



⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
25.01.95 Bulletin 95/04

⑤① Int. Cl.⁶ : **H01Q 21/06, H01Q 3/30**

②① Numéro de dépôt : **91401495.6**

②② Date de dépôt : **07.06.91**

⑤④ **Dispositif d'alimentation des éléments rayonnants d'une antenne réseau, et son application à une antenne d'un système d'aide à l'atterrissage du type MLS.**

③① Priorité : **19.06.90 FR 9007641**

④③ Date de publication de la demande :
27.12.91 Bulletin 91/52

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
25.01.95 Bulletin 95/04

⑧④ Etats contractants désignés :
DE ES GB IT

⑤⑥ Documents cités :
FR-A- 2 210 841
GB-A- 2 034 525
IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND
PROPAGATION. vol. 36, no. 3, Mars 1988,
NEWYORK US pages 349 - 356; DUFORT: 'Low
Sidelobe Electronically Scanned Antenna
Using Identical Transmit/Receive Modules'

⑦③ Titulaire : **THOMSON-CSF**
173, Boulevard Haussmann
F-75008 Paris (FR)

⑦② Inventeur : **Dubois, Serge**
THOMSON-CSF,
SCPI,
Cédex 67
F-92045 Paris la Défense (FR)

⑦④ Mandataire : **Benoit, Monique et al**
THOMSON-CSF
SCPI
B.P. 329
50, rue Jean-Pierre Timbaud
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

EP 0 462 864 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention a pour objet un dispositif d'alimentation des éléments rayonnants d'une antenne réseau susceptible d'émettre et de recevoir des ondes hyperfréquences balayant électroniquement l'espace, une telle antenne étant notamment applicable aux systèmes d'aide à l'atterrissage connus sous le nom de MLS (initiales de "Microwave Landing System" ou système d'atterrissage micro-onde).

On rappelle qu'une antenne réseau est constituée par une pluralité d'éléments rayonnants émettant chacun, simultanément, une onde hyperfréquence dont la résultante forme un faisceau (ou lobe) principal dans une direction donnée, accompagné d'une répartition spatiale de moindre amplitude, désignée sous le nom de lobes secondaires ou parasites. Chaque élément rayonnant est relié à un déphaseur électroniquement commandable ; la commande des déphaseurs permet de faire balayer l'espace au faisceau principal.

Dans certaines applications comme le MLS, la gêne occasionnée par les lobes secondaires peut être très grande, jusqu'à conduire à la fourniture de fausses informations, telles qu'un faux axe de descente, ce qui est un défaut grave pour un système de guidage d'avion dans la phase particulièrement critique qu'est l'atterrissage.

La présente invention a pour objet une antenne réseau selon la revendication 1, dont les lobes parasites sont très bas et, ce, au moins au voisinage du lobe principal émis par l'antenne. Une telle antenne permet, dans une application du type MLS, d'éviter la fourniture d'informations susceptibles d'être mal interprétées par l'avion guidé.

A cet effet, l'antenne comporte autant de déphaseurs (n) que d'éléments rayonnants, chacun des déphaseurs étant relié à une pluralité (m) d'éléments rayonnants voisins formant un sous-réseau, les sous-réseaux étant imbriqués de sorte que chacun des éléments rayonnants soit alimenté par l'intermédiaire de m déphaseurs.

D'autres objets, particularités et résultats de l'invention ressortiront de la description suivante, donnée à titre d'exemple non limitatif et illustrée par les dessins annexés, qui représentent :

- la figure 1, le schéma d'un mode de réalisation du dispositif d'alimentation selon l'invention ;
- la figure 2, un diagramme explicatif ;
- la figure 3, le schéma électronique d'un mode de réalisation pratique du dispositif selon l'invention.

Sur ces différentes figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

Par ailleurs, par souci de simplicité, le fonctionnement de l'antenne réseau incorporant la présente invention sera décrit uniquement à l'émission, étant entendu qu'elle est susceptible de fonctionner, de fa-

çon réciproque, également en réception.

La figure 1 est donc le schéma d'un mode de réalisation du dispositif d'alimentation selon l'invention.

