

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 762 534 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:

**12.03.1997 Bulletin 1997/11**(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **H01Q 3/30, H01Q 21/22**(21) Numéro de dépôt: **96401829.5**(22) Date de dépôt: **27.08.1996**

(84) Etats contractants désignés:

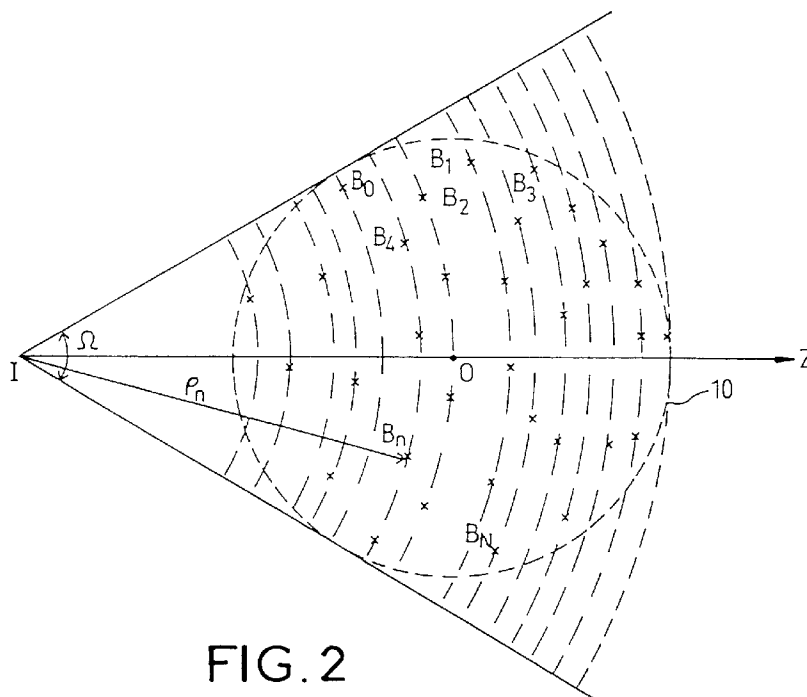
**BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE**(30) Priorité: **29.08.1995 FR 9510167**(71) Demandeur: **THOMSON-CSF****75008 Paris (FR)**(72) Inventeur: **Aubry, Claude****92402 Courbevoie Cedex (FR)**(74) Mandataire: **Beylot, Jacques et al****THOMSON-CSF-S.C.P.I.,****13, Avenue du Président****Salvador Allende****94117 Arcueil Cédex (FR)****(54) Procédé d'élargissement du faisceau d'une antenne stérique**

(57) La présente invention concerne les antennes réseaux à balayage électronique dont les éléments rayonnants sont distribués à l'intérieur d'un volume au lieu d'être répartis sur une surface réfléchissante, plane ou de révolution. Elle est relative à un procédé pour élargir le faisceau d'une antenne stérique pointée dans une direction sans lui apporter des déformations asymétriques ou augmenter de façon importante les lobes secondaires. Ce procédé consiste à appliquer aux éléments rayonnants de l'antenne stérique une loi d'exci-

tation de phase prenant pour chaque élément rayonnant d'indice  $n$  la valeur :

$$\frac{2\pi}{\lambda} \rho_n + 2k\pi$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement émis ou reçu et  $\rho_n$  la distance de l'élément rayonnant d'indice  $n$  considéré à un point  $I$  extérieur à l'antenne stérique situé sur l'axe de la direction de pointage du côté opposé à la direction de pointage.

**FIG. 2****EP 0 762 534 A1**

## Description

La présente invention concerne les antennes stériques, c'est-à-dire les antennes réseaux à balayage électronique dont les éléments rayonnants sont distribués à l'intérieur d'un volume au lieu d'être répartis sur une surface réfléchissante, plane ou de révolution.

Ce type d'antenne a l'avantage de permettre une couverture tridimensionnelle, le plus souvent hémisphérique ou quasi-hémisphérique à laquelle participent tous les éléments rayonnants. Ce n'est pas le cas des antennes à réseau réparti sur une surface réfléchissante qui, soit, lorsqu'elles sont planes, nécessitent plusieurs panneaux différemment orientés dont un seul est utilisé à la fois, soit lorsqu'elles sont cylindriques ou sphériques, ne mettent à contribution que les éléments rayonnants visibles de la direction visée. En raison de cette propriété on attend des antennes stériques des performances supérieures en gain et directivité. C'est pourquoi elles sont étudiées depuis longtemps.

