



②

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

② Numéro de dépôt: 88106723.5

⑤ Int. Cl. 4: H01Q 3/26, H04J 15/00

② Date de dépôt: 27.04.88

③ Priorité: 27.04.87 FR 8705907

⑦1) Demandeur: COMPAGNIE GENERALE  
D'ELECTRICITE Société anonyme dite:  
54, rue La Boétie  
F-75382 Paris Cédex 08(FR)

④ Date de publication de la demande:

02.11.88 Bulletin 88/44

⑦2) Inventeur: Bernard, Jean-Jacques  
18 rue des Acacias  
F-91810 Vert Le Grand(FR)  
Inventeur: Robieux, Jean  
5 rue du Professeur Roger Leroux  
F-92290 Chatenay Malabry(FR)

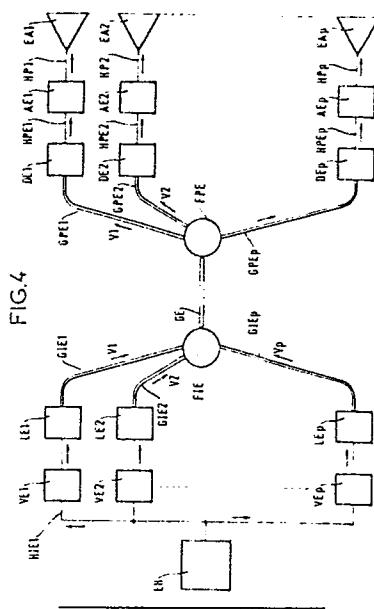
⑤ Etats contractants désignés:  
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

⑦3) Mandataire: Weinmiller, Jürgen et al  
Lennéstrasse 9 Postfach 24  
D-8133 Feldafing(DE)

⑥ Système d'antenne adaptatif pour ondes radioélectriques, notamment d'hyperfréquences.

⑦ L'antenne comporte au moins un groupe d'éléments rayonnants (EA1, EA2...EA<sub>p</sub>). Une onde hyperfréquence émise par un émetteur central (EH) aboutit par exemple à l'élément (EA1) en passant par un déphasage commandable (VE1), par un laser (LE1) qui l'applique en modulation sur un signal lumineux porteur dont la fréquence est propre à cet élément, par un déviateur optique (FIE) qui injecte ce signal lumineux dans un guide optique (GE) commun à tous les éléments du groupe, par un déviateur optique (FPE) qui dirige ce signal lumineux sur un détecteur qui est propre à cet élément (EA1) et qui restitue l'onde hyperfréquence, et par un amplificateur hyperfréquence (AE1) qui l'applique à cet élément.

Application aux télécommunications et aux radars.



## Système d'antenne adaptatif pour ondes radioélectriques, notamment d'hyperfréquences

La présente invention concerne un système d'antenne adaptatif pour ondes radioélectriques, notamment d'hyperfréquences.

On sait qu'un système d'antenne est dit adaptatif quand, à partir d'une antenne fixe utilisée en émission, on peut modifier la direction du faisceau qui est rayonné par cette antenne. Si cette dernière est utilisée en réception et peut recevoir des faisceaux de provenances diverses, un seul de ces faisceaux étant sélectionné par un organe central du système, c'est la direction du faisceau ainsi sélectionné qu'un système adaptatif permet de modifier. L'antenne peut aussi bien entendu être mobile. C'est alors la direction du faisceau par rapport à l'antenne qu'un système adaptatif permet de modifier. Cette adaptation en direction peut être complétée par une adaptation portant sur la forme du diagramme de rayonnement.

10 L'intérêt de telles adaptations résulte notamment du fait que les ondes électromagnétiques, en particulier les hyperfréquences, sont très utilisées pour les télécommunications et qu'elle le sont aussi pour la détection électromagnétique de la position et de la forme des objets par des systèmes qu'on appelle les radars. Dans ces deux importantes classes d'application il apparaît utile de disposer d'antennes dont le rayonnement peut être adapté en fonction de l'évolution de la tâche à accomplir au cours du temps.

15 Par exemple un satellite de télécommunication doit permettre une transmission d'information entre des points d'une zone déterminée de la terre. L'antenne doit éclairer ou viser continuellement cette zone malgré les mouvements de translation et de rotation du satellite. Pour obtenir une efficacité optimale du système de télécommunication il est nécessaire de faire évoluer le faisceau de l'antenne de telle sorte qu'il éclaire en permanence la surface à l'intérieur de laquelle on veut établir les communications.

20 Un radar sera plus efficace si on peut orienter d'une manière souple et rapide le faisceau de l'antenne vers les diverses cibles visées, c'est-à-dire vers celles que l'on veut plus particulièrement observer.

Il est donc souhaitable, au moins dans ces deux types d'applications, de disposer d'un système d'antenne adaptatif. Il est de plus souvent souhaitable que ce système soit autoadaptatif, c'est-à-dire que son adaptation s'effectue automatiquement sous l'action de signaux émis ou renvoyés par la cible visée.

25 On connaît divers systèmes d'antenne adaptatifs pour lesquels il est possible d'adapter le diagramme de rayonnement d'un réseau à une mission donnée, en agissant sur l'amplitude et la phase de ses sources rayonnantes (HUDSON, J. E, "Adaptive array principles" IEE Electromagnetic Waves Series n° 11, 1981 Peter Peregrinus Ltd). Une application particulièrement importante pour les techniques spatiales est la réjection de brouilleurs (COHEN, M, "Etude théorique et expérimentale d'une antenne réseau adaptative". 30 Thèse de Docteur Ingénieur Ecole Nat. Sup. Aéronautique Espace n° 82, 1983). (COHEN, M, COMBES, P.F. et MAGNAN, J.C, "Adaptive arrays antenna performances". Comptes Rendus de la 4e Int. Conf. on Antennas and Propagation avr. 1985. Warwick p. 241-245 IEE. Conf. Publ.).

Dans ce cas la liaison est caractérisée par le rapport (Q) signal (S) sur bruit (B) plus interférence (I), la source d'interférence étant supposée se trouver dans le champ de vue de l'antenne, soit :

35

$$Q = \frac{S}{B + I}$$

40 Il existe des méthodes d'adaptation qui permettent de trouver, pour chaque configuration de brouillage, une loi d'alimentation de n source de l'antenne qui minimise la dégradation du signal utile et rend le rapport Q optimal (APPLEBAUM (S), "Adaptive arrays" IEEE Trans. Ant and Prop (USA) AP.24 n° 5, Sept 1976).

