

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 81 14983**

---

⑤④ Dispositif et procédé d'attaque d'antennes pour un système de navigation omnidirectionnelle à très haute fréquence.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 S 1/38.

②② Date de dépôt..... 31 juillet 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Australie* : 1<sup>er</sup> août 1980, n° PE 4821/80.

④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 5 du 5-2-1982.

---

⑦① Déposant : THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, résidant en Australie.

⑦② Invention de : James Godfrey Lucas et Alan Christopher Young.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,  
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

---

La présente invention concerne un dispositif d'attaque d'antenne pour un système de navigation omnidirectionnel à très haute fréquence (VOR).

5 Le système VOR est très largement utilisé dans le monde entier et il a pour fonction de fournir à un aéronef des informations d'azimut de vol. Deux signaux sont émis par une antenne VOR pour produire un champ tournant dans l'espace, un signal étant un signal de phase de référence qui est émis dans toutes les directions et l'autre étant un signal de phase variable dont la phase varie de façon linéaire avec l'angle d'azimut. Les informations d'azimut sont obtenues en détectant la différence de phase entre les signaux de phase de référence et de phase variable reçus par un aéronef qui vole vers ou depuis le lieu d'installation du système VOR.

10 Le signal de phase de référence est produit sous forme d'une porteuse à haute fréquence dont la fréquence se situe dans la gamme de 108 à 118 Mhz et qui est modulée en amplitude avec une sous-porteuse de 9960 Hz modulée en fréquence à 30 Hz. Le signal de phase variable consiste en une partie de la porteuse à haute fréquence dont la modulation est éliminée et qui, lorsqu'elle est émise, est modulée en amplitude spatiale à 30 Hz. La modulation spatiale est obtenue en attaquant l'antenne d'émission de manière qu'elle produit un champ qui tourne à 1800 tours par minute ou, autrement dit, à 30 Hz.

25 Le champ qui est obtenu en combinant les signaux de phase de référence et de phase variable est un champ tournant contenant les informations de phase de référence et de phase variable.

30 Les informations d'azimut sont extraites et indiquées par un récepteur dans un aéronef. Après leur traitement dans l'étage à haute fréquence du récepteur et leur détection, les signaux reçus de phase de réf-

rence et de phase variable sont traités dans des canaux  
séparés et sont appliqués à des entrées séparées d'un  
comparateur de phase. L'information d'azimut concernant  
le lieu du système VOR est indiquée par la différence de  
5 phase entre les signaux de phase de référence et de  
phase variable.

Le système décrit ci-dessus, appelé système VOR  
conventionnel (CVOR), est susceptible d'erreurs de trajets  
multiples en raison de réflexions sur des irrégularités  
10 de surface au-dessus ou au-dessous du plan au sol du  
lieu du système VOR. Ces réflexions de surface peuvent  
résulter de l'existence d'une topographie variable ou  
de la présence perturbatrice d'immeubles, de clôtures,  
d'arbres etc. et les erreurs de trajets multiples dé-  
15 coulent de l'addition vectorielle des composantes di-  
rectes et réfléchies dans le champ dans lequel vole  
l'aéronef.

Certaines de ces erreurs sont réduites au mini-  
mum en utilisant un système VOR Doppler (DVOR) dans  
20 lequel un signal de porteuse modulé en amplitude à 30 Hz  
(signal de phase de référence) est rayonné dans toutes  
les directions et un signal dépendant de l'azimut (sig-  
nal de phase variable) est émis dans l'espace (en uti-  
lisant le principe Doppler), par le rayonnement d'une ou  
25 plusieurs bandes latérales de la porteuse modulée en  
fréquence à 9960 Hz, au moyen d'un réseau d'antennes  
commutées séquentiellement, qui sont disposées concentri-  
quement autour de l'antenne du signal de base de réfé-  
rence. Un réseau DVOR courant comporte cinquante anten-  
30 nes disposées autour d'une ouverture horizontale d'un  
diamètre d'environ cinq longueurs d'onde (13,5 mètres).

Le système DVOR réduit de façon très sa-  
tisfaisante les trajets multiples dans de nombreux cas,  
mais il présente des inconvénients suivants:

- 35 (a) il ne protège pas contre les lobes du dia-  
gramme de rayonnement vertical,  
(b) il n'apporte aucune amélioration réelle sur

le système CVOR en ce qui concerne les réflexions par des objets dans la plage de  $\pm 10^\circ$  de la ligne de visée, et

5 (c) il implique un capital élevé et un prix élevé d'installation.

L'invention peut s'appliquer à un système CVOR, et elle a pour but de réduire au minimum les erreurs de trajets multiples qui résultent de réflexions par le rayonnement sous des angles négatifs.

10 De nombreuses stations VOR "en route" sont placées sur des sommets de petites collines afin d'assurer une portée qui convient en présence de collines environnantes. Mais seulement un petit plan au sol est disponible et le signal VOR rayonne fortement dans la région  
15 au-dessous de l'horizon. Des mesures en des endroits difficiles (courts plans au sol élevés) en Australie par exemple ont montré que le champ d'angles négatifs peut être au moins aussi intense que le champ sous des angles  
20 positifs et c'est ce rayonnement sous un angle négatif qui entraîne la plupart des erreurs de trajets multiples en ces endroits. Des travaux anciens sur les systèmes VOR ont reconnu très clairement ce problème mais, au  
25 cours des derniers temps, l'existence d'un rayonnement sous un angle négatif a été largement ignorée ou au moins négligée par les réalisateurs (et les utilisateurs) des systèmes VOR.

Les endroits qui posent des problèmes ont un rayon du plan au sol (au moins dans une direction) de  
30 l'ordre de  $4\lambda$  à  $8\lambda$  (10,5 à 21 m) et des erreurs notables de trajets multiples peuvent apparaître avec des endroits dont le rayon du plan au sol va jusqu'à  $20\lambda$ . Cependant, si un large contre-poids (d'un rayon supérieur à  $20\lambda$  par exemple) est disponible, les erreurs de trajets multiples résultant d'un rayonnement sous un  
35 angle négatif sont normalement acceptables, de sorte que l'invention, telle qu'elle sera définie ci-après, peut être considérée comme offrant de plus grandes ap-

plications à des endroits élevés dont le rayon du plan au sol est inférieur à 50 m environ.

Des tentatives connues ont été faites pour pallier les erreurs de trajets multiples qui résultent des problèmes ci-dessus en utilisant des antennes à éléments empilés verticalement. Ainsi, des antennes à deux éléments et à cinq éléments superposés ont été développés dans le but de produire un diagramme de rayonnement qui s'annule pour une élévation de  $0^\circ$ . L'idée directrice de ces systèmes est de créer un diagramme du champ dans l'espace qui, théoriquement, s'annule à zéro degré dans le champ proche et qui réduit le rayonnement vers le terrain environnant (angle négatif). Mais il y a lieu de penser que la solution de l'espace (champ proche) n'est pas entièrement satisfaisante car elle néglige la contribution au champ d'images partiellement formées qui apparaissent dans le court plan au sol toujours disponible. Les images formées partiellement existent par suite de courants au sol qui sont induits dans le plan au sol. Contrairement à ces systèmes de réseaux d'antennes à éléments multiples, l'invention propose un dispositif qui permet la présence d'images partiellement formées et qui rayonne un signal dans le but de contrôler les courants induits au sol qui donnent lieu à des réflexions indésirables.

L'invention concerne donc un dispositif VOR comprenant un dispositif qui produit un signal de phase de référence, un dispositif qui produit un signal de phase variable et un réseau d'antennes comprenant au moins deux éléments d'antenne empilés verticalement, situés au-dessus du plan au sol. En outre, un dispositif est prévu pour appliquer les deux signaux de phase de référence et de phase variable aux éléments d'antennes respectifs en une relation d'amplitude et de phase choisie de manière à produire au moins un zéro de la composante H du champ émis, qui est pratiquement tangentielle à une projection du plan au sol. Le zéro ou chaque zéro se trouve dans

une région du champ disposée radialement à l'extérieur du réseau d'antenne.

L'invention concerne en outre un procédé d'attaque d'un système VOR comprenant un réseau d'antenne  
5 constitué par au moins deux éléments d'antenne empilés verticalement situés au-dessus du plan au sol. Des signaux de phase de référence et de phase variable sont distribués à chacun des éléments d'antenne dans une relation d'amplitude et de phase choisie de manière à pro-  
10 duire au moins un zéro de la composante H du champ rayonné, qui est pratiquement tangentiel à une projection du plan au sol. Le zéro ou chaque zéro se trouve dans une région du champ disposée radialement à l'extérieur du réseau d'antennes.