Avec les antennes stériques, comme avec les autres types d'antennes réseaux, il peut être utile d'élargir le lobe principal du diagramme de rayonnement à l'émission sans lui apporter des déformations asymétriques ou augmenter de façon importante les lobes secondaires. C'est notamment le cas en technique radar lorsque l'on veut agrandir le domaine de veille mais cela peut être utile en d'autres circonstances dans d'autres techniques telles que celles des radiocommunications ou de la radioastronomie.

Les techniques d'élargissement du faisceau rayonné par une antenne réseau actuellement connues ne concernent que les réseaux d'antennes conventionnels linéaires ou plans. Dans le cas d'un réseau d'antennes linéaire classique alimenté selon une loi d'amplitude symétrique et décroissante à partir du centre, la méthode d'élargissement qui, dans la plupart des cas, s'avère la plus performante, consiste à appliquer au réseau une loi de variation de phase quadratique ajoutée à la loi de variation de phase de pointage. En effet, il est connu que le diagramme de rayonnement ou champ rayonné à grande distance par un groupement d'antennes élémentaires équivalent à une ouverture plane rayonnante s'exprime à partir de la loi d'illumination ou distribution de champ du groupement d'antennes élémentaires au moyen d'une transformée de Fourier. Or, si l'on adopte une loi d'excitation en amplitude symétrique et décroissante à partir du centre du réseau telle qu'une loi de Gauss tronquée de la forme :

$$e^{-\alpha x^2} \quad x \leq L/2$$

où  $\alpha$  est un nombre réel positif,  $L$  la longueur du réseau linéaire d'antennes et  $x$  l'abscisse le long du réseau avec une origine au centre du réseau, et une loi d'excitation en phase à variation quadratique de la forme  $-\beta x^2$  où  $\beta$  est un nombre réel, on obtient une loi d'illumination en :

$$e^{-(\alpha + i\beta)x^2}$$

qui est une fonction gaussienne à coefficient complexe ayant la propriété d'être une fonction propre de la transformation de Fourier:

$$e^{-(\alpha + i\beta)x^2} \xrightarrow{TF} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha + i\beta}} \times e^{-\frac{u^2}{4(\alpha + i\beta)}}$$

$u$  étant la variable représentant la direction du rayonnement.

Traduite en termes d'antenne, cette propriété signifie que le diagramme de rayonnement d'une distribution de champ gaussienne est également gaussien tout au moins pour ce qui concerne le lobe principal. Comme la largeur du lobe est liée au module du terme  $(\alpha + i\beta)$ , on voit que l'introduction de la loi de phase quadratique (terme  $\beta$ ) permet d'élargir le lobe principal. Pour  $\beta$  égal à zéro on a la largeur nominale minimale et plus  $|\beta|$  augmente plus on élargit le faisceau.

Cette méthode d'élargissement du faisceau d'un réseau linéaire d'antennes élémentaires peut être facilement généralisée à un réseau plan d'antennes élémentaires en sommant les contributions de deux lois d'excitation de phase à variation quadratique, l'une selon la longueur  $x$  du plan du réseau avec un coefficient  $\beta_x$  et l'autre selon la largeur  $y$  du plan du réseau avec un coefficient  $\beta_y$ . Par contre rien ne permet a priori de la généraliser à un réseau volumique d'antennes élémentaires.

La présente invention a pour but l'élargissement du faisceau d'un réseau volumique d'antennes élémentaires sans

déformations asymétriques du faisceau ni augmentation importante des lobes secondaires.