Ce dispositif est destiné à alimenter un réseau comportant n éléments rayonnants, également appelés sources élémentaires, neuf de celles-ci étant représentées sur le schéma et quatre d'entre elles étant repérées S_i , S_{i+1} , S_{i+2} et S_{i+3} , avec i compris entre 1 et $n-3$. Ces n sources émettent une énergie électromagnétique hyperfréquence fournie par un ensemble émetteur E, par l'intermédiaire du dispositif selon l'invention.

Ce dernier comporte :

- un ensemble de n déphaseurs, neuf d'entre eux étant représentés sur la figure et quatre repérés F_i , F_{i+1} , F_{i+2} , F_{i+3} , avec i variant de 1 à $n-3$;
- des moyens de pondération ; on a représenté sur la figure 1 ces moyens sous forme de neuf circuits distincts, quatre d'entre eux étant repérés P_i , P_{i+1} , P_{i+2} , P_{i+3} , avec i variant de 1 à $n-3$;
- un circuit de distribution D, permettant à chacun des déphaseurs F de recevoir l'énergie fournie par l'émetteur E.

Chaque déphaseur F est relié aux éléments rayonnants par l'intermédiaire des moyens de pondération, globalement notés P. Selon l'invention, chacun des déphaseurs F est relié, par l'intermédiaire du circuit de pondération, à m sources élémentaires S voisines. Inversement, chacune des sources S est reliée à m déphaseurs F voisins. A titre d'exemple, m est égal à 3 sur la figure. On a ainsi formé n sous-réseaux, chacun alimenté par un déphaseur et comportant m sources, et ce de façon imbriquée, la distance entre deux sous-réseaux étant alors égale à la distance entre deux sources.

Ainsi qu'il est connu, le diagramme de rayonnement d'un tel réseau est obtenu à partir du diagramme de rayonnement d'un sous-réseau que multiplie une fonction connue sous le nom de facteur de réseau et qui rend compte de la multiplicité des sous-réseaux. Le rôle des circuits de pondération P est de conférer, le cas échéant, au diagramme de rayonnement du sous-réseau auquel il est relié une forme qui soit aussi proche que possible de la forme recherchée.

A titre d'exemple, on a représenté sur la figure 2 le diagramme de rayonnement idéal que devrait présenter un sous-réseau de l'antenne site d'un système MLS.

L'amplitude du rayonnement devrait être maximale ($A_{\max}$) pour un angle de site compris entre $\theta_{\min}$ et $\theta_{\max}$, et nulle en dehors de ces deux valeurs ; l'intervalle ($\theta_{\min}$; $\theta_{\max}$) représente la couverture que doit avoir une station MLS site, c'est-à-dire le secteur angulaire qui doit être balayé par le lobe principal. En pratique, la largeur du lobe principal MLS dans le plan site est de l'ordre de 1° à 2° et la couverture, de 0 à 17° .

En effet, lorsque, comme c'est le cas ici, le lobe

principal est émis à de faibles angles de site, les lobes secondaires se réfléchissent sur le sol et peuvent de ce fait être captés par un avion situé dans la zone de couverture de l'antenne, donnant par suite naissance à une fausse information. Les lobes secondaires doivent donc être particulièrement bas (par exemple de l'ordre de -40 dB par rapport au lobe principal) au voisinage du lobe principal : typiquement pour ce genre d'application, dans une zone d'environ $\pm 20^\circ$ autour du lobe principal. Ainsi qu'il est dit ci-dessus, le diagramme de l'antenne complète est donné par le produit du diagramme du sous-réseau par le facteur de réseau. Avec un diagramme de sous-réseau tel qu'illustré sur la figure 2, il apparaît que le produit est forcément nul hors de la zone de couverture ; plus particulièrement, le produit est nul et il n'y a pas de lobes secondaires pour les faibles valeurs de site, inférieures à $\theta_{\min}$, évitant ainsi les réflexions sur le sol.

Lorsque le dispositif selon l'invention est appliqué à une antenne MLS site, on cherche donc à obtenir pour le diagramme de rayonnement d'un sous-réseau, un diagramme aussi proche que possible de celui illustré sur la figure 2.

Ce diagramme étant la transformée de Fourier de la loi d'amplitude appliquée aux sources constituant le sous-réseau, les moyens de pondération P ont pour fonction d'appliquer aux sources qu'ils contrôlent une loi d'amplitude aussi proche que possible d'une loi du type $\frac{\sin U}{U}$, dont on rappelle que la transformée de Fourier est une fonction rectangle du type de celle illustrée sur la figure 2.