15 Le zéro ou chaque zéro de la composante H du champ rayonné peut être considéré comme équivalent à un "courant au sol nul" s'il est supposé que les réflexions indésirables résultent de courants au sol qui sont induits dans un prolongement imaginaire de ce plan. La sup-  
20 position qu'il existe des courants au sol (bien que des courants imaginaires) au-delà du contre-poids et dans un prolongement imaginaire du plan de masse a été adoptée comme une technique de conception et par conséquent, l'invention sera décrite ci-après dans le contexte de la  
25 création de "courants au sol nuls" dans le but de contrôler des réflexions indésirables par un terrain situé physiquement au-dessous du niveau du plan au sol. Par conséquent, dans le cadre de la présente description, le "sol" dans lequel il est supposé que des courants cir-  
30 culent et dans lequel des courants nuls sont localisés doit être considéré comme un sol imaginaire qui se trouve dans le plan et qui se prolonge autour du plan au sol.

Il est également bien entendu que le terme "nul ou zéro" est utilisé ici dans un sens relatif. Il  
35 suffit dans le cadre de l'invention que l'amplitude de la composante H du champ (c'est-à-dire l'amplitude des courants au sol) aux points considérés soit réduite de

façon significative par rapport à l'amplitude qu'elle aurait autrement. Par conséquent, bien qu'une réduction jusqu'à zéro soit la plus souhaitable, elle n'est pas essentielle et le terme "nul ou zéro" doit être considéré comme s'appliquant à des amplitudes qui tendent vers zéro, mais ne l'atteignent pas nécessairement.

Le nombre des éléments d'antenne empilés est déterminé par le nombre de zéro de courants au sol dans une distance radiale donnée du réseau d'antenne, et le nombre voulu de zéro est déterminé par le degré d'amélioration des erreurs de trajets multiples nécessaire par rapport aux résultats qui seraient obtenus autrement avec une antenne simple. Il faut envisager qu'une antenne à deux éléments empilés peut convenir et répondre à la plupart des conditions des lieux d'installation, une antenne produisant un seul zéro du courant au sol.

Dans le cas où il y a lieu de penser qu'un réseau à deux éléments empilés suffit, et lorsque la station VOR dispose d'un rayon du plan au sol dans la région des  $8\lambda$ , les relations d'amplitude et de phase des signaux appliqués à l'élément supérieur et l'élément inférieur sont choisis de préférence de manière à produire le seul zéro de courant au sol dans une région se situant radialement de  $12\lambda$  à  $20\lambda$  du réseau d'antenne. Egalement dans le cas d'un réseau à deux éléments empilés, l'amplitude des signaux appliqués aux éléments est réduite quand la hauteur des éléments augmente. Si l'élément supérieur est situé à environ  $3\lambda$  au-dessus du plan au sol, l'amplitude des signaux appliqués aux éléments est réduite de façon à peu près linéaire par rapport à la hauteur. Ainsi, si l'on suppose que l'élément inférieur à une hauteur  $h$  et que l'élément supérieur est situé à une hauteur  $2h$ , l'amplitude du signal appliqué à l'élément supérieur est à peu près la moitié en amplitude du signal appliqué à l'élément inférieur.

La nécessité de réduire l'amplitude du signal quand la hauteur de l'élément supérieur d'antenne augmente sera expliquée ci-après. Il suffit pour le moment de noter que par exemple si des signaux d'amplitude  
5 égale étaient délivrés aux deux éléments du réseau, même si la relation la plus favorable d'opposition de phase était présente entre les deux signaux, une annulation des champs d'angles négatifs produits par les éléments d'antenne respectifs n'aurait pas lieu et les cou-  
10 rants au sol continueraient à circuler dans le champ voisin, donnant lieu à des réflexions et par conséquent des erreurs de trajets multiples. C'est en fait ce qui se produit dans les systèmes utilisant des réseaux antérieurs à deux éléments empilés auxquels s'applique la  
15 solution précitée d'espace libre.

Dans le cas d'un réseau à deux éléments, l'élément supérieur et l'élément inférieur sont de préférence espacés d'une distance qui se situe de  $1\lambda$  à  $3\lambda$  et l'élément inférieur est de préférence situé à mi-chemin  
20 entre l'élément supérieur et le plan du sol. En outre, si l'on suppose que l'élément supérieur est situé à une hauteur égale au double de la hauteur de l'élément inférieur, et que ce dernier reçoit un signal (normalisé) d'une amplitude 1,0 et d'une phase  $0^\circ$ , l'élément supé-  
25 rieur reçoit de préférence un signal d'une amplitude (relative) dans la plage de 0,25 à 0,60 avec une phase dans la plage de  $210^\circ$  à  $280^\circ$ .

Le dispositif selon l'invention est compatible avec les systèmes VOR existants et le générateur de sig-  
30 naux ainsi que les éléments d'antenne peuvent être du type utilisé dans les systèmes existants. La différence essentielle entre l'invention et les dispositifs antérieurs réside dans l'utilisation d'une antenne à éléments multiples empilés dont les éléments reçoivent des signaux  
35 qui sont liés de manière à produire au moins un courant au sol (c'est-à-dire une composante du champ H tangentielle) nul dans une projection du plan au sol.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de plusieurs exemples de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur  
5 lesquels :

La Figure 1 est une représentation d'une antenne VOR à un seul élément situé au-dessus d'un plan au sol "infini" et rayonnant dans une région d'inter-  
férence nulle,

10 la Figure 2 montre l'antenne de la Figure 1 lorsqu'elle est située au-dessus d'un court plan au sol qui descend vers un terrain sous un angle négatif,

la Figure 3 est une analyse graphique de l'intensité du champ en fonction d'angles d'élévation pos-  
15 tifs et négatifs pour des antennes à un seul élément situé au-dessus de plans au sol de différentes lon-  
gueurs,

la Figure 4 montre des courbes de courants au sol en fonction de la distance d'une antenne, certaines  
20 de ces courbes pouvant s'appliquer à une antenne à un seul élément et à un réseau d'antennes à éléments mul-  
tiples,

la Figure 5 est une analyse graphique de l'intensité du champ en fonction d'angles d'élévation posi-  
25 tifs et négatifs, certaines des courbes pouvant s'appliquer à des réseaux d'un seul élément et à éléments mul-  
tiples,

la Figure 6 illustre une condition simplifiée de rayonnement sous un angle négatif pour une antenne  
30 à deux éléments superposés,

la Figure 7 est une courbe de l'intensité du champ (en un point P d'angle négatif) en fonction de la hauteur de l'antenne,

la Figure 8 montre des courbes de l'intensité du champ en fonction de l'angle d'élévation pour diffé-  
35 rentes attaques des éléments d'antenne de la Figure 8A,

la Figure 8A illustre un réseau d'antennes à

deux éléments empilés,

la Figure 9 représente des courbes de l'intensité du champ en fonction de l'angle d'élévation pour différentes attaques des éléments d'antennes représentés sur la Figure 9A,

la Figure 9A représente une antenne à trois éléments empilés,

la Figure 10 est une représentation schématique d'un dispositif VOR réalisé selon l'invention et,

la Figure 11 est une représentation schématique d'un circuit d'attaque d'antenne qui s'applique au réseau d'antenne à deux éléments empilés faisant partie du dispositif de la Figure 10.

Un mode de réalisation de l'invention est représenté sur les Figures 10 et 11 mais, avant de passer à la description des circuits de ce mode de réalisation, il y a lieu d'examiner les figures 1 à 9 pour illustrer les principes à partir desquels l'invention a été développée.

La Figure 1 montre une station VOR idéale, dans laquelle une antenne A est située au-dessus d'un plan au sol infini (c'est-à-dire un plan de rayon supérieur à  $20\lambda$ ), et l'antenne rayonne dans une région exempte d'obstruction. En raison de l'existence d'un plan au sol infini, une image d'antenne vraie A' existe et, en un point du champ proche P, les composantes du champ dues à l'antenne réelle A et à l'antenne image A' sont pratiquement en phase. Les composantes du champ sont présentes en P en raison de l'existence de rayonnements direct et réfléchi et le rayonnement réfléchi peut être considéré comme résultant d'un rayonnement dû à des courants au sol qui sont induits dans une région B du plan au sol.

Dans le cas du plan au sol idéal infini de la Figure 1, l'effet de rayonnement secondaire des courants au sol peut être représenté par une simple image négative comme le montre la figure. Mais dans le cas illus-

tré par la Figure 2 dans lequel il n'existe qu'un court plan au sol (rayon  $8\lambda$ ) et où l'antenne A rayonne dans le terrain négatif, une seule image négative n'est plus une représentation exacte.