Elle a pour objet un procédé d'élargissement du faisceau d'une antenne stérique consistant, à appliquer aux éléments rayonnants de l'antenne stérique, une loi d'excitation de phase prenant pour chaque élément rayonnant d'indice  $n$  la valeur :

5

$$\frac{2\pi}{\lambda} p_n + 2k\pi$$

10

où  $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement émis ou reçu et  $p_n$  la distance de l'élément rayonnant d'indice  $n$  considéré à un point  $I$  extérieur à l'antenne stérique situé sur l'axe de la direction de pointage du côté opposé à la direction de pointage.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

15

- une figure 1 est un schéma illustrant une interprétation physique de la propriété d'élargissement de faisceau d'un réseau linéaire d'antennes élémentaire due à l'adoption d'une loi d'excitation de phase à variation quadratique ;
- une figure 2 est un schéma explicitant le procédé d'élargissement de faisceau selon l'invention à partir de l'interprétation physique de la figure 1 ; et

20

- une figure 3 représente, de manière schématique, un dispositif émetteur-récepteur à antenne stérique permettant la mise en oeuvre du procédé d'élargissement de faisceau selon l'invention.

25

La propriété pour une loi d'excitation de phase à variation quadratique d'élargir le faisceau directif d'un réseau linéaire d'antennes élémentaires peut s'expliquer par le fait qu'elle transforme les surfaces isophases des ondes émises ou reçues auxquelles la loi de variation de phase de pointage donne la forme de plans orientés vers la direction de pointage, en surfaces de forme approximative de secteurs sphériques orientés vers la direction de pointage. En effet, soit un réseau linéaire d'éléments rayonnants  $A_1, A_2, \dots, A_N$ . Si l'on fait abstraction de la loi d'excitation de phase de pointage, c'est-à-dire si l'on se place dans le cas d'une direction de pointage perpendiculaire à la direction du réseau linéaire, la loi d'excitation de phase à appliquer pour donner aux ondes émises des surfaces isophases en forme de secteurs sphériques centrés sur un point  $I$  situé sur l'axe normal au réseau en son centre  $O$ , du côté opposé à la direction de pointage, doit compenser les différences de trajet existant entre le point  $I$  supposé à l'origine des ondes sphériques et les différents éléments rayonnant du réseau. Pour un élément rayonnant situé à l'abscisse  $x$  par rapport au centre  $O$  du réseau, la différence de trajet  $d$  vaut :

35

$$d = \sqrt{R^2 + x^2} - R$$

$R$  étant la distance entre le centre  $O$  du réseau et le point  $I$  centre des secteurs sphériques. Il en résulte un retard de phase  $\varphi(x)$  égal à :

40

$$\varphi(x) = \frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{R^2 + x^2} - R)$$

45

où  $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement émis ou reçu.

Pour obtenir des surfaces d'onde en forme de secteurs circulaires il faut donc, en toute rigueur appliquer une loi d'excitation de phase  $\varphi_e(x)$  de la forme :

50

$$\varphi_e(x) = \frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{R^2 + x^2} - R) + \varphi_0$$

où  $\varphi_0$  est une constante quelconque éventuellement prise égale à :

55

$$\frac{2\pi}{\lambda} R$$

de sorte que, pour obtenir des surfaces d'ondes isophases en forme de secteurs circulaires centrés sur un point I situé sur l'axe normal au réseau en son centre, il suffit d'appliquer aux éléments rayonnants du réseau une loi de correction de phase donnant à chaque élément rayonnant d'abscisse x par rapport au centre 0 du réseau un déphasage :

$$\frac{2\pi}{\lambda} \rho_x$$

où  $\rho_x$  est la distance de l'élément rayonnant considéré d'abscisse x au point I.

Cependant, si l'on considère que la distance R est grande devant x, c'est-à-dire que l'angle d'ouverture de rayonnement n'est pas trop grand, on peut écrire :

$$\sqrt{R^2 + x^2} = R \sqrt{1 + \frac{x^2}{R^2}} = R \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{2R^2}\right)^2 - \frac{x^4}{4R^2}} \approx R \left(1 + \frac{x^2}{2R^2}\right)$$

de sorte que la loi d'excitation de phase  $\varphi_e(x)$  peut être approchée par :

$$\varphi_e(x) \approx \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{x^2}{2R} + \varphi_0$$

On reconnaît alors une loi d'excitation de phase à variation quadratique. Ainsi, pour des angles d'ouverture de rayonnement pas trop grands, l'écart entre une loi d'excitation de phase pour l'obtention d'une onde sphérique et une loi d'excitation de phase à variation quadratique peut être négligé. Il en résulte que l'on peut réaliser un élargissement de faisceau aussi bien avec une loi d'excitation de phase pour l'obtention d'une onde sphérique qu'avec une loi d'excitation de phase à variation quadratique, la première loi ayant l'avantage de s'étendre facilement aux réseaux volumiques comme le montre la figure 2.