Ces systèmes présentent notamment l'inconvénient d'être relativement complexes, coûteux, et lourds.

45 La présente invention a notamment pour but de réaliser un système d'antenne adaptatif pour ondes radioélectriques, notamment d'hyperfréquences plus simple et/ou plus léger et/ou moins coûteux que les systèmes connus.

Elle a pour objet un système d'antenne adaptatif pour rayonnement radioélectrique, ce système comportant

50 - une antenne constituée d'une pluralité d'éléments d'antenne répartis sur une surface dans une zone dite périphérique du système, chacun de ces éléments pouvant émettre et/ou recevoir une fraction de l'énergie de rayonnements qui se propagent, dans l'espace libre extérieur, à au moins une fréquence radioélectrique prédéterminée commune, selon des directions de visée réparties dans l'espace, chacun de ces éléments couplant ce rayonnement à un signal radioélectrique périphérique de même fréquence se propageant dans le système et correspondant à cet élément,

- un guide radioélectrique périphérique correspondant également à cet élément pour transmettre ce signal

radioélectrique,

- un organe de transformation périphérique correspondant à cet élément d'antenne et disposé sur le guide périphérique correspondant pour coupler ce signal radioélectrique périphérique à un signal lumineux correspondant à cet élément d'antenne, ce couplage étant réalisé par modulation ou démodulation de ce signal lumineux,
- 5 - un guide optique interzonal joignant cette zone périphérique à une zone dite interne du système pour transmettre ce signal lumineux,
- un organe de transformation interne correspondant à cet élément d'antenne pour coupler ce signal lumineux par modulation ou démodulation à un signal radioélectrique interne correspondant également à cet élément d'antenne,
- 10 - un guide radioélectrique interne correspondant également à cet élément pour transmettre ce signal radioélectrique interne, ces guide radioélectrique et organe de transformation internes, guide optique, organe de transformation et guide radioélectrique périphériques constituant des parties d'une ligne composite correspondant à cet élément,
- 15 - et un organe central pour émettre et/ou recevoir les signaux radioélectriques de l'ensemble desdits guides radioélectriques internes, de manière à coupler cet organe central à chacun des éléments d'antenne par l'intermédiaire de la ligne composite correspondante,
- ce système comportant en outre, sur chacune de ces lignes composites, au moins un organe de commande de phase correspondant au même élément d'antenne et commandant la phase du dit signal
- 20 radioélectrique périphérique par rapport au dit signal radioélectrique interne pour permettre de choisir parmi diverses directions de visée et d'adapter sur commande le système à la direction de visée choisie, cette adaptation résultant du fait que c'est seulement dans le cas d'un rayonnement extérieur se propageant selon cette direction que les diverses fractions de ces rayonnements qui passent par des divers éléments d'antenne sont couplées en phase audit organe central,
- 25 - ce système étant notamment caractérisé par le fait que ledit guide optique interzonal est commun à au moins un groupe desdits éléments d'antenne, les signaux lumineux correspondant aux divers éléments d'antenne de ce groupe possédant des fréquences différentes, le système comportant en outre deux déviateurs de lumière, l'un périphérique et l'autre interne, qui devient la lumière d'un angle dépendant de sa fréquence et qui sont communs à tous les éléments d'antenne de ce groupe pour coupler les extrémités
- 30 périphérique et interne de ce guide optique commun aux divers organes de transformation périphériques et internes, respectivement, qui correspondent aux divers éléments de ce groupe.

De préférence lesdits éléments d'antenne sont des éléments mixtes pouvant fonctionner aussi bien en émission qu'en réception d'un dit rayonnement extérieur, le système comportant, en correspondance avec chacun de ces éléments d'antenne, un guide radioélectrique périphérique mixte connecté à cet élément,

- 35 - un guide radioélectrique périphérique d'émission,
- un guide radioélectrique périphérique de réception,
- et un circulateur pour coupler ce guide d'émission à ce guide mixte en ce qui concerne les signaux radioélectriques d'émission, et ce guide mixte à ce guide de réception en ce qui concerne les signaux radioélectriques de réception, deux dites voies composites correspondant à cet élément étant une voie
- 40 d'émission et une voie de réception et comportant en commun ce guide radiofréquence périphérique mixte et ce circulateur, les autres dits organes de ces deux voies étant distincts.

En variante ledit organe de commande de phase est un déphasageur optique placé sur un tronçon optique de déphasage de chaque dite voie composite, ce tronçon recevant un signal lumineux à une fréquence propre à cette voie, ledit organe de transformation interne modulant ou démodulant un signal lumineux équivalent sur un tronçon optique de transformation connecté en parallèle sur ce tronçon de déphasage.

A l'aide des figures schématiques ci-jointes on va décrire plus particulièrement ci-après, à titre d'exemple non limitatif, comment la présente invention peut être mise en oeuvre dans le cadre de l'exposé qui en a été donné ci-dessus. Lorsqu'un même élément est représenté sur plusieurs figures il y est désigné 50 par le même signe de référence.

La figure 1 représente un schéma par blocs d'une voie composite d'émission d'un premier système selon l'invention.

La figure 2 représente un schéma par blocs d'une voie composite de réception du même système.

La figure 3 représente un schéma par blocs d'une partie périphérique partiellement commune à ces 55 deux voies.

La figure 4 représente un schéma par blocs d'un groupe de voies composites d'émission du même système.

La figure 5 représente un schéma par blocs d'un groupe de voies composites de réception du même système.

La figure 6 représente un schéma par blocs d'une partie optique d'une voie composite d'un deuxième système selon l'invention avec un organe optique de commande de phase, en variante.

5 La présente invention utilise, par exemple dans le cas de l'émission d'un rayonnement hyperfréquence, une nouvelle méthode de distribution de l'amplitude et de la phase du champ électromagnétique sur la surface de l'antenne, ceci pour permettre de réaliser l'autoadaptation du faisceau rayonné. Elle tire parti des propriétés des guides d'ondes optiques et de lasers semi-conducteur dont la fréquence peut être choisie en adaptant la composition du matériau.

10 Dans le cas d'un satellite de télécommunications le système autoadaptatif de contrôle du faisceau doit être léger malgré la dimension de l'antenne qui peut être grande. Sa fiabilité doit être grande et son prix acceptable. Dans toutes les applications ces caractéristiques sont essentielles.

Selon l'invention une méthode optique de distribution de l'amplitude et de la phase de l'onde hyperfréquence conduit à des systèmes légers, efficaces et d'un coût qui se révèlera souvent convenable.

