



MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

NUMERO DE PUBLICATION : 1010979A4

NUMERO DE DEPOT : 08900369

Classif. Internat. : H01Q G01S

Date de délivrance le : 02 Mars 1999

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la Convention de Paris du 20 Mars 1883 pour la Protection de la propriété industrielle;

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d'invention, notamment l'article 22;

Vu l'arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d'invention, notamment l'article 28;

Vu le procès verbal dressé le 04 Avril 1989 à H à l'Office de la Propriété Industrielle

ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : GENERAL ELECTRIC COMPANY
River Road 1, Schenectady, NEW YORK(ETATS-UNIS D'AMERIQUE)

représenté(e)(s) par : VANDERPERRE Robert, GEVERS & VANDER HAEGHEN, Rue de Livourne
7, -B 1060 BRUXELLES.

un brevet d'invention d'une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : RADAR A RESEAU PHASE SE SURVEILLANT ET SE CALIBRANT LUI-MEME, ET SOUS-ENSEMBLE D'EMISSION/RECEPTION AJUSTABLE INTERCHANGEABLE.

INVENTEUR(S) : AST Harry Carl, Lyons Road 2541, Camillus, New York (US); Berical Albert Henry, Beechwood Avenue 208, Liverpool, New York (US); Carnahan Blake Allen, West Lake Road, Cazenovia, New York (US); Krueger James William Jr., Buttonwood Trail 4112, Liverpool, New York (US); Miller Donald Paul, Virgo Course 4285, Liverpool, New York (US); Reale John Donald, Kline Street 102, Syracuse, New York (US)

PRIORITE(S) 04.04.88 US USA 179546

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l'invention, sans garantie du mérite de l'invention ou de l'exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeurs(s).

Bruxelles, le 02 Mars 1999
PAR DELEGATION SPECIALE :

L. WUYTS
CONSEILLER

5

10

Radar à réseau phasé se surveillant et se calibrant
lui-même, et sous-ensemble d'émission/réception
ajustable interchangeable
Arrière-plan de l'invention

15 1. Domaine de l'invention

L'invention se rapporte au calibrage et à l'entretien du calibrage de paramètres techniques de performance des circuits actifs individuels d'émission et de réception de chaque élément d'antenne d'un radar à réseau phasé, et à un nouveau sous-ensemble d'émission/réception ajustable et interchangeable fournissant les circuits actifs pour des éléments d'antenne spécifiques au moyen desquels un processus d'auto-surveillance/calibrage peut être exécuté.

25 2. Art antérieur

Dans un système de radar à réseau phasé classique, la génération de puissance est réalisée par l'emploi d'un tube de puissance ou d'un amplificateur de puissance et la puissance est ensuite distribuée aux éléments radiants individuels par un réseau de lignes de transmission. Il faut prendre soin d'assurer que tous les trajets de lignes individuels de transmission soient de la même longueur de ligne ou d'une longueur de ligne connue pour réaliser la direction des faisceaux et leur commande sur les largeurs de bande de fréquences désirées. Le cali-

brage de la longueur de ligne en service n'est ordinairement pas nécessaire.

Dans un radar d'état solide, un excitateur de faible puissance engendre ordinairement la porteuse du signal transmis. La sortie de l'excitateur est souvent
5 modulée en amplitude ou en phase, y compris par formation d'impulsions pour engendrer des signaux de radar de faible puissance. Ces signaux de faible puissance sont ensuite distribués à un réseau de modules d'amplificateurs de puissance, chacun arrangé pour commander un élément
10 d'antenne du réseau phasé.

Pendant l'émission, il est essentiel que les amplificateurs de puissance des modules conservent la cohérence de phase entre eux pour que l'antenne conserve
15 l'allure telle que spécifiée. Pour certaines applications, la "pondération" de l'amplificateur de puissance est utilisée pour réduire les lobes latéraux. Le niveau de puissance des amplificateurs de puissance est également important pour la performance du système tant pour
20 l'émission pondérée que pour l'émission non pondérée.

Pendant la réception, des contraintes similaires sont imposées à la fonction du récepteur. Dans un système de radar à réseau phasé, chaque élément d'antenne est équipé d'un amplificateur à faible bruit. Pour que le
25 "faisceau" reçu soit convenablement formé, en particulier pour le fonctionnement à impulsion unique où sont formés des faisceaux somme et des faisceaux différence, chaque amplificateur à faible bruit associé à chaque élément d'antenne doit traiter le signal avec la même réponse de
30 phase et l'amplifier au même degré.

Dans un système de radar à réseau phasé ordinaire, la nécessité de satisfaire à une exigence spécifique de puissance et de phase s'applique à chacun de plusieurs milliers de circuits actifs, chaque circuit
35 étant associé à un élément du réseau. Par suite, toute

correction doit être efficace pour de grands nombres d'erreurs potentielles.

Des radars fonctionnant à des fréquences supérieurs à 3 gigahertz exigent une matière en masse à "haute fréquence" pour leurs dispositifs actifs, favorisant l'emploi d'un format "MMIC". A ces fréquences, les dispositifs actifs utilisant des matériaux en masse à base de silicone, deviennent notablement moins efficaces que des dispositifs utilisant des matières en masse à fréquences plus élevées, telles que l'arséniure de gallium. En même temps, les dimensions effectives des particularités des composants aussi bien actifs que passifs diminuent, ce qui rend pratique d'intégrer les composants tant actifs que passifs dans un circuit monolithique unique. Ce format de circuit est appelé "Monolithic Microwave Integrated Circuit", c'est-à-dire circuit intégré monolithique à micro-ondes (MMIC).

Le format MMIC fonde ses avantages sur la qualité semi-isolante de la matière en masse de GaAs qui permet des dispositifs passifs efficaces et des branches de circuits dans des exécutions qui sont de dimensions commandées, en utilisant un moyen d'approche photolithographique. Le résultat est une construction de circuits très compacte.

Des dispositifs actifs dans le format MMIC peuvent être reproduits par un processus photolithographique et en utilisant certaines techniques nouvelles qui peuvent être mises en oeuvre pour réaliser un gain réglable en incréments finement échelonnés. Par exemple, dans le cas d'amplificateurs à faible bruit, un gain échelonné, et dans le cas de décaleurs de phase, une phase échelonnée.

En fait, la base de la construction MMIC est que les effets des erreurs de fabrication sur les valeurs du circuit sont souvent plus grands que ne peut le tolé-

rer la conception du circuit. Par exemple, l'erreur dans la réponse de phase peut être sensiblement aléatoire dans certains MMIC. Cependant, le gain est plus prévisible, bien qu'il soit encore excessivement variable pour certaines applications. Ainsi, en supposant une erreur inacceptable dans une propriété critique, due à la fabrication - ou due au vieillissement - la propriété incrémentale des MMIC suggère une manière d'obtenir des valeurs de circuit plus exactes dans les circuits actifs.

10 résumé de l'invention

Par suite, un but de l'invention est de procurer un appareil radar à réseau phasé perfectionné.

Un autre but de l'invention est de procurer un appareil radar à réseau phasé comportant des moyens perfectionnés de surveillance/calibrage des trajets actifs entre les éléments d'antenne individuels et le récepteur/excitateur.

Un autre but de l'invention est de procurer un sous-ensemble perfectionné d'émission/réception (T/R) équipant des circuits actifs pour un ensemble d'éléments d'antenne à utiliser dans un appareil radar à réseau phasé.

Un autre but de l'invention est de procurer un sous-ensemble T/R perfectionné, à utiliser dans un appareil radar à réseau phasé, à auto-surveillance/calibrage.

Un but de l'invention est de procurer un nouveau sous-ensemble T/R à gain réglable pour être utilisé dans un appareil radar à réseau phasé se calibrant de lui-même.

Un autre but de l'invention est de procurer un nouveau sous-ensemble T/R réglable en phase, pour être utilisé dans un appareil radar à réseau phasé se calibrant lui-même.

Un autre but encore de l'invention est de procurer un nouveau sous-ensemble T/R de phase ajustable

et/ou de gain et/ou de puissance, ajustables, pour être utilisé dans un appareil à radar à réseau phasé se calibrant de lui-même, et se surveillant lui-même.

Un but supplémentaire de l'invention est de
5 procurer un nouveau sous-ensemble T/R qui puisse être utilisé de façon interchangeable avec des sous-ensembles T/R analogues, dans un appareil radar à réseau phasé.

Un autre but de l'invention est de procurer un
10 appareil radar à réseau phasé, se surveillant et se calibrant de lui-même, perfectionné, pour des applications supérieures à 1 gigahertz.

Ces buts de l'invention et d'autres sont obtenus dans une combinaison nouvelle pour maintenir une
15 réponse de phase précise dans le trajet de transmission depuis l'excitateur jusqu'à chaque élément d'antenne et dans le trajet de réception de chaque élément d'antenne vers le récepteur, dans un appareil radar à réseau phasé à m colonnes x n lignes d'éléments.

La combinaison comprend un excitateur qui four-
20 nit un signal pour le calibrage et la transmission, un récepteur comprenant un circuit percepteur d'erreurs de phase rapporté à l'excitateur et un passage de mesure et un formateur de faisceau. Le formateur de faisceau procure des passages multiples au nombre de $m \times n/j$, où j,
25 dans le cas ordinaire, vaut 1, 2 ou 4 disposés dans les trajets actifs émission/réception de l'excitateur/récepteur aux éléments d'antenne.

La combinaison comprend en outre un réseau d'alimentation de calibrage constitué, procurant un pas-
30 sage unique couplé intérieurement aux passages multiples ($m \times n/i$) où i est, dans le cas ordinaire, d'une valeur de 4, chaque trajet étant d'une longueur électrique connue pour donner un trajet de calibrage de chaque élément d'antenne vers l'excitateur/récepteur, et une multipli-
35 cité ($m \times n/4$) de sous-ensembles (T/R) émission/récep-

tion, réglables en phase, chacun de ces sous-ensembles étant disposé dans les trajets actifs émetteur/récepteur pour chaque sous-ensemble de 4 éléments d'antenne.

Chaque sous-ensemble T/R comprend un réseau
5 diviseur et de transition, avec 1, 2 ou 4 passages en bandes reliés au formateur de faisceau et 4 passages "microstrip" et 4 modules T/R utilisant des trajets de transmission "microstrip", chaque module contenant les
10 éléments électroniques actifs pour traiter les signaux d'un élément d'antenne associé.

Plus spécifiquement, chaque module comprend un décaleur de phase contrôlable, à deux directions, disposé dans un trajet actif d'émission/réception, ayant une commande pour régler la phase, un amplificateur de puissance
15 pour amplifier le signal de l'excitateur, un amplificateur à faible bruit pour amplifier les signaux provenant de l'élément d'antenne associé et une paire de moyens de branchement émission/réception, à trois passages, pour diriger des signaux provenant de l'excitateur, en passant
20 par l'amplificateur de puissance, vers un élément d'antenne associé, pendant l'émission, et pour diriger des signaux provenant de l'antenne, en passant par l'amplificateur à faible bruit, vers le récepteur pendant la réception, la paire comprenant un commutateur T/R et un
25 circulateur.

Le sous-ensemble comprend en outre 4 transitions de microstrip à lignes en bandes, couplant les moyens de branchement du circulateur à un circuit d'antenne à bandes. Le circuit d'antenne comprend 4 éléments
30 d'antenne adjacentes en une ligne, ayant chacun un coupleur de calibrage directionnel, et un réseau d'alimentation constitué de quatre à un reliant les quatre éléments d'antenne par les coupleurs de calibrage, au réseau de calibrage. Ainsi, les 4 trajets actifs émission/réception
35 sont reliés en série par un trajet de calibrage

unique.

La boucle de calibrage est complétée pour le calibrage du trajet actif d'émission par la commutation du signal de sortie de l'excitateur vers un trajet de mesure comprenant initialement le trajet actif d'émission, en second lieu un trajet de calibrage et se terminant par un passage de mesure du récepteur.

L'ordre est inversé pour le calibrage du trajet de fonctionnement de réception. ici, le signal de sortie de l'excitateur est commuté sur un trajet de mesure consistant initialement en un trajet de calibrage, en second lieu sur un trajet actif de réception et se terminant par un passage de mesure du récepteur.

Suivant un autre aspect de l'invention, le décaleur de phase de chaque module T/R est à deux sens, ayant une multiplicité d'états de phase numériques et optionnellement, l'amplificateur à faible bruit de chaque module T/R a des états numériques de puissance et numériques de gain, tous les états étant soumis à une commande logique. Lorsque la puissance ou le gain sont commandés, le récepteur est pourvu d'un circuit percepteur d'erreurs d'amplitude convenable.

La phase du décaleur de phase, suivant un aspect de l'invention, est ajustée périodiquement pour recalibrer le trajet actif d'émission et le trajet actif de réception pour un état virtuel d'alignement. Les données d'erreurs de phase sont alors emmagasinées dans une mémoire effaçable pour corriger les ordres de phase en direction du faisceau pendant l'émission et pendant la réception. Les mêmes données d'erreurs emmagasinées sont utilisées pour le calibrage suivant.

Suivant un autre aspect de l'invention, chaque sous-ensemble T/R est pourvu d'une mémoire à lecture seulement (ROM) pour emmagasiner de façon permanente les corrections de gain et de puissance pour chaque module.

Périodiquement, le gain et la puissance sont surveillés au passage de mesure du récepteur pour vérifier une performance acceptable. Si un module ou des modules dans un sous-ensemble T/R s'écartent de la performance acceptable, une indication d'erreur est donnée et le sous-ensemble T/R est remplacé. Les modules T/R sont eux-mêmes interchangeables avant l'installation dans un sous-ensemble T/R en dépit des variations de performance très sensibles, mais une fois installés et réglés pour une valeur correcte par la programmation de la mémoire ROM, ils ne peuvent plus être interchangés sans remplacer la mémoire ROM.

Le résultat en est une bonne performance en phase, en puissance et en gain dans chaque trajet actif de l'excitateur/récepteur à un élément d'antenne. L'invention trouve une application préférée pour les systèmes de radar à réseaux phasés, fonctionnant au-delà de 3 gigahertz et utilisant dans le circuit MMIC des matières à l'arséniure de gallium.

20 Brève description des dessins

Les particularités inventives et dictinctives de l'invention sont exposées dans les revendications de la présente demande. Cependant, l'invention elle-même, en même temps que d'autres buts et avantages de celle-ci, se comprendront le mieux en se référant à la description qui va suivre et en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

- les Fig. 1A, 1B et 1C représentent un appareil radar à réseau phasé à auto-calibrage, fabriqué en utilisant une multiplicité de sous-ensembles émission/réception amovibles, chaque sous-ensemble comprenant quatre modules T/R contenant à la fois les moyens électroniques actifs de quatre éléments d'antenne et les éléments de l'antenne, la vue auxiliaire agrandie de la Fig. 1B montrant un sous-ensemble T/R enlevé de l'appareil, et la

vue agrandie auxiliaire de la Fig. 1C montrant l'arrangement des éléments d'antenne sur une ouverture de l'antenne;

5 - les Fig. 2A et 2B sont deux schémas fonctionnels simplifiés, montrant les boucles de calibrage pour corriger les erreurs de phase dans les trajets actifs d'émission et de réception respectivement pour quatre éléments d'antenne contenus dans un sous-ensemble T/R, ces schémas étant en accord avec une forme de réalisation
10 de l'invention, dans laquelle le formateur de faisceau a une sortie multiple pour les quatre éléments d'antenne;

 - les Fig. 3A et 3B sont deux schémas fonctionnels simplifiés montrant les boucles de calibrage pour corriger les erreurs de phase dans les trajets actifs
15 d'émission et de réception pour quatre éléments d'antenne contenus dans un sous-ensemble T/R, ces diagrammes étant en accord avec les formes de réalisation supplémentaires de l'invention, dans lesquelles le formateur de faisceau a une sortie multiple pour deux éléments d'antenne et une
20 sortie multiple pour un élément d'antenne;

 - la Fig. 4 est une représentation plus détaillée des boucles de calibrage fournissant la correction de phase et la correction des erreurs d'amplitude dans les trajets actifs d'émission de quatre éléments d'antenne
25 associés à un sous-ensemble T/R dans un appareil radar utilisant un formateur de faisceau à impulsion unique;

 - la Fig. 5 est une représentation semblable à celle de la Fig. 4 des boucles de calibrage assurant la correction des erreurs de phase et d'amplitude dans les
30 trajets actifs de réception de quatre éléments d'antenne dans l'appareil radar de la Fig. 4;

 - la Fig. 6 est une représentation des trajets entre un sous-ensemble T/R donné à titre d'exemple et l'excitateur et le récepteur dans un formateur de fais-
35 ceau à impulsion unique et un réseau d'alimentation de

calibrage d'un appareil radar à réseau phasé, semblable à celui montré aux Fig. 4 et 5;

- la Fig. 7 est un schéma de la fonction de commande pour ajuster les états et les réglages d'un sous-ensemble T/R ajustable, montrant une puce de commande et les connexions à un module T/R dans une forme de réalisation dans laquelle la phase, la puissance et la gain sont soumis à la commande;

- la Fig. 8 est un schéma d'un sous-ensemble T/R comportant une puce de commande fournissant les connexions de commande à quatre modules T/R individuels du sous-ensemble T/R, dans une forme de réalisation dans laquelle la phase et le gain sont soumis à la commande;

- la Fig. 9 est une vue en perspective des particularités mécaniques d'un sous-ensemble T/R à enfi-chage, représentant quatre modules T/R individuels dans une position assemblée, avec le panneau logique de commande et le connecteur de commande déplacés au-dessus de la position d'assemblage;

- la Fig. 10 est une vue explosée avec un module T/R déplacé par rapport au sous-ensemble T/R et représentant les deux transitions de microstrip à la ligne en bandes déconnectables entre le module T/R et le circuit de ligne en bandes de connexion; et

- les Fig. 11A et 11B sont des illustrations de parties de lignes en bandes données à titre d'exemple du sous-ensemble T/R dans lequel quatre modules T/R sont reliés à quatre éléments d'antenne individuels et où le diviseur constitué de quatre voies fournit une connexion de calibrage unique pour les sous-ensembles T/R.

