



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Numéro de publication: **0 415 818 A1**

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Numéro de dépôt: **90402313.2**

Int. Cl.⁵: **H01Q 3/26**

Date de dépôt: **20.08.90**

Priorité: **01.09.89 FR 8911492**

Date de publication de la demande:
06.03.91 Bulletin 91/10

Etats contractants désignés:
DE ES GB IT SE

Demandeur: **THOMSON-CSF**
51, Esplanade du Général de Gaulle
F-92800 Puteaux(FR)

Inventeur: **Champeau, André**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense(FR)
Inventeur: **MacIman, Serge**
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67
F-92045 Paris la Défense(FR)

Mandataire: **Beylot, Jacques et al**
Thomson-CSF SCPI
F-92045 Paris La Defense Cédex 67(FR)

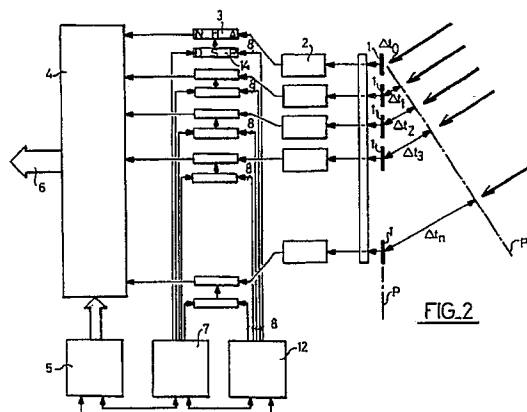
Commande de pointage pour système d'antenne à balayage électronique et formation de faisceau par le calcul.

Ce système d'antenne comprend une pluralité d'antennes élémentaires (1) configurées en un réseau, avec, associée à chaque antenne ou sous-réseau d'antennes, une voie de réception (ou d'émission) comprenant, en série:

- un module actif (2) de réception,
- des moyens à retard, propres à introduire sélectivement un retard pur de propagation du signal capté par l'antenne élémentaire, de manière à produire pour les différentes antennes élémentaires respectives une gradation de retards permettant de définir un pointage voulu de la direction de l'onde à recevoir par rapport à l'orientation propre du réseau, et
- un convertisseur analogique/numérique (3), recevant en entrée le signal analogique reçu pour déli-

vrer en sortie, à un calculateur de formation de faisceau (4), un signal numérisé correspondant.

Selon l'invention, les moyens à retard sont des moyens numériques, disposés en sortie du convertisseur analogique/numérique, et comprennent typiquement un générateur de retard numériquement programmable (14) comportant une entrée de programmation (P) recevant d'un calculateur de pointage (12) un mot numérique de commande définissant le retard à produire, une entrée de déclenchement (D), recevant des impulsions représentant numériquement le signal à retarder et une sortie de signal (S), délivrant les impulsions de signal retardé.



EP 0 415 818 A1

COMMANDE DE POINTAGE POUR SYSTÈME D'ANTENNE À BALAYAGE ÉLECTRONIQUE ET FORMATION DE FAISCEAU PAR LE CALCUL

La présente invention concerne un système d'antenne à balayage électronique et formation de faisceau par le calcul, et notamment une manière de réaliser, sur une plage angulaire très étendue, un pointage précis dans une large bande de fréquences.

Dans ces antennes, on utilise un réseau fixe d'antennes élémentaires en très grand nombre recevant (ou émettant) chacune un signal élémentaire, la combinaison des différents signaux élémentaires correspondant à l'onde à recevoir (ou à émettre).

Le balayage électronique consiste à recevoir (ou à émettre) une onde dont l'orientation n'est pas la même que celle du réseau, par exemple une onde dont la direction de propagation forme un angle de site et/ou d'azimut par rapport à l'axe du réseau.