5 Les conditions contraires des Figures 1 et 2 sont mieux illustrées sur la Figure 3 qui montre des courbes d'intensité du champ dans une plage d'angles d'élévation positifs et négatifs. Les courbes X, Y et Z montrent l'intensité du champ pour trois antennes  
10 situées à une hauteur de  $1,5\lambda$  au-dessus du plan, au sol de rayons  $4\lambda$ ,  $16\lambda$  et  $64\lambda$  et il apparaît que l'intensité du champ pour un angle d'élévation négatif de  $3^\circ$  augmente d'environ 8 dB avec une augmentation du rayon du plan au sol de  $4\lambda$  à  $16\lambda$ . L'intensité rela-  
15 tivement élevée du champ rayonné sous des angles négatifs, comme l'indique la courbe X, peut être diffusée par le terrain, dans des angles positifs de  $+2^\circ$  à  $+3^\circ$  qui sont utilisés par les aéronefs. Lorsque cette dispersion se produit par rapport à la ligne entre l'an-  
20 tenne VOR et l'aéronef récepteur, elle constitue une source majeure d'erreurs de trajets multiples.

Comme cela a déjà été mentionné, l'invention vise à réduire ce problème en utilisant un réseau d'an-  
25 tennes à éléments multiples superposés, les éléments superposés étant attaqués de manière à produire une réduction du rayonnement sous des angles négatifs et à réduire ainsi au minimum les erreurs potentielles des trajets multiples. Ce résultat est obtenu par une annu-  
30 lation du champ dans les régions du champ voisin d'un angle négatif ou, autrement dit, en créant des courants nuls au sol dans le prolongement du plan réel du sol.

La Figure 4 illustre une analyse graphique de la distribution des courants au sol en fonction de la distance de l'antenne, pour quatre dispositions dif-  
35 férentes de cette antenne. Ainsi, la courbe B montre la distribution des courants au sol pour une antenne à un seul élément, qui ne peut être attaqué de manière à

produire des zéros tandis que les autres courbes s'appliquent à des réseaux d'antennes à éléments multiples superposés, attaqués de façon appropriée. La courbe Q présente un seul zéro qui peut être obtenu avec une antenne à deux éléments superposés, la courbe R s'applique à un réseau d'antennes à trois éléments produisant deux zéros du courant et la courbe S présente les quatre zéros qui peuvent être produits par un réseau à cinq éléments superposés.

10 Dans le cas d'un réseau à deux éléments superposés, le zéro du courant au sol peut être situé au-delà du plan au sol existant, pratiquement à une distance de l'antenne égale à 1,5 à 3 fois le rayon réel du plan au sol. Des attaques appropriées pour produire des zéros du courant au sol seront décrites ci-après en regard de réseaux à deux éléments et trois éléments superposés.

La Figure 5 montre l'amélioration qui peut être obtenue avec la création d'un seul zéro de courant au sol en utilisant un réseau à deux éléments superposés. La courbe T sur la Figure 5 montre l'intensité du champ sous différents angles d'élévation, avec l'attaque d'un seul des éléments d'antenne et la courbe U montre l'intensité du champ avec les deux éléments attaqués pour créer un zéro du courant au sol à  $18\lambda$  de l'antenne, cette dernière étant située sur un plan au sol d'un rayon de  $8\lambda$ . La comparaison des courbes T et U de la Fig. 5 montre une amélioration de 13 dB de réduction de l'intensité du champ à  $-3^\circ$ , grâce à l'utilisation d'un réseau à deux éléments, et la création qui en résulte d'un zéro du courant au sol dans le prolongement du plan au sol au-delà du contre-poids existant.

Il y a lieu maintenant de se reporter aux Figures 6 et 7 dans le contexte de l'établissement des attaques qui concernent un réseau d'antenne à deux

éléments superposés.

Si une seule antenne dipole A (Figure 6) est  
située à une hauteur  $h$  au-dessus d'un plan au sol fini,  
par exemple d'un rayon de  $8\lambda$ , et si un récepteur est  
5 placé en un point T de la région d'angle négatif, une  
courbe du champ reçu peut être tracée en fonction de  
la hauteur  $a$  de l'antenne. Cette courbe est représentée  
sur la Figure 7 et l'on peut observer que sur une par-  
tie considérable de cette courbe, elle est à peu près  
10 linéaire. Autrement dit, si la hauteur  $h$  de position  
de l'antenne est doublée, l'intensité du champ au point  
P est à peu près doublée.

En raison des conditions illustrées par la  
Figure 7, si un second élément d'antenne A' est dispo-  
15 sé à une hauteur  $2\lambda$  et si le premier élément d'an-  
tenne A est disposé à une hauteur  $\lambda$ , comme le montre  
la Figure 6, le champ total  $F_T$  au point P est donné  
par:

$$\bar{F}_T = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$$

20 où  $\bar{F}_1$  est la composante du champ au point P sous l'ef-  
fet du signal d'attaque:

$$X/\varphi \text{ à l'élément A,}$$

et  $\bar{F}_2$  est la composante du champ au point P sous l'ef-  
fet du signal d'attaque

25  $\frac{X}{2}/\varphi'$  sur l'élément A'.

Par conséquent, si  $\bar{F}_1$  égal  $Kx/\varphi + \theta$

$$\text{et } \bar{F}_2 \text{ égal } \frac{2Kx}{2} / \varphi' + \theta',$$

où  $\theta$  et  $\theta'$  correspondent au déphasage résultant de la  
distance effective entre P et les éléments A et A', et  
30 si la relation de phase de  $\varphi$  et de  $\varphi'$  est choisie pour  
donner:

$$\varphi' + \theta' = \varphi + \theta + 180^\circ,$$

il vient

$$\begin{aligned} \bar{F}_T &= Kx / \varphi + \theta + Kx / \varphi' + \theta' \\ &= 0 \end{aligned}$$

Ainsi, en fixant la hauteur d'un élément d'antenne A' au double de la hauteur de l'élément A et en divisant par moitié l'amplitude d'attaque de l'élément A' par rapport à celle de l'élément A, une annulation du champ peut être obtenue au point P si la relation de phase des signaux d'attaque est réglée comme il convient. De façon similaire, avec l'élément d'antenne A situé à la hauteur  $\lambda$  au-dessus du plan du sol, et excité avec un signal d'amplitude 1,00, un second élément d'antenne A' situé à une hauteur  $3\lambda$  peut être excité avec un signal d'amplitude (relative) 0,33.

L'annulation du champ au point P de la Fig. 6 impose la création d'un zéro de courant au sol en un point P<sup>1</sup>, comme le montre également la Figure 6. Il peut être nécessaire que la meilleure position du point P<sup>1</sup> soit établie par les opérations empiriques pour un but donné en un lieu, comme cela a déjà été indiqué, et il a été établi que pour un réseau à deux éléments empilés, le zéro de courant au sol se trouve de préférence au-delà du plan au sol existant, à une distance de l'antenne égale à 1,5 à trois fois le rayon du plan au sol réel.

Le signal d'attaque qui est nécessaire pour l'élément d'antenne supérieur, afin de produire un courant au sol nul en un point déterminé du prolongement du plan du sol, peut être calculé à partir de l'expression suivante:

$$\frac{I_1 \times h \exp(-j 2\pi \sqrt{\beta^2 + h^2})}{\beta^2 + h^2} + \frac{I_2 \times h_1 \exp(-j 2\pi \sqrt{\beta^2 + h_1^2})}{\beta^2 + h_1^2} = 0$$

où I<sub>1</sub> est le signal d'attaque de l'élément d'antenne inférieur,  
I<sub>2</sub> est le signal d'attaque de l'élément d'antenne supérieur,

h est la hauteur (en longueur d'onde) de l'élément  
d'antenne inférieur,

$h_1$  est la hauteur (en longueur d'onde) de l'élément  
d'antenne supérieur,

5  $\beta$  est la distance nécessaire (en longueur d'onde) du  
zéro de courant au sol, à partir du réseau d'antennes.

Ainsi, en supposant qu'un contre-poids d'un rayon  
de  $8\lambda$ , un signal d'attaque à l'élément d'antenne infé-  
rieur de  $1,0/0^\circ$ , un écartement entre les éléments de  
10  $1,5\lambda$  et un courant nul qui doit être placé à une dis-  
tance de  $12\lambda$  du réseau d'antennes, il vient :

$$\frac{1 \angle 0^\circ \times 1,5 \exp(-j 2\pi \sqrt{12^2 + 1,5^2})}{12^2 + 1,5^2}$$

$$= \frac{-1_2 \times 3,0 \exp(-j 2\pi \sqrt{12^2 + 3^2})}{12^2 + 3^2}$$

$$I_2 = 0,523 \angle 279^\circ$$

15 La Figure 8 illustre une analyse graphique de  
mesure d'intensité de champ en fonction de l'angle d'élé-  
vation pour une station VOR comportant des éléments d'an-  
tenne A et A' situés à des hauteurs indiquées en regard  
du réseau d'antennes de la Figure 8A. Les relations entre  
20 les signaux d'attaque et les positions d'annulation des  
courants au sol, pour les courbes respectives de la Fig.8  
sont indiquées dans le tableau 1 ci-après.