Ainsi qu'il est mentionné plus haut, le diagramme de rayonnement de l'ensemble de l'antenne est obtenu en réalisant le produit du diagramme d'un sous-réseau par le facteur de réseau. Celui-ci, dans le cas présent, est une fonction dont la forme est voisine d'une fonction en $\frac{\sin U}{U}$.

Il apparaît ainsi qu'on peut obtenir de la sorte un diagramme résultant dont le lobe principal peut être fin et les lobes secondaires sont de très bas niveau.

En effet, la pondération due aux moyens P ne permet jamais en pratique d'obtenir un rayonnement de forme parfaitement rectangulaire, du fait notamment de l'aspect discret des sources et de leur nombre fini : le rayonnement réel présente des lobes secondaires qui peuvent typiquement, dans le cas de l'application illustrée figure 2, présenter une atténuation de l'ordre de -20 dB par rapport au lobe principal. Mais le facteur de réseau étant une fonction présentant également un lobe principal et des lobes secondaires, dont l'atténuation peut être même ordre (-20 dB), le produit des deux permet d'obtenir des lobes secondaires très atténués (environ -40 dB dans l'exemple précédent).

En outre, dans un mode de réalisation préféré, le distributeur D de la figure 1 peut réaliser, de façon

connue, une pondération de l'amplitude de l'énergie appliquée aux sources (pondération de Tchebycheff ou de Taylor par exemple) qui ont pour effet de réduire encore les lobes secondaires du diagramme de l'antenne, à largeur de lobe principal donnée.

Par ailleurs, ainsi qu'il est connu, le regroupement des sources élémentaires en sous-réseaux provoque l'apparition de lobes parasites dits de réseau, dûs à la périodicité des sous-réseaux et dont l'amplitude peut être très grande. Ces lobes de réseaux apparaissent dès que le rapport d/λ devient supérieur à

$$\frac{1}{1 + \sin \theta_{\max}}$$

- d est la distance entre sous-réseaux ;
- λ est la longueur d'onde de fonctionnement de l'antenne ;
- $\theta_{\max}$ est l'angle de balayage maximum.

Selon l'invention, on imbrique les sous-réseaux de façon telle que la distance entre deux sous-réseaux soit égale à la distance entre deux sources élémentaires. De la sorte, l'existence de sous-réseaux n'introduit pas de perturbation supplémentaire.

La figure 3 représente le schéma électronique d'un mode de réalisation pratique du dispositif selon l'invention.

Sur la figure, on a représenté neuf des n sources élémentaires qu'est susceptible d'alimenter le dispositif selon l'invention, ainsi que la partie des circuits de pondération P (figure 1) qui leur correspondent.

Le dispositif comporte quatre lignes de connexion, repérées L_1 à L_4 . Sur ces lignes sont disposés, d'une part, des atténuateurs, repérés A_{ij} où i représente le numéro de la ligne et j le numéro d'ordre de l'atténuateur sur la ligne, et d'autre part des ponts hybrides 3 dB, repérés C_{ij} , la notation ij ayant la même signification que précédemment.

Les atténuateurs A sont munis de deux entrées-sorties entre lesquelles ils impriment au signal qui les traverse une atténuation de 3 dB ; ces atténuateurs sont réalisables par tous moyens connus, par exemple atténuateurs en T ou en Π à résistances.

Les ponts C comportent quatre entrées-sorties dont deux sont reliées à la ligne qui les porte. Ils ont pour fonction de transmettre l'énergie qu'ils reçoivent sur une entrée, aux deux entrées adjacentes, c'est-à-dire avec une atténuation de 3 dB sur chacune ; ils sont représentés sur la figure par un cercle et deux de leurs entrées-sorties sont diamétralement opposées : par convention, le pont hybride introduit de plus un déphasage de 180° entre ces deux sorties-là. Ces ponts sont réalisés par tout moyen connu, et notamment comme décrit dans l'article intitulé "A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port Networks" de J. REED et G.J. WHEELER paru dans la revue "IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques" d'Octobre 1956.