15 Le principe utilisé est le suivant :

- on produit un signal ou "onde" hyperfréquence dans un organe central situé dans la zone "interne" précédemment mentionnée, et on distribue cette onde sur la surface de l'antenne par l'intermédiaire de guides d'ondes optiques.

20 La phase et éventuellement l'amplitude du champ en chaque point de l'antenne sont élaborées dans cette zone interne soit en agissant directement sur l'onde hyperfréquence soit en passant par l'intermédiaire d'une onde optique.

25 Une nouveauté essentielle de l'invention est de tirer parti des possibilités offertes par l'optique pour répartir d'une manière simple, légère et peu coûteuse le champ de l'onde hyperfréquence sur la surface de l'antenne. L'amplitude et la phase de l'onde sont élaborées dans la zone interne par des méthodes qui peuvent être hyperfréquences ou optiques. Le contrôle de l'amplitude et de la phase de l'onde est assuré par des méthodes électroniques qui permettent d'obtenir une rapide autoadaptativité du faisceau rayonné.

30 On va d'abord calculer le nombre de sources élémentaires à exciter indépendamment sur la surface rayonnante en fonction de la longueur d'onde  $L$ , du diamètre  $a$  de la surface et de l'angle  $A$  à l'intérieur duquel on doit pouvoir choisir l'orientation du faisceau. Chacune de ces sources est constituée par un desdits éléments d'antenne. Ensuite on décrira la structure d'une voie composite correspondant à un élément puis on décrira le système complet.

Le nombre  $n$  de sources élémentaires à exciter sur la surface rayonnante est déterminé comme suit :

35 Si tous les éléments de l'antenne sont excités en phase le rayonnement est maximal dans la direction normale au plan de l'antenne. La largeur  $2B_0$  de l'angle à l'intérieur duquel l'énergie est rayonnée est donnée par les lois de la diffraction : On a

$$2B_0 = L/a \quad (4)$$

40 Divisons la surface de l'antenne en éléments carrés de côté  $b$ . Choisissons la phase du centre de ces éléments de telle sorte que le rayonnement de l'antenne soit orienté dans une direction faisant l'angle  $B_1$  avec la normale. Pour que le rayonnement dans cette direction soit possible avec une qualité convenable du diagramme de rayonnement il faut que la condition de Rayleigh soit respectée. La surface d'onde réalisée à partir des sources élémentaires de côté  $b$  ne doit pas s'écartez de plus de  $L/4$  d'un plan perpendiculaire à la direction définie par l'angle  $B_1$ . On doit donc respecter la condition :

$$\frac{b}{2} \times B_1 \text{ inférieur ou égal à } L/4$$

Le nombre minimum de sources élémentaires correspondra donc à :

45

$$b = \frac{L}{2B_1} \quad (4')$$

50 Donc :  $n = (a/b)^2 = (a/L)^2 / (b/L)^2 = B_1^2 / B_0^2 \quad (5)$

On constate donc que les propriétés de rayonnement d'une antenne peuvent être caractérisées par deux paramètres :

$2B_0$  : largeur du faisceau rayonné

$2B_1$  : largeur de l'angle à l'intérieur duquel on peut déplacer la direction du rayonnement.

55 Le rapport  $(B_1/B_0)^2$  est donné par la relation (5). Il est égal au nombre  $n$  de sources élémentaires que l'on peut alimenter indépendamment.

Considérons par exemple une antenne rayonnant à  $L = 5\text{cm}$  dont le diamètre est  $a = 1\text{m}$ . La largeur  $2B_0$  du faisceau émis est :

$$2B_0 = 0,05 \text{ radian soit } 3 \text{ degrés environ.}$$

La relation (5) permet de déterminer le rapport  $B_1/B_0$  par l'égalité  $(B_1/B_0)^2 = n$ .  
si

- 5       $n = 10 \quad 2B_1 = 0,15 \text{ rad.} = 10^\circ$   
        $n = 100 \quad 2B_1 = 0,45 \text{ rad.} = 30^\circ$   
     5     $n = 10^3 \quad 2B_1 = 1,5 \text{ rad.} = 90^\circ$ .

Dans le cas de cette antenne typique on peut déplacer le faisceau à l'intérieur d'une plage de  $10^\circ$  si  $n = 10$  et de  $30^\circ$  si  $n = 100$ . Ces ordres de grandeur correspondent à des angles suffisamment larges pour permettre d'importantes applications. On considérera particulièrement les cas où  $n = 10$  et  $n = 100$ .

10   La commande de l'amplitude et de la phase d'une source élémentaire répond aux considérations suivantes :

15   Les schémas des figures 1 et 2 représentent les moyens d'excitation d'une source élémentaire et de réception à partir d'un récepteur élémentaire avec une amplitude et une phase commandables électriquement, cette source et ce récepteur étant tous deux constitués par un même élément d'antenne EA1. L'ensemble de ces moyens constituent les voies composites d'émission et de réception précédemment mentionnées et correspondant à cet élément.

En ce qui concerne l'émission (voir fig.1), un émetteur hyperfréquence EH constitue l'organe central précédemment mentionné. En réception c'est un récepteur RH qui constitue cet organe (voir fig.2).

20   L'onde émise se propage de cet émetteur hyperfréquence jusqu'à l'élément EA1 de l'antenne où elle est rayonnée. L'onde reçue en EA1 se propage vers le récepteur RH. Dans ladite zone périphérique, c'est-à-dire à proximité de l'antenne, les ondes émises et reçues sont orientées sur des chemins différents par une jonction non réciproque CI, appelée circulateur et contenant par exemple des ferrites. Ces parcours des ondes émises et reçues sont schématisées sur la fig 3.

La commande de l'amplitude et de la phase d'un élément d'antenne EA1 demande :

Dans la voie d'émission :

- 25   - un émetteur de signal hyperfréquence EH modulé par le signal informatif à transmettre,  
     - un varactor d'émission VE1 commandant la phase de ce signal hyperfréquence et constituant le dit organe de commande de phase,  
     - un laser d'émission LE1 émettant une lumière modulée par ce signal hyperfréquence et constituant un dit organe de transformation interne,  
     30   - un guide d'onde optique interzonal d'émission GE,  
     - un détecteur d'onde optique DE1 pour restituer le signal hyperfréquence, ce détecteur constituant un dit organe de transformation périphérique  
     - et un amplificateur d'émission AE1 pour alimenter l'élément d'antenne EA1, le gain de chacun des amplificateurs analogues AE1, AE2...AEp étant choisi et éventuellement commandable pour réaliser une adaptation du diagramme de rayonnement.