Description de la forme de réalisation préférée

La Fig. 1A est une illustration en perspective montrant l'ouverture d'un appareil radar à réseau phasé. La Fig. 1A représente la grande enveloppe rectangulaire 2 de l'appareil radar avec un radôme rectangulaire plat

3 montré déplacé par rapport à sa position d'engagement normale, pour exposer les éléments d'antenne individuels 21 qui remplissent le réseau. Le radôme protège les éléments d'antenne des intempéries et, dans le cas d'une forte pluie, il diminue l'effet fâcheux de l'eau qui influe sur la direction du faisceau. Le radôme fait l'objet d'une demande de brevet, numéro de série 052 728, déposée le 21 mai 1987 et intitulée "Protective Shield for an Antenna Array", cette invention étant de H.C. Ast et de J.D. Reale (Docket 35-HE-1536).

Comme représenté à la Fig. 1C, les éléments d'antenne 21 sont arrangés en lignes et en colonnes. Dans un cas pratique de 64 éléments dans une ligne et de 56 éléments dans une colonne, mais avec les coins non remplis, le total est d'environ 3000. Les 3000 ou autant d'éléments d'antenne sont à leur tout assemblés en groupes de quatre dans une ligne verticale, chaque groupe formant une partie d'un sous-ensemble T/R 20.

Le sous-ensemble T/R 20 représenté à la Fig. 1B est une unité à enficher, facilement amovible, pour permettre le remplacement d'une unité interchangeable analogue. Le sous-ensemble T/R est arrangé pour s'adapter dans le bâti structurel rigide de l'appareil radar qui est une grande pièce coulée rectangulaire s'étendant en travers de l'ouverture. Lorsque le sous-ensemble T/R est en position assemblée, la face exposée fait partie d'un plan de base plat continu à travers lequel les éléments d'antenne font saillie. La face arrière normalement cachée du sous-ensemble T/R porte une multiplicité de connecteurs (34, 24, 39) fournissant les connexions nécessaires de signal, de calibrage et de commande au sous-ensemble T/R. Les connecteurs sont d'un modèle qui permet d'engager le sous-ensemble ou de dégager les connecteurs correspondant à l'intérieur de l'appareil par un mouvement perpendiculaire au plan de base.

Chaque sous-ensemble T/R contient quatre modules T/R amovibles qui fournissent les moyens électroniques actifs d'émission/réception nécessaires pour faire fonctionner quatre éléments d'antenne dans le mode
5 d'émission et de réception, un premier réseau de distribution de signal constitué à quatre voies, fournissant une connexion unique aux quatre modules T/R vers une prise multiple du formateur de faisceau, et un second réseau de calibrage constitué à quatre voies, fournissant
10 une connexion unique à une prise multiple du réseau de calibrage. En plus, des commandes locales sont prévues, lesquelles, en même temps qu'un "synchroniseur" central 37, permettent les divers états d'activité et d'auto-calibrage et établissent les ajustements de calibrage de
15 quatre modules.

Les modules T/R, dont quatre sont contenus dans chaque sous-ensemble T/R, contiennent chacun tous les éléments électroniques nécessaires pour exécuter la fonction émission/réception pour un élément d'antenne. Les
20 modules T/R représentent la partie du sous-ensemble T/R la plus sujette à des pannes ou à des changements dans les caractéristiques de fonctionnement. Ils sont conçus pour un enlèvement facile et ils sont interchangeables avant l'installation dans le sous-ensemble T/R ou pour
25 remplacer une unité qui aurait défailli.

Après assemblage des quatre modules T/R individuels dans un sous-ensemble T/R, la mémoire dans la commande logique du sous-ensemble T/R peut être changée pour corriger les variations entre des modules T/R individuels. Ainsi, les modules T/R ne sont pas remplaçables
30 sur place, mais sont remplaçables en un lieu de réparation où la mémoire du sous-ensemble T/R peut être reprogrammée.

L'appareil radar, dans une forme de réalisation
35 donnée à titre d'exemple, contient approximativement 700

sous-ensembles T/R arrangés en 14 lignes contenant chacune 64 sous-ensembles et approximativement 3000 modules T/R contenant les éléments électroniques actifs pour les 3000 éléments d'antenne ou plus. Les sous-ensembles T/R, tout en étant interchangeables et qui représentent ainsi l'unité remplaçable la plus basse du champ, sont conçus pour avoir une longue vie, les modules T/R qui constituent la source principale de défectuosité étant la cause principale du remplacement du sous-ensemble T/R.

L'appareil radar à réseau phasé représente à la Fig. 1A est arrangé pour fonctionner à partir d'une position immobile et pour former un faisceau d'exploration électronique. L'exploration du faisceau émis peut être réalisée en ajustant les retards électriques imposés à un signal d'excitateur commun avant le couplage aux éléments individuels du réseau. Si chaque élément du réseau est excité par un signal de la même phase, le faisceau est dirigé suivant un axe perpendiculaire au plan du réseau. (La position du faisceau à distance de la face du réseau est également connue comme position "d'alignement" ou de visée).

L'exploration du faisceau émis est obtenue par décalage de phase à partir de l'élément d'antenne à un élément d'antenne en incréments à peu près égaux, tandis que l'on progresse le long de l'ouverture le long d'une ligne verticale ou horizontale de coordonnées. Ceci fait que le faisceau est dévié verticalement et horizontalement par rapport à l'alignement. La déviation est en proportion de l'incrément de phase entre les éléments du réseau.

Dans un radar à réseau phasé, la précision de la formation du faisceau et de la direction est établie par le retard de phase dans le trajet de l'excitateur vers chaque élément d'antenne. Comme déjà suggéré, la sortie amplifiée d'un excitateur unique est utilisée pour

commander chaque élément d'antenne. Le signal de sortie de l'excitateur peut être soumis à une forme quelconque de modulation initiale et il est d'un niveau de puissance modéré. Le signal de sortie de l'excitateur est réampli-
5 fié avant être fourni aux alimentations de colonnes et aux alimentations de lignes du formateur de faisceau dans le trajet vers les éléments d'antenne pour maintenir le signal bien au-dessus du bruit et il reçoit l'amplification de puissance finale dans un amplificateur de puissance qui commande un élément d'antenne unique. Avant
10 amplification finale, le signal de sortie de l'excitateur est passé par un décaleur de phase commandé numériquement dans le module T/R utilisé pour régler le signal à l'angle de phase désiré approprié à chaque angle de direction
15 du faisceau.

Dans une application ordinaire de radar, la formation du faisceau - terme appliqué à la formation d'un faisceau par les réseaux qui distribuent le signal de l'excitateur aux amplificateurs de puissance - est la
20 même pour l'émission et pour la réception. Dans cette application, l'amplitude émise du signal à tous les éléments du réseau est maintenue égale et des incréments de phase sensiblement égaux (plus ou moins une moitié du bit le moins important) sont maintenus en allant progressivement, horizontalement et verticalement, en travers de
25 l'ouverture pour chaque position de direction du faisceau. Si une cible était présente dans une position de faisceau donnée, le retour d'écho arrivera aux éléments individuels du réseau en incréments de phase correspondants et lorsqu'il est proprement reconstitué par traitement en arrière à travers le réseau formateur de faisceau, il produira une impulsion unique semblable à l'impulsion transmise originellement. Les réglages de phase, qui peuvent être relativement grossiers, peuvent être
30 utilisés pour ajuster l'angle de pointage du faisceau
35

avec une précision relativement grande, la précision ultime dépendant du nombre de bits.

La formation du faisceau avec des amplitudes égales aux éléments d'antenne et avec les phases des éléments d'antenne échelonnées progressivement en travers de l'ouverture est cependant un seul des réglages de formation du faisceau employés dans les systèmes à radar à réseau phasé. Les amplitudes du signal fourni aux éléments individuels du réseau sont souvent pondérées lorsqu'on désire réduire les niveaux des lobes latéraux pour éviter des troubles par des brouilleurs qui ne se trouvent pas dans le trajet du lobe principal du faisceau.

L'opération à impulsion unique qui suppose la formation de faisceau avec ajustement à la fois de l'amplitude et de la phase est également courante. Le formateur de faisceau pour l'émission monopulsée transmet un faisceau conventionnel (c'est-à-dire sigma) avec une pondération d'amplitude pour assurer la directivité optimale. Pour la réception, le faisceau somme est reçu avec la même pondération d'amplitude ou avec une pondération d'amplitude inégale et une paire de faisceaux de différence (Δ) sont formés en azimuth (ΔAz) et en élévation (ΔE1).

Les applications précédentes imposent ainsi une exigence de la commande de l'amplitude pondérée en addition à la commande de phase sur les éléments électroniques actifs qui traitent le signal de l'excitateur pour l'émission et le signal de retour reçu par les éléments d'antenne pour la réception. Ainsi, la phase, la puissance de l'émission et le gain à la réception doivent être maintenus à des valeurs prescrites si l'appareil radar doit se comporter avec la capacité de sa conception.

Comme dit précédemment, les éléments électroniques actifs sont souvent d'une moindre précision initiale

et d'une moindre stabilité que ce n'est nécessaire dans un système de radar à réseau phasé pratique fonctionnant à de hautes fréquences. La correction peut prendre deux formes principales. Les erreurs attribuables à la fabrication peuvent être supprimées par une correction permanente comme incident de la fabrication de l'équipement. Ainsi, les erreurs dans la puissance d'émission ou dans le gain du récepteur peuvent être corrigées en déterminant le réglage correct et l'emmagasinement de la correction dans une mémoire permanente. Après fabrication, la performance est surveillée de façon récurrente. Si la surveillance indique un écart par rapport à la performance acceptable, l'"unité remplaçable la plus basse" contenant un élément de gain non performant est remplacée. Dans la forme de réalisation donnée à titre d'exemple, les erreurs de phase sont également soumises à des changements et un décaleur de phase commandé numériquement est employé. Le décaleur de phase est soumis à une surveillance récurrente avec les moyens dont on dispose pour changer le réglage lorsque les écarts par rapport aux valeurs acceptables sont détectés.

Suivant la présente invention, un sous-ensemble T/R amovible est prévu, contenant quatre modules T/R interchangeables, chacun à son tour contenant les éléments électroniques actifs nécessaires pour chaque élément d'antenne et procurant des moyens pour un réglage de phase commandé logiquement ou pour un réglage de phase et d'amplitude. Chaque module procure ces ajustements dans les trajets actifs de l'excitateur vers l'élément d'antenne et de l'élément d'antenne vers le récepteur. Le sous-ensemble T/R qui commande les réglages des modules procure des réglages séparés pour le signal d'émission et pour le signal de réception puisque l'on emploie des dispositifs électroniques différents. Le processus de calibrage qui assure la précision des réglages contient un

standard interne et permet un calibrage continu dans le processus de formation du faisceau.

L'emploi de modules T/R avec commande logique de la phase et/ou de la puissance et/ou du gain, en même temps qu'une conception convenable de l'appareil radar dans son ensemble et des circuits sensibles appropriés de phase et d'amplitude dans le récepteur du radar permettent d'obtenir des réponses désirées de phase/amplitude/-gain dans chaque trajet actif à la précision requise pour obtenir la performance envisagée.

Les Fig. 2A et 2B sont des schémas fonctionnels simplifiés d'une forme de réalisation de l'invention représentant les boucles de calibrage pour l'émission et la réception, respectivement, d'un sous-ensemble T/R pour quatre éléments d'antenne 21 (c'est-à-dire le jième sous-ensemble) dans un appareil radar. Le sous-ensemble comprend les quatre éléments d'antenne et quatre modules T/R (chacun contenant des éléments 27, 28, 29, 30, 31), les éléments de chaque module fournissant les moyens pour le réglage en phase de chaque circuit d'antenne actif pour l'émission et pour la réception. (Dans les Fig. 2A et 2B, les notations de référence utilisées dans la description sont également applicables au schéma plus complet fourni par les Fig. 4 et 5).

La commande de l'appareil radar est réalisée au niveau du système par le synchroniseur 37 fonctionnant avec le récepteur 11, qui fournit les données d'erreurs emmagasinées, et par une puce de commande 38 qui réalise la commande à l'intérieur de chaque sous-ensemble T/R des modules individuels T/R contenant les éléments électroniques actifs. Les commandes représentées à la Fig. 2A sont réduites aux décaleurs de phase 31, à la mise en état des modules T/R individuels 26 et à la sélection d'état. Des fonctions de commande plus complexes présentes dans deux formes de réalisation pratiques sont repré-

sentées aux Fig. 7 et 8.

Ainsi, la Fig. 2A s'occupe de la correction des erreurs de phase dans les trajets actifs d'émission pour les quatre éléments d'antenne 21, une partie du sous-ensemble T/R 20. Le sous-ensemble T/R 20, dans la forme simplifiée montrée à la Fig. 2A, comprend quatre canaux semblables, chaque canal contenant un module T/R (26) consistant en un décaleur de phase commandé logiquement 31, et en des paquets d'éléments électroniques T/R 27, 28 et 30. En plus, le sous-ensemble T/R fournit un réseau de distribution de signal (33) pour relier le formateur de faisceau aux modules T/R, un réseau de distribution de calibrage (25) pour relier les éléments d'antenne à un réseau de calibrage (15, 16) et une commande logique 38 reliée à un synchroniseur de commande 39.

Plus particulièrement, l'appareil radar tel que montré à la Fig. 2A consiste en un excitateur 10 fournissant des signaux pour le calibrage à la fois des trajets d'émission et émetteur; un récepteur 11 avec un circuit percevant les erreurs de calibrage ayant une borne de référence et une borne d'entrée de mesure; un formateur de faisceau (13, 14) fournissant les trajets de formation de faisceau dans l'alimentation de colonne d'émission 13 et dans l'alimentation de lignes d'émission/réception 14 pendant le calibrage des trajets d'émission et de transmission, conduisant à la borne 34 de signal d'excitateur/récepteur du sous-ensemble T/R représenté et se terminant aux éléments d'antenne intégraux (21); et les alimentations de calibrage (15, 16) fournissant des trajets de calibrage en commençant aux éléments d'antenne intégraux et en se terminant à la borne de perception d'erreurs de mesure au récepteur 11 pendant le calibrage des trajets de transmission et d'émission. Les alimentations de calibrage sont subdivisées en une alimentation de colonnes (15) et en une alimentation de lignes (16),

tous deux constitués en fait (c'est-à-dire ayant des trajets à partir d'un passage unique vers chacun des passages multiples idéalement de longueur électrique égale, et tous les branchements producteurs de division/-
5 sommation d'égale puissance).

Pendant le calibrage des trajets de transmission et d'émission, les signaux de l'excitateur sont couplés depuis les passages multiples du formateur de faisceau 13, 14 à la borne 34 de chaque sous-ensemble T/R 20.
10 Un réseau d'alimentation constitué de quatre branches, 33, dans le sous-ensemble T/R, ayant son passage unique couplé à la borne 34 distribue le signal de l'excitateur à chacun des quatre passages multiples par une transition de lignes à bandes au microstrip, 23, (représentée dans
15 la vue éclatée de la Fig. 10), vers chacun des quatre décaleurs de phase 31 à deux sens, commandés, formant le premier élément de chaque module T/R.

Après le passage séparé par chacun des quatre décaleurs de phase, les signaux d'excitateur traités
20 séparément sont couplés au bloc électronique T/R relié en série (le reste de chaque module T/R) suivant chaque décaleur de phase. Chaque bloc électronique T/R (pour des buts de calibrage du trajet de transmission ou d'émission) consiste en les éléments 30, 28 et 27 respectivement. Comme représenté dans la vue plus détaillée de la
25 Fig. 7, le commutateur T/R 30 commute le signal de l'excitateur à l'amplificateur de puissance 28, et le circulateur 27 branche la sortie de l'amplificateur de puissance dans le trajet vers l'élément d'antenne 21.

30 Pendant l'émission, tous les éléments d'antenne sont alimentés et un faisceau est formé. Pendant le calibrage du trajet d'émission, un élément d'antenne est alimenté à la fois sous la commande d'une commande à puce et aucun vrai faisceau n'est formé.

35 Par suite, pendant le calibrage du trajet

d'émission, seule l'une des quatre sorties amplifiées de l'excitateur existe et elle est couplée par l'un des quatre circulateurs 27 en passant par le trajet primaire d'un des quatre coupleurs de calibrage directionnels (22) à l'une des quatre antennes 21. Les coupleurs directionnels ont un trajet secondaire couplé au trajet primaire avec une atténuation de 20 décibels. Les coupleurs à 20 décibels sont situés à proximité de leurs éléments d'antenne associés pour réfléchir aussi fidèlement que possible la phase et l'amplitude de l'excitation de l'antenne. Ainsi, lorsqu'il atteint l'élément d'antenne actif, un échantillon réduit de la sortie amplifiée de l'excitateur - à présent la sortie de l'émetteur - est reproduit à la sortie secondaire d'un coupleur directionnel.