Le dispositif selon l'invention comporte encore

une première série de ponts hybrides 3 dB repérés C_{5j} où j est un numéro d'ordre, disposés entre les lignes L_1 et L_2 et destinés à relier les ponts portés par ces lignes, et une seconde série de ponts hybrides repérés, de façon analogue, C_{6j} , disposés entre les lignes L_3 et L_4 et reliant les ponts portés par ces lignes. Les ponts C_{5j} et C_{6j} sont du même type que les précédents et comportent quatre entrées-sorties mais ici l'une d'entre elles est, de façon connue, reliée à une résistance de charge destinée à absorber les énergies parasites. Les ponts hybrides C_{5j} et C_{6j} d'ordre pair reçoivent sur l'une de leurs entrées, repérées E_j (j étant un numéro d'ordre) une connexion avec un des déphaseurs F de la figure 1.

La connexion des différents composants du circuit de la figure 3, ainsi que son fonctionnement, sont décrits ci-après en suivant le trajet de l'énergie fournie par celui des déphaseurs F qui est connecté, par exemple, à l'entrée E_2 du pont hybride 56 représenté sur la figure 3, étant entendu que la même cellule de base se reproduit de proche en proche pour les n éléments rayonnants de l'antenne ; des impédances de charge sont en outre prévues en bout d'antenne, de façon connue, pour terminer le circuit. Il est à noter que certaines connexions sont représentées sur la figure en traits continus et d'autres en traits pointillés : le circuit est réalisé par exemple sur un circuit imprimé multicouches, les connexions en traits pointillés étant par exemple réalisées sur une face cachée.

L'énergie appliquée sur l'entrée E_2 va alimenter la source S_5 par l'intermédiaire des ponts C_{13} et C_{55} , donc avec une atténuation de 9 dB par rapport au niveau du signal appliqué sur l'entrée E_2 . Ce même signal alimente également la source S_6 par l'intermédiaire des ponts C_{23} et C_{65} avec la même atténuation de 9 dB. L'énergie appliquée sur l'entrée E_2 alimente également la source S_7 , par l'intermédiaire des ponts C_{13} , C_{14} et C_{57} ainsi que de l'atténuateur A_{13} , avec une atténuation de 15 dB. De façon symétrique, l'énergie appliquée en E_2 alimente la source S_4 par l'intermédiaire des ponts C_{23} , C_{22} et C_{63} ainsi que de l'atténuateur A_{22} , également avec une atténuation de 15 dB. L'énergie rayonnée par les sources S_3 et S_8 du fait de l'énergie appliquée sur l'entrée E_2 est négligeable, à cause des très nombreuses atténuations qui lui sont appliquées. Enfin, les sources S_9 et S_2 émettent toutes deux une énergie atténuée de 21 dB et déphasée de 180° par rapport à celle qui est appliquée sur l'entrée E_2 , par les chemins suivants :

- pour la source S_9 : par l'intermédiaire du pont C_{13} de l'atténuateur A_{13} , du pont C_{14} avec un déphasage de 180° , de l'atténuateur A_{14} et des ponts C_{15} et C_{59} ;
- pour la source S_2 : par l'intermédiaire du pont C_{23} , de l'atténuateur A_{22} , du pont C_{22} avec un déphasage de 180° , de l'atténuateur A_{21} et des ponts C_{21} et C_{61} .

Il apparaît ainsi qu'on obtient une distribution

d'amplitude qui est voisine de la forme recherchée en $\frac{\sin U}{U}$.

Il est à noter que, dans ce mode de réalisation, chacun des déphaseurs est, par l'intermédiaire du circuit décrit, relié à l'ensemble des sources S (en d'autres termes, $m = n$) mais que seules six sources (S_2 , S_4 , S_5 , S_6 , S_7 et S_9 sur la figure) le sont de façon significative, l'énergie qui parvient aux autres sources étant trop atténuée. Un avantage de cette structure est la simplicité.

Il est à noter également que les atténuations introduites par les atténuateurs A ou les ponts C ne sont pas obligatoirement égales à 3 dB : elles peuvent être modifiées pour permettre d'approcher au plus près la forme recherchée pour le diagramme de rayonnement.