40   Il faut de plus un guide hyperfréquence interne HIE1 allant de l'émetteur EH au laser d'émission LE1, et un guide hyperfréquence périphérique HPE1 allant du détecteur DE1 à l'amplificateur AE1. Cet amplificateur est relié à l'élément d'antenne EA1 par un ensemble de guidage HP1 comportant les organes décrits à l'aide de la figure 3. Il doit être compris que les organes mentionnés ci-dessus avec le chiffre 1 à la fin de leur appellation de référence constituent des exemples correspondant à l'élément d'antenne EA1. A chaque élément d'antenne EAi correspondent des organes équivalents dont les appellations de référence se terminent par le nombre i.

La voie de réception comporte des organes analogues dans les appellations de référence desquels la lettre E est remplacée par la lettre R. Ce sont notamment, pour l'élément d'antenne EA1 :

- 45   - un amplificateur de réception AR1 recevant le signal hyperfréquence capté par cet élément d'antenne, ceci par l'intermédiaire de l'ensemble de guidage HP1,  
     - un guide hyperfréquence périphérique de réception HPR1,  
     - un laser LR1 constituant un dit organe de transformation périphérique,  
     - un guide d'onde optique interzonal de réception GR,  
     50   - un détecteur de réception DR1 constituant un dit organe de transformation interne,  
     - un guide hyperfréquence interne de réception HIR1 avec un varactor VR1 constituant ledit organe de commande de phase,  
     et un récepteur hyperfréquence RH constituant ledit organe central. Ce récepteur additionne les signaux reçus des diverses voies avec des pondérations convenables éventuellement commandables pour adapter 55   la forme du diagramme de réception du système d'antenne.

On va maintenant examiner la commande de l'amplitude et de la phase de n sources élémentaires, par exemple dans le cas l'émission.

On peut envisager de commander n sources élémentaires en mettant en parallèle n voies d'émission et

de réception. Pour réaliser un tel système il faudrait un nombre  $n$  de chacun des composants des chaînes :  $n$  émetteurs,  $n$  varacteurs,  $n$  modulateurs, etc... En particulier il faut  $2n$  guides d'ondes optiques.

L'accroissement du nombre des composants lorsque  $n$  augmente est un inconvénient qui ne doit pas être négligé. Il est vrai que tous ces composants, sauf les guides d'ondes, peuvent être élaborés par les méthodes collectives qui les rendent fiables et peu coûteux. Cependant il est d'un grand intérêt de chercher à diminuer le nombre des composants pour faire décroître le coût du système. Il est particulièrement utile de diminuer le nombre de guides d'ondes interzonaux qui sont relativement longs et occupent un espace substantiel si leur nombre est élevé. Le système selon l'invention diminue le nombre de certains composants dont celui de ces guides d'ondes. Les schémas des trajets suivis par l'onde à l'émission et à la réception sont représentés sur les figures 4 et 5.

Les  $n$  éléments d'antenne EA1, EA2...EA $n$  sont groupés en groupes de  $p$  éléments chacun, tels que les éléments EA1, EA2...EA $p$ .

Pour l'émission un émetteur hyperfréquence EH est commun à tous les éléments d'antenne EA1, EA2...EA $p$  d'un même groupe. Il émet un signal hyperfréquence qui est modulé par le signal informatif à émettre et qui est reçu par  $p$  varacteurs d'émission VE1, VE2...VE $p$ . Ces derniers lui appliquent des déphasages correspondants à ces éléments d'antenne, respectivement. Chaque signal ainsi déphasé module un laser semi-conducteur d'émission LE1, LE2...LE $p$  dont la puissance peut correspondre à l'amplitude du champ que doit rayonner l'élément d'antenne correspondant EA1, EA2...EA $p$ . Les fréquences d'émission de tous ces lasers sont différentes et correspondent chacune à un élément d'antenne.

Ils émettent dans des guides d'ondes optiques GIE1, GIE2...GIE $p$ , respectivement, qui convergent sur un filtre de fréquence FIE. Ce filtre constitue ledit déviateur interne d'émission. Il transmet la lumière provenant de ces divers guides à un guide commun GE qui relie la zone centrale dans laquelle se trouve notamment l'émetteur EH, à une zone périphérique d'antenne où se trouvent lesdits amplificateurs circulateurs et antennes. Ce guide est ledit guide interzonial.

En sortie de ce guide les lumières des diverses longueurs d'ondes sont dirigées par un déviateur périphérique d'émission FPE, également constitué par un filtre, vers divers guides optiques correspondants GPE1, GPE2...GPE $p$  qui les dirigent vers autant de détecteurs DE1, DE2...DE $p$  qui sont suivis par autant d'amplificateurs hyperfréquence AE1, AE2...AE $p$ . Ces derniers alimentent les éléments d'antenne EA1, EA2...EA $p$ .

A la réception les signaux reçus par ces éléments d'antenne sont amplifiés en AR1, AR2...AR $p$  et modulent un nombre  $p$  de lasers correspondants LR1, LR2...LR $p$  qui émettent aux mêmes fréquences que précédemment indiqué dans des guides d'ondes optiques GPR1, GPR2...GPR $p$ . Ces derniers convergent sur un filtre constituant un deviateur périphérique de réception FPR qui injecte les lumières correspondantes dans un guide optique commun interzonial GR. Un filtre constituant un déviateur interne de réception FIR dirige les lumières des diverses fréquences sur autant de guides GIR1, GIR2...GIR $p$ .

Les signaux lumineux sont détectés dans des détecteurs DR1, DR2...DR $p$ , et les signaux hyperfréquences résultant sont déphasés par des varacteurs VR1, VR2...VR $p$  appliquant les déphasages correspondant aux éléments d'antenne EA1, EA2...EA $p$ . Ces déphasages sont choisis de manière que les signaux ainsi déphasés retrouvent alors les relations de phases mutuelles qu'ils avaient lorsqu'ils ont été émis par un émetteur extérieur, qui est éloigné du présent système d'antenne et qui est visé par celui-ci. Ces signaux sont reçus par le récepteur hyperfréquence commun RH. Ce dernier restitue l'information que portaient les signaux reçus par les éléments d'antenne en provenance de l'émetteur extérieur visé.