La description faite ci-dessus a été limitée  
à des facteurs concernant la production de signaux d'at-  
25 taque s'appliquant à un réseau à deux éléments empilés,  
et l'accent a été placé sur ce genre de réseau car il  
semble qu'il trouve de plus grandes applications que  
des structures de réseaux d'ordres plus élevés dans de  
nombreuses stations VOR; La solution qui doit être adop-  
30 tée pour la production des signaux d'attaque appliqués  
à des réseaux à trois, quatre, etc. éléments empilés peut  
être déterminée par le spécialiste, en tenant compte de

Tableau 1

Courbe	Hauteur d'élément d'antenne		Signaux d'attaque relative		Longueur du plan au sol	Position du zéro de courant au sol
	Elément A	Elément A'	Elément A	Elément A'		
1	1,5λ	3,0λ	1/0°	0	8λ	-
2	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,523/279°	8λ	12λ
3	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,515/260°	8λ	15λ
4	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,508/240°	8λ	20λ

Tableau 2

Courbe	Hauteur d'élément d'antenne		Signaux d'attaque relative		Longueur du plan au sol	Position zéro de courant au sol
	A	A''	A'	A''		
1	1,0λ	2,5λ	1/0°	-	8λ	-
2	1,5λ	3,0λ	1/0°	-	8λ	-
3	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,584/-98,6°	8λ	10λ et 30λ
4	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,629/-109,6°	8λ	11,5λ et 35λ
5	1,5λ	3,0λ	1/0°	0,662/-117,9°	8λ	13λ et 40λ

la conception essentielle sur laquelle repose l'invention. Autrement dit, le concept de création de zéro de courant dans la projection du plan au sol au-delà du contre-poids.

5 Il y a cependant lieu de se référer à la Fig.9 qui montre des courbes de mesures d'intensité du champ en fonction de l'angle d'élévation pour une station VOR comprenant un réseau à trois éléments empilés, avec des éléments A, A' et A" situés aux hauteurs indiquées  
10 sur la Figure 9A. Les relations entre les signaux d'attaque et les positions d'annulation des courants au sol correspondant aux courbes respectives de la Figure 9 apparaîtront dans le tableau 2 ci-dessus.

Les avantages de l'utilisation d'un réseau à  
15 trois éléments sur un réseau à deux éléments (quand les conditions du terrain l'imposent) ressortent d'une comparaison entre la courbe 2 de la Figure 8 et la courbe 4 de la Figure 9, ces deux courbes s'appliquant à un système qui produit un courant au sol nul à environ une  
20 distance radiale de  $12\lambda$  des réseaux d'antenne respectifs. Tandis que la courbe 2 de la Figure 8 montre une décroissance moyenne de l'intensité du champ d'environ 1,5 dB par degré dans la région des angles négatifs, la courbe 4 de la Figure 9 montre une décroissance moyenne d'environ 6 dB par degré dans la région des angles  
25 négatifs.

Il y a lieu maintenant de se référer à la Figure 10 qui montre une représentation schématique d'un système VOR utilisant un réseau d'antennes à deux éléments empilés et reposant sur la solution déjà décrite.  
30

Le système VOR comporte un générateur 10 de signal VOR de type courant, comprenant un générateur à haute fréquence 11, un générateur 12 de signal de phase de référence, un générateur 13 de signal de phase variable et un générateur 14 de fonction sinus/cosinus.  
35

Cette disposition, dans ses différentes formes possibles est bien connue, et n'a pas à être décrite

plus avant.

En ce qui concerne le schéma, les signaux de phase de référence et de phase variable sont appliqués directement à un élément inférieur 15 du réseau d'antenne 16 à deux éléments et, par un atténuateur d'amplitude/déphaseur 17 à un élément supérieur 18 du réseau. L'atténuateur d'amplitude/déphaseur 17 atténue également et déphase également chacun des trois signaux d'attaque qui sont appliqués à l'élément supérieur 18 par rapport aux signaux d'attaque correspondants sur l'élément inférieur 15. L'atténuation est réglée de manière à obtenir sur l'élément supérieur 18 une amplitude du signal d'attaque qui est inférieure à l'amplitude du signal d'attaque de l'élément inférieur 15.

Les éléments d'antenne 15 et 18 peuvent être de toute forme connue convenant pour rayonner un champ VOR et, à titre de référence seulement, les éléments seront représentés sur la Figure 9 sous la forme d'éléments rayonnants cylindriques comportant dans chaque cas quatre fentes verticales disposées de façon orthogonale. Les éléments d'antenne sont empilés verticalement les uns au-dessus des autres, et les connexions d'alimentation des fentes peuvent se faire par tout moyen courant.

Chacun des éléments d'antenne (supérieur et inférieur) produit des diagrammes verticaux de rayonnement qui se correspondent pour les signaux de phase de référence et de phase variable, ce qui ne peut être obtenu que si les mêmes éléments d'antenne sont utilisés pour remplir les deux fonctions. Chaque élément d'antenne comporte de préférence quatre éléments rayonnants à fentes disposées de façon orthogonale, chaque fente étant suivie à l'arrière par une cavité résonnante en guide d'onde compacte, un élément de ce genre étant décrit dans la demande de Brevet Français déposée ce même jour au nom de la demanderesse, sous le titre :

"Antenne de dispositif de navigation omnidirectionnelle à très haute fréquence".

La Figure 11 représente des circuits d'attaque et d'atténuation et de déphasage qui conviennent pour  
5 les quatre fentes de chaque élément d'antenne. Le circuit d'attaque du signal de phase de référence et de chacun des signaux de phase variable (sin/cos) comporte un circuit à deux ponts, avec un circuit d'allongement de ligne incorporé dans une ligne entre les ponts pour  
10 permettre le réglage d'amplitude du signal d'attaque. Un circuit d'allongement de ligne est également situé à la sortie de chaque circuit pour permettre le réglage de phase du signal.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être  
15 apportées par l'homme de l'art au mode de réalisation décrit et illustré à titre d'exemple nullement limitatif sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1 - Dispositif de navigation omnidirectionnelle à très haute fréquence, comprenant un dispositif (12) destiné à produire un signal de phase de référence, un dispositif (13, 14) destiné à produire des composantes  
5 d'un signal de phase variable, un réseau d'antenne (16) comportant au moins deux éléments d'antenne (15, 18) superposés verticalement, situés au-dessus du plan du sol, dispositif caractérisé en ce que les composantes  
10 du signal de phase de référence et du signal de phase variable sont appliquées aux éléments d'antenne respectifs (15, 18) dans une relation d'amplitude et de phase choisie pour produire au moins un zéro de la composante  
horizontale du champ rayonné, pratiquement tangentielle à une projection du plan du sol, le zéro ou chaque zéro  
15 étant situés dans une région du champ disposée radialement à l'extérieur du réseau d'antenne.

2 - Procédé d'attaque d'un dispositif de navigation omnidirectionnelle à très haute fréquence, comprenant un réseau d'antenne (16) constitué par au moins  
20 deux éléments d'antenne (15, 18) superposés verticalement, situés au-dessus du plan du sol, procédé caractérisé en ce qu'il consiste à produire des composantes d'un signal de phase de référence et d'un signal de phase  
variable, qui sont distribuées aux éléments respectifs  
25 d'antenne dans une relation d'amplitude et de phase choisie de manière à produire au moins un zéro de la composante horizontale du champ rayonné, qui est pratiquement tangentielle à une projection du plan du sol,  
le zéro ou chaque zéro étant situé dans une région du  
30 champ située radialement à l'extérieur du réseau d'antennes.

3 - Procédé selon la revendication 2, dans lequel le dispositif de navigation omnidirectionnelle comporte un réseau d'antennes avec seulement deux éléments  
35 d'antenne (15, 18), procédé caractérisé en ce que

les composantes du signal de phase de référence et du signal de phase variable sont appliquées à l'élément supérieur avec des amplitudes inférieures à celles des composantes correspondantes du signal de phase de référence et du signal de phase variable, appliquées à l'élément inférieur.

4 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que les amplitudes des composantes du signal de phase de référence et du signal de phase variable qui sont appliquées aux éléments supérieur et inférieur d'antenne (15, 18) sont liées respectivement par l'équation:

$$\frac{I_1 \cdot h \exp(-j2\pi \sqrt{\beta^2 + h^2})}{\beta^2 + h^2} + \frac{I_2 \cdot h_1 \exp(-j2\pi \sqrt{\beta^2 + h_1^2})}{\beta^2 + h_1^2} = 0$$

où:

- 15  $I_1$  est l'amplitude des composantes du signal de phase de référence ou du signal de phase variable qui sont appliquées à l'élément inférieur d'antenne,  
 $I_2$  est l'amplitude des composantes du signal de phase de référence ou du signal de phase variable qui sont  
 20 appliquées à l'élément d'antenne supérieur,  
 $h$  est la hauteur (en longueur d'onde) de l'élément inférieur d'antenne  
 $h_1$  est la hauteur (longueur d'onde) de l'élément supérieur d'antenne, et  
 25  $\beta$  est la distance radiale voulue (en longueur d'onde) du zéro de la composante horizontale du champ à partir du réseau d'antennes.