Au cours du processus de calibrage, quatre échantillons atténués du signal de l'émetteur, copies virtuelles du signal rayonné par chacun des quatre éléments d'antenne, sont dérivés séparément par chacun des quatre coupleurs directionnels et couplés à un passage multiple du réseau d'alimentation 25 à quatre voies. Les quatre échantillons proviennent, à différents moments, des passages multiples de 25, en passant par le passage unique de 25 à la borne 24 où ils passent du sous-ensemble T/R aux réseaux d'alimentation de calibrage 15/16.

Les quatre échantillons suivant alors, par les réseaux d'alimentation de calibrage 15, 16 pour revenir à la borne de mesure du circuit percepteur d'erreurs de phases du récepteur 11. Ici, les comparaisons se font entre la référence formée par une sortie de l'excitateur couplée directement à la borne de référence du circuit d'erreurs et les échantillons qui ont exécuté un trajet comprenant le trajet de fonctionnement d'émission et le trajet de calibrage. Les boucles de calibrage du trajet actif sont ainsi fermées au récepteur percepteur d'er-

reurs, et une mesure des retards de phases des trajets actifs en réponse à une référence est à présent réalisée. Si le circuit indique des erreurs de phase par rapport à la valeur désirée, les erreurs sont emmagasinées dans le récepteur 11 et couplées par le synchroniseur 37 à la puce de commande 39 où elles sont utilisées pour réajuster les réglages des quatre décaleurs de phase 31 pour compenser l'erreur dans chacun des quatre trajets calibrés.

10 Le processus de calibrage, lorsqu'il s'applique aux trajets actifs d'émission et de réception, est exécuté sous la commande de synchronisation 37 agissant par l'intermédiaire de la puce de commande 38 sur chacun des 700 sous-ensembles T/R. La calibrage pour l'appareil tout
15 entier suppose une quantité appréciable de temps (de l'ordre d'une minute). Alors qu'un calibrage complet peut se produire lorsque l'équipement de radar est mis en action, il peut aussi être accompli par morceaux, dans les intervalles de temps présents pendant le fonctionnement
20 normal du radar.

Le synchroniseur 37 et les puces de commande 38 dans chacun des sous-ensembles T/R commandent l'état de calibrage du trajet d'émission de la manière qui vient d'être expliquée et, en plus, commandent la production de
25 trois autres états principaux. Les autres états comprennent le calibrage du trajet d'émission, du trajet de réception et la réception. Le mode d'émission, par exemple, fait intervenir le fonctionnement simultané des quatre modules de tous les sous-ensembles T/R dans un
30 état d'émission, tandis que le calibrage du trajet d'émission fait intervenir le fonctionnement d'un seul module à la fois dans un état analogue à l'émission, dans une séquence de temps comprenant tous les sous-ensemble T/R. Le synchroniseur 37 et les puces de commande 38
35 réalisent ces états dans chaque module T/R/ au moyen des

commandes d'autorisation, comme représenté à la Fig. 2.

La correction de l'erreur de phase dans les trajets actifs d'émission $m \times n$ exige un décaleur de phase par trajet et un qui conserve son réglage et puisse être incrémenté à partir de ces réglages pendant la direction du faisceau. Le décaleur de phase doit être capable d'être rétabli à une valeur correctrice pour tout écart par rapport à la valeur de référence désirée pendant le calibrage, avec l'aptitude à continuer jusqu'à 360°. Lorsque tous les trajets sont calibrés, une condition virtuelle de direction est produite. Pendant l'émission, la correction de phase doit être conservée comme réglage de phase zéro "vraie" à laquelle des incréments de phase sont ajoutés en dirigeant le faisceau vers un point de décalage désiré à partir d'un état de visée en direction. Cette exigence doit être remplie par un décaleur de phase numérique, typiquement de 4 à 6 bits, soumis à une commande logique. Un décaleur de phase convenable est celui décrit dans le brevet des E.U.A. n° 4 638 190 de Hwang et coll., déposé le 20 mai 1985, assigné au déposant de la présente demande et intitulé "Digitally Controlled Wideband Phase Shifter".

Les sous-ensembles T/R (20) avec les quatre modules T/R (26) compris, contribuent dans une mesure sensible à l'erreur de phase dans chaque trajet, tout en comportant les moyens pour corriger l'erreur de phase pour chaque trajet d'émission. Les réseaux à lignes en bande 33 et 25 sont d'une grande sécurité et d'une faible erreur de phase, tandis que les dispositifs électroniques actifs comprenant les décaleur de phase eux-mêmes, sont moins fiables et présentent une erreur de phase importante. Les blocs à l'intérieur des modules 26, applicables pour calibrer le trajet d'émission, comprennent l'amplificateur de puissance 28, le dispositif T/R 30 et un circulateur 27, qui exécutent la direction nécessaire

du signal de l'excitateur vers l'entrée de l'amplificateur de puissance 28 et à partir de la sortie de l'amplificateur de puissance 28, au trajet qui va vers l'élément d'antenne 21 associé. (Egalement compris dans ce module
5 T/R, il y a amplificateur de bruit faible 29, inactif pendant l'émission, qui ne contribue pas à l'erreur de phase pendant l'émission).

Chaque décaleur de phase 31 corrige les erreurs de phase dans le module T/R 26 associé, dans les trajets
10 de distribution de signal des sous-ensembles T/R 20 et dans le reste du trajet de l'excitateur à l'élément d'antenne associé. Une partie principale de ce reste est le formateur de faisceau 13, 14.

Le formateur de faisceau est monté entre l'excitateur 10 et le passage 34 du jième sous-ensemble T/R
15 20. Le formateur de faisceau 13, 14 consiste en une série 13 et une colonne 14 de réseaux d'alimentation et comprend des amplificateurs pour entretenir le niveau de signal de l'excitateur lorsque le branchement se produit
20 (comme représenté à la Fig. 6). Comme seulement une connexion d'entrée unique est faite de l'excitateur 10 vers le formateur de faisceau 13, 14 et qu'une seule connexion de sortie est couplée du formateur de faisceau au sous-ensemble T/R 20 (en 34), un trajet unique à
25 travers le formateur de faisceau est mis en oeuvre pour un jième sous-ensemble T/R choisi. (C'est le même trajet de formateur de faisceau, également pour un élément d'antenne quelconque réalisé comme partie du jième sous-ensemble T/R). Le retard de phase dans le trajet unique
30 à travers le formateur de faisceau 13, 14 est par conséquent une quantité fixe qui se combine avec les autres retards de phase présents dans le trajet de l'excitateur vers un élément d'antenne particulier.

La mise en état de fonctionnement de l'un des
35 modules T/R à un moment pendant le calibrage du trajet

d'émission, qui est réalisée en dégageant les trois autres modules et en permettant au signal de l'excitateur de s'écouler par un module seulement à la fois, évite également la redondance dans le trajet passant par le sous-ensemble T/R pour l'élément d'antenne particulier pendant le calibrage du trajet d'émission, en supposant qu'il n'y ait pas de couplage mutuel entre les circuits à l'intérieur du sous-ensemble T/R.

Ainsi, le retard de phase dans le trajet complet de l'excitateur vers l'élément d'antenne particulier est une quantité fixe et accessible qui peut être facilement corrigée pour atteindre une valeur désirée par l'installation d'un décaleur de phase ajustable commandé logiquement, dans chaque trajet. les décaleurs de phase 31, présents au nombre de un par module T/R 26, de quatre par sous-ensemble T/R 20 et de 3000 et davantage pour l'appareil radar complet, fournissent ainsi les degrés nécessaires de liberté pour la correction de tout trajet d'émission.

La mesure de calibrage pour chaque trajet est obtenue, suivant l'invention, en couplant la sortie de l'excitateur tandis qu'elle atteint chaque élément d'antenne par un trajet de retour de longueur électrique connue, vers la borne de mesure d'un réseau de comparaison de phases. En même temps, un signal dirigé à partir de l'excitateur est couplé à la borne de référence du réseau de comparaison. L'erreur de phase dans le trajet actif est ainsi obtenue en soustrayant le retard de phase connu dans le trajet de calibrage, du retard de phase observé, éprouvé par le signal de l'excitateur en traversant à la fois le trajet actif d'émission et le trajet de calibrage.

Le trajet de calibrage comprend le réseau d'alimentation en lignes 16 et en colonnes 15, tous deux "constitués" par nature. Le terme "constitué" est destiné

à signifier que chaque trajet d'un passage unique à un passage multiple est fait pour avoir sensiblement la même longueur électrique (c'est-à-dire le même retard de phase). La longueur de trajet, une fois que chaque trajet
5 est construit et interconnecté dans une disposition d'essai, est normalement mesurée à un degré de précision plus grand que ce ne peut être obtenu économiquement par construction, et la valeur de l'erreur résiduelle est emmagasinée dans une mémoire d'ordinateur et utilisée pour supprimer toute erreur qui pourrait se produire dans le
10 processus de calibrage. La précision éventuelle basée sur des tolérances proches de 0,001 " est une petite partie d'un degré dépendant de la fréquence.

Pour que le processus de calibrage fonctionne,
15 les réseaux de calibrage doivent fournir un trajet calibré uniquement à partir des passages 24 de chacun des 700 sous-ensembles T/R à l'entrée de mesure du circuit percevant l'erreur de calibrage au récepteur 11. En plus, les coupleurs 22 et les réseaux constitués 25 à l'intérieur
20 des sous-ensembles T/R individuels, doivent fournir des trajets d'égale longueur à partir de chaque élément d'antenne vers le passage 24.

les réseaux de calibrage 15, 16 satisfont à la condition de procurer un trajet unique de retard de phase
25 connu au signal d'émission entre le passage 24 de chaque sous-ensemble T/R et l'entrée de mesure du dispositif sensible à l'erreur de calibrage du récepteur 11. Le réseau de calibrage doit par conséquent avoir un passage multiple dans l'alimentation en lignes pour chaque sous-ensemble T/R. Le signal de sortie d'émission au passage
30 24 du jième sous-ensemble est couplé à une borne multiple de l'alimentation en lignes 16 attribuée à ce sous-ensemble. La sortie de l'émetteur réapparaissant au passage unique de l'alimentation en lignes 16 est ensuite couplée
35 à un passage multiple d'alimentation en colonnes de cali-

brage 15. Finalement, la sortie de l'émetteur réapparaît au passage unique de l'alimentation en colonnes de calibrage, qui est couplée à l'entrée de mesure du récepteur 11.

5 La phase de référence utilisée pour le calibrage de tous les trajets actifs peut être complètement arbitraire aussi longtemps qu'elle est stable par rapport à l'excitateur. Ceci est vrai parce que les phases des signaux à chaque élément d'antenne relativement aux phases aux autres éléments d'antenne sont importantes pour
10 la formation du faisceau et la direction de celui-ci, tandis que les phases absolues de ces signaux ne sont pas importantes puisqu'elles n'affectent ni la formation du faisceau, ni sa direction.

15 Le processus de calibrage fait par conséquent intervenir le réglage de chaque décaleur de phase, qui a des réglages à des fractions binaires de 360° , vers la prochaine correspondance de phases avec la référence de l'excitateur, suivie de l'addition d'une correction
20 déduite de l'emménagement représentant l'écart par rapport à la norme d'un trajet de calibrage particulier dans 15, 16. Lorsque les états d'émission et de réception sont actifs, les incréments de phase nécessaires à la direction à des angles arbitraires, par conséquent, sont combinés avec les valeurs de zéro "vraies" à chaque élément
25 d'antenne pour donner une correction pour les réponses de phases des différents trajets passant par le formateur de faisceau et par les dispositifs électroniques actifs dans les sous-ensemble T/R.

30 Alors qu'il y a un grand degré de précision (erreurs inférieures à 1°) dans le processus de calibrage, il y a en même temps une mise au hasard désirable des réglages des décaleurs de phase individuels.

 Le décaleur de phase, s'il est d'une variété à
35 quatre bits, a une étape minimale de $22-1/2^\circ$ entre les

réglages et, s'il s'agit d'une variété à six bits, a une étape minimale de $5-5/8^\circ$ entre les réglages.

Le schéma du faisceau est normalement favorisé dans un réseau utilisant des décaleurs de phase numériques lorsque les erreurs sont mises au hasard sur l'ouverture de l'antenne. Ceci dicte la moitié d'un réglage minimal comme erreur aléatoire optimale et dicte une distribution au hasard des erreurs parmi les décaleurs de phase partageant une ligne verticale ou horizontale commune.

L'exigence pour la précision de phase se produit principalement dans les trajets individuels des réseaux de calibrage 15, 16, comme déjà observé, et dans les alimentations constituées à quatre voies 25 de chaque sous-ensemble T/R 20. La géométrie des alimentations constituées à quatre voies 25 doit être soigneusement ajustée pour assurer des retards de phase égaux pour les trajets de chaque élément d'antenne au passage commun 24. Elles doivent être construites en utilisant une construction de lignes à bande avec des schémas lithographiques soigneusement ajustés pour égaliser les retards de phase dans les trajets électriques. Un schéma de circuit imprimé à lignes à bande convenable pour 25 est représenté aux Fig. 11A et 11B. La précision du schéma est maintenue à $0,001''$ avec une précision de phase voulue d'une petite partie d'un degré dépendant de la fréquence.

Les trajets de signal restants dans l'appareil sont généralement moins critiques pour l'optimisation de la performance de phase. Par exemple, une symétrie semblable, mais avec un moindre effet sur la précision du calibrage, est utilisée dans l'alimentation constituée à quatre voies 33 reliant le formateur de faisceau aux modules T/R individuels. La précision (idéalement) n'est pas critique dans l'alimentation 33 parce qu'elle se trouve dans le trajet actif d'émission et qu'elle est

corrigée par la boucle de réaction. Egale-
ment), les trajets depuis l'excitateur à l'entrée de
calibrage du récepteur, depuis l'excitateur jusqu'à
l'entrée du formateur de faisceau, et du passage unique
5 de l'alimentation en colonnes de calibrage vers l'entrée
de calibrage du récepteur, ne sont pas critiques. Ceci
est vrai parce qu'ils sont communs à tous les trajets
actifs vers tous les éléments d'antenne et affectent seu-
lement la phase absolue.

10 La précision de phase des éléments d'antenne
individuels est ainsi réglée par la précision du diviseur
à quatre voies 25, et le soin avec lequel les 700 trajets
dans le réseau de calibrage 15, 16 sont égalisés et la
précision avec laquelle l'erreur de phase restante dans
15 le réseau de calibrage 15, 16 est emmagasinée et utilisée
pour corriger les commandes de direction de faisceau
individuelles.

La Fig. 2B traite de la correction des erreurs
de phase dans les trajets actifs de réception pour les
20 mêmes quatre éléments d'antenne associés au jième sous-
ensemble T/R 20.

Comme on le voit à la Fig. 2B, l'appareil radar
(dans la mesure détaillée à la Fig. 2A) consiste en sen-
siblement les mêmes éléments principaux; l'excitateur 10,
25 le récepteur 11, un formateur de faisceau - mais en uti-
lisant maintenant la somme de réception et l'alimentation
en colonnes delta 12 et l'alimentation de la ligne émet-
teur/récepteur 14, et les alimentations de calibrage 15
et 16. Les trajets de formateur de faisceau pour recevoir
30 le calibrage des trajets différent ainsi de ceux utilisés
pour le calibrage du trajet d'émission, et les détails
sont montrés à la Fig. 6 pour un appareil radar à mono-
impulsions. Dans un radar à mono-impulsion simple, cette
différence n'est pas présente. Cependant, semblablement
35 au calibrage du trajet d'émission, un trajet unique est

prévu à travers le formateur de faisceau entre le passage 34 de chaque sous-ensemble T/R et l'entrée de mesure du récepteur 11.

Le calibrage du trajet de réception diffère
5 principalement du calibrage du trajet d'émission dans
l'inversion de la direction de l'écoulement du signal à
travers les trajets de calibrage et les trajets de signal
actifs. Dans le calibrage des trajets de réception, l'ex-
citateur 10 fournit un signal directement à l'entrée de
10 référence du circuit sensible à l'erreur de calibrage et
directement au passage unique des réseaux de calibrage
15, 16. Le signal de mesure traverse alors le réseau
d'alimentation en colonnes 15 et le réseau d'alimentation
en lignes 16 et il est couplé par le passage 24 dans le
15 circuit d'antenne du jième sous-ensemble T/R. Le signal
de mesure est ensuite couplé en passant par le diviseur
constitué à quatre voies 25 au circuit d'antenne au
moyen des coupleurs directionnels 22. Les coupleurs
directionnels lancent le signal de mesure dans la direc-
20 tion suivie par un signal recueilli par les éléments
d'antenne et fourni aux trajets de réception. Le trajet
de calibrage se termine alors à l'endroit des coupleurs
directionnels proches des éléments d'antenne.

Dans le calibrage du trajet de réception, le
25 réseau de calibrage 15, 16 est le même que le réseau de
calibrage utilisé pendant le calibrage du trajet d'émis-
sion, et les trajets associés avec chaque sous-ensemble
T/R sont utilisés pour les deux calibrages, bien que les
sens de mesure du signal à travers le réseau soient
30 inversés.