Quant à la réalisation des lasers LE1, LE2...LE $p$ , LR1, LR2...LR $p$  on peut remarquer ce qui suit :

On sait qu'en adaptant convenablement la composition des matériaux qui constituent les lasers semi-conducteurs on dispose de sources dont la fréquence peut être choisie dans la plage de longueurs d'ondes 0,5 -2 micromètres. Dans l'état actuel de nos connaissances on peut obtenir d'environ 20 sources de fréquences V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>...V<sub>p</sub>. On peut donc choisir  $p = 20$ .

Deux fréquences successives sont séparées par un écart dV. On aura  $dV/V = 0,01$  environ.

La sélectivité nécessaire des filtres FIE, FPE, FPR, FIR est donc modeste. Ils peuvent être réalisés par des techniques simples et classiques mettant en oeuvre des réseaux.

La simplification apportée par l'invention est substantielle puisqu'elle permet de diviser par  $p$  ou plus le nombre des émetteurs hyperfréquences EH, des récepteurs RH et des guides d'ondes longs. Grâce à cette simplification le système est réalisable dans des conditions économiques satisfaisantes dans un grand nombre de cas.

En supposant  $p = 20$  on va évaluer le nombre de composants du système dans les cas où  $n = 10$  et  $n = 100$ . On peut par exemple admettre que l'antenne a un diamètre  $a = 1m$ , la longueur d'onde étant  $L = 5cm$ . Les valeurs de  $B_0$  et  $B_1$  sont données par les relations 4 et 4'.

Ce cas où  $n = 10$  correspond à une excursion  $2B_1 = 0,15$  rad. =  $10^\circ$  au voisinage de la normale.

On a besoin d'un émetteur EH, d'un récepteur RH et de deux guides d'ondes optiques interzonaux longs l'un pour l'émission, l'autre pour la réception.

Il faut le long du trajet d'émission 10 varactors, 10 lasers modulés, 10 détecteurs, 10 amplificateurs.

Le long du trajet de l'onde reçue on doit avoir 10 amplificateurs, 10 lasers modulés, 10 détecteurs, 10 varactors. Le cas où  $n = 100$  correspond à une excursion  $2B_1 = 0,45$  rad. =  $30^\circ$  au voisinage de la normale.

Pour relier l'émetteur EH à l'antenne on a besoin de q guides d'ondes longs avec  $q = n:p = 5$ .

Il en faut autant pour relier le récepteur à l'antenne.

On doit donc mettre en oeuvre 10 guides d'ondes optiques longs pour réaliser le système. Ce nombre modeste n'entraîne pas de sévères contraintes de coût, d'encombrement et de poids.

Ce nombre serait de 200 si on n'utilisait pas les possibilités offertes par l'invention, ce qui poserait des problèmes parfois insurmontables. Grâce à celle-ci, 5 émetteurs EH sont nécessaires au lieu de 100. De même 5 récepteurs RH doivent être mis en oeuvre au lieu de 100.

Par contre il faut le long du trajet d'émission 100 varactors, 100 lasers modulés, 100 détecteurs, 100 amplificateurs.

Le long du trajet de l'onde reçue on doit avoir 100 amplificateurs, 100 lasers modulés, 100 détecteurs, 100 varactors.

Ainsi la commande électrique de l'amplitude et de la phase d'un élément d'antenne EAi par la modulation et la détection d'une onde laser d'une fréquence Vi pouvant être choisie parmi p fréquences permet de rendre le système autoadaptatif. Le nombre de guides d'ondes optiques, d'émetteurs et de récepteurs est divisé par p alors que le nombre des autres composants reste le même.

On a décrit ci-dessus un déphasage qui est effectué par une méthode électronique dans un varactor. L'onde hyperfréquence ainsi déphasée module un laser LEi de fréquence Vi. L'amplitude de l'onde rayonnée en EAi peut être déterminée par la puissance du laser, la phase étant déterminée par le varactor VEi.

On peut en variante réaliser ces deux opérations par une méthode optique. Cette méthode est représentée schématiquement sur la figure 6 qui concerne le cas de l'émission et doit être rapprochée de la figure 1, les éléments plus ou moins analogues portant les mêmes références avec la lettre A ou B à la place du chiffre 1. Un laser LEA émet une lumière à la fréquence convenable (par exemple la fréquence Vi précédemment envisagée). Cette lumière est divisée et transmise d'une part à un déphaseur optique commandé électriquement VEA qui lui applique le déphasage convenable, d'autre part à un modulateur d'amplitude LEB qui le module par un signal hyperfréquence lui-même modulé par le signal informatif à émettre.

Les deux faisceaux lumineux résultants sont réunis dans un guide optique long GEA en sortie duquel le signal lumineux est détecté par un détecteur DEA. Ce dernier restitue le signal hyperfréquence appliqué au modulateur LEB, avec le déphasage apporté par le déphaseur VEA. Ce signal hyperfréquence peut donc être utilisé comme celui que fournissait le détecteur DE1.

Une méthode analogue peut être appliquée à la réception.

Si le modulateur optique introduit le déphasage qui a été choisi pour la source élémentaire EAi, on obtient un déphasage de l'onde hyperfréquence à la valeur souhaitée.

Cette possibilité doit être appréciée lorsqu'on a à résoudre un problème particulier.

## Revendications

- 1/ Système d'antenne adaptatif pour rayonnement radioélectrique, ce système comportant
- une antenne constituée d'une pluralité d'éléments d'antenne (EA1, EA2,...EAp) répartis sur une surface dans une zone dite périphérique du système, chacun de ces éléments pouvant émettre et/ou recevoir une fraction de l'énergie de rayonnements qui se propagent, dans l'espace libre extérieur, à au moins une fréquence radioélectrique prédéterminée commune, selon des directions de visée réparties dans l'espace, chacun de ces éléments couplant ce rayonnement à un signal radioélectrique périphérique de même fréquence se propageant dans le système et correspondant à cet élément,
  - un guide radioélectrique périphérique (HP1, HP2,...HPp) correspondant également à cet élément pour transmettre ce signal radioélectrique,
  - un organe de transformation périphérique (DE1, DE2,...DEp) correspondant à cet élément d'antenne et disposé sur le guide périphérique correspondant pour coupler ce signal radioélectrique périphérique à un signal lumineux correspondant à cet élément d'antenne, ce couplage étant réalisé par modulation ou démodulation de ce signal lumineux,