5 - Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce qu'un seul zéro de la composante horizontale du champ rayonné est situé au-delà du plan du sol existant, à une distance radiale du réseau d'antenne égale à 1,5 à 3,0 fois le rayon du plan au sol existant.

6 - Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce qu'un seul zéro de la composante horizontale du champ rayonné est situé au-delà du plan du

sol existant à une position radiale distante de  $12 \lambda$  à  $20 \lambda$  du réseau d'antenne, où  $\lambda$  est la longueur d'onde du signal de phase de référence.

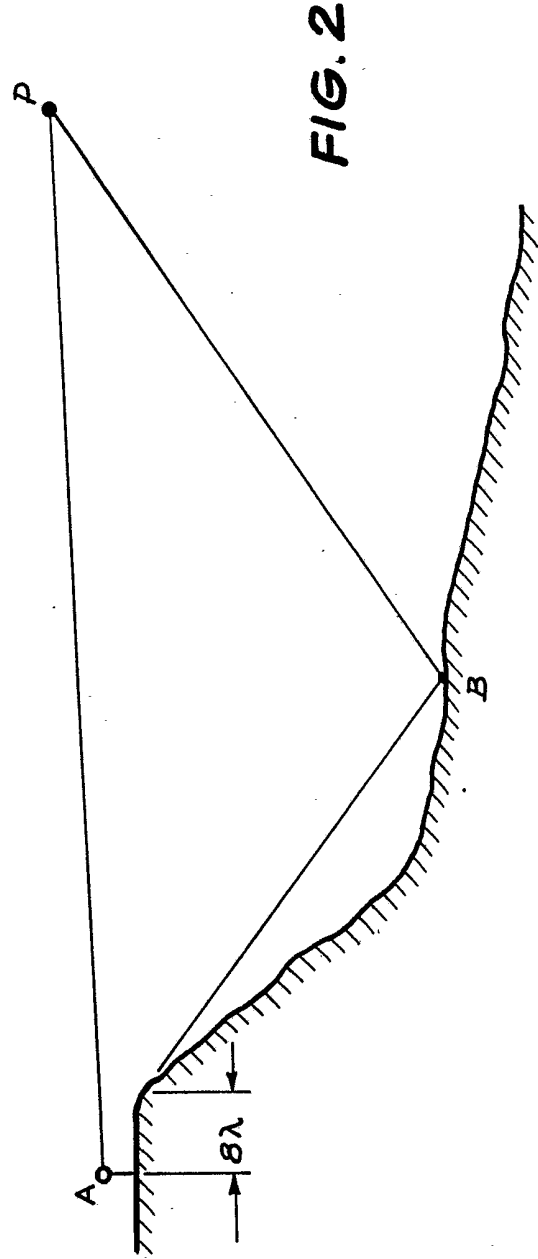
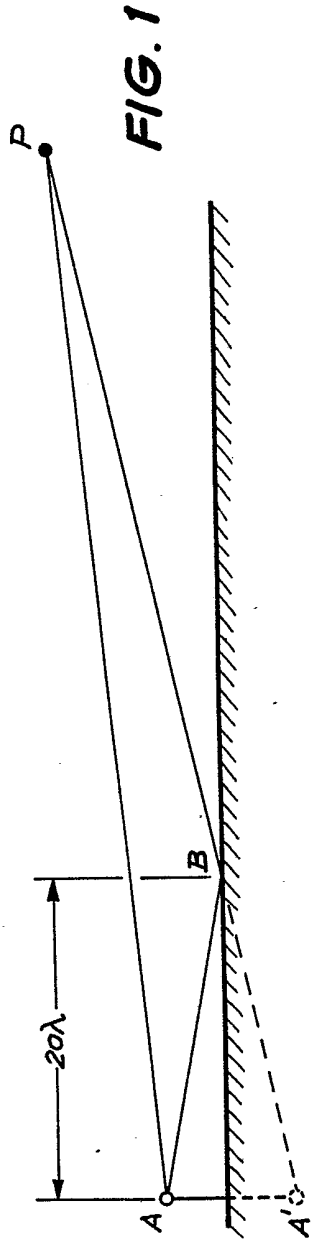
5 7 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que les éléments supérieurs et inférieurs d'antenne (18, 15) sont espacés l'un de l'autre d'une distance qui se situe dans la plage de  $1 \lambda$  à  $3 \lambda$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde du signal de phase de référence, l'élément inférieur d'antenne (15) étant situé à peu près à mi-chemin entre  
10 l'élément supérieur (18) et le plan du sol.

8 - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les composantes du signal de phase de référence du signal de phase variable qui sont appliquées à l'élément supérieur d'antenne (18) ont des amplitudes qui se situent dans la plage de 0,25 à 0,63 fois l'amplitude des composantes correspondantes appliquées à l'élément d'antenne inférieur (15) et selon lequel les composantes du signal de phase de référence et  
15 du signal de phase variable qui sont appliquées à l'élément supérieur d'antenne ont chacun un angle de phase qui est supérieur à celui des composantes du signal appliqué à l'élément inférieur d'antenne, d'une quantité se situant dans la plage de  $210^\circ$  à  $280^\circ$ .  
20

9 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, caractérisé en ce que chacun des éléments d'antenne (15, 18) consiste en un élément d'antenne cylindrique avec quatre fentes orthogonales dans la direction longitudinale, une cavité résonnante en guide d'onde séparée se trouvant derrière chaque  
25 fente.  
30

10 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que les signaux respectifs de phase de référence qui sont appliqués aux éléments supérieur et inférieur d'antenne sont appliqués aux quatre fentes des éléments respectifs, des composantes sinus et cosinus des signaux de phase variable qui sont appliqués  
35

aux éléments supérieur et inférieur d'antenne étant appliqués à des paires de fentes disposées perpendiculairement dans les éléments respectifs.