Dans le trajet actif de réception, le signal de
mesure va de l'élément d'antenne choisi 21 au module T/R
associé 26 contenant un décaleur de phase 21 et les dis-
positifs électroniques d'émission/réception (27, 29, 30).
35 Dans le trajet de réception, le signal de mesure dans le

circulateur 27, il est envoyé dans l'amplificateur à gain variable 29 et, après amplification, il entre dans le dispositif T/R 30 qui est arrangé pour diriger le signal mesuré vers le décaleur de phase 31. La sortie du décaleur de phase est couplée en passant par le réseau d'alimentation constitué 33, au passage 34 du sous-ensemble T/R. L'impulsion de mesure se poursuit alors vers un passage multiple des éléments de formateur de faisceau 12, 14, et sort au passage unique du formateur de faisceau qui est couplé à une entrée du circuit percepteur de calibrage du récepteur 11.

Comme dans le calibrage du trajet d'émission, les modules individuels à l'intérieur du sous-ensemble T/R sont soumis à des commandes d'autorisation pendant le calibrage du trajet de réception, qui écartent chaque module sauf celui qui est calibré. Un signal de commande est fourni pour ajuster le décaleur de phase ajustable 31 dans le trajet qui est calibré à la valeur de zéro vraie appropriée.

Le calibrage pour le trajet de réception fonctionne sensiblement comme le calibrage du trajet d'émission. Sous la commande de synchronisation 37 et de la puce de commande 38, les états des calibrages du trajet de réception ou du trajet récepteur peuvent être autorisés. Le mode de réception fait intervenir le fonctionnement simultané des quatre modules de tous les sous-ensembles T/R dans un état de réception, tandis que le calibrage du trajet de réception fait intervenir le fonctionnement d'un seul module dans un sous-ensemble T/R à la fois dans un état analogue à la réception. Ainsi, pour le calibrage, la réponse de phase de chacun des quatre trajets de réception dans le même sous-ensemble T/R est isolée pour un réglage séparé et les réglages se produisent en séquence.

La puce de commande 38 fournit une commande

pour établir chaque décaleur de phase 31 dans le sous-ensemble T/R choisi, à une valeur corrigée tenant compte d'une valeur emmagasinée pour l'erreur dans le trajet de calibrage 15, 16. Lorsque la réception est en cours et
5 que tous les modules T/R sont en fonctionnement, les valeurs zéro vraies obtenues pendant le calibrage et emmagasinées sont obtenues à partir de l'emmagasinement et utilisées pour corriger les ordres de direction du faisceau fournis aux décaleurs de phase. L'effet sur le
10 schéma d'antenne de la nature numérique des décaleurs de phase et la nécessité pour une erreur aléatoire importante dans les décaleurs de phase individuels et pour la mise au hasard dans la disposition des décaleurs de phase sur le réseau d'antenne sont également présents pour la
15 réception.

Les Fig. 2A et 2B ont été simplifiées de façon à montrer plus clairement les boucles de calibrage et le fait que, pour la réception, le signal de mesure progresse d'abord à travers le trajet de calibrage et
20 ensuite à travers le trajet actif, tandis que pour l'émission, le signal de mesure progresse d'abord à travers le trajet actif et en second lieu à travers le trajet de calibrage.

Les dessins des Fig. 2A et 2B omettent les
25 détails des circuits qui produisent l'inversion. Ces détails sont montrés aux Fig. 4 et 5. Le récepteur 11 utilise le même passage pour l'impulsion de mesure et l'impulsion de référence, mais elles prennent origine comme signaux séparés. Les mécanismes de commutation qui
30 inversent les boucles de calibrage comprennent les portes 17 et 18 et le commutateur 19 comprenant trois coupleurs directionnels. La mesure d'erreur de phase fait intervenir deux mesures en ordre successif, étant supposé que l'excitateur conserve la cohérence de phase et que le
35 récepteur contient un oscillateur local dérivé de l'exci-

tateur pour maintenir le synchronisme de phase avec l'excitateur.

Pendant le calibrage du trajet d'émission, la porte 18 s'ouvre et un signal de référence est couplé en passant par un premier coupleur directionnel (partie de 5 19) dans le trajet 42, à travers le commutateur 19, un second coupleur directionnel (partie de 19) dans le trajet entre l'alimentation en colonnes 12 et le récepteur 11, au moyen de quoi il est couplé à une entrée du récepteur 11. Pour la mesure du trajet d'émission, la porte 17 10 s'ouvre et le signal est admis à l'alimentation en colonnes d'émission 13. Le signal de l'excitateur se poursuit vers le trajet d'émission actif 40 vers les éléments de dipôles 21 et revient le long du trajet de calibrage 41, en passant par les coupleurs directionnels 22, l'alimen- 15 tation constituée 25 et les alimentations de calibrage 16 et 15, vers le troisième commutateur 19 (partie de 19). A ce moment, le troisième coupleur directionnel (partie de 19) accepte le signal de mesure de calibrage et le 20 couple en passant par le second coupleur directionnel, au trajet entre l'alimentation en colonnes du récepteur 12, vers le récepteur 11. Ainsi, les impulsions de référence et de mesure sont couplées à des instants successifs dans le temps à un circuit sensible au calibrage à l'intérieur 25 du récepteur 11, qui mesure la différence de phase entre les signaux successifs.

Pendant le calibrage du trajet de réception, la porte d'émission 17 reste fermée et les signaux de référence et de mesure suivent tous deux le long des trajets 30 43, 45, vers la porte 18. Le signal de référence est couplé par le commutateur 19 et ses coupleurs directionnels, à l'entrée du récepteur 11. Le signal de mesure suit le trajet de calibrage 43 vers les alimentations de calibrage 15 et 16, respectivement, pénètre dans le circuit 35 d'antenne du sous-ensemble T/R, en passant par le passage

24, le réseau de distribution 25 et les coupleurs directionnels 22 et poursuit ensuite son chemin par le trajet de réception actif 44 vers le récepteur. Le signal de mesure sort de l'alimentation en colonnes de réception 12 et pénètre dans le récepteur où il subit une comparaison de phases avec le signal de référence précédent.

L'arrangement de commutation précédent est commode pour prendre en compte la nature d'un récepteur radar classique. D'autres équipements sont pratiques et ont été symbolisés par une paire de commutateurs monopolaires à deux positions, commandés, dans les formes de réalisation montrées aux Fig. 3A et 3B.

La forme de réalisation représentée aux Fig. 2A et 2B et 4 et 5 considère un arrangement dans lequel quatre éléments d'antenne 21 sont couplés à un passage (multiple) du formateur de faisceau. Cet arrangement est pratique dans les radars à réseaux phasés dans lesquels on peut tolérer des lobes du réseau, commençant approximativement à 25° au-dessus et en dessous de la position de visée normale.

Dans un arrangement qui déplace les lobes du réseau à 40° au-dessus et en dessous de la position de visée, deux prises 34' vers le formateur de faisceau, au lieu d'une, peuvent être utilisées comme représenté à la Fig. 3A. Ici, le sous-ensemble T/R diffère de la première forme de réalisation seulement en ce qui concerne le réseau d'alimentation à lignes en bande 33. Au lieu d'un réseau d'alimentation constitué à quatre branches 33, les alimentations constituées à deux branches 33' sont nécessaires. Comme précédemment, la précision dans les alimentations constituées 33' n'est pas requise puisqu'elles sont à l'intérieur de la partie active de la boucle de calibrage qui est soumise à correction. Dans la forme de réalisation de la Fig. 3A, aucun changement n'est nécessaire dans les trajets de calibrage et seulement une

prise unique pour les quatre éléments d'antenne est nécessaire. Il n'y a pas de complication ajoutée dans la fonction de commande assurée par la puce de commande 38.

5 Suivant une autre forme de réalisation de l'invention, dans laquelle les lobes latéraux inférieurs sont partout désirés, quatre passages 34" vers le formateur de faisceau peuvent être prévus, un pour chacun des quatre décaleurs de phase 31. Comme précédemment, le sous-ensemble T/R peut être sensiblement le même que celui représenté dans les deux formes de réalisation antérieures, 10 différant seulement en ce qui concerne les réseaux de lignes en bande 33 par lesquels les signaux sont couplés depuis les quatre prises individuelles du formateur de faisceau aux quatre modules T/R individuels.

15 La discussion des ajustements de phase des deux trajets actifs dans les trois formes de réalisation de l'invention représente seulement deux des quatre ajustements communs désirablement appliqués aux trajets actifs. La Fig. 7, par exemple, montre un arrangement de commande 20 dans lequel chaque module T/R à l'intérieur du sous-ensemble T/R est soumis à la fois à la commande de phase pour l'émission, à la commande de phase pour la réception, mais aussi à la commande de puissance pendant l'émission et à une commande de gain pendant la réception. 25 (Le nombre des états de commande est indiqué par le nombre des bits en parallèle dans les trajets de commande, mais ceci est donné à titre d'exemple seulement et dépend des exigences spécifiques).

30 Comme représenté à la Fig. 7, le module T/R a un décaleur de phase 31 soumis à l'ajustement de phase pour à la fois l'émission et la réception, et un amplificateur de puissance 28 et un amplificateur à faible bruit 29. L'amplificateur de puissance 28 comprend un amplificateur de commande et un étage de sortie double. 35 L'amplificateur de puissance est soumis à la commande de

puissance et à l'autorisation. L'amplificateur à faible
bruit 29 consiste en trois étages dont le second est
soumis à une commande de gain variable numérique. Les
connexions de commande depuis la puce de commande 38 à un
5 module sont détaillées à la Fig. 7.

Les éléments de circuit représentés à la Fig. 7
pour une forme de réalisation fonctionnant à des fréquen-
ces supérieures à 1 gigahertz doivent employer une
matière en masse pour haute fréquence, telle que l'arsé-
10 niure de gallium pour des dispositifs actifs. Comme l'ar-
sénium de gallium est semi-isolant, un circuit monoli-
thique de micro-ondes intégré (MMIC) est préféré, circuit
dans lequel les éléments de circuits actifs et passifs
sont formés par une technique de photolithographie dans la
15 matière en masse. Les exigences séparées pour le décalage
de phase, l'amplification à faible bruit et l'amplifica-
tion de puissance et particulièrement la dissipation de
chaleur dictent que tout le circuit T/R de modules soit
formé de façon hybride avec plus qu'un dispositif "MMIC"
20 formé sur un substrat commun plus grand.

Le décaleur de phase commandé numériquement et
les éléments de gain commandés numériquement peuvent
avoir la forme décrite dans le brevet des E.U.A.
n° 4 638 190, intitulé "Digitally Controlled Wideband
25 Phase Shifter" et dans le brevet des E.U.A. n° 4 734 751,
intitulé "Signal Scaling MESFET of a Segmented Dual Gate
Design" tous deux déposés le 20 mai 1985 et cédés à la
General Electric Company. L'amplificateur à faible bruit
peut avoir la forme représentée dans la demande de brevet
30 des E.U.A., numéro de série 100 416 déposée le 24 septem-
bre 1987, intitulée "A MMIC Low Noise Amplifier" de
Anthony W. Jacomb-Hood, et cédée à la General Electric
Company.

A la Fig. 8, on montre une autre description de
35 la puce de commande de sous-ensemble 38, représentant les

connexions de commande vers chacun des quatre modules, et des nombres exemplaires de nombres de bits en parallèle, nécessaires pour affecter la précision de commande désirée.

5 La Fig. 8 représente aussi les deux éléments auxiliaires de la puce de commande 38 et les connexions entre la puce de commande 38 et le synchroniseur 37. Le synchroniseur fournit une commande centrale des états de l'appareil radar et des réglages du faisceau de tous les
10 sous-ensemble T/R agissant par des connexion prévues par le connecteur 39. Les éléments auxiliaires de la puce de commande 38 comprennent un convertisseur numérique/analogique et une mémoire ROM.

 La prévision de logement des équipements de
15 logique de commande et de puissance est représentée à la Fig. 9. Un substrat en aluminium plat 50 est prévu, conçu pour être adapté dans les parois latérales du sous-ensemble et avec lequel le fond du sous-ensemble définit l'espace pour recevoir les circuits de conditionnement de
20 logique de commande et de puissance. Le panneau de circuit assurant ces fonctions est porté à la surface inférieure du substrat. Les contacts de bord du panneau de circuit s'accordent avec quatre connecteurs conduisant à
25 chacun des quatre modules T/R 26 pour donner les connexions de commande et de puissance nécessaires à chaque module T/R. Le connecteur de commande et de puissance principal 39, au moyen duquel la commande de logique centrale et la commande de puissance sont assurées vers le sous-ensemble T/R, est montré au bord arrière du
30 substrat d'aluminium 50. Le connecteur de sous-ensemble T/R 39 s'adapte dans la paroi arrière du sous-ensemble T/R et, à son tour, il relie le sous-ensemble T/R aux connecteurs prévus dans le logement 2 de l'appareil de radar.

35 Les corrections de gain et de puissance et les

réglages pour les différents états des modules T/R individuels peuvent être commandés de la même manière que les corrections de phase et les réglages, mais, dans le cas usuel, un calibrage récurrent n'est pas nécessaire. Les propriétés de puissance et de gain des amplificateurs ont une stabilité convenable pour satisfaire aux exigences habituelles du système et ces propriétés sont surveillées de manière récurrente pour percevoir un écart par rapport à une valeur acceptable, après quoi le remplacement ou la réparation auront lieu.

Le calibrage de puissance et de gain se produit avant l'installation du sous-ensemble T/R dans l'appareil radar et les réglages nécessaires sont emmagasinés dans la mémoire locale. Comme représenté à la Fig. 7, le niveau de puissance d'émission dans l'amplificateur de puissance 28 peut être réglé suivant un nombre arbitraire d'étages numériques au moyen d'un amplificateur de puissance à gain variable. Semblablement, l'amplificateur 29 à faible bruit comprend comme son second étage un amplificateur à gain variable dont le gain peut être ajusté en 2^6 (64) étapes numériques. La résolution assurée peut être choisie de façon cohérente avec les exigences de performance du système. Avant que le sous-ensemble T/R soit finalement installé dans l'appareil radar, les gains de la commande de l'amplificateur de puissance et de l'amplificateur à faible bruit sont calibrés. Lorsque les valeurs désirées sont obtenues, les réglages des commandes nécessaires pour obtenir le gain normal et la puissance normale sont emmagasinés dans la mémoire associée à la puce 38 de commande de sous-ensemble. Ces valeurs deviennent alors une référence à partir de laquelle partent des ordres pour ajuster la pondération.

La surveillance de la précision des réglages de puissance et de gain utilise la boucle de calibrage et normalement accompagne le calibrage de phase. La surveil-

lance de puissance et de gain est exécutée dans le circuit percepteur d'erreur de calibrage du récepteur 11. Le récepteur est de préférence pourvu d'une norme d'amplitude interne qui est comparée à un signal de mesure d'une
5 amplitude connue convenable prévue à partir de l'excitateur et passant par le circuit actif dans les trajets actifs. Après avoir suivi le trajet d'émission et de réception actif, l'amplitude du signal de mesure à l'entrée du récepteur représente la puissance impartie par
10 l'amplificateur de puissance variable 28 ou le gain imparti par l'amplificateur à gain variable 29 et ainsi surveille la performance de ces éléments du module T/R.

Un sous-ensemble T/R ayant une mémoire, qui emmagasine les réglages de zéro pour la phase, le gain et
15 la puissance des modules constitutifs T/R, bien que chaque module T/R soit initialement différent, devient interchangeable avec les autres sous-ensembles T/R sans effet fâcheux sur la performance du réseau total.

Les modules T/R prévus dans chaque sous-ensemble T/R sont réduits à un petit nombre. La précision du
20 réseau final 25, utilisée pour calibrer les trajets vers les éléments d'antenne individuels, doit être exécutée avec soin dans l'égalisation des longueurs des trajets et se présente de préférence comme alimentation constituée
25 qui peut être branchée une fois, ou deux fois ou peut-être trois fois sans perte importante de précision pour permettre des modules au nombre de deux, quatre ou huit. Le coût et les autres contraintes conduisent à une préférence de deux modules T/R par rapport à un, et de quatre
30 par rapport à deux et tendent à favoriser de quatre par rapport à huit aux fréquences supérieures à 3 gigahertz.

D'autres facteurs tendent aussi à favoriser l'inclusion de quatre modules dans un sous-ensemble T/R
35 par rapport à d'autres nombres de modules. Chaque sous-

ensemble T/R doit se trouver dans les limites du panneau avant, établies par les éléments de rayonnement et leurs exigences spéciales. Dans un système de radar pratique fonctionnant à 5-6 gigahertz, l'intervalle entre chacun
5 des éléments rayonnants est approximativement de 1-1/4 de pouce horizontalement et de 1-5/8 de pouce verticalement. Les exigences du schéma de faisceau dictent normalement que les éléments d'antenne, dans un sous-ensemble unique, se trouvent dans une seule ligne ou colonne. Une orienta-
10 tion préférée est également normalement indiquée dans des applications où le faisceau est parcouru par des angles plus petits en élévation qu'en azimuth (ou vice versa). Dans le premier cas, les éléments rayonnants doivent se trouver dans une ligne verticale avec les dipôles indi-
15 viduels également alignés verticalement. Le résultat en est un empaquetage plat et allongé.

Cependant, comme la dissipation de puissance est très élevée, des passages des deux côtés des sous-ensemble T/R doivent être prévus pour une ventilation
20 adéquate. Ce facteur tend à faire que le sous-ensemble soit plus mince de plus d'un facteur de deux. Etant admis qu'une configuration mince est nécessaire, il devient difficile alors d'assurer une capacité de conditionnement de puissance adéquate et une logique de commande locale adéquate dans l'espace disponible. Le conditionnement de
25 puissance local largement représenté par les capacités d'emmagasinement est idéalement épais. Cependant, avec un modèle d'alimentation soigné, comme décrit dans la demande de brevet des E.U.A., numéro de série 140 292 de
30 William Peil, intitulée "A Regulating Switch For Transmitting Modules In A Phased Array Radar", une alimentation mince en puissance, compacte et convenable, peut être prévue pour un sous-ensemble T/R, convenant pour quatre modules de puissance et de commande et adéquate-
35 ment petite pour s'adapter dans l'espace disponible.

