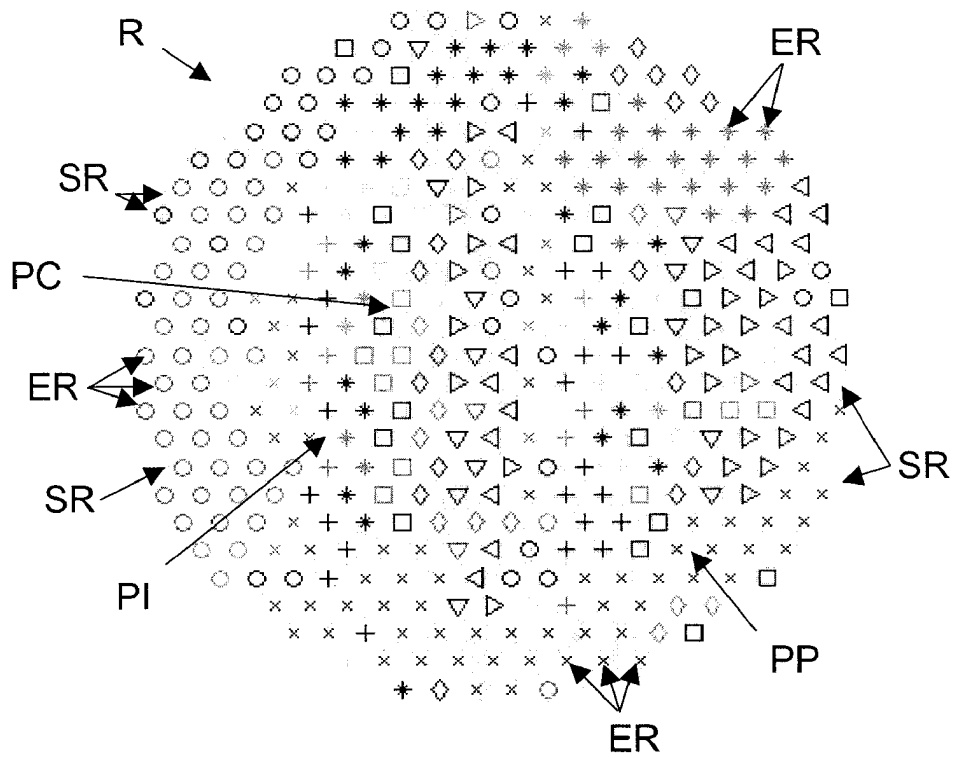


FIG.3

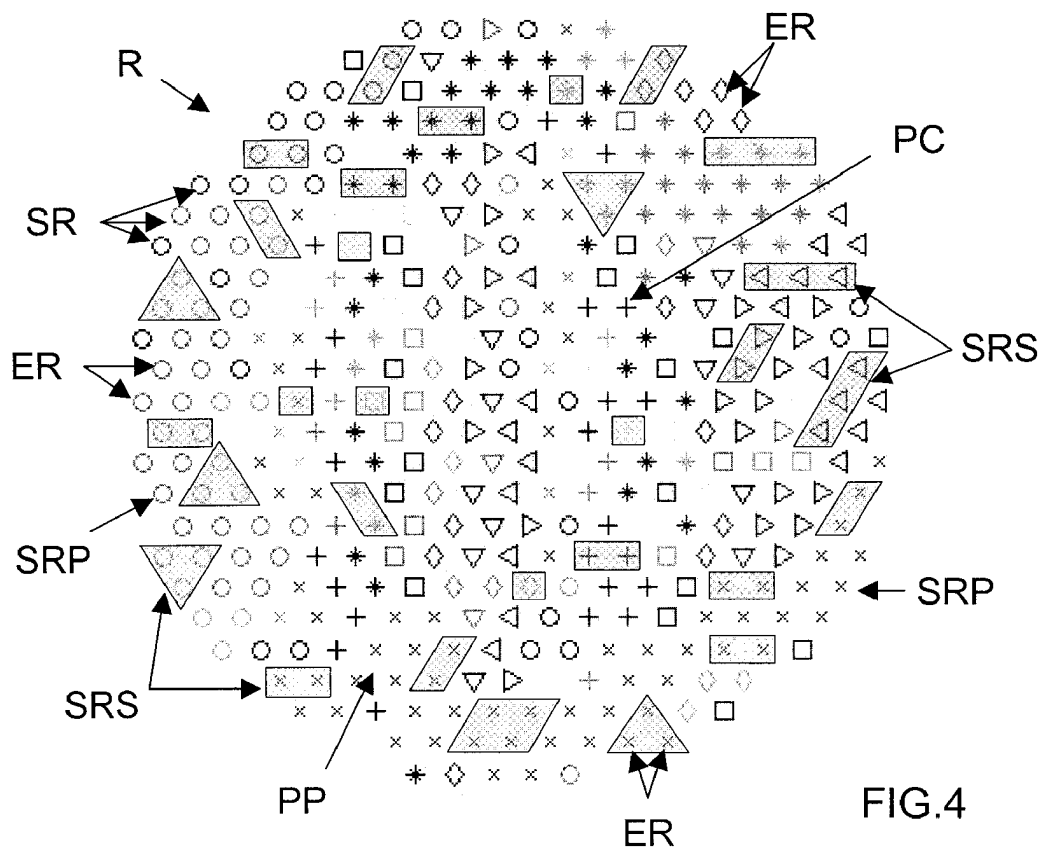


FIG.4

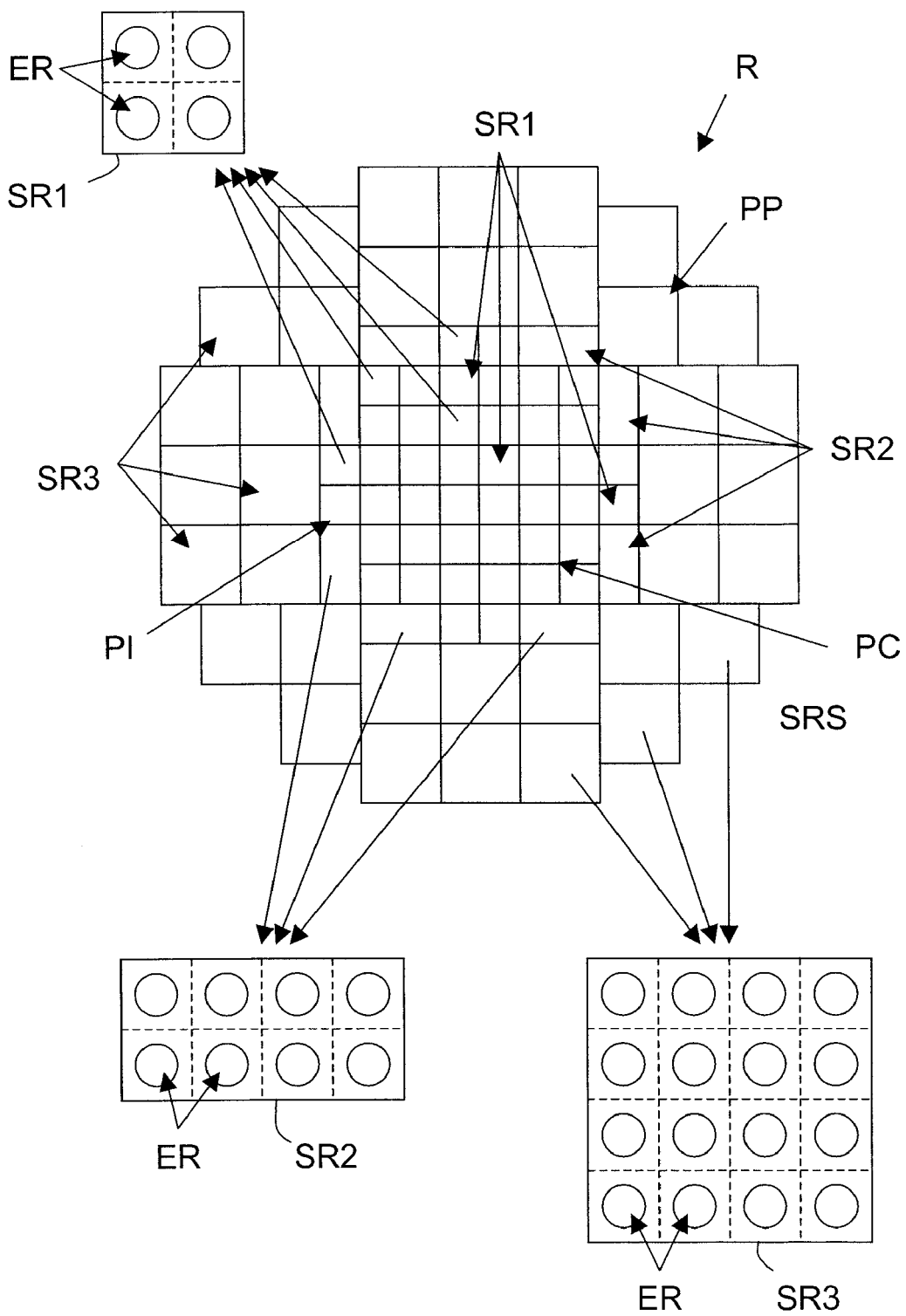


FIG.5

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

- FR 2762937 [0006] [0040]
- US 6246364 B1 [0008]