- un guide optique interzonal (GE) joignant cette zone périphérique à une zone dite interne du système pour transmettre ce signal lumineux,
- un organe de transformation interne (LE1, LE2...LEp) correspondant à cet élément d'antenne pour coupler ce signal lumineux par modulation ou démodulation à un signal radioélectrique interne correspondant 5 également à cet élément d'antenne,
- un guide radioélectrique interne (HI1, HI2,... HIp) correspondant également à cet élément pour transmettre ce signal radioélectrique interne, ces guide radioélectrique et organe de transformation internes, guide optique, organe de transformation et guide radioélectrique périphériques constituant des parties d'une ligne composite correspondant à cet élément,
- 10 - et un organe central (EH) pour émettre et/ou recevoir les signaux radioélectriques de l'ensemble desdits guides radioélectriques internes, de manière à coupler cet organe central à chacun des éléments d'antenne par l'intermédiaire de la ligne composite correspondante,
- ce système comportant en outre, sur chacune de ces lignes composites, au moins un organe de commande de phase (VE1, VE2...VEp) correspondant au même élément d'antenne et commandant la 15 phase du dit signal radioélectrique périphérique par rapport au dit signal radioélectrique interne pour permettre de choisir parmi diverses directions de visée et d'adapter sur commande le système à la direction de visée choisie, cette adaptation résultant du fait que c'est seulement dans le cas d'un rayonnement extérieur se propageant selon cette direction que les diverses fractions de ces rayonnements qui passent par des divers éléments d'antenne sont couplées en phase audit organe central,
- 20 - ce système étant notamment caractérisé par le fait que ledit guide optique interzonal (GE) est commun à au moins un groupe desdits éléments d'antenne (EA1, EA2...EAp), les signaux lumineux correspondant aux divers éléments d'antenne de ce groupe possédant des fréquences différentes, le système comportant en outre deux déviateurs de lumière, l'un périphérique (FPE) et l'autre interne (FIE), qui devient la lumière d'un angle dépendant de sa fréquence et qui sont communs à tous les éléments d'antenne de ce groupe pour 25 coupler les extrémités périphérique et interne de ce guide optique commun (GE) aux divers organes de transformation périphériques et internes (DE1, DE2...DEp, LE1, LE2, LEp), respectivement, qui correspondent aux divers éléments de ce groupe.

2/ Système selon la revendication 1, dans lequel lesdits éléments d'antenne (EA1) sont des éléments mixtes pouvant fonctionner aussi bien en émission qu'en réception d'un dit rayonnement extérieur, le 30 système comportant, en correspondance avec chacun de ces éléments d'antenne, un guide radioélectrique périphérique mixte (HPM) connecté à cet élément,

- un guide radioélectrique périphérique d'émission (HPE, HPE1),
- un guide radioélectrique périphérique de réception (HPR, HPR1),
- et un circulateur (CI) pour coupler ce guide d'émission à ce guide mixte en ce qui concerne les signaux 35 radioélectriques d'émission, et ce guide mixte à ce guide de réception en ce qui concerne les signaux radioélectriques de réception, deux dites voies composites correspondant à cet élément étant une voie d'émission et une voie de réception et comportant en commun ce guide radiofréquence périphérique mixte et ce circulateur, les autres dits organes de ces deux voies étant distincts (HPE1, DE1).

3/ Système selon la revendication 1, dans lequel lesdits rayonnements, signaux et guides radioélectriques sont des rayonnements, signaux et guides d'hyperfréquences.

4/ Système selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ledit organe de commande de phase est un déphasage optique (VEA) placé sur un tronçon optique de déphasage de chaque dite voie composite, ce tronçon recevant un signal lumineux à une fréquence propre à cette voie, ledit organe de transformation interne (LEB) modulant ou démodulant un signal lumineux équivalent sur un tronçon optique de transformation connecté en parallèle sur ce tronçon de déphasage.

FIG.