Un facteur final qui influence le nombre des modules par sous-ensemble T/R est la nécessité de disposer d'un espace de connecteur adéquat avec des connexions de puissance adéquatement courtes pour la fourniture
5 d'énergie pulsée de grande puissance. Le sous-ensemble T/R est conçu pour être retiré d'un panneau. Cette décision restreint les connecteurs à une surface étroite allongée au dos du sous-ensemble T/R. La puissance est de préférence centralisée dans un nombre minimal de broches
10 dans un conducteur unique à broches multiples 39. En ajoutant plus que quatre modules T/R, on tendrait à allonger les trajets verticaux pour les connexions de puissance, à augmenter l'inductance en série et à réduire l'efficacité de l'alimentation en puissance. Cette con-
15 trainte tend aussi à favoriser le fait que l'on n'emploie pas plus de quatre modules T/R par sous-ensemble T/R.

LEGENDE DES FIGURESSur les figures :

	TC	= trajet de calibrage
	TRF	= trajet de référence
5	TAE	= trajet actif d'émission
	TAR	= trajet actif de réception
	TAC	= trajet actif
	EM	= émission
	RE	= réception
10	SL	= ligne en bande
	MS	= microstrip
	M	= mémoire
	COR PH A	= correction phase amplitude
	E, R	= émission, réception
15	Sy	= synchroniseur
	OC	= ordinateur de calibrage
	AC	= amplificateurs (colonne)
	ANT	= antenne
	PC	= passage commun
20	AJ PHA	= ajustement phase
	AJ GN	= ajustement gain
	AJP	= ajustement puissance
	Ø	= décaleur de phase
	C	= commande
25	H	= horloge
	AM	= adresse de module
	FF	= formateur de faisceau
	ADS	= entrée données en série
	SDS	= sortie données en série
30	AD	= adresse
	MO	= module
	AT	= alimentation et terre
	IM	= interface de mémoire
	PHA	= phase
35	GN	= gain

LEGENDE DES FIGURES (SUITE)

MOD	= modules
COM	= commutateur
CEG	= commande gain émission

R E V E N D I C A T I O N S

1.- Combinaison pour maintenir une réponse de phase précise dans le trajet d'émission de l'excitateur à chaque élément d'antenne et dans le trajet de réception de chaque élément d'antenne au récepteur dans un appareil radar à réseau phasé comprenant $m \times n$ éléments, comprenant :

A. un excitateur fournissant un signal pour le calibrage et l'émission;

B. un récepteur comprenant un circuit perceuteur d'erreur de phase de calibrage, ayant un passage de référence couplé à l'excitateur et un passage de mesure;

C. des moyens formateurs de faisceau procurant $m \times n/j$ passages multiples où j est un petit entier comprenant 1, disposé dans les trajets actifs d'émission/réception de l'excitateur/récepteur aux éléments d'antenne, les moyens de formation de faisceau ayant un passage unique couplé intérieurement à des passages multiples, le passage unique conduisant à l'excitateur/récepteur, et chacun des passages multiples conduisant à un sous-ensemble j d'éléments d'antenne, les moyens formateurs de faisceau comprenant en outre des moyens pour séparer des signaux venant de l'excitateur vers les éléments d'antenne, par rapport à des signaux venant des éléments d'antenne vers le récepteur, les trajets actifs respectifs d'émission et de réception coïncidant à l'endroit des passages multiples du formateur de faisceau;

D. un réseau d'alimentation de calibrage constitué (c'est-à-dire toujours de même longueur électrique) fournissant un passage unique couplé intérieurement à $(m \times n/i)$ passages multiples, où i est un petit entier ne comprenant pas 1, une puissance de 2 et supérieure ou égale à j , chaque trajet étant de longueur électrique connue pour fournir un trajet de calibrage depuis chaque

élément d'antenne à l'excitateur/récepteur;

E. une $(m \times n/i)$ multiplicité de sous-ensembles émission/réception, ajustables en phase, chacun disposé dans les trajets actifs d'émission/réception pour chaque
5 sous-ensemble de i éléments d'antenne, chaque sous-ensemble comprenant :

(1) un réseau diviseur de ligne en bande à une microbande (microstrip) et de transition ayant j passages de ligne en bande, chacun relié à un passage multiple de
10 formateur de faisceau et i passages en microstrips (microbande);

(2) i modules d'émission/réception utilisant des trajets d'émission de microstrips, chaque module contenant les moyens électroniques actifs pour traiter les
15 signaux d'un élément d'antenne associé;

chaque module ayant

(i) un décaleur de phase commandable à deux sens, disposé dans un trajet actif d'émission/réception, relié à un passage de microbande du réseau diviseur et de transition, ayant une commande pour régler la phase;
20

(ii) un amplificateur de puissance disposé dans le trajet actif d'émission pour amplifier le signal de l'excitateur;

(iii) un amplificateur à faible bruit disposé dans le trajet actif de réception pour amplifier les signaux provenant de l'élément d'antenne associé;
25

(iv) une paire de trois moyens de branchement à passages d'émission/réception pour coupler des signaux provenant de l'excitateur, en passant par le décaleur de phase, via l'amplificateur de puissance vers un élément d'antenne associé pendant l'émission et pour coupler les signaux provenant de l'antenne, en passant par l'amplificateur à faible bruit, via le décaleur de phase, vers le récepteur pendant la réception, le passage d'émission/réception des premiers moyens de branchement étant couplé
30
35

au décaleur de phase;

(3) i transitions de microstrip à ligne en bande, couplées aux passages d'émission/réception des seconds moyens de branchement;

5 (4) un circuit d'antenne à ligne en bande couplé aux i transitions de ligne en bande, comprenant :

(i) i éléments d'antenne adjacents, alignés linéairement;

10 (ii) i coupleurs de calibrage directionnels disposés entre les transitions et les éléments d'antenne, chacun ayant un passage d'antenne couplé à un élément d'antenne, un passage émission/réception couplé au passage de ligne en bande d'une transition et un passage de calibrage; des signaux reçus par l'antenne étant couplés intérieurement
15 audit passage d'émission/réception, des signaux couplés audit passage d'émission/réception étant couplés intérieurement au passage d'antenne et au passage de calibrage et les signaux couplés au passage de calibrage étant couplés intérieurement au passage d'émission/réception; et

20 (iii) un réseau d'alimentation constitué ayant un passage unique pour la connexion à un réseau de calibrage couplé intérieurement à i passages multiples par des trajets de longueur électrique sensiblement la même, chaque passage multiple étant relié au passage de calibrage
25 de chaque coupleur de calibrage pour relier en série chaque trajet actif d'émission/réception à un trajet dans le réseau de calibrage pour faciliter le calibrage du trajet actif émission/réception, et

F. des moyens pour commuter le signal de sortie de
30 l'excitateur pour la mesure du trajet de fonctionnement d'émission, en une boucle consistant initialement en le trajet actif d'émission, en second lieu en un trajet de calibrage et revenant finalement au passage de mesure du récepteur et pour commuter le signal de sortie de l'excitateur pour recevoir la mesure du trajet actif en une
35

boucle consistant initialement en un trajet de calibrage, en second lieu en un trajet actif de réception et revenant finalement au passage de mesure du récepteur.

2.- Combinaison suivant la revendication 1, dans laquelle le décaleur de phase bidirectionnel de chaque module T/R comporte des états de phase numériques sujets à une commande logique.

3.- Combinaison suivant la revendication 1, dans laquelle l'amplificateur de puissance dans chaque module T/R a des états de puissance numériques, sujets à une commande logique.

4.- Combinaison suivant la revendication 1, dans laquelle l'amplificateur à faible bruit dans chaque module T/R a des états de gain numériques, sujets à une commande logique.

5.- Combinaison suivant la revendication 2, ayant en plus

- une logique de commande pour engendrer des états d'équipement et les ordres de direction du faisceau pour établir les états de phase des décaleurs de phase pendant les états actifs d'émission et de réception, la logique de commande comprenant :

- une mémoire pour emmagasiner les données d'erreur de phase obtenues pendant le calibrage, réfléchissant les erreurs de phase dans chaque trajet actif d'émission et de chaque trajet actif de réception, et

- des moyens pour ajuster les réglages de chacun des décaleurs de phase par les données d'erreurs de phase emmagasinées pour supprimer les erreurs de phase, réduisant ainsi des variations indésirables dans les phases des trajets actifs.

6.- Combinaison suivant la revendication 5, dans laquelle

- les amplificateurs de puissance dans chaque module T/R ont des états de puissance numériques sujets

à une commande logique,

- les amplificateurs à faible bruit de chaque module T/R ont des états de gain numériques sujets à une commande logique, et

5 - la logique de commande engendre des ordres d'état d'équipement et de direction du faisceau pour régler les états de puissance des amplificateurs de puissance pendant l'état de fonctionnement actif d'émission, et les états de gain des amplificateurs à faible bruit
10 pendant l'état de fonctionnement ou actif de réception.

7.- Combinaison suivant la revendication 6, dans laquelle la logique de commande comprend :

- une mémoire pour emmagasiner les données d'erreurs de puissance et de gain obtenues par le calibrage, et
15

- des moyens pour ajuster les réglages des amplificateurs de puissance et des amplificateurs à faible bruit par des données d'erreurs emmagasinées pour supprimer les erreurs de puissance et de gain, en réduisant ainsi des variations indésirables de la puissance dans les trajets actifs d'émission, et du gain dans les trajets actifs de réception.
20

8.- Combinaison suivant la revendication 7, dans laquelle

25 - la mémoire pour emmagasiner les données d'erreurs de puissance et de gain obtenues par le calibrage est une mémoire à lecture seulement (ROM) inscrite pendant le calibrage, et où la logique de commande comprend :

30 - des moyens pour surveiller les réglages des amplificateurs de puissance et des amplificateurs de faible bruit pour déterminer quand la performance en puissance et en gain dévie de façon importante par rapport aux valeurs désirées, de façon à exiger la suppression et
35 le remplacement.

9.- Combinaison suivant la revendication 1, dans laquelle

- le réseau diviseur de ligne en bande aux microstrips et de transition et les transitions des i microstrips aux lignes en bande sont déconnectables pour permettre la suppression de ses modules T/R du sous-ensemble T/R pour faciliter le remplacement sans changer la performance électrique.

10.- Combinaison suivant la revendication 9, dans laquelle

- la quantité i est de quatre, et
- la quantité j est de un, deux ou quatre.

11.- Sous-ensemble T/R réglable en phase pour un ensemble de i éléments d'antenne où i est un petit entier ne comprenant pas 1 et une puissance de 2, le sous-ensemble T/R étant propre à être utilisé avec une multiplicité de sous-ensembles T/R dans un appareil radar à réseau phasé auto-calibrant, ayant m x n éléments d'antenne et comprenant un réseau de calibrage procurant un trajet de calibrage pour chaque ensemble de i éléments d'antenne, le sous-ensemble T/R comprenant :

- (1) j passages d'entrée de signal à ligne en bande, où j est un petit entier comprenant 1, inférieur à ou égal à i;
- (2) un réseau diviseur de ligne en bande à microstrips et de transition, ayant j passages de ligne en bande, chacun relié à un passage d'entrée de signal et à i passages de microstrips;
- (3) i modules d'émission/réception utilisant des trajets d'émission de microstrips (microbandes), chaque module contenant des moyens électroniques actifs pour traiter les signaux d'un élément d'antenne associé; chaque module ayant
 - (i) un décaleur de phase commandable à deux directions, disposé dans un trajet actif d'émission/réception

relié à un passage de microstrips du réseau diviseur et de transition, ayant une commande pour régler la phase;

(ii) un amplificateur de puissance disposé dans le trajet actif d'émission pour amplifier le signal de l'ex-
5 citateur;

(iii) un amplificateur à faible bruit disposé dans le trajet actif de réception pour amplifier les signaux provenant de l'élément d'antenne associé;

(iv) une paire de moyens de branchement d'émission/-
10 réception à trois passages, le premier moyen de branchement ayant un passage d'émission/réception couplé au décaleur de phase pour coupler les signaux provenant du décaleur de phase, en passant par l'amplificateur de puissance, à un élément d'antenne associé pendant l'émission, et le second moyen de branchement ayant un passage
15 d'émission/réception pour coupler les signaux venant de l'antenne, en passant par l'amplificateur à faible bruit, au décaleur de phase pendant la réception;

(4) i transitions de microstrips à lignes en bande
20 couplées aux passages d'émission/réception du second moyen de branchement;

(5) un circuit d'antenne à lignes en bande comprenant :

(i) i éléments d'antenne adjacents alignés linéai-
25 rement;

(ii) i coupleurs de calibrage directionnels, disposés entre les transitions et les éléments d'antenne, chacun ayant un passage d'antenne couplé à un élément d'antenne, un passage d'émission/réception couplé au passage de lignes en bande d'une transition et un passage de
30 calibrage; des signaux reçus par l'antenne étant couplés intérieurement au passage d'émission/réception, les signaux couplés au passage d'émission/réception étant couplés intérieurement audit passage d'antenne et au passage de calibrage, et les signaux couplés au passage de
35

calibrage étant couplés intérieurement au passage d'émission/réception, et

(iii) un réseau d'alimentation constitué ayant un passage unique pour la connexion à un réseau de calibrage, couplé intérieurement à i passages multiples par des trajets de même longueur électrique, chaque passage multiple étant relié au passage de calibrage de chaque coupleur de calibrage pour la connexion en série de chaque trajet actif d'émission/réception, à un trajet dans le réseau de calibrage pour faciliter le calibrage du trajet d'émission/réception actif.

12.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 11, dans lequel

- le décaleur de phase bidirectionnel de chaque module T/R a des états de phase numériques sujets à une commande logique.

13.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 11, dans lequel

- l'amplificateur de puissance dans chaque module T/R a des états de puissance numériques sujets à une commande logique.

14.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 11, dans lequel

- l'amplificateur à faible bruit de chaque module T/R a des états de gain numériques, sujets à une commande logique.

15.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 12, ayant en plus

- un connecteur pour fournir un état d'équipement, et des ordres de direction de faisceau audit sous-ensemble T/R, et

- une logique de commande répondant à l'état d'équipement et aux ordres de direction du faisceau pour établir les états de phase des i décaleurs de phase pendant les états actifs d'émission et de réception.

16.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 15, dans lequel

5 - les i amplificateurs de puissance de chaque module T/R ont des états de puissance numériques sujets à une commande logique;

 - les i amplificateurs à faible bruit de chaque module T/R ont des états de gain numériques sujets à une commande logique, et

10 - la logique de commande répond aux données d'états d'équipement et aux ordres de direction du faisceau pour établir les états de puissance des i amplificateurs de puissance pendant l'état actif d'émission, et les états de gain des i amplificateurs à faible bruit pendant l'état actif de réception.

15 17.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 16, dans lequel la logique de commande comprend :

 - une mémoire pour emmagasiner les données d'erreurs obtenues par le calibrage, et

20 - des moyens pour ajuster la réponse auxdits ordres par les données d'erreurs emmagasinées pour supprimer les erreurs, en réduisant ainsi des variations indésirables entre les modules.

25 18.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 11, dans lequel

 - le réseau diviseur de lignes en bande à microstrips et de transition et les transitions des i microstrips aux lignes en bande sont déconnectables pour permettre l'enlèvement d'un module T/R du sous-ensemble
30 T/R et son remplacement sans changement dans la performance électrique.

 19.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 18, dans lequel

 - la quantité i est de quatre, et

35 - la quantité j est de un, deux ou quatre.

20.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase destiné à être utilisé dans un appareil radar à des fréquences supérieures à environ 3 gigahertz, suivant la revendication 18, dans lequel

5 - le sous-ensemble T/R est dimensionné pour être installé en lignes et en colonnes avec des sous-ensembles T/R semblables dans le bâti de l'ouverture d'antenne d'un appareil radar, l'avant du sous-ensemble T/R en question étant conçu pour être exposé et l'arrière
10 étant conçu pour être logé dans le bâti,

 - l'avant de chaque sous-ensemble T/R étant allongé pour permettre une ligne de i éléments d'antenne exposés et la section transversale derrière l'avant étant mince pour permettre la circulation d'air entre des sous-
15 ensembles T/R adjacents, tout en maintenant l'espacement nécessaire entre les éléments d'antenne, et

 - les connexions au sous-ensemble T/R étant prévues à l'arrière pour permettre la connexion par insertion du sous-ensemble T/R dans le bâti.

20 21.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 20, dans lequel

 - le réseau diviseur de lignes en bande à microstrips et de transition, les i modules d'émission/-réception et le circuit de lignes en bande sont arrangés
25 dans l'ordre énuméré, de l'avant à l'arrière dans le sous-ensemble T/R.

22.- Sous-ensemble T/R ajustable en phase suivant la revendication 20, dans lequel

 - le décaleur de phase, l'amplificateur de
30 puissance et l'amplificateur à faible bruit emploient des éléments de circuits actifs et passifs d'une construction à base d'arséniure de gallium.