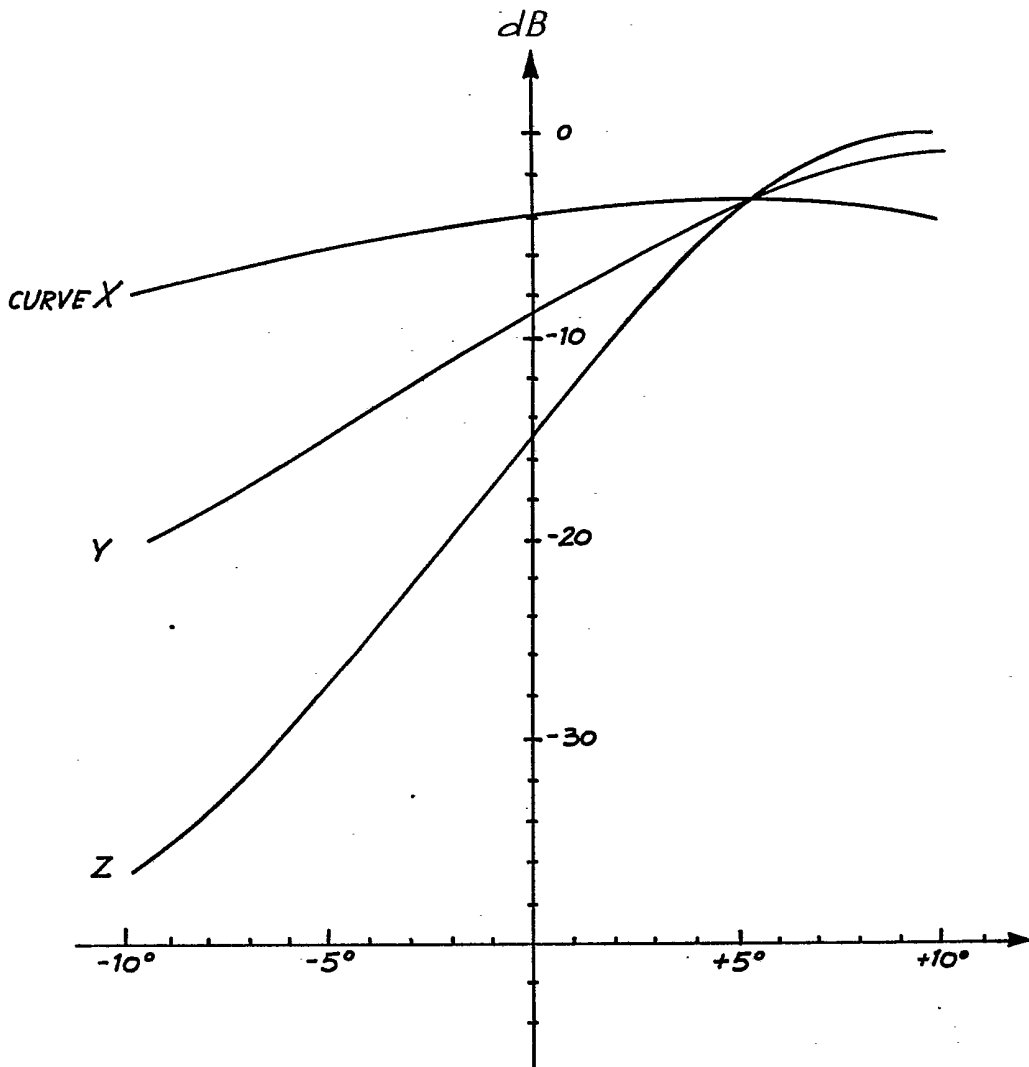
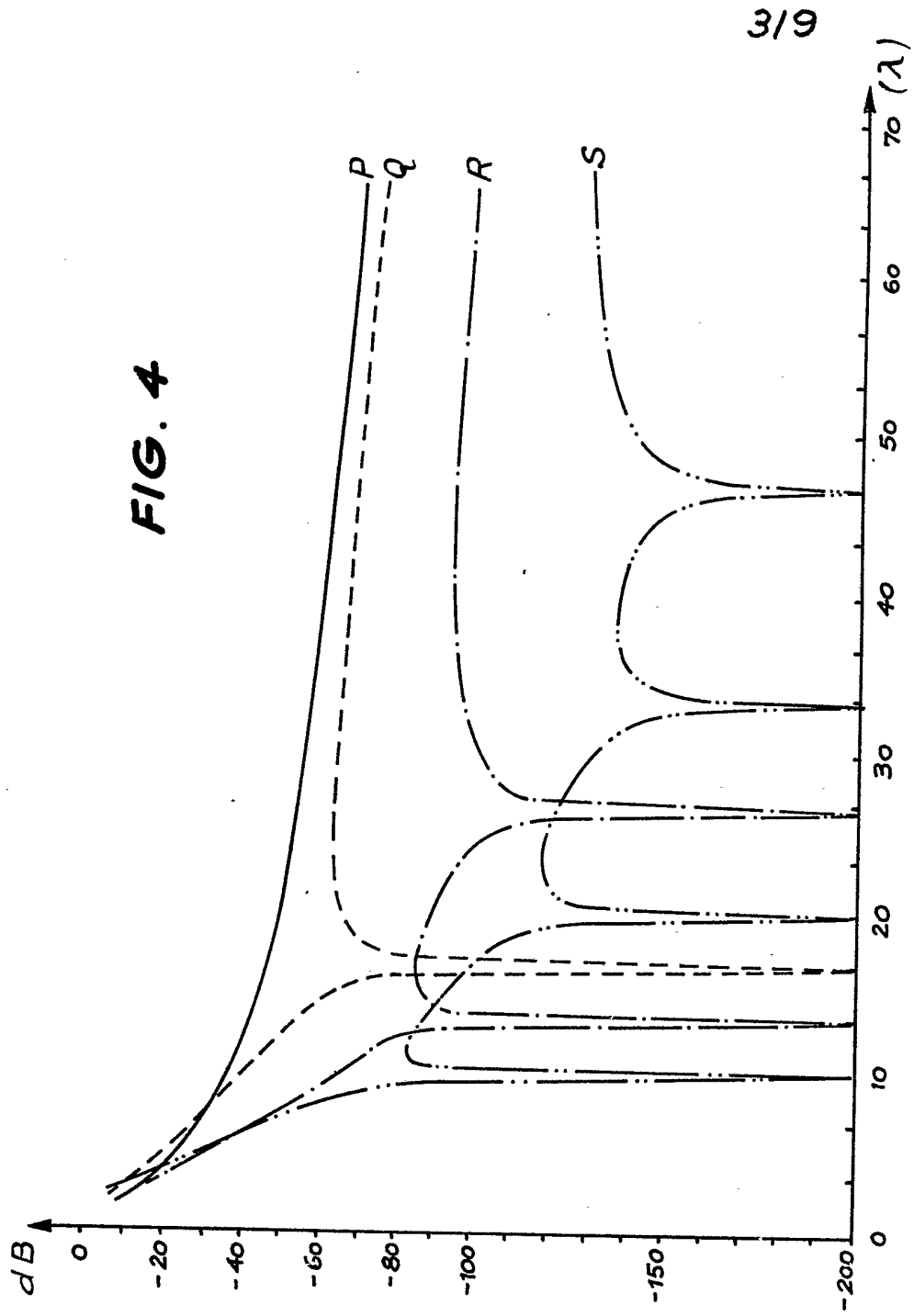


FIG. 3



4/9

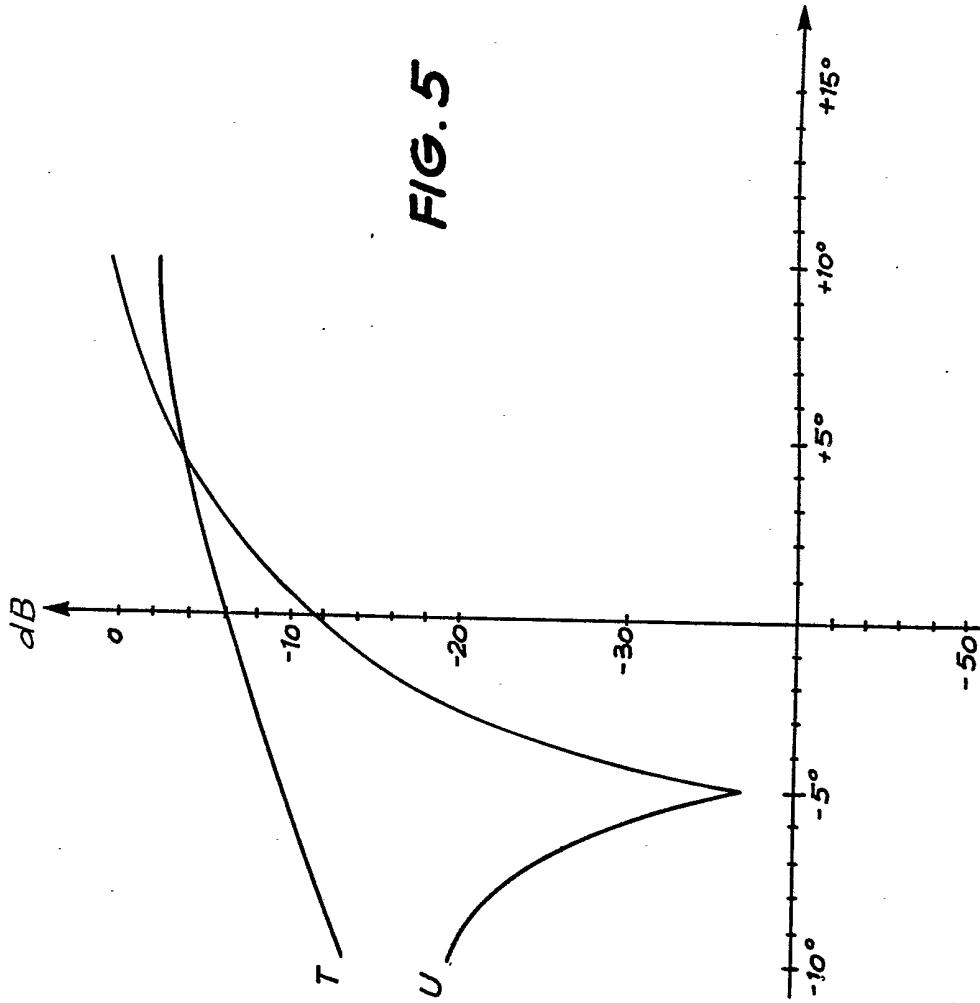
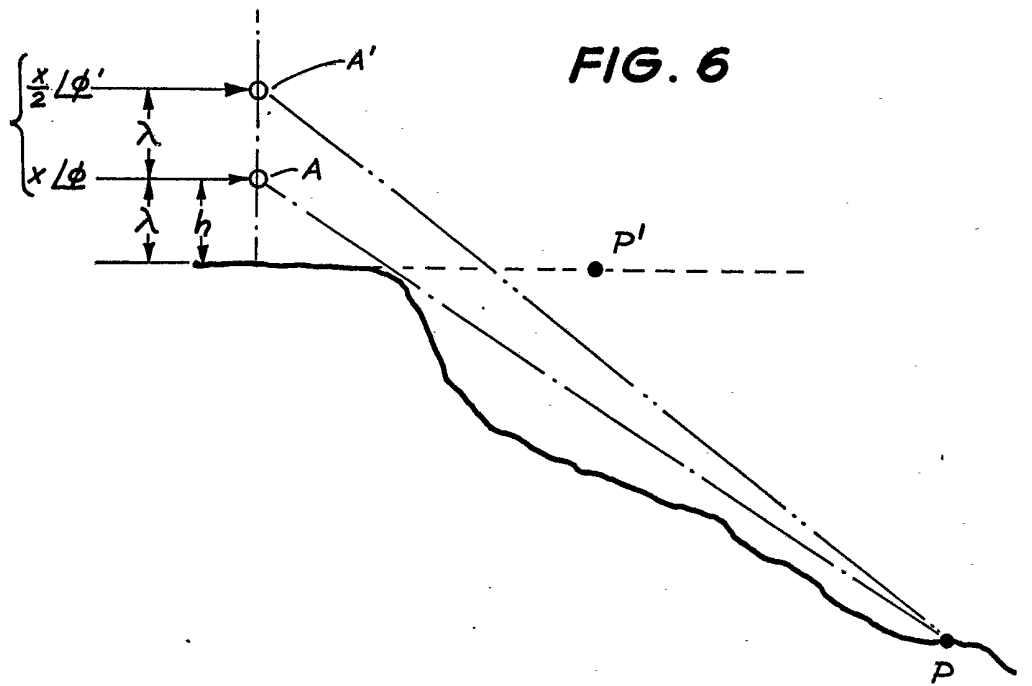
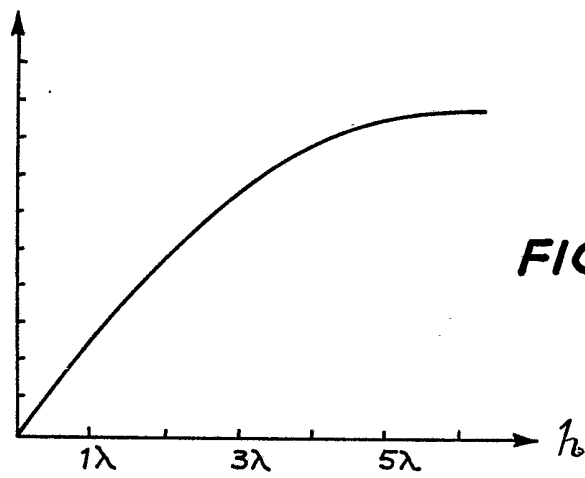