Celle-ci montre un réseau de N éléments rayonnants  $B_1, B_2, \dots, B_N$  répartis à l'intérieur d'un certain volume, ici une boule 10 de centre 0. Pour ne pas encombrer cette figure de tout ce qui ne concerne pas l'invention proprement dite, on n'a pas représenté les lignes d'alimentation des éléments rayonnants avec leur répartiteur et leurs déphaseurs commandés individuels. A chacun des éléments rayonnants est appliquée une loi d'excitation de phase de pointage permettant d'ajouter en phase leur contribution dans une direction de pointage OZ. C'est l'opération classique de focalisation ou de collimation. Dans le but d'élargir le faisceau autour de la direction de pointage, on substitue à cette loi de focalisation une loi de phase destinée à donner aux ondes émises dans la direction de pointage OZ une forme sphérique centrée sur un point I extérieur au réseau, situé sur l'axe OZ de la direction de pointage du côté opposé à la direction de pointage. De ce point I émane une onde sphérique fictive, emprisonnée dans l'angle solide  $\Omega$  sous lequel est vu le contour apparent du réseau. Cette deuxième loi d'excitation de phase consiste, par extension du principe d'optique géométrique appliqué aux réseaux linéaires conventionnels, à affecter chacun des éléments rayonnants de la phase associée à la surface d'onde sphérique passant par cet élément rayonnant. Ainsi l'élément rayonnant  $B_n$  ( $1 \leq n \leq N$ ) sera soumis au déphasage :

$$\varphi_n = \frac{2\pi}{\lambda} \times \rho_n + 2k\pi$$

où  $\rho_n$  est la distance du point I à l'élément rayonnant  $B_n$  considéré.

Dans le cas des réseaux rayonnants conventionnels, linéaires ou plans, l'allure gaussienne du faisceau ne se conserve que pour des élargissements modérés de l'ordre de 2 à 3. Il en va de même pour les réseaux volumiques où la forme gaussienne ne saurait être préservée que pour des valeurs d'élargissement pas trop grandes. Pour des valeurs plus conséquentes, tout comme pour les réseaux linéaires ou plans mais pas plus que ceux-ci, le faisceau présentera des bosses de plus en plus prononcées, jusqu'à devenir informe.

La figure 3 montre la configuration générale d'un dispositif émetteur-récepteur à antenne stérique. L'antenne proprement dite est constituée d'un réseau 1 d'éléments rayonnants 2 répartis de façon aléatoire et homogène à l'intérieur d'un volume enveloppe 3 conformément au principe des réseaux raréfiés aléatoires.

Dans le cas d'un réseau d'éléments rayonnants, il est bien connu que l'on doit, pour éviter l'apparition de lobes parasites de réseau dans certains angles de pointage du faisceau, disposer les éléments rayonnants dans le réseau avec un maillage présentant un pas d'écartement inférieur à  $\lambda/2$ ,  $\lambda$  étant la longueur d'onde de fonctionnement du

réseau. Comme l'ouverture du faisceau obtenu est inversement proportionnelle à la dimension du réseau comptée en longueur d'onde, cela conduit à envisager des réseaux pleins de grandes dimensions avec un très grand nombre d'éléments rayonnants.

La raréfaction consiste à supprimer un grand nombre d'éléments rayonnants dans un réseau plein. Elle permet de faire des économies sur le nombre d'éléments rayonnants pour une dimension donnée du réseau, c'est-à-dire pour une ouverture donnée du faisceau, et également, sinon d'éliminer, du moins de réduire fortement les couplages entre éléments rayonnants qui sont souvent la cause de dégradation des performances des antennes réseau. En contrepartie elle provoque l'apparition de lobes de réseau.

L'aléa permet de réduire les lobes de réseau inhérents aux structures régulières à grands pas.