23.- Combinaison pour le calibrage du trajet d'émission de l'excitateur à chaque élément d'antenne et
35 du trajet de réception de chaque élément d'antenne au

récepteur dans un appareil radar à réseau phasé de $m \times n$ éléments, comprenant :

- A. un excitateur fournissant un signal pour le calibrage et l'émission;
 - 5 B. un récepteur comprenant un circuit percevant les erreurs de calibrage, ayant un passage de référence couplé à l'excitateur et un passage de mesure;
 - C. des moyens formateurs de faisceau fournissant $m \times n/j$ passages multiples, où j est un petit entier comprenant 1, disposé dans les trajets actifs d'émission/ré-
10 ception de l'excitateur/récepteur aux éléments d'antenne, les moyens formateur de faisceau ayant un passage unique couplé intérieurement à des passages multiples, le passage unique conduisant à l'excitateur/récepteur, et cha-
15 cun des passages multiples conduisant à un sous-ensemble j d'éléments d'antenne, les moyens formateurs de faisceau comprenant en outre des moyens pour séparer des signaux venant de l'excitateur vers les éléments d'antenne, de signaux venant des éléments d'antenne vers le récepteur,
20 les trajets actifs respectifs d'émission et de réception coïncidant à l'endroit des passages multiples du formateur de faisceau;
 - D. un réseau d'alimentation de calibrage constitué, procurant un passage unique couplé intérieurement à
25 $(m \times n/i)$ passages multiples, où i est un petit entier, chaque trajet étant d'une longueur électrique connue pour donner un trajet de calibrage pour chaque élément d'antenne vers l'excitateur/récepteur;
 - E. une multiplicité de $(m \times n/i)$ fois sous-ensem-
30 bles d'émission/réception, chacun disposé dans les trajets actifs d'émission/réception pour chaque sous-ensemble de i éléments d'antenne, chaque sous-ensemble comprenant :
- (1) i modules d'émission/réception, chaque module
35 contenant les éléments électroniques actifs pour traiter

les signaux d'un élément d'antenne associé;

chaque module ayant

(i) un décaleur de phase bidirectionnel disposé dans un trajet actif d'émission/réception;

5 (ii) un amplificateur de puissance disposé dans le trajet actif d'émission pour amplifier le signal de l'excitateur;

10 (iii) un amplificateur à faible bruit disposé dans le trajet actif de réception pour amplifier les signaux venant de l'élément d'antenne associé;

(iv) une paire de moyens de branchement d'émission/-réception à trois passages pour coupler des signaux provenant de l'excitateur, en passant par le décaleur de phase et en passant par l'amplificateur de puissance, à 15 un élément d'antenne associé pendant l'émission, et pour coupler des signaux venant de l'antenne, en passant par l'amplificateur à faible bruit et en passant par le décaleur de phase, au récepteur pendant la réception, le passage d'émission/réception du premier moyen de branchement 20 étant couplé au décaleur de phase;

(2) un circuit d'antenne couplé aux passages d'émission/réception des seconds moyens de branchement, comprenant :

25 (i) i éléments d'antenne adjacents alignés linéairement;

(ii) i coupleurs de calibrage directionnels disposés entre les transitions et les éléments d'antenne, chacun ayant un passage d'antenne couplé à un élément d'antenne, un passage d'émission/réception couplé au passage de 30 lignes en bande d'une transition et un passage de calibrage; les signaux reçus par l'antenne étant couplés intérieurement au passage d'émission/réception, les signaux couplés au passage d'émission/réception étant couplés intérieurement au passage d'antenne et au passage 35 de calibrage, et les signaux couplés au passage de cali-

brage étant couplés intérieurement au passage d'émission/réception, et

(iii) un réseau ayant un passage unique pour la connexion à un réseau de calibrage couplé intérieurement à un ensemble de i passages par des trajets de longueur électrique sensiblement la même, chacun des i ensembles de passage étant relié au passage de calibrage de chaque coupleur de calibrage pour la connexion en série de chaque trajet actif d'émission/réception à un trajet dans le réseau de calibrage, pour faciliter le calibrage du trajet actif d'émission/réception, et

F. des moyens pour commuter sélectivement la sortie de l'excitateur pour émettre une mesure du trajet actif dans une boucle consistant initialement en un trajet actif d'émission, en second lieu en un trajet de calibrage et finalement en revenant au passage de mesure du récepteur, et pour commuter la sortie de l'excitateur pour la mesure du trajet actif de réception en une boucle consistant initialement en un trajet de calibrage, en second lieu en un trajet actif de réception et revenant finalement au passage de mesure du récepteur.

24.- Combinaison suivant la revendication 23, dans laquelle

- la quantité j est de 1, 2 ou 4, et
- la quantité i est de 4.