Pour réaliser ce balayage électronique, il est nécessaire d'appliquer au signal reçu (ou émis) par chacune des antennes élémentaires un retard temporel respectif correspondant à l'augmentation du trajet de propagation introduit du fait de l'inclinaison de la direction de pointage par rapport à l'axe du réseau. Ceci est illustré sur les figures 1 et 2, où la référence 1 désigne chacune des antennes élémentaires, P le plan du réseau (pour la clarté de l'exposé, on supposera qu'il s'agit d'un réseau plan linéaire) et P' le plan de l'onde à recevoir ou à émettre dans la direction de pointage δ . On voit ainsi que, pour chaque antenne élémentaire 1, il faudra appliquer un retard $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ différent d'une antenne à l'autre.

Il a été proposé, essentiellement, deux techniques pour réaliser cette gradation de retards temporels.

La première technique consiste à réaliser une approximation du retard par déphasage de l'onde reçue.

Cette technique est simple à mettre en oeuvre, car elle ne requiert que des moyens purement électroniques (circuit déphaseur placé dans le module actif associé à chacune des antennes élémentaires) ; en outre, les déphasages peuvent être ajustés de façon rapide et avec la quantification adéquate.

Malgré sa souplesse d'emploi, cette technique ne peut malheureusement être employée que pour des variations angulaires faibles en relation avec les dimensions du réseau (le déphasage n'est qu'une approximation du retard temporel) ou pour une bande de fréquences très étroite.

En effet, concernant ce dernier point, comme la loi de phase dépend de la fréquence, si l'on sort

d'une bande étroite de fréquences on constate un phénomène de dispersion en fréquence, homologue de celui des aberrations chromatiques rencontré en optique dans le cas des prismes et lentilles de Fresnel par exemple.

En d'autres termes, avec un pointage par déphaseurs, du fait de la sensibilité du pointage à la fréquence on se trouve très vite limité par la très faible bande instantanée dans laquelle on obtient la précision de pointage que permet le nombre d'éléments de l'antenne et la finesse de commande des phases.

C'est pourquoi, lorsque le spectre des fréquences de fonctionnement de l'antenne doit être large notamment si l'on veut une résolution en distance élevée il est nécessaire d'abandonner l'approximation par déphasage et d'introduire un retard pur véritable.

Pour mettre en oeuvre cette seconde technique à retard pur (technique à laquelle se rattache le système de l'invention), on utilise jusqu'à présent des lignes à retard de propagation, qui sont soit radioélectriques (lignes coaxiales) soit optiques (fibres optiques, après conversion électro-optique).

Chaque voie de réception comporte ainsi une batterie de lignes à retard ; pour chaque direction visée, on commute pour chaque voie celle des lignes qui permet de réaliser le retard correspondant à la gradation de retards voulue.

Cette technique, du fait qu'elle introduit un retard pur et non plus une approximation d'un retard, élimine les défauts précités de dispersivité en fréquence et autorise donc un fonctionnement sur une bande très large et pour un réseau de grandes dimensions.

Elle présente cependant des inconvénients, notamment de mise en oeuvre pratique : en effet, du fait que l'on procède par commutation, il n'est pas possible de faire varier le retard de façon continue et l'on doit donc prévoir autant de lignes que de directions discrètes sur lesquelles on souhaite pointer l'antenne. Ceci mène, pour l'ensemble du réseau, à un nombre total de lignes à retard égal au nombre souhaité de directions discrètes de pointage, multiplié par le nombre d'antennes élémentaires du réseau. On comprend aisément que, pour une antenne à haute résolution angulaire dont on voudrait exploiter au maximum la précision potentielle, le nombre de lignes à retard nécessaires serait en général prohibitif.

En outre, la commutation (électrique ou optique) des lignes à retard implique un temps de réponse non négligeable qui introduit une certaine lenteur dans la "reprogrammation" du réseau d'an-

tennes (c'est-à-dire la modification de son pointage et de sa loi d'illumination).

Si l'on souhaite une couverture continue des directions de pointage, il faut combiner les deux techniques précitées, le pointage résultant alors d'un pointage principal (choix d'une direction) par retard pur, combiné à un pointage secondaire (pointage fin dans la direction choisie) par déphaseur.