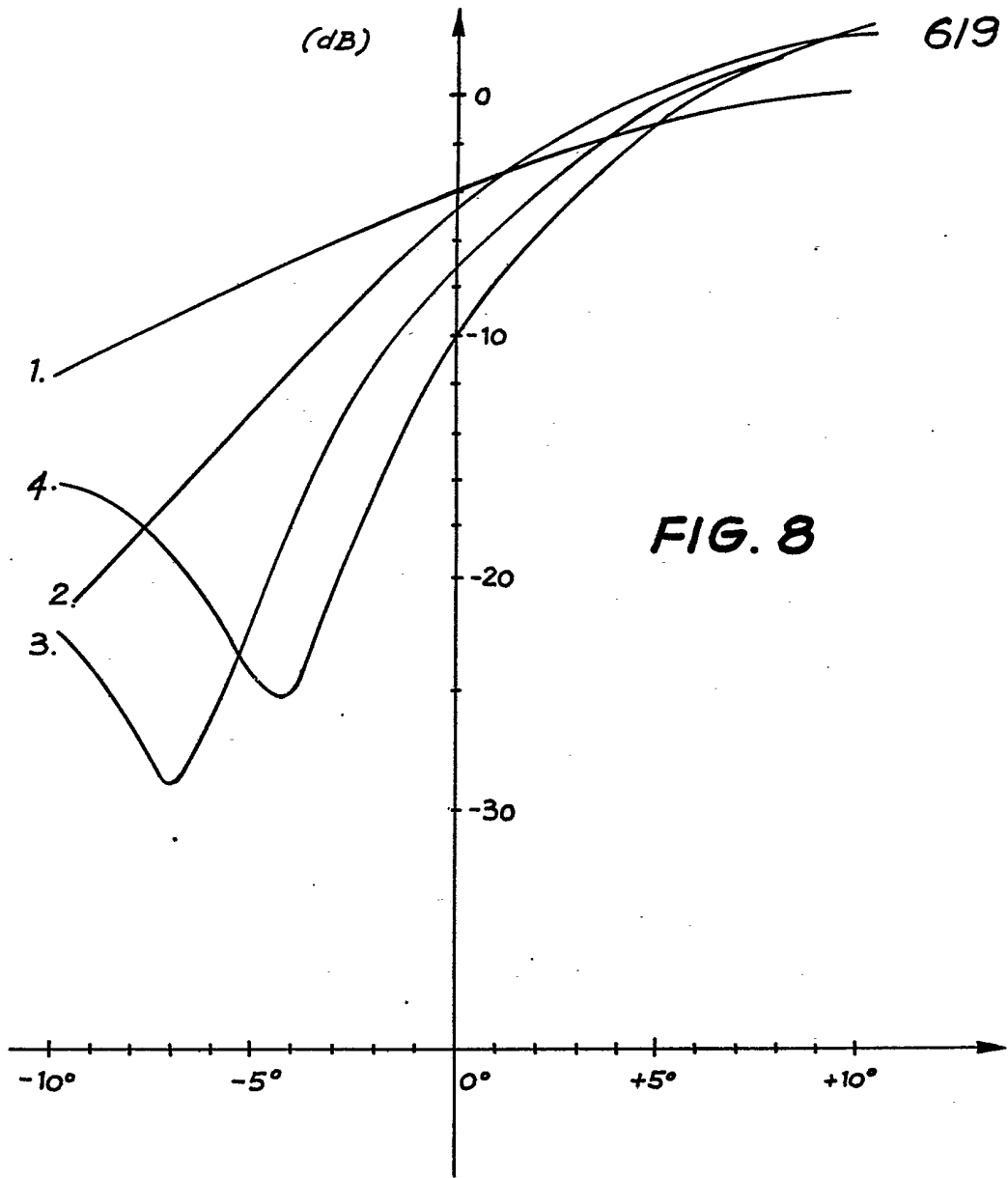
FIG. 5

519



champ incident  
en  $P$





619

FIG. 8

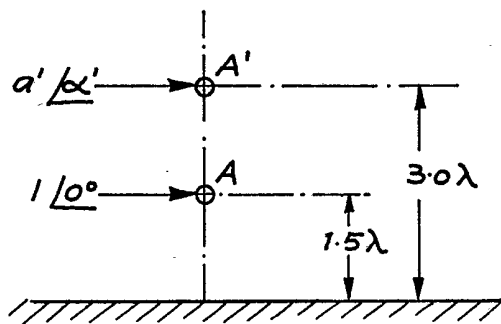


FIG. 8A

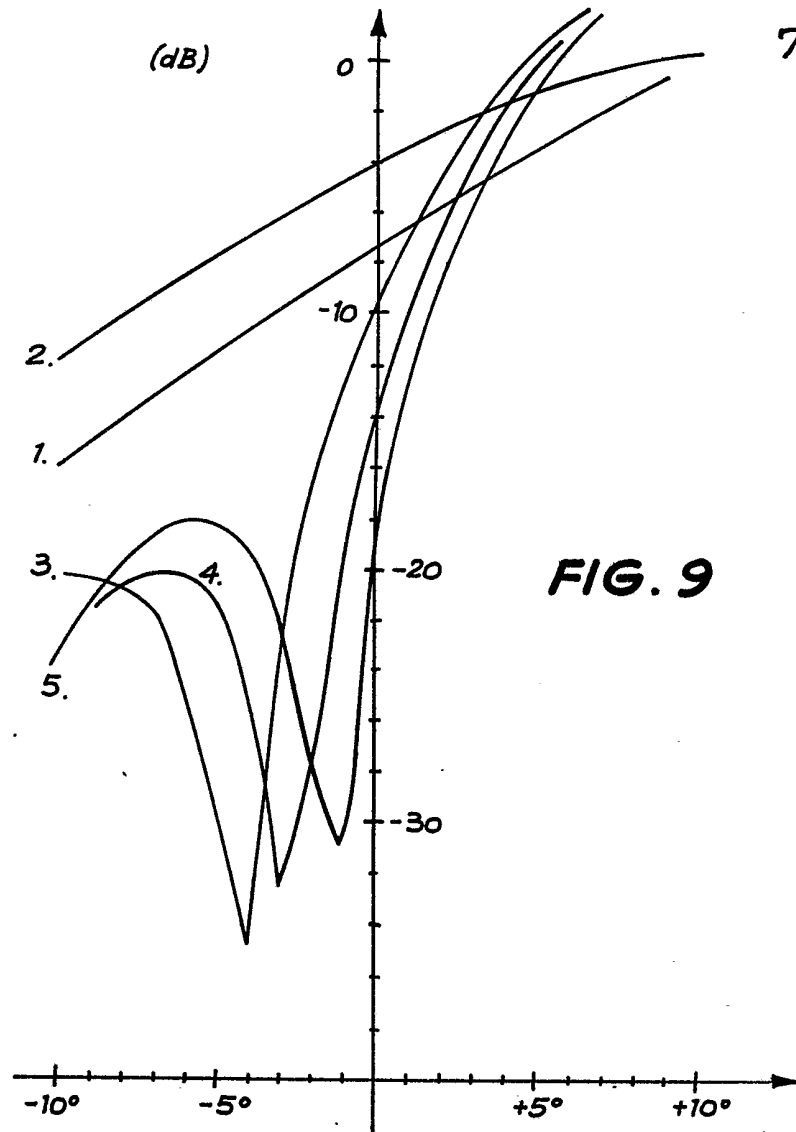