Revendications

1. Antenne réseau comportant n éléments rayonnants (S) et n déphaseurs (F), caractérisé par le fait que chacun des déphaseurs est relié à m éléments rayonnants voisins avec $m \leq n$, ces derniers formant un sous-réseau, les sous-réseaux ainsi formés étant imbriqués de sorte que chacun des éléments rayonnants soit alimenté par l'intermédiaire de m déphaseurs.
2. Antenne selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comporte en outre des moyens de pondération (P) connectés entre les déphaseurs (F) et les éléments rayonnants (S), conférant aux sous-réseaux un diagramme de rayonnement prédéfini.
3. Antenne selon les revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que chacun des déphaseurs (F) est relié aux n éléments rayonnants (S), les moyens de pondération (P) conférant une pondération telle que seuls m éléments rayonnants, avec $m < n$, soient alimentés avec une énergie non négligeable.
4. Application de l'antenne selon l'une des revendications précédentes à un système d'aide à l'atterrissage de type MLS.

Patentansprüche

1. Netzanternte mit n strahlenden Elementen (S) und n Phasenschiebern (F), dadurch gekennzeichnet, daß jeder Phasenschieber an m einander benachbarte strahlende Elemente angeschlossen ist, mit $m \leq n$, wobei diese Strahlungselemente ein Unternetz bilden und die so gebil-

deten Unternetze miteinander verschachtelt sind, derart, daß jedes strahlende Element über m Phasenschieber gespeist wird.

2. Antenne nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie außerdem Mittel zur Wichtung (P) aufweist, die zwischen die Phasenschieber (F) und die strahlenden Elemente (S) eingefügt sind und den Unternetzen ein vordefiniertes Strahlungsdiagramm verleihen. 5
10
3. Antenne nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Phasenschieber (F) mit den n strahlenden Elementen (S) verbunden ist, wobei die Wichtungsmittel (P) eine solche Wichtung herbeiführen, daß nur m strahlende Elemente mit einer nennenswerten Energie gespeist werden, mit $m < n$. 15
4. Anwendung der Antenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche auf ein Lande-Hilfssystem vom Typ MLS. 20

Claims 25

1. Antenna array including n radiating elements (S) and n phase shifters (F), characterized in that each of the phase shifters is linked to m adjacent radiating elements with $m \leq n$, the latter forming a sub-array, the sub-arrays thus formed being imbricated in such a way that each of the radiating elements is fed via m phase shifters. 30
2. Antenna according to Claim 1, characterized in that it further includes weighting means (P) connected between the phase shifters (F) and the radiating elements (S), conferring a predefined radiating pattern on the sub-arrays. 35
40
3. Antenna according to Claims 1 and 2, characterized in that each of the phase shifters (F) is linked to the n radiating elements (S), the weighting means (P) imparting a weighting such that only m radiating elements, with $m < n$, are fed with non-negligible energy. 45
4. Application of the antenna according to one of the preceding claims to an MLS-type landing aid system. 50