Mais cette solution combinée est complexe à réaliser et à commander en pointage du fait de la superposition de deux moyens différents, ce qui la rend donc particulièrement coûteuse.

L'un des buts de la présente invention est de proposer un mode de pointage nouveau remédiant aux inconvénients de l'une et l'autre des deux techniques précitées, tout en étant très simple et peu coûteux à mettre en oeuvre, et procurant une possibilité de variation de la direction de pointage sur une plage extrêmement large, de façon quasi-continue et sans apparition d'aucun phénomène de dispersion fréquentielle.

L'invention est un perfectionnement, dans son principe, à la seconde technique précitée, c'est-à-dire à un système d'antenne comprenant une pluralité d'antennes élémentaires configurées en un réseau avec, associée à chaque antenne ou sous-réseau d'antennes, une voie de réception comprenant, en série : un module actif de réception ; des moyens à retard, propres à introduire sélectivement un retard pur de propagation du signal capté par l'antenne élémentaire, de manière à produire pour les différentes antennes élémentaires respectives une gradation de retards permettant de définir un pointage voulu de la direction de l'onde à recevoir par rapport à l'orientation propre du réseau ; et un convertisseur analogique/numérique recevant en entrée le signal analogique reçu pour délivrer en sortie, à un calculateur de formation de faisceau, un signal numérisé correspondant.

Le convertisseur analogique/numérique comprend une entrée de signal analogique, une sortie de signal numérisé et une entrée d'horloge recevant un signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion.

Selon l'invention, les moyens à retard comprennent un générateur de retard numériquement programmable ayant : une entrée de programmation recevant d'un calculateur de pointage un mot numérique de commande définissant le retard à produire ; une entrée de déclenchement recevant le signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion du convertisseur analogique/numérique et une sortie de signal pilotant l'entrée d'horloge du convertisseur analogique/numérique, la sortie de signal numérisé du convertisseur analogique/numérique étant directement appliquée à l'entrée correspondante du cal-

culateur de formation de faisceau.

L'invention s'applique également au cas d'une antenne fonctionnant en émission, pour la formation de faisceaux d'illumination.

Dans ce cas, la voie d'émission associée à chaque antenne ou sous-réseau d'antennes comprend, en série : un convertisseur numérique/analogique recevant en entrée, d'un calculateur de formation de faisceau, le signal numérique à émettre et délivrant en sortie un signal analogique correspondant ; des moyens à retard, propres à introduire sélectivement un retard pur de propagation du signal à émettre par l'antenne élémentaire, de manière à produire pour les différentes antennes élémentaires respectives une gradation de retards permettant de définir un pointage voulu de la direction de l'onde à émettre par rapport à l'orientation propre du réseau ; et un module actif d'émission.

Le convertisseur numérique/analogique comprend une entrée de signal numérique, une sortie de signal analogique et une entrée d'horloge recevant un signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion.

Selon l'invention, les moyens de retard comprennent un générateur de retard numériquement programmable ayant une entrée de programmation recevant d'un calculateur de pointage un mot numérique de commande définissant le retard à produire, une entrée de déclenchement recevant le signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion du convertisseur numérique/analogique et une sortie de signal pilotant l'entrée d'horloge du convertisseur numérique/analogique.

Avantageusement, que l'on soit en réception ou en émission, le mot numérique de commande produit par le calculateur de pointage peut prendre en compte, outre le retard pur nécessaire au pointage, la compensation des retards purs différentiels entre voies introduits par les différences de longueur des lignes respectives de transmission des signaux d'horloge et/ou de transmission des signaux captés par les antennes élémentaires.

Par ailleurs, chaque voie peut également comporter des moyens déphaseurs commandés, propres à introduire sélectivement un retard de phase du signal capté et/ou émis par l'antenne élémentaire, de manière à permettre un ajustement fin du pointage défini par la gradation des retards purs produits par les moyens à retard numérique.

On va maintenant donner des exemples de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés, sur lesquels les mêmes références numériques désignent des éléments fonctionnellement semblables.