FIG. 9

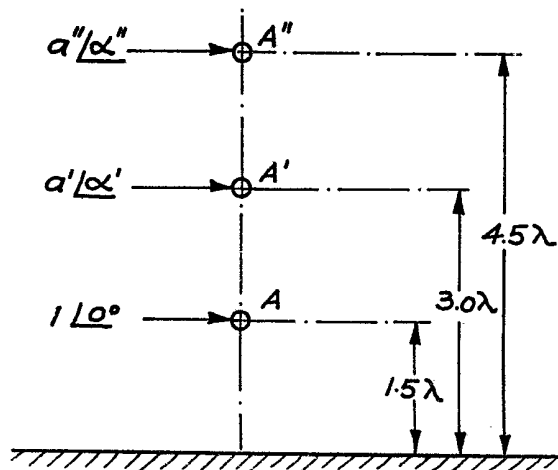


FIG. 9A

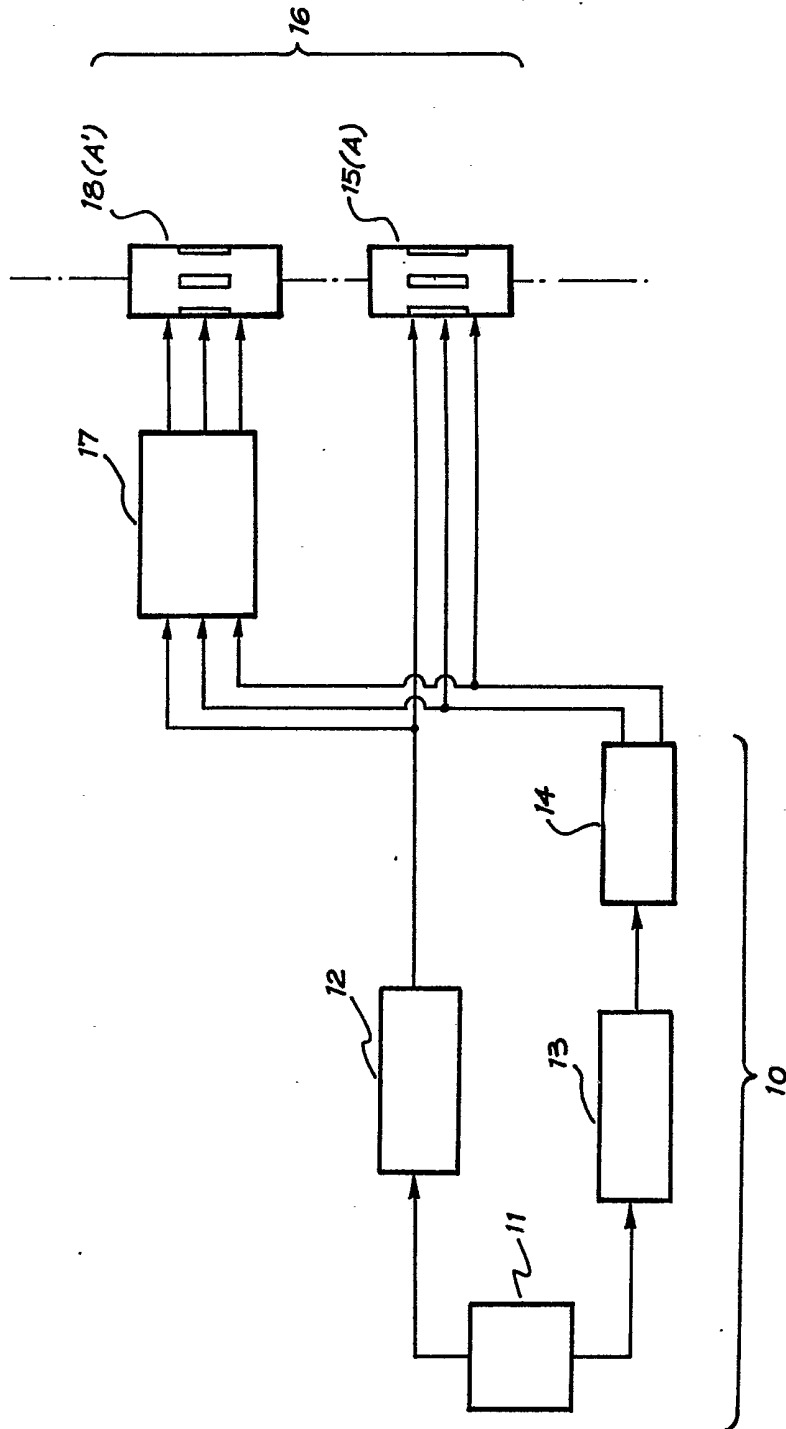


FIG. 10

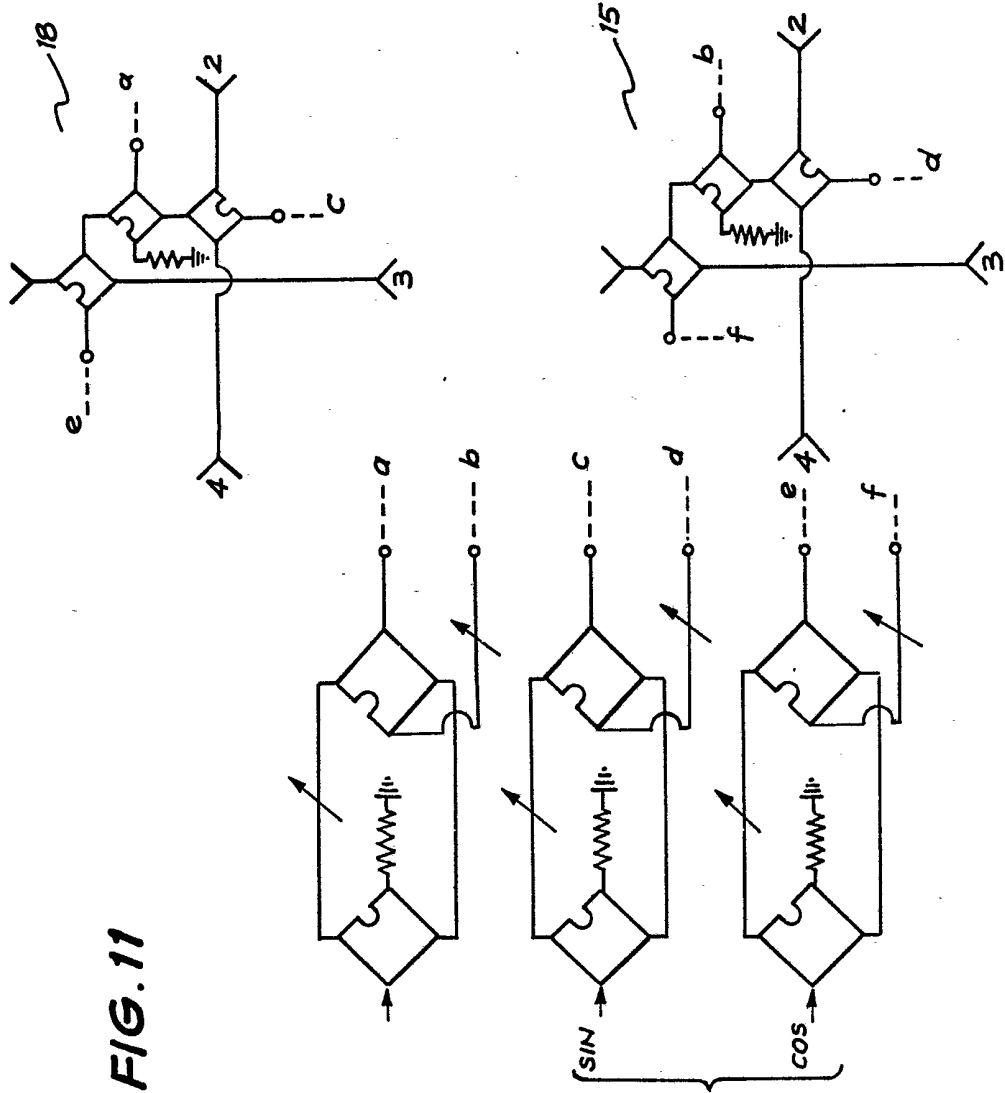


FIG. 11