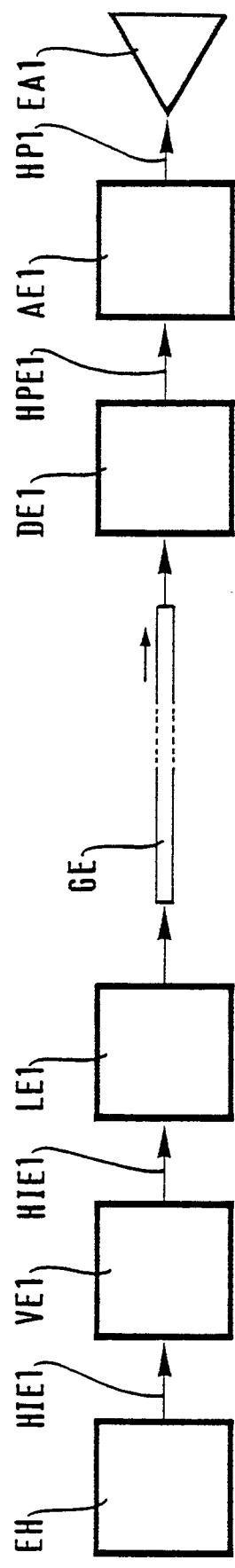


FIG. 2

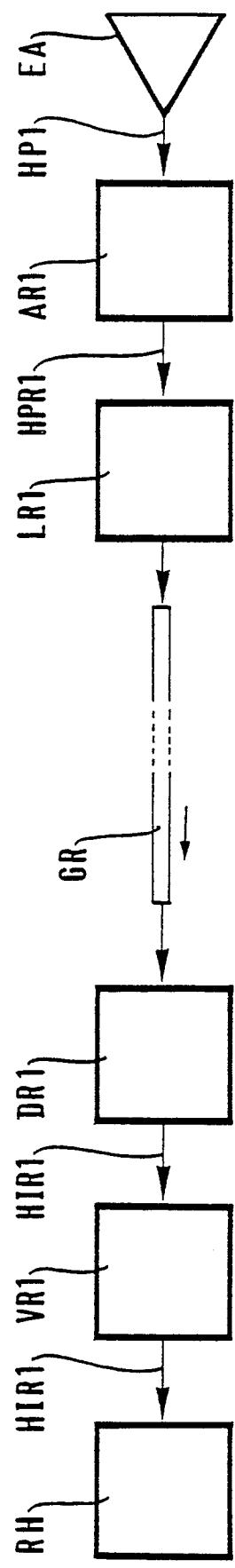


FIG.3

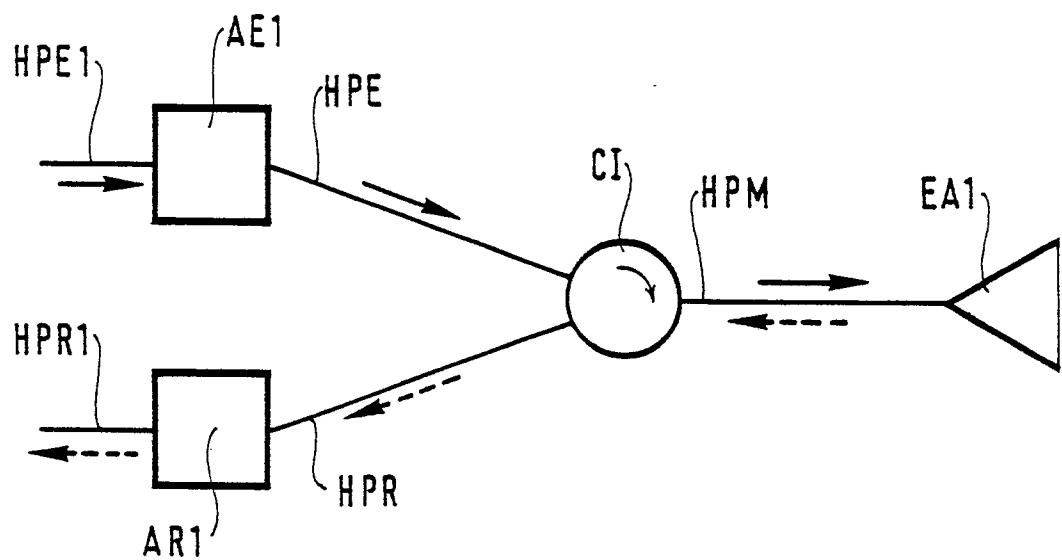


FIG.6

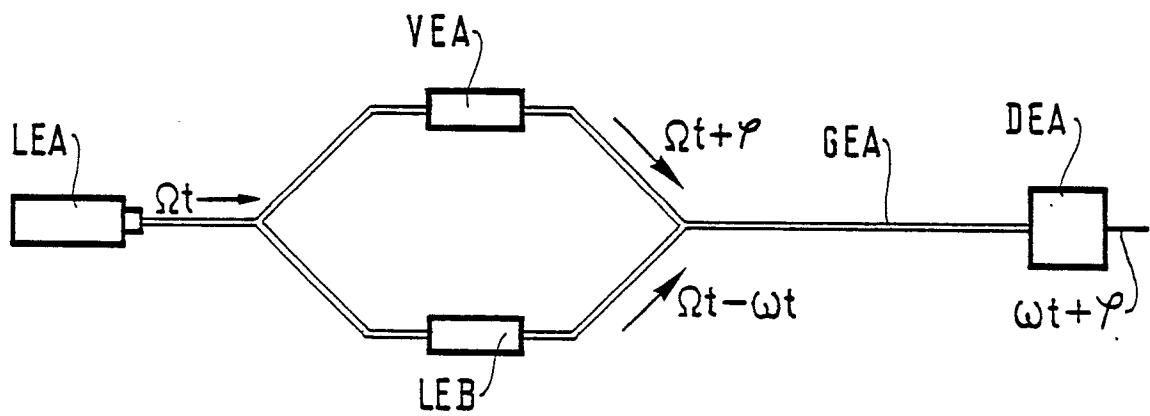
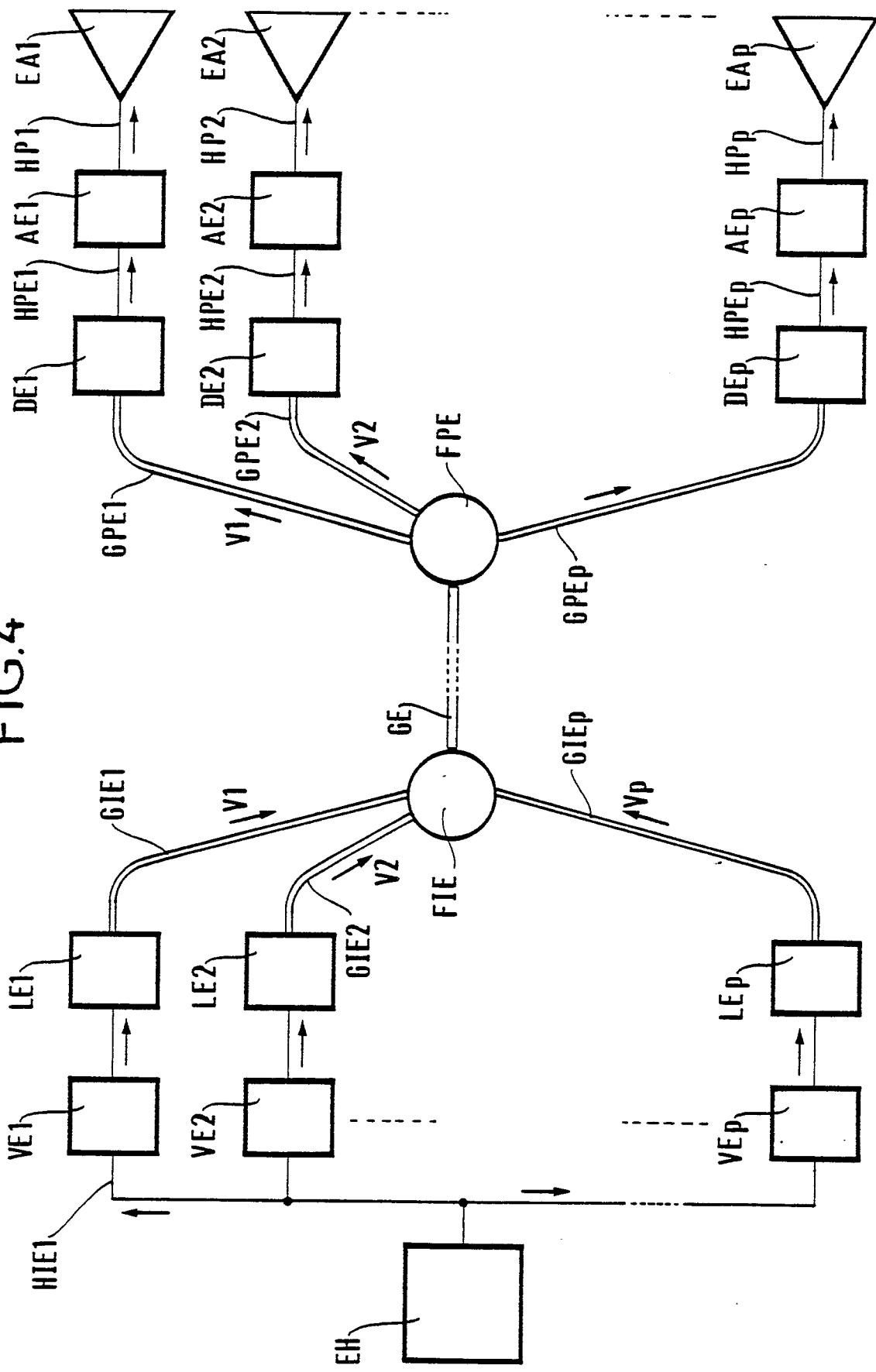
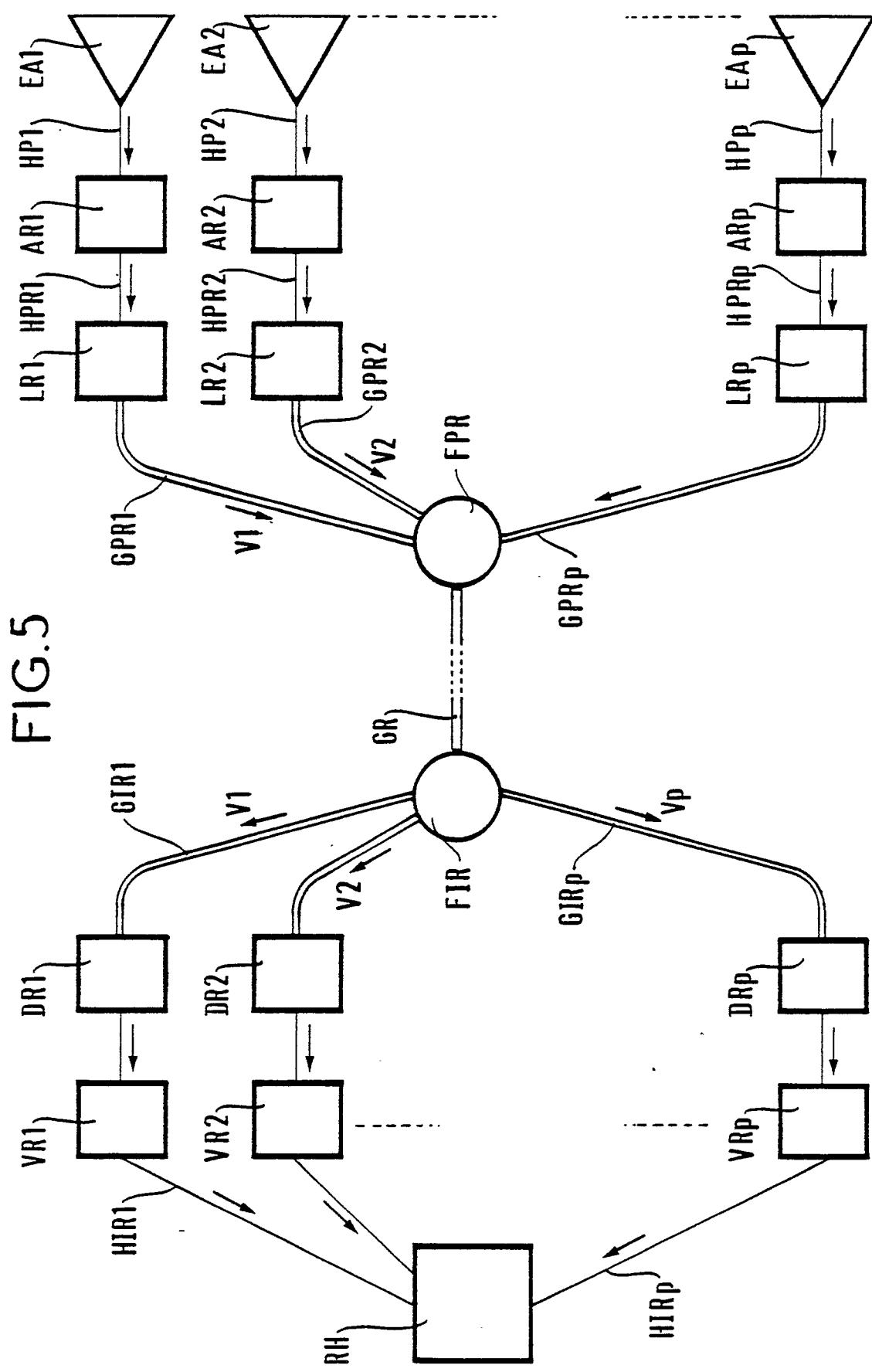