La figure 1 est une représentation schématique d'un système de pointage d'antenne réseau de

l'art antérieur.

La figure 2 est une représentation schématique, homologue de celle de la figure 1, d'un système de pointage d'antenne réseau selon un mode de réalisation de l'invention.

La figure 3 montre isolément le générateur de retard numériquement programmable.

Dans la description qui suivra, on se référera essentiellement au cas de figure d'un système d'antenne assurant la réception d'une onde radioélectrique. L'invention n'est cependant en aucune façon limitée à une antenne de réception, et par réciprocité s'applique aussi bien, mutatis mutandis, à une antenne d'émission ; la structure d'une antenne d'émission serait identique à celle d'une antenne de réception, seul le sens des signaux étant différent (c'est-à-dire que les entrées deviennent des sorties, et réciproquement).

Dans le même ordre d'idées, pour la simplicité de l'exposé l'invention sera décrite à propos d'un réseau linéaire ; cette configuration de réseau n'est cependant en aucune façon limitative, l'invention pouvant s'appliquer aussi bien à des réseaux surfaciques plans ou non (réseaux "conformés") ou même des réseaux volumiques (réseaux "stériques").

De la même façon, on décrira un réseau comportant autant de voies de réception que d'antennes élémentaires. Mais il est cependant possible, de manière en elle-même bien connue, de combiner entre elles plusieurs antennes élémentaires de façon à constituer des sous-réseaux associés chacun à une voie propre du système.

La figure 1 illustre les systèmes, évoqués plus haut, de pointage à retard pur utilisés jusqu'à présent.

La voie de réception associée à chaque antenne élémentaire 1 comporte un module actif de réception 2 et un convertisseur analogique/numérique 3 délivrant (sous une forme numérisée, à un calculateur de formation de faisceaux 4, les signaux reçus. La formation des faisceaux résulte d'un certain nombre de coefficients de pondération appliqués à chacune des voies, les différents coefficients étant produits par un calculateur d'élaboration des coefficients 5 en fonction de la loi d'illumination désirée.

La somme pondérée des différentes voies, qui correspond donc aux signaux reçus traités dans le domaine angulaire, est transmise sur un bus 6 (ou autre moyen de transmission) pour analyse dans les autres axes de traitement.

Le système comporte également une base de temps 7 générant des signaux d'horloge appliqués aux différents convertisseurs analogique/numérique 3 (commande de l'instant d'échantillonnage des échantillonneurs/bloqueurs de ces convertisseurs), et une batterie de lignes à retard 8 permettant

d'introduire sur chaque voie le retard pur de propagation voulu.

Plus précisément, la batterie de lignes à retard 8 comporte, pour chaque voie, une pluralité de lignes à retard (électriques ou optiques) 9 sélectionnées par des commutateurs 10, 11 (diodes ou transistors) commandés par un calculateur de pointage 12 via un faisceau de lignes de commande 13. Pour chaque voie, on choisit la ligne qui permet de compenser le retard de propagation Δt_i résultant de la différence d'orientation entre le plan P du réseau et le plan P' de l'onde à recevoir.

La même configuration peut être bien entendu utilisée en émission, les convertisseurs 3 étant alors des convertisseurs numérique/analogique, les modules 2 étant des modules d'émission et la direction de pointage étant la direction de l'onde à émettre.

La figure 2 illustre un mode de mise en oeuvre de l'invention.

Par rapport au système de la figure 1, les batteries de lignes à retard 8 ont été supprimées et les antennes élémentaires 1 sont directement reliées aux modules actifs 2 et au convertisseur analogique/numérique 3, c'est-à-dire que le signal appliqué à l'entrée A (entrée analogique) du convertisseur analogique/numérique 3 est un signal ne comportant pas de retard surajouté.

Le retard de compensation sera introduit non plus au niveau des circuits analogiques, comme c'était le cas dans l'art antérieur, mais en aval, au niveau des circuits numériques.