Pour la clarté du dessin, les proportions respectives entre la longueur des différents éléments rayonnants (en principe voisine d'une demi-longueur d'onde), leurs espacements relatifs (de l'ordre de plusieurs longueurs d'onde), le diamètre du volume de l'enveloppe (de l'ordre de plusieurs dizaines de longueurs d'onde) n'ont pas été respectées. D'ailleurs ces différentes dimensions peuvent varier dans des proportions importantes en fonction des performances souhaitées (gain, finesse du faisceau, etc.)

Chaque élément rayonnant 2 est alimenté individuellement par une ligne verticale à faible perte 4 aboutissant à un module actif propre 5 qui comprend au moins un circuit déphaseur individuellement contrôlable mais qui peut comprendre également des circuits amplificateur, de filtrage, etc. selon les fonctions assumées par l'antenne et les types de signaux qu'elle pourra être amenée à émettre ou à recevoir.

Les réglages des circuits déphaseur des modules actifs 5 permettent d'appliquer aux éléments rayonnants différentes valeurs de correction de phase résultant d'une loi d'excitation de phase de pointage déterminée en fonction de la direction visée et, lorsque le besoin s'en fait sentir, de la combinaison de cette loi d'excitation de phase de pointage avec une loi additionnelle d'excitation de phase d'élargissement de faisceau conforme à celle décrite précédemment. Ils se font grâce à un circuit pointeur 8.

Les différents modules actifs 5 sont raccordés à un distributeur 6 qui répartit ou somme les signaux en provenance ou à destination de circuits 7 d'émission et/ou réception.

Tous les raisonnements précédents ont été faits aussi bien à l'émission qu'à la réception en application du théorème de réciprocité.

Le procédé d'élargissement de faisceau qui vient d'être décrit s'applique à tous les types de réseaux volumiques qu'ils soient réguliers ou non réguliers, raréfiés ou non raréfiés. Il s'applique également aux réseaux dits "conformés" où les éléments rayonnants sont répartis sur une surface courbe (cylindre, cône, sphère...).

## Revendications

1. Procédé d'élargissement du faisceau d'une antenne stérique comportant un ensemble d'éléments rayonnants  $B_1, B_2, \dots, B_n, \dots, B_N$ ,  $n$  étant un nombre entier supérieur à 1, répartis dans un volume caractérisé en ce qu'il consiste à appliquer aux éléments rayonnants de l'antenne stérique une loi d'excitation de phase prenant pour chaque élément rayonnant d'indice  $n$  la valeur :

$$\frac{2\pi}{\lambda} \times \rho_n + 2k\pi$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement émis ou reçu et  $\rho_n$  la distance de l'élément rayonnant d'indice  $n$  considéré à un point  $I$  extérieur à l'antenne stérique situé sur l'axe de la direction de pointage visée, du côté opposé à la direction de pointage.