FIG. 4







DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS					
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)		
Y	<p>G.E.C. JOURNAL OF RESEARCH, vol. 2, no. 2, 1984, pages 66-75, Londres, GB; J.R. WALLINGTON et al.. "Optical techniques for signal distribution in phased arrays"</p> <p>* Page 69, colonne de gauche, lignes 15-33; figures 2,6 *</p> <p>---</p>	1,3	H 01 Q 3/26 H 04 J 15/00		
Y	<p>PROCEEDINGS OF THE 1979 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 17-19 juillet 1979, Tokyo, pages 735-738; K. NOSU et al.: "A design of multiplexers for optical wavelength-division multiplexing transmission via a single fiber"</p> <p>* Page 735, abrégé; figures 1,5 *</p> <p>---</p>	1,3			
A	<p>EP-A-0 006 650 (HOLLANDSE SIGNAALAPPARATEN)</p> <p>* Abrégé; page 2, lignes 4-22; page 2, ligne 32 - page 3, ligne 27; page 4, lignes 20-35; page 7, lignes 4-13; figures 1,2 *</p> <p>---</p>	1-3			
A	<p>EP-A-0 197 263 (IBM)</p> <p>* Colonne 5, ligne 5 - colonne 6, ligne 54; figures 2-5 *</p> <p>---</p>	1	H 01 Q H 04 B H 04 J		
A	<p>JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol. LT-3, no. 5, octobre 1985, pages 992-998, New York, US; R.A. SOREF: "Voltage-controlled optical/RF phase shifter"</p> <p>* Abrégé; figure 2 *</p> <p>-----</p>	1,4			
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications					
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur			
LA HAYE	12-07-1988	ANGRABEIT F.F.K.			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES					
X : particulièrement pertinent à lui seul	T : théorie ou principe à la base de l'invention				
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie	E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date				
A : arrière-plan technologique	D : cité dans la demande				
O : divulgation non-écrite	L : cité pour d'autres raisons				
P : document intercalaire	& : membre de la même famille, document correspondant				