Dans ce mode de réalisation, ce sont les instants d'échantillonnage des convertisseurs analogique/numérique 3 que l'on va retarder, de façon sélective, d'une durée correspondant au temps nécessaire pour que les signaux concernés se propagent dans l'espace prismatique compris entre le plan P' de l'onde à recevoir et le plan P des capteurs du réseau.

Ces retards sont, très avantageusement, produits par des circuits 14 du type "générateur de retard numériquement programmable".

Ces "générateurs de retard numériquement programmables" sont des circuits couramment disponibles dans le commerce, qui jusqu'à présent ont été proposés principalement pour l'instrumentation (mesure de retards, générateur de signaux, etc.).

Ils comportent essentiellement, comme illustré isolément figure 3, une entrée D de déclenchement, une sortie S de signal retardé et une entrée de programmation P recevant un mot numérique définissant le retard voulu.

Lorsqu'une impulsion de signal est appliquée à l'entrée D, cette impulsion est transférée à la sortie S avec un retard variable, fonction du mot numérique appliqué à l'entrée P.

Les générateurs de retard programmables disponibles aujourd'hui présentent une très grande dynamique de retard, typiquement de quelques nanosecondes à plusieurs centaines de microsecondes, avec une résolution de l'ordre de 10 ps.

Pour une résolution temporelle de 10 ps à 1 GHz, on obtient une résolution équivalente de l'ordre de trois degrés de phase de l'onde, de sorte que le système de l'invention permet de réaliser un pointage très fin sans l'aide d'aucun circuit déphaseur supplémentaire (ces circuits déphaseurs pouvant cependant être prévus si on le souhaite, notamment pour permettre un réglage fin des lois de déphasage à l'intérieur de sous-réseaux).

Les signaux d'horloge produits par la base de temps 7 sont ainsi appliqués à l'entrée de déclenchement D des générateurs de retard respectifs, le signal d'horloge étant alors transmis à l'entrée H du convertisseur analogique/numérique 3 avec un retard, propre à chacune des voies, défini par le mot numérique généré par le calculateur de pointage 12 et appliqué à l'entrée de programmation P.

Les longueurs des lignes distribuant les signaux d'horloge de la base de temps 7 à chacun des générateurs de retard 14 peuvent être de longueurs identiques ou différentes ; dans ce dernier cas, le calculateur de pointage 12 prend en compte ces différences de longueur et les compense par une modification corrélative appropriée du mot numérique appliqué à l'entrée P.

Il en est de même pour les différences de retard d'insertion entre récepteurs ou pour les écarts de positionnement entre antennes élémentaires (typiquement, dans le cas des antennes conformées).

Ce mode de réalisation, dans lequel on agit sur les signaux d'horloge, présente en outre l'avantage d'agir au niveau de signaux produits de façon interne par la base de temps, qui sont donc des signaux peu sensibles aux perturbations et non porteurs d'informations complexes ; on ne constate donc (à l'exception du jitter ou bruit de phase) aucune dégradation du rapport signal/bruit du fait de l'insertion d'un retard surajouté.

Réciproquement, le principe de l'invention est bien entendu applicable en émission pour la formation de faisceaux d'illumination, les retards différentiels étant appliqués au niveau numérique de la génération des signaux pilotant les modules d'émission des antennes élémentaires.

Revendications

1. Système d'antenne à balayage électronique et formation de faisceau par le calcul numérique, comprenant une pluralité d'antennes élémentaires (1) configurées en un réseau, avec, associée à

chaque antenne ou sous-réseau d'antennes, une voie de réception comprenant, en série :

- un module actif (2) de réception,
- des moyens à retard, propres à induire sélectivement un retard pur de propagation du signal capté par l'antenne élémentaire, de manière à produire pour les différentes antennes élémentaires respectives une gradation de retards permettant de définir un pointage voulu de la direction de l'onde à recevoir par rapport à l'orientation propre du réseau, et