55

FIG.1

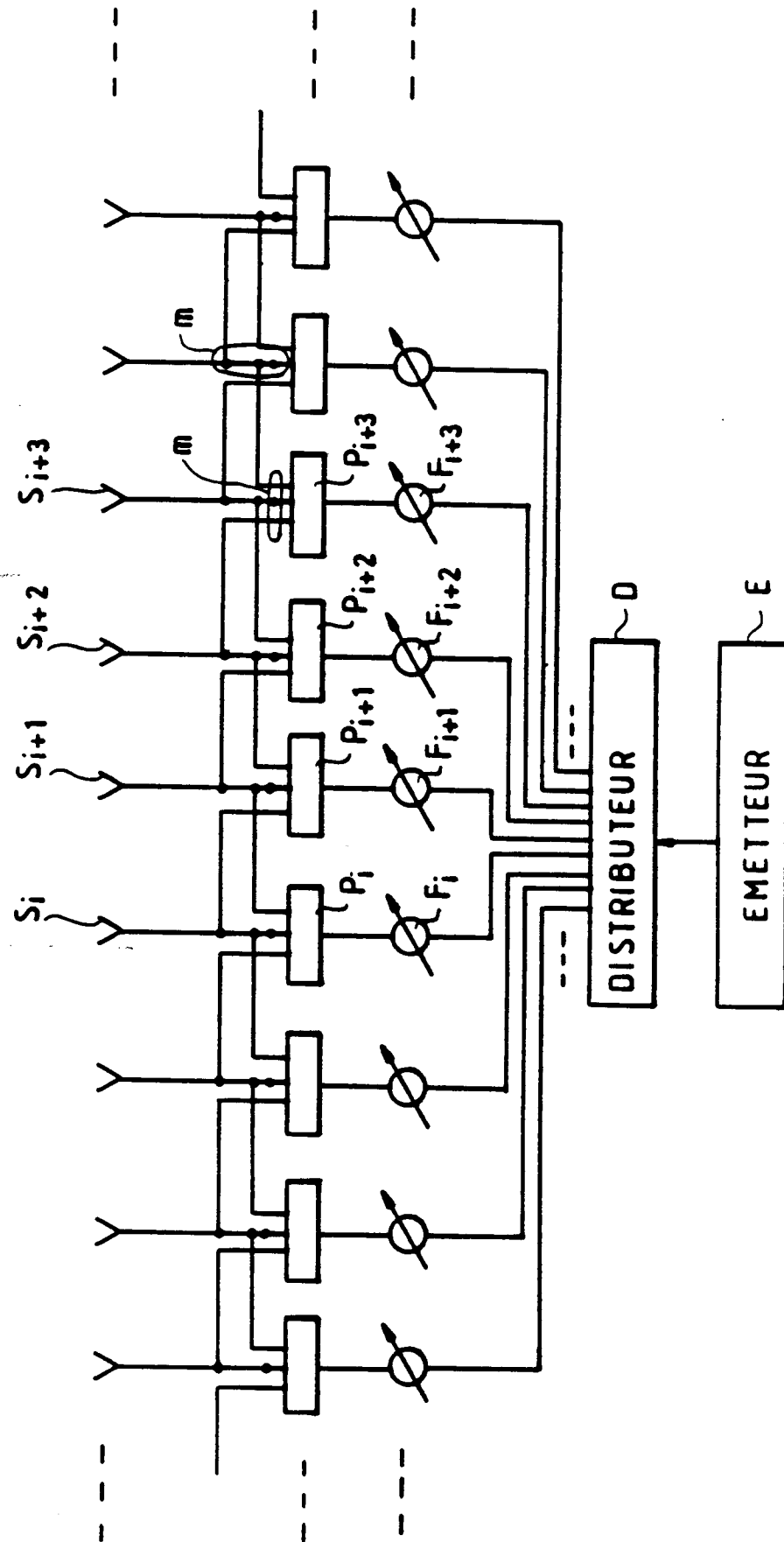


FIG. 2

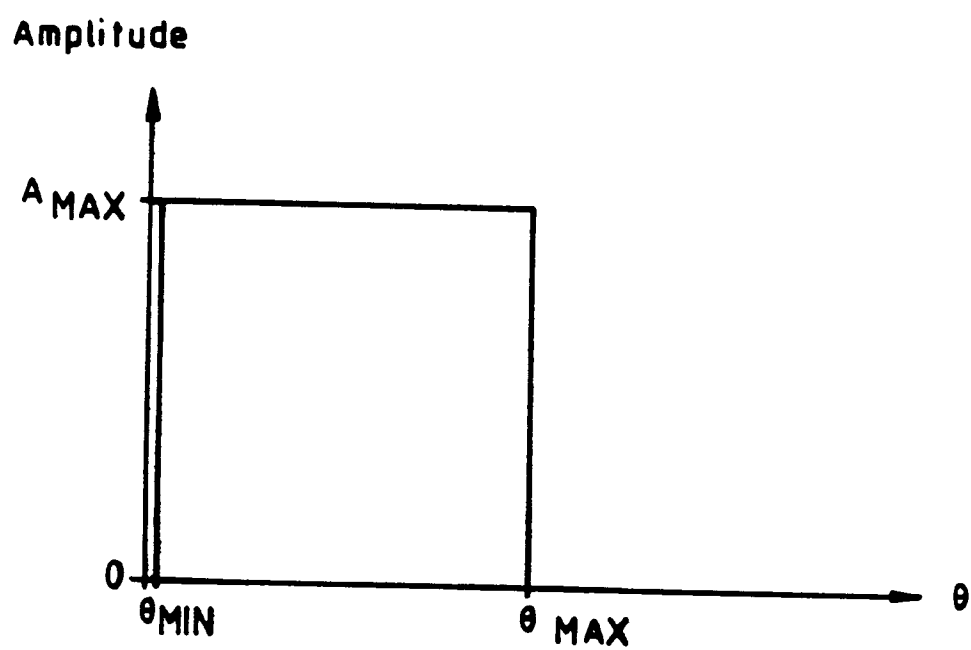


FIG.3