FIG. 1A

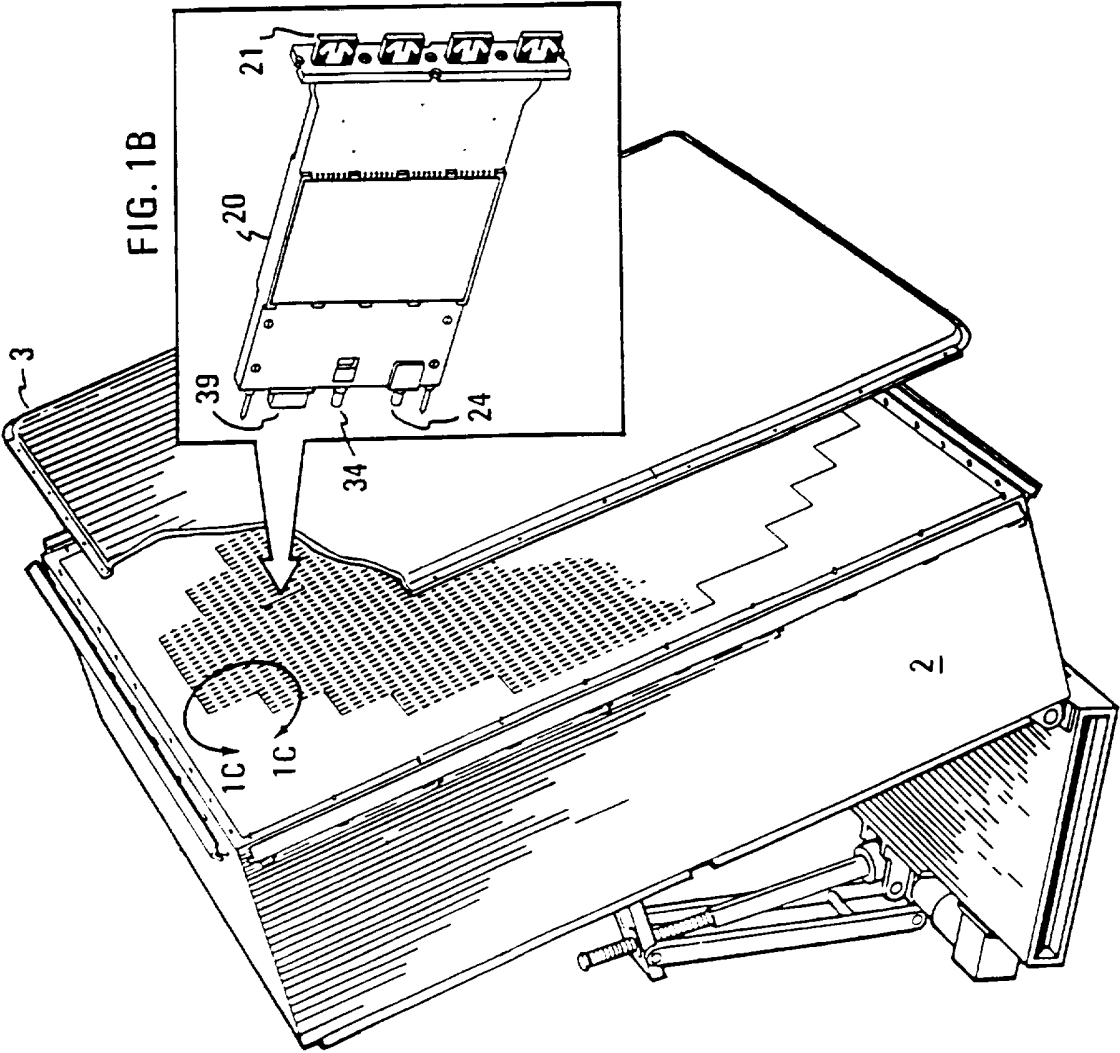


FIG. 1C

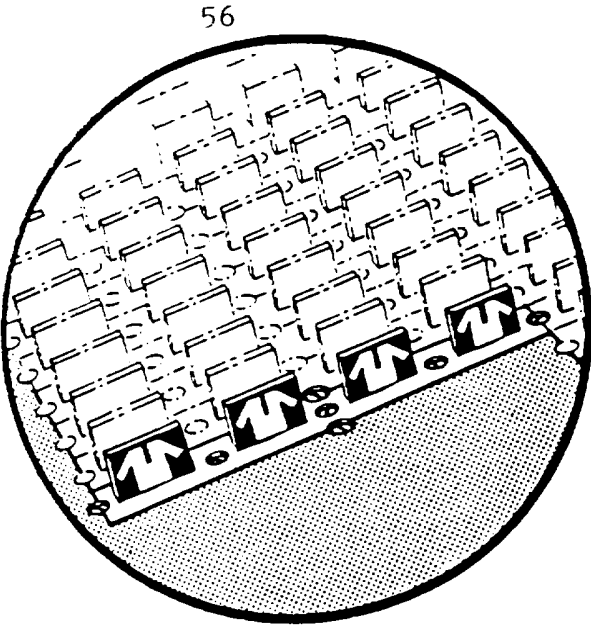


FIG. 2A

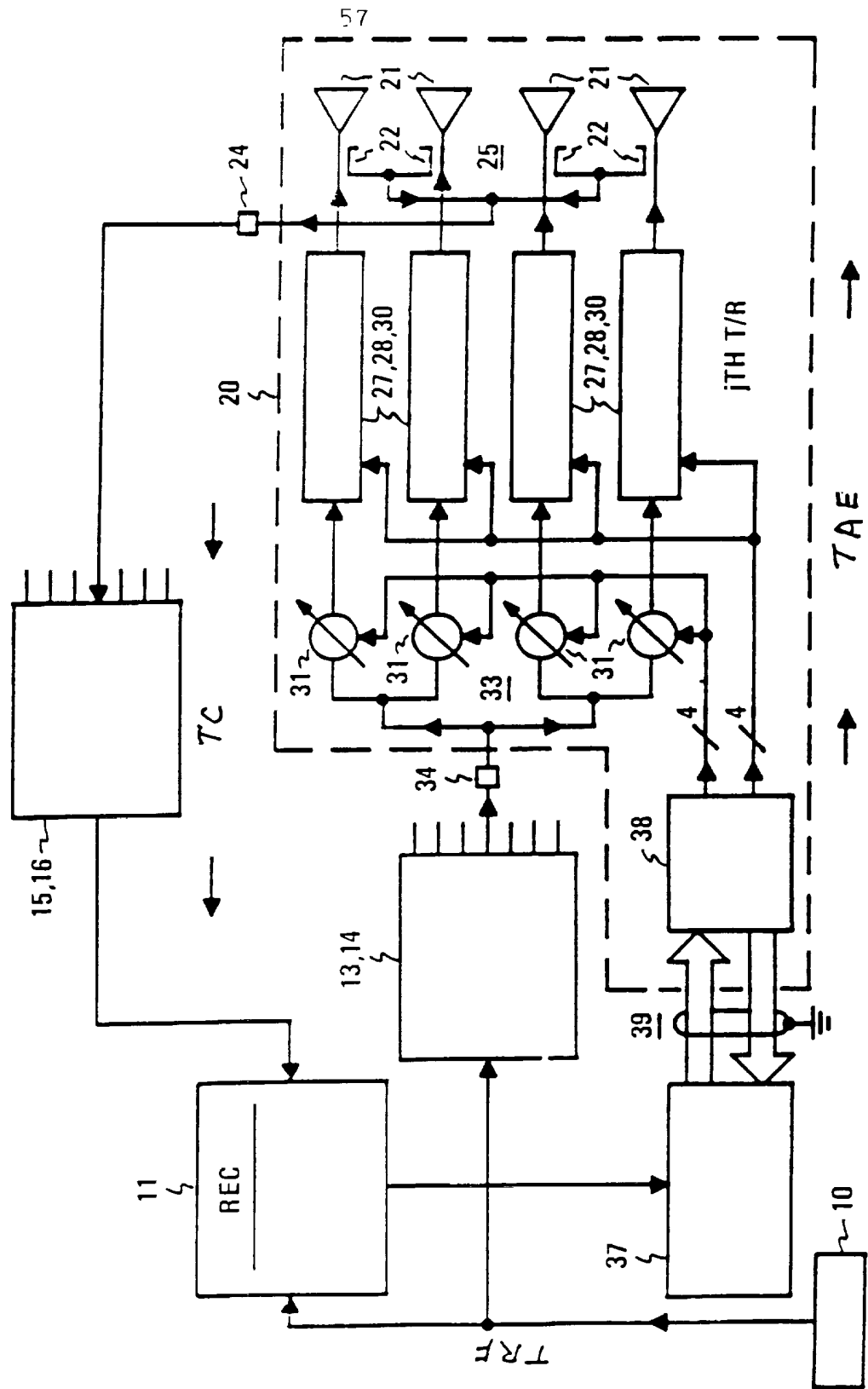


FIG. 2B

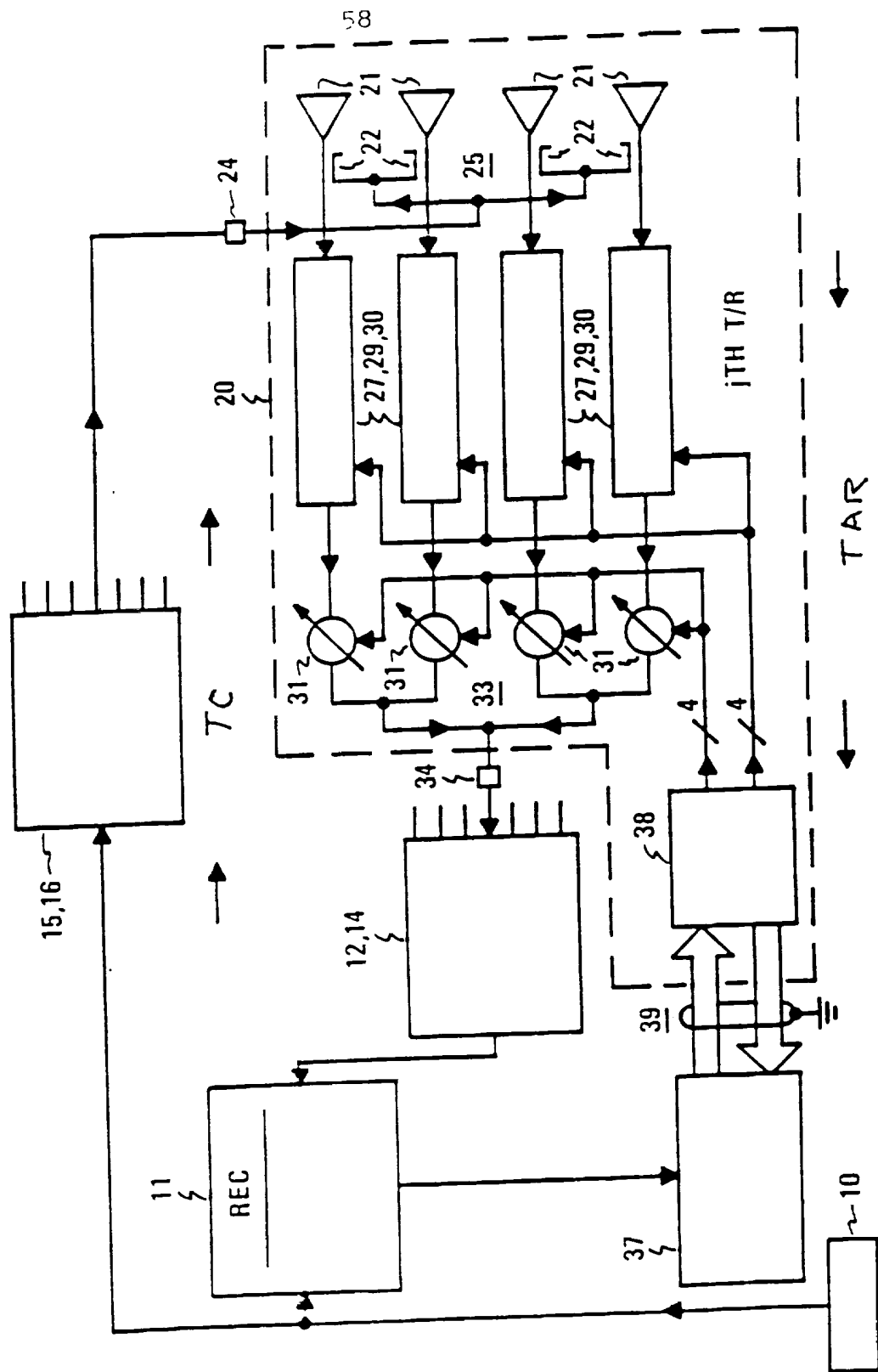


FIG. 3A

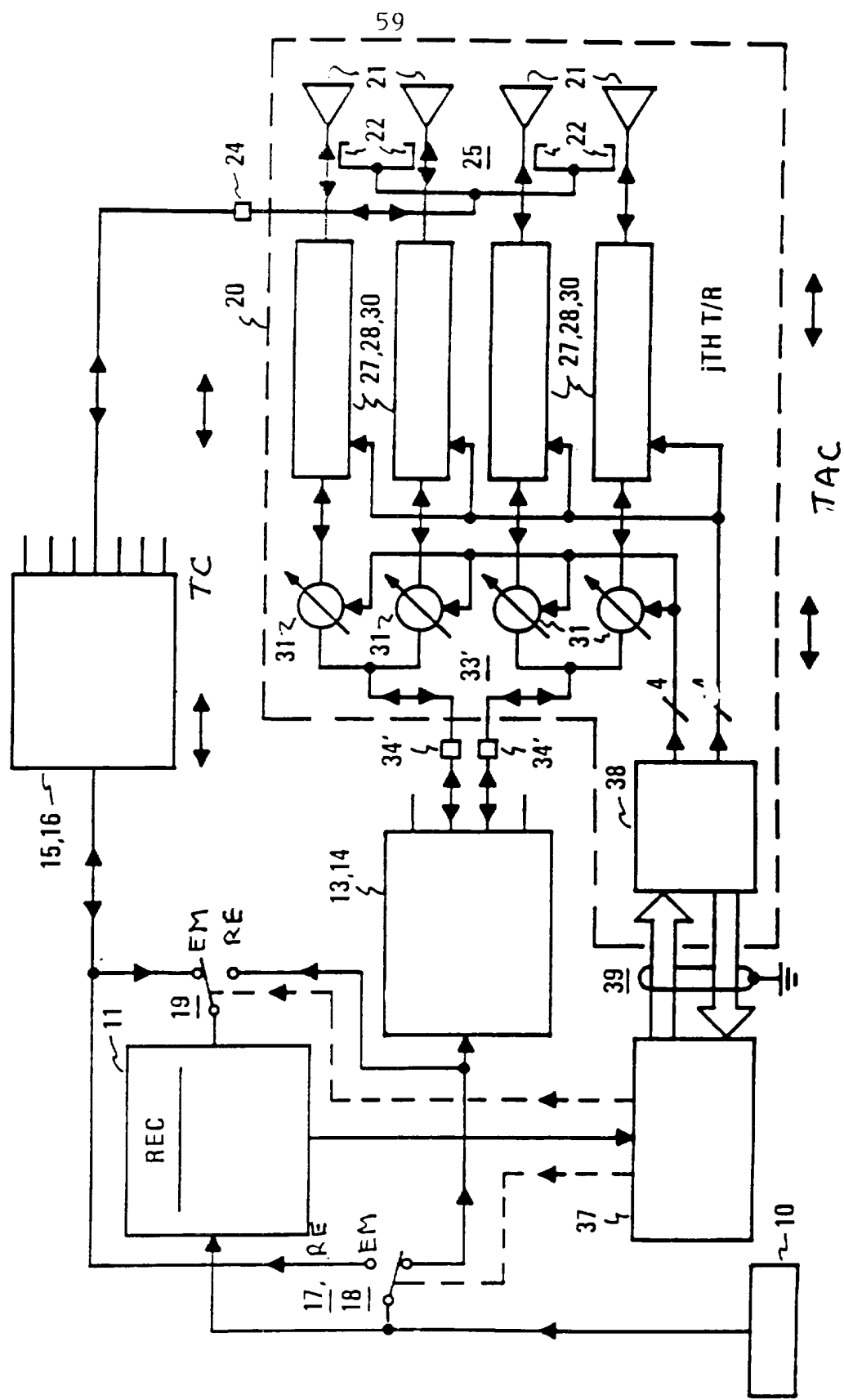


FIG. 4

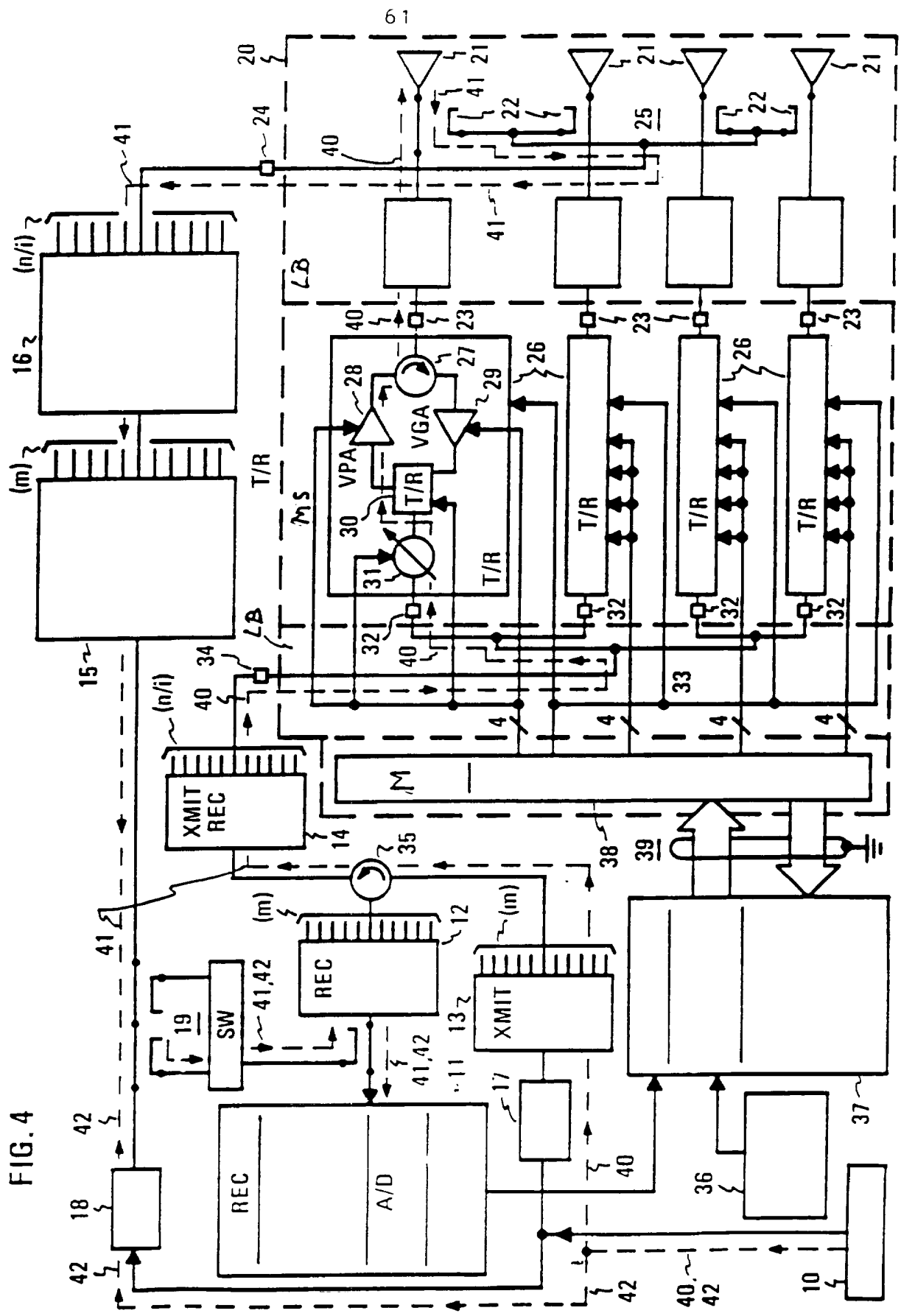


FIG. 5

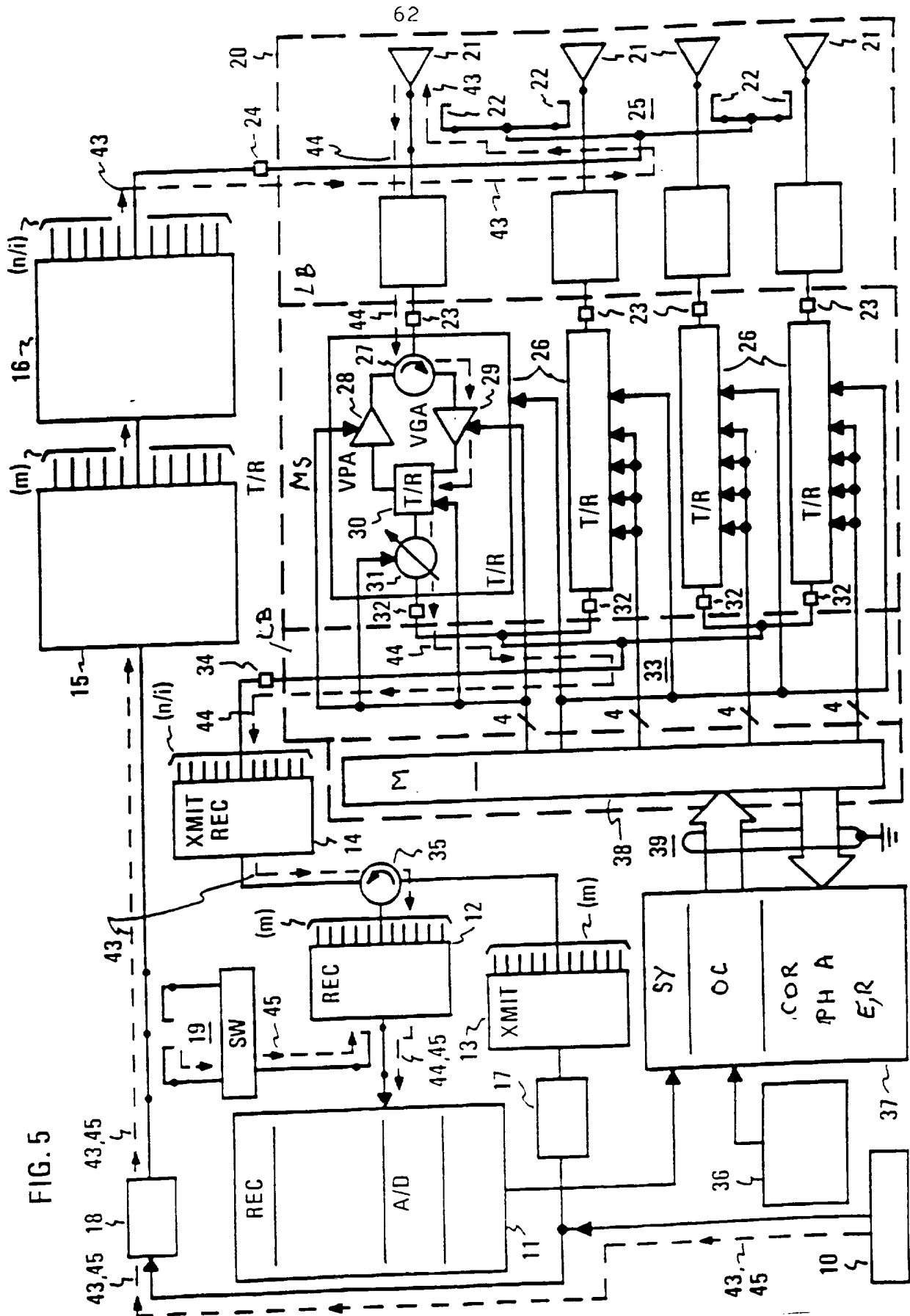


FIG. 6

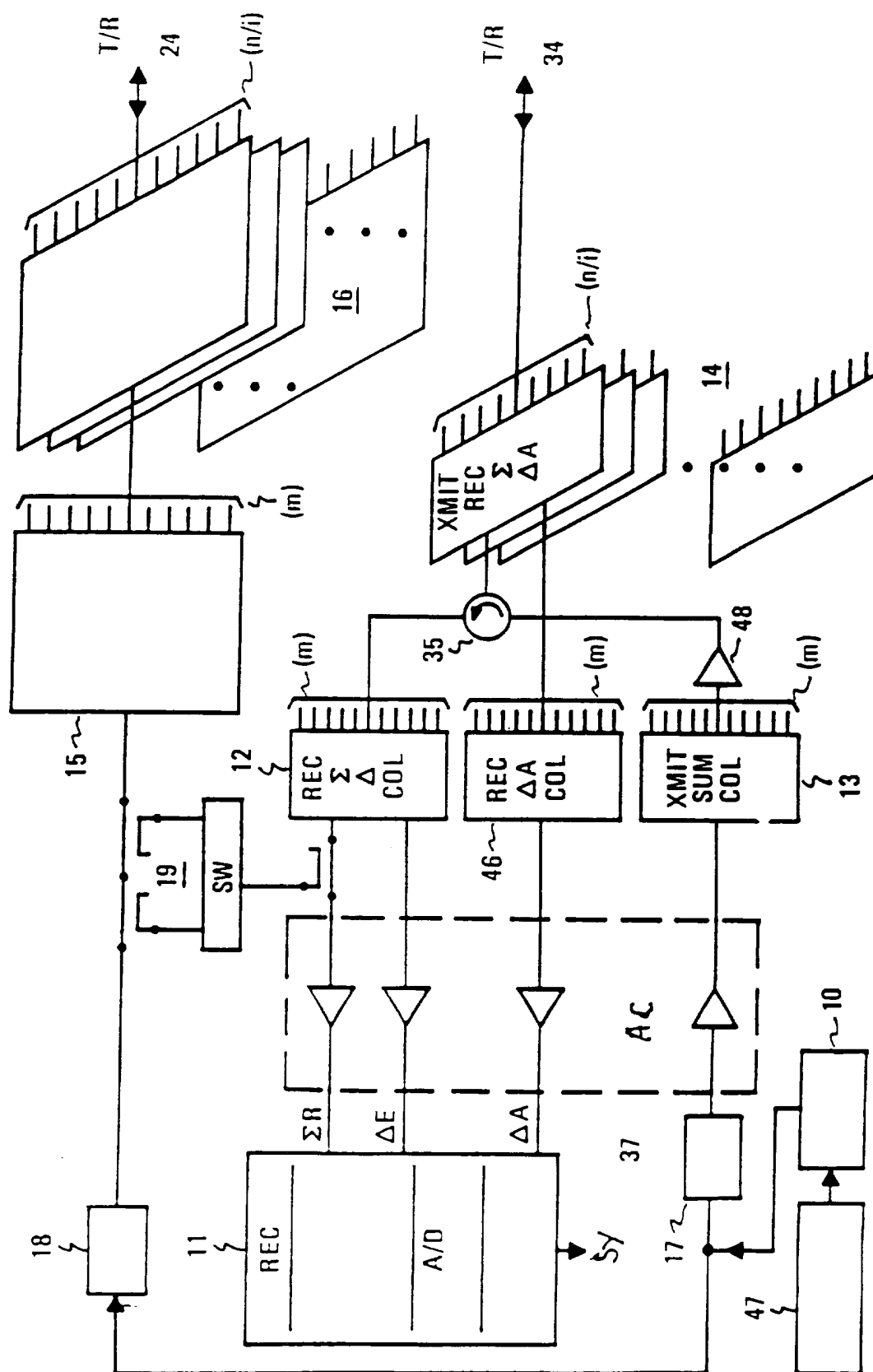


FIG. 7

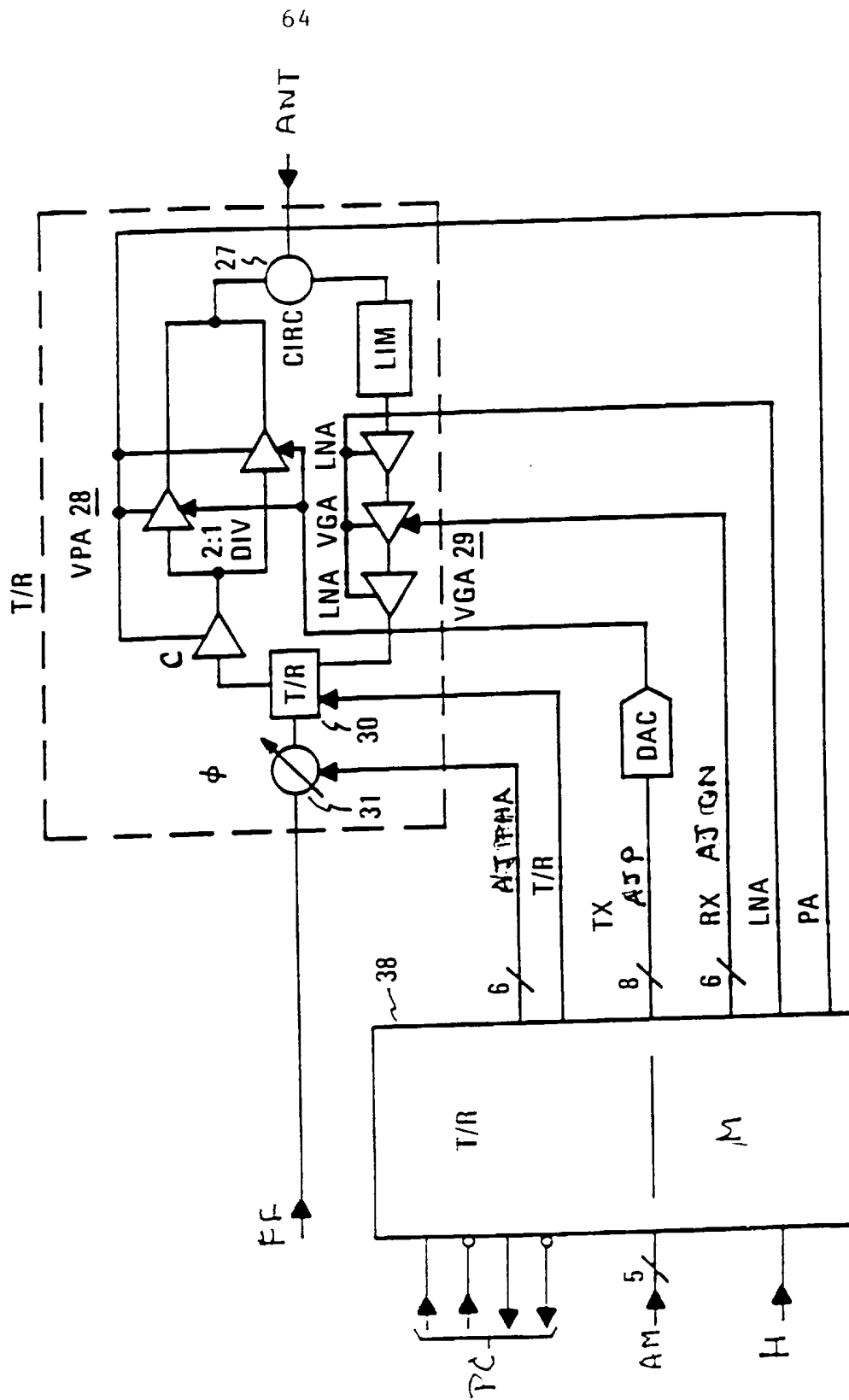


FIG. 8

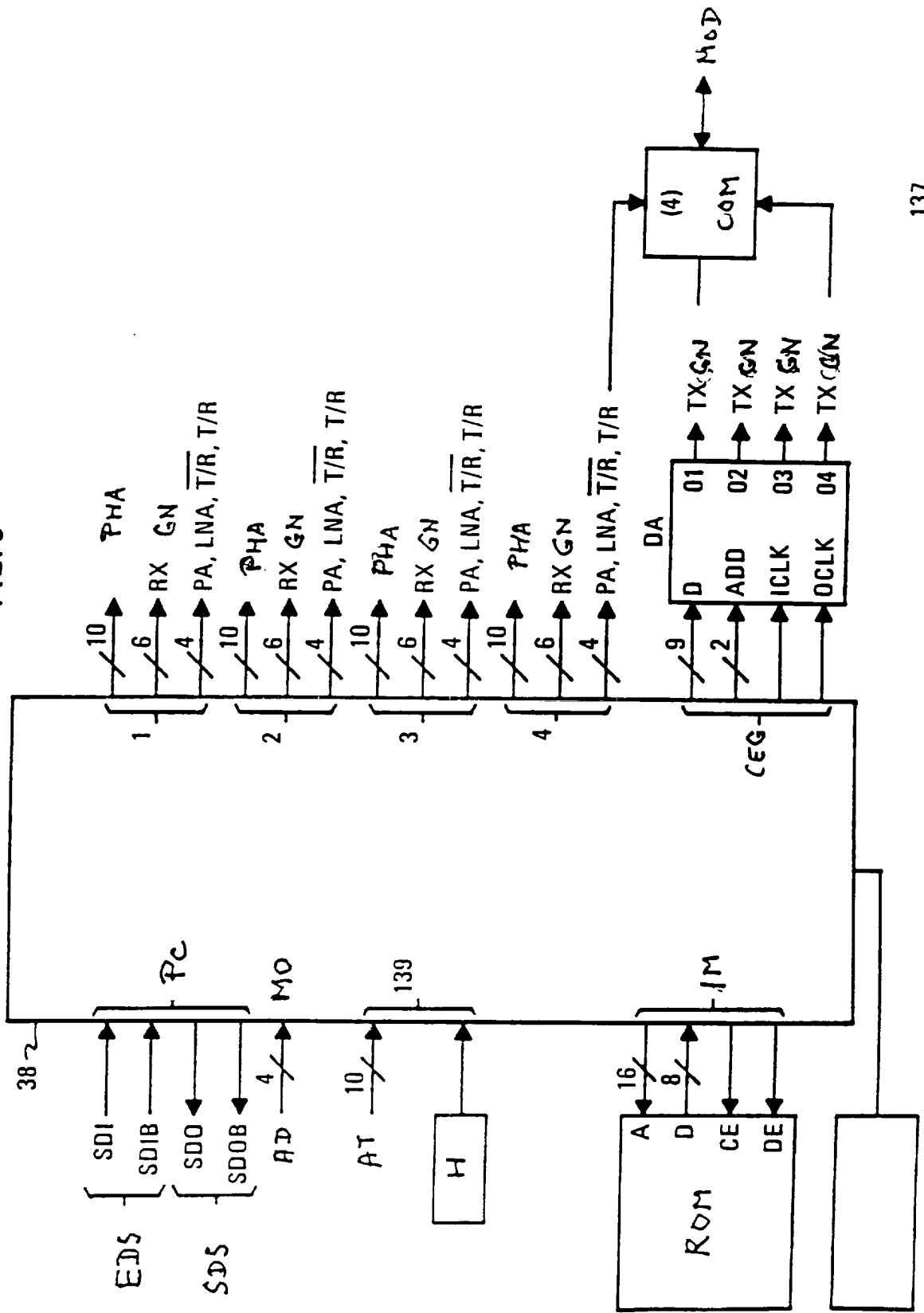
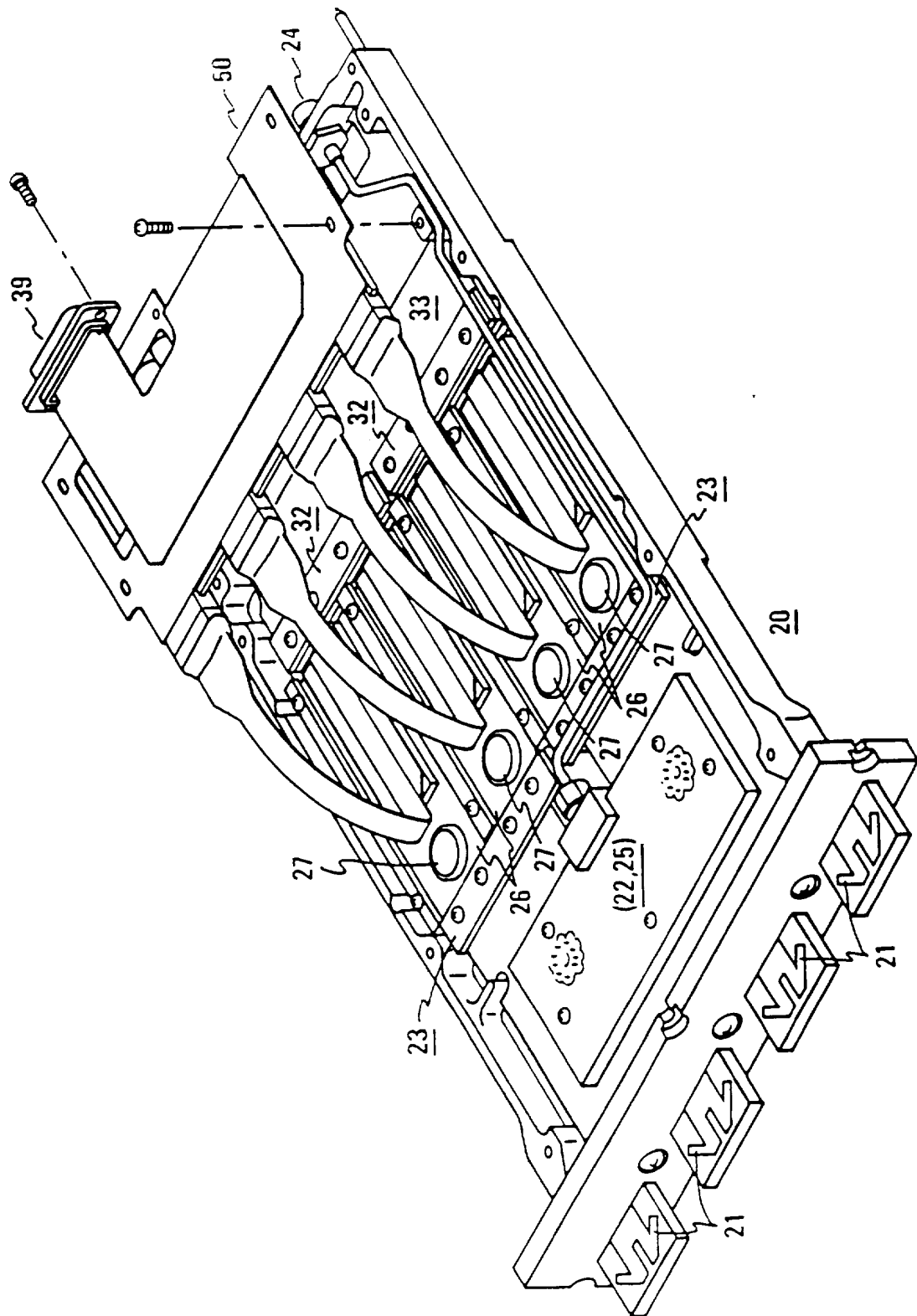


FIG. 9



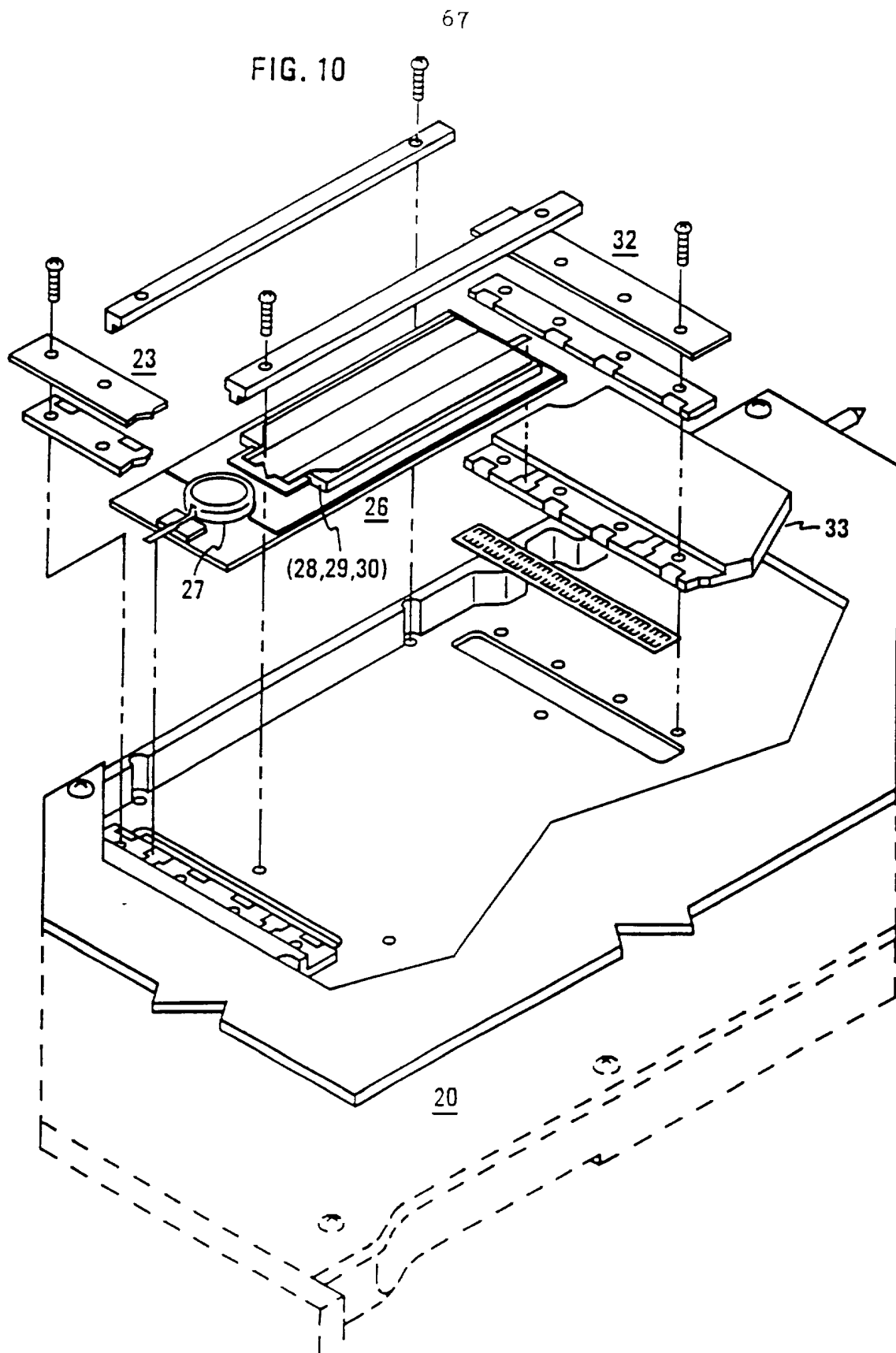


FIG. 11A

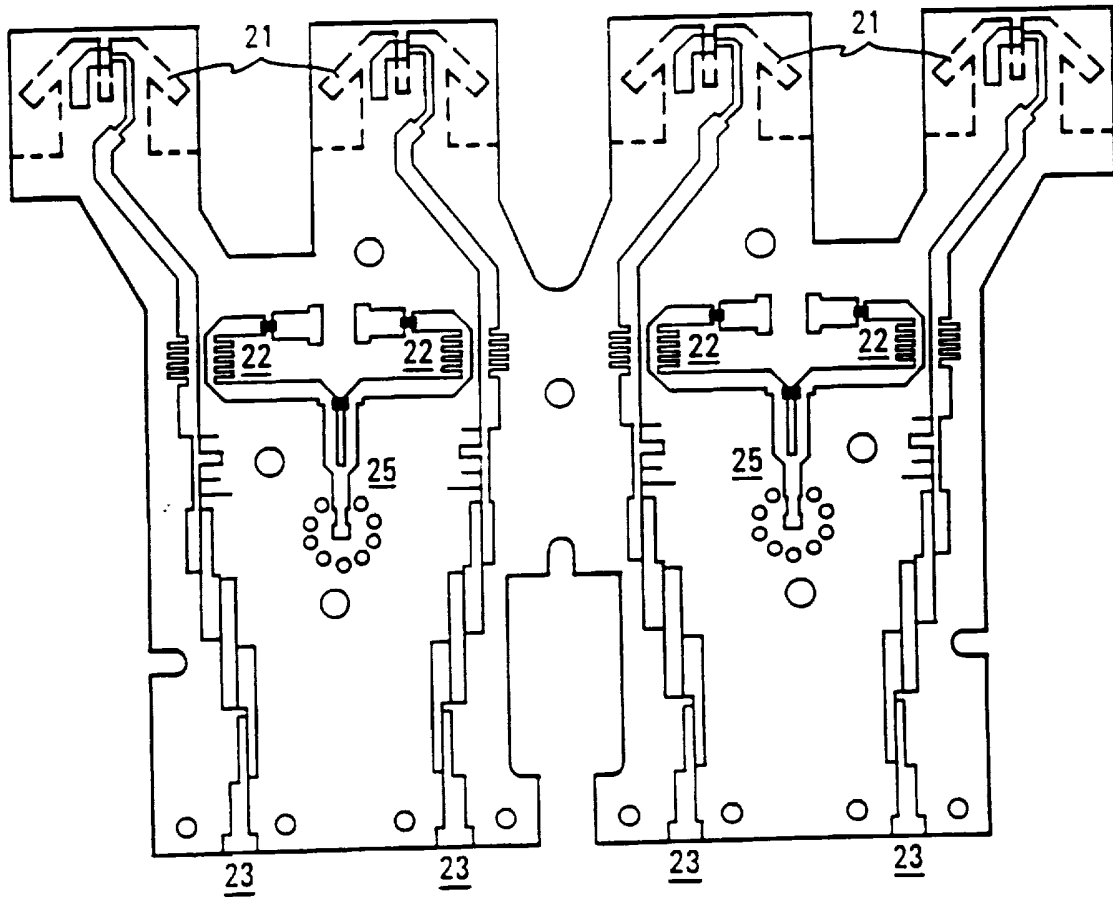
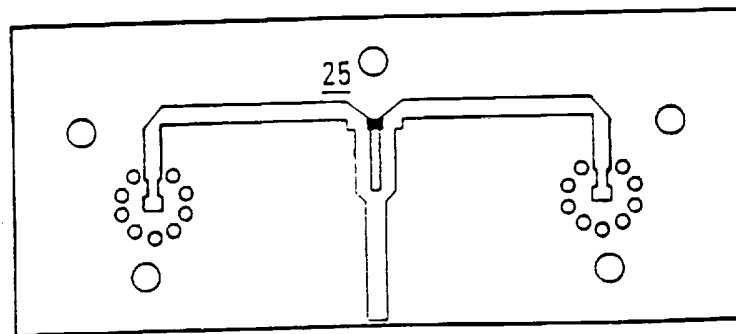


FIG. 11B





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE
établi en vertu de l'article 21 § 1 et 2
de la loi belge sur les brevets d'invention
du 28 mars 1984

Numero de la demande
nationale

BO 6915
BE 8900369

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	US 4 532 518 A (GAGLIONE ET AL.) 30 juillet 1985 * revendications 1-3; figures 1-5 * ---	1,11	H01Q3/26 H01Q21/00 G01S7/40
A	US 4 176 354 A (HSIAO ET AL.) 27 novembre 1979 * revendications 1-8; figure * -----	1,11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			H01Q G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 avril 1998		Angrabeit, F	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.**

B0 6915
BE 8900369

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

29-04-1998

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4532518 A	30-07-1985	AUCUN	
US 4176354 A	27-11-1979	AUCUN	