- un convertisseur analogique/numérique (3), recevant en entrée le signal analogique reçu pour délivrer en sortie, à un calculateur de formation de faisceau (4), un signal numérisé correspondant et comportant une entrée de signal analogique (A), une sortie de signal numérisé (N) et une entrée d'horloge (H) recevant un signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion ; caractérisé en ce que les moyens à retard comprennent un générateur de retard numériquement programmable comportant :

- une entrée de programmation (P) recevant d'un calculateur de pointage (12) un mot numérique de commande définissant le retard à produire,

- une entrée de déclenchement (D), recevant le signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion du convertisseur analogique/numérique (3) et

- une sortie de signal (S), pilotant l'entrée d'horloge du convertisseur analogique/numérique (3), la sortie de signal numérisé (N) du convertisseur analogique/numérique (3) étant directement appliquée à l'entrée correspondante du calculateur de formation de faisceau.

2. Système d'antenne de la revendication 1, caractérisé en ce que chaque voie comporte également des moyens déphaseurs commandés, propres à introduire sélectivement un retard de phase du signal capté par l'antenne élémentaire, de manière à permettre un ajustement fin du pointage défini par la gradation des retards purs produits par les moyens à retard numérique.

3. Système d'antenne à balayage électronique et formation de faisceau par le calcul numérique, comprenant une pluralité d'antennes élémentaires (1) configurées en un réseau, avec, associée à chaque antenne ou sous-réseau d'antennes, une voie d'émission, comportant en série :

- un convertisseur numérique/analogique (3) recevant en entrée, d'un calculateur de formation de faisceau (4), le signal numérique à émettre et délivrant en sortie un signal analogique correspondant, et comportant une entrée de signal numérique (N), une sortie de signal analogique (A) et une entrée d'horloge (H) recevant un signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion ;

- des moyens à retard, propres à introduire sélectivement un retard pur de propagation du signal à émettre par l'antenne élémentaire, de manière à produire pour les différentes antennes élémentaires respectives une gradation de retards permettant de définir un pointage voulu de la direction de l'onde à émettre par rapport à l'orientation propre du réseau, et 5
- un module actif (2) d'émission, caractérisé en ce que les moyens à retard, comprennent un générateur de retard numériquement programmable comportant : 10
 - une entrée de programmation (P) recevant d'un calculateur de pointage (12) un mot numérique de commande définissant le retard à produire ; 15
 - une entrée de déclenchement (D) recevant le signal d'horloge commandant l'instant d'échantillonnage de la conversion du convertisseur numérique/analogique et
 - une sortie de signal (S) pilotant l'entrée d'horloge (H) du convertisseur numérique/analogique (3), l'entrée de signal numérique (N) du convertisseur numérique/analogique recevant le signal d'un générateur numérique de forme d'onde à émettre. 20
- 4. Système d'antenne de la revendication 3, caractérisé en ce que chaque voie comporte également des moyens déphaseurs commandés, propres à introduire sélectivement un retard de phase du signal à émettre par l'antenne élémentaire, de manière à permettre un ajustement fin du pointage défini par la gradation des retards purs produits par les moyens à retard numérique. 25 30