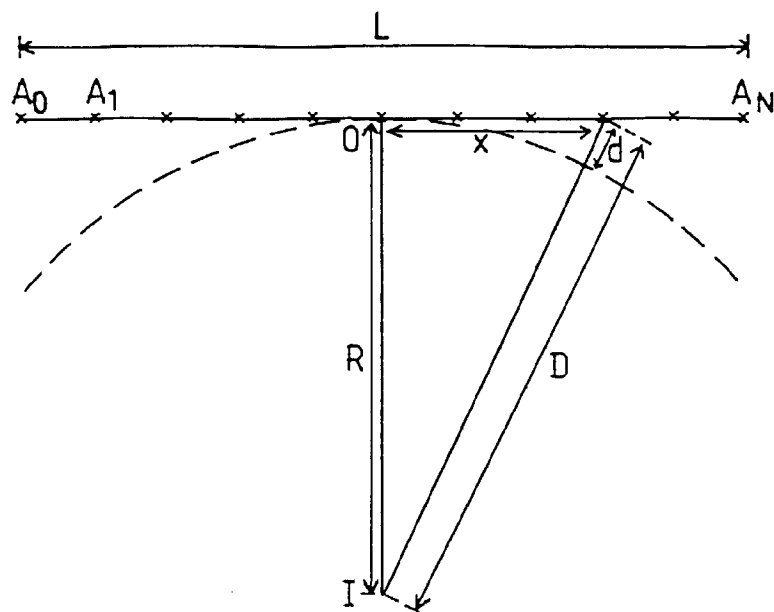


FIG. 1

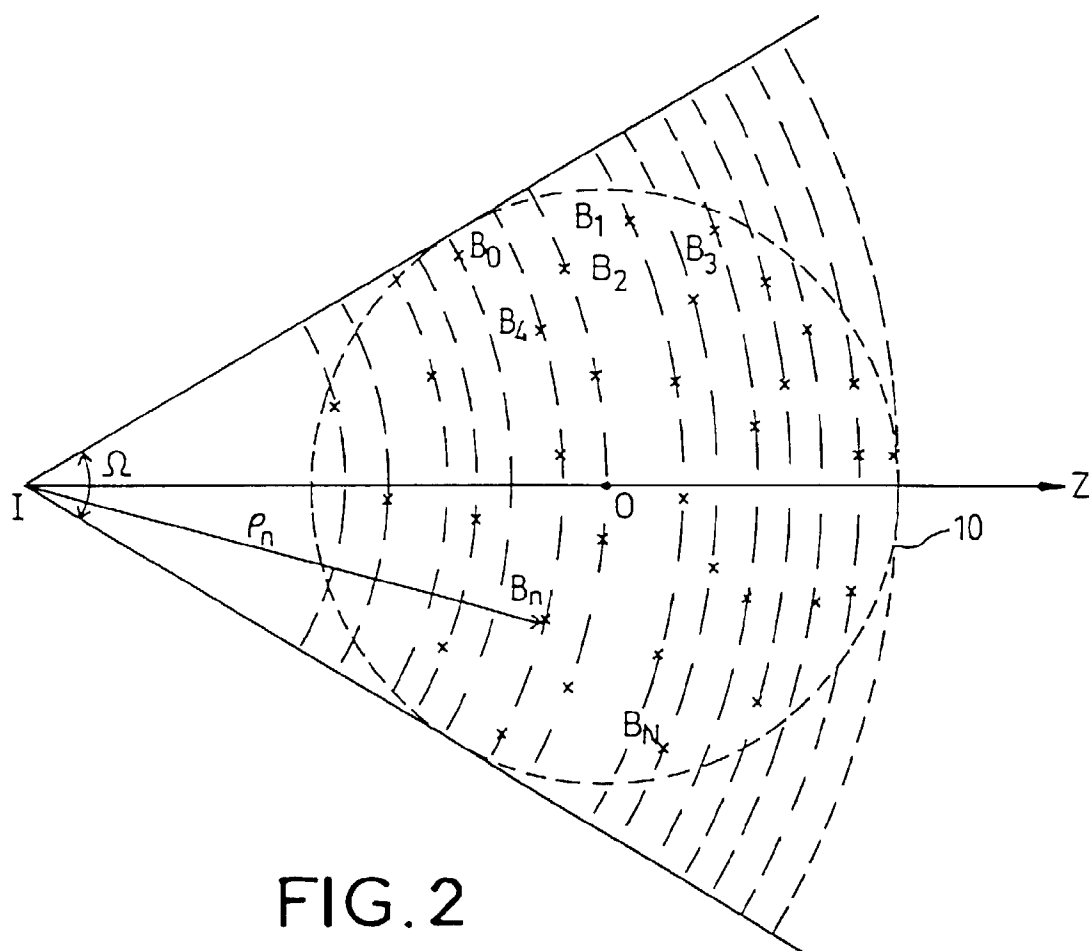


FIG. 2

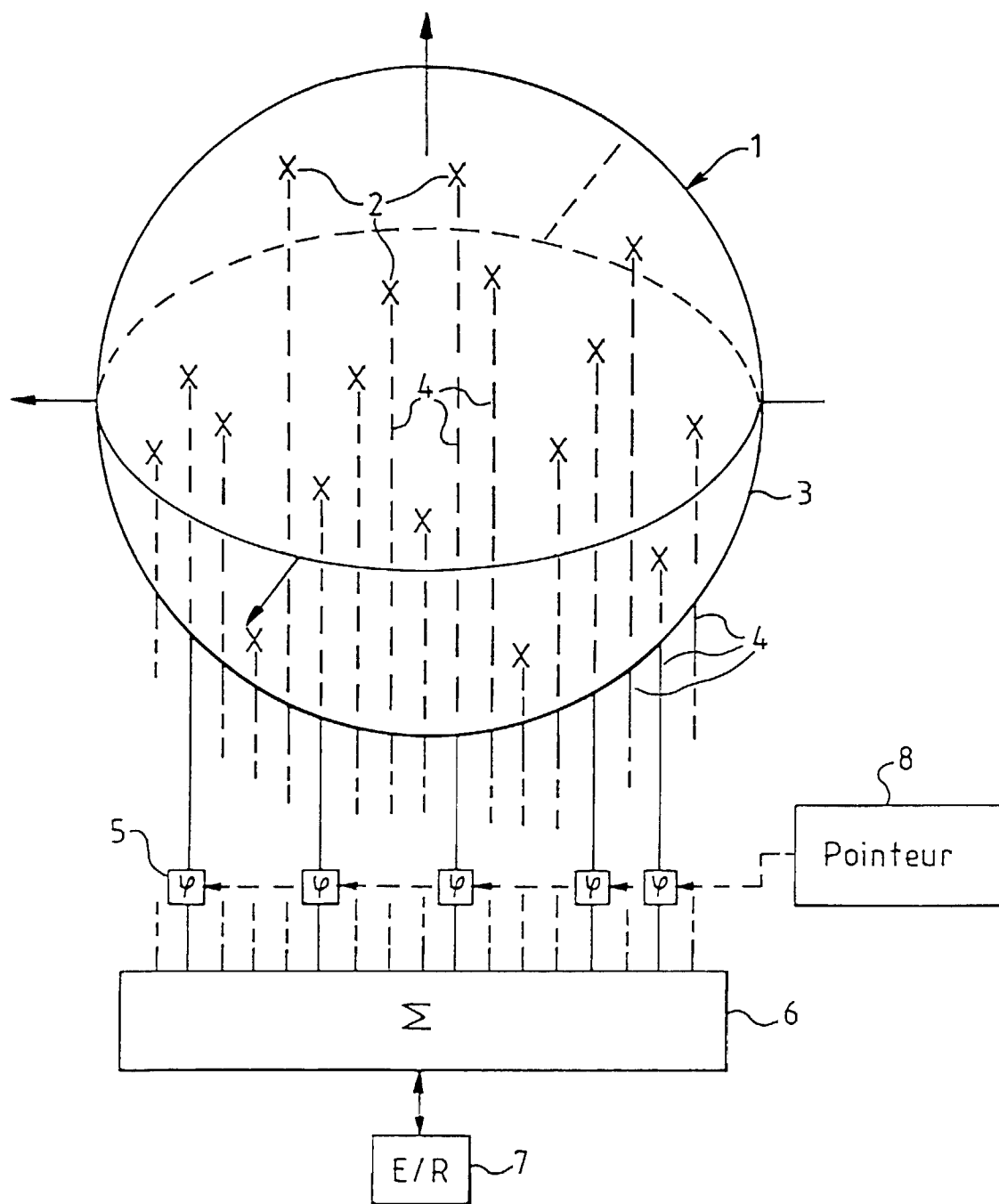


FIG. 3



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 96 40 1829

| 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.6)          |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | DE 32 06 517 A (SIEMENS AG.)<br>* page 4, ligne 28 - page 5, ligne 4 *<br>* page 9, ligne 1 - ligne 23 *<br>--- | 1                                                                                                                                                                                                                                                                        | H01Q3/30<br>H01Q21/22                        |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | US 4 410 894 A (GANS ET AL.)<br>* le document en entier *<br>---                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | DE 28 22 845 A (SIEMENS AG.)<br>* le document en entier *<br>---                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | DE 21 13 856 A (LICENTIA<br>PATENT-VERWALTUNGS-GMBH.)<br>* le document en entier *<br>-----                     |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                          | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHES (Int.Cl.6) |
|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                          | H01Q                                         |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                                      |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
| Lieu de la recherche<br>BERLIN                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                 | Date d'achèvement de la recherche<br>26 Novembre 1996                                                                                                                                                                                                                    | Examineur<br>Danielidis, S                   |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                 | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                              |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |

EPO FORM 1503 01.82 (P04C02)