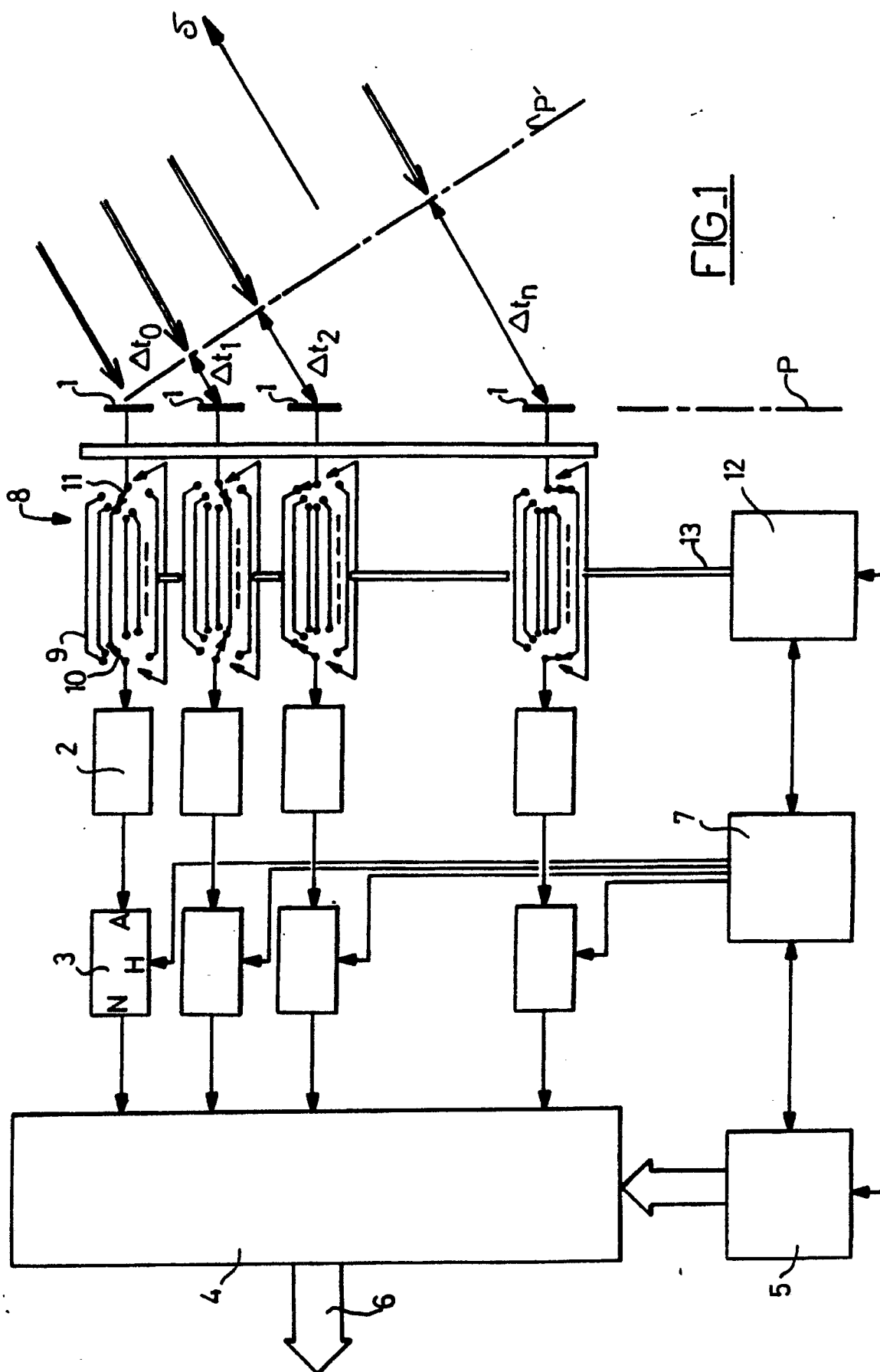
35

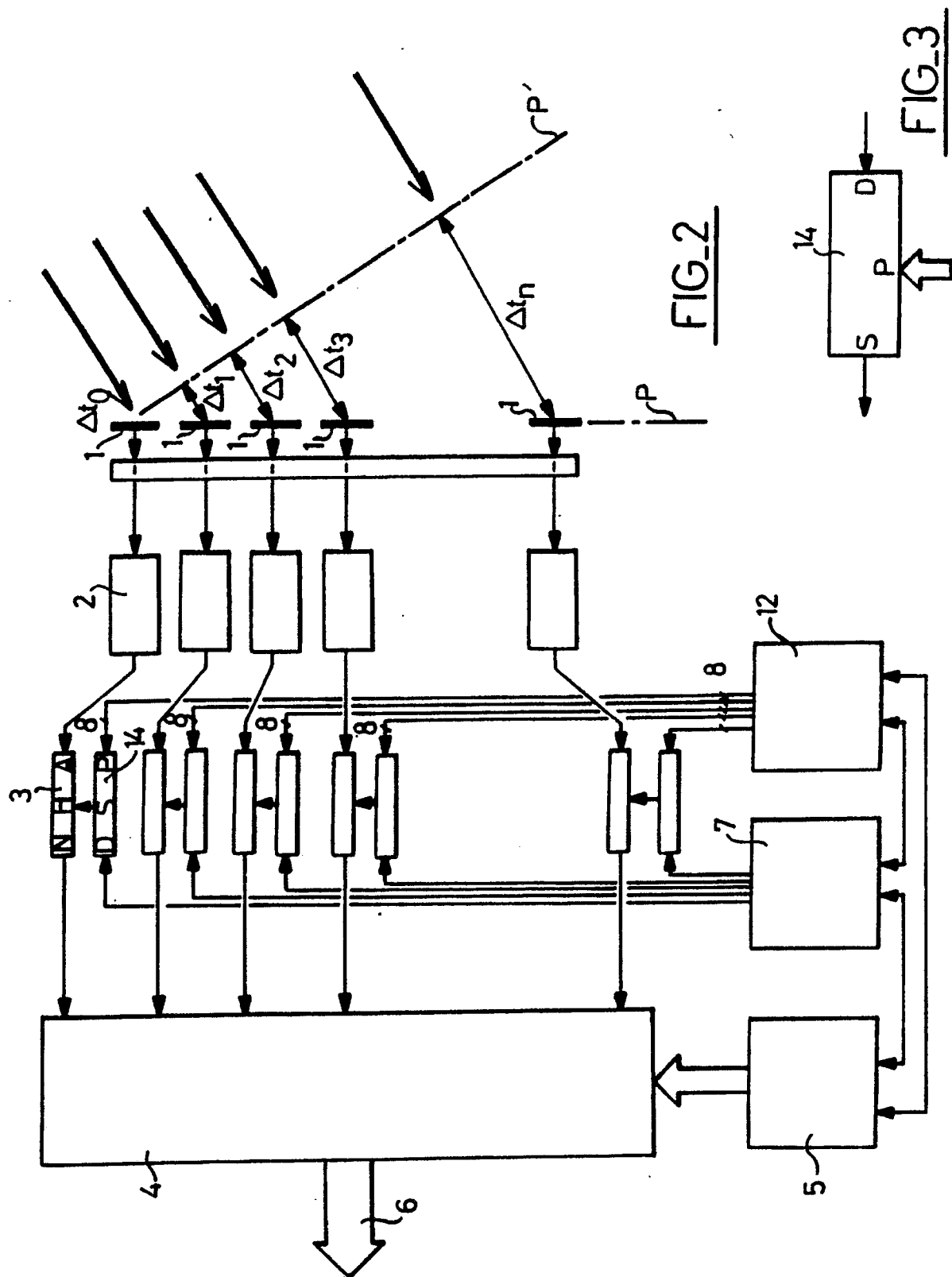
40

45

50

55







Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 90 40 2313

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.5)
A	US-A-4 688 045 (KNUDSEN) * Colonne 4, lignes 17-49; colonne 7, ligne 64 - colonne 8, ligne 68; figures 3,4 *	1-4	H 01 Q 3/26
A	MICROWAVE JOURNAL, vol. 30, no. 1, janvier 1987, pages 107,108,110,112,114,116,118,120,122,124, Norwood, MA, US; H. STEYSKAL: "Digital beamforming antennas" * En entier *	1,3	
A	WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE, AEG-TELEFUNKEN, vol. 54, no. 1/2, 1981, pages 25-43, Frankfurt am Main, DE; D. BORGMANN: "Steuerung und Formung von Strahlungscharakteristiken mit Gruppenantennen" * Pages 39-43, paragraphes 3.-3.3: "Digitale Diagrammformung" *	1,3	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			H 01 Q
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 07 décembre 90	Examineur ANGRAEIT F.F.K.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			