



Office de la Propriété

Intellectuelle
du Canada

Un organisme
d'Industrie Canada

Canadian
Intellectual Property
Office

An agency of
Industry Canada

CA 2351119 A1 2002/01/06

(21) 2 351 119

(12) DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) A1

(22) Date de dépôt/Filing Date: 2001/06/19

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2002/01/06

(30) Priorité/Priority: 2000/07/06 (00 08 794) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ H01Q 21/29, H01Q 1/28, H04B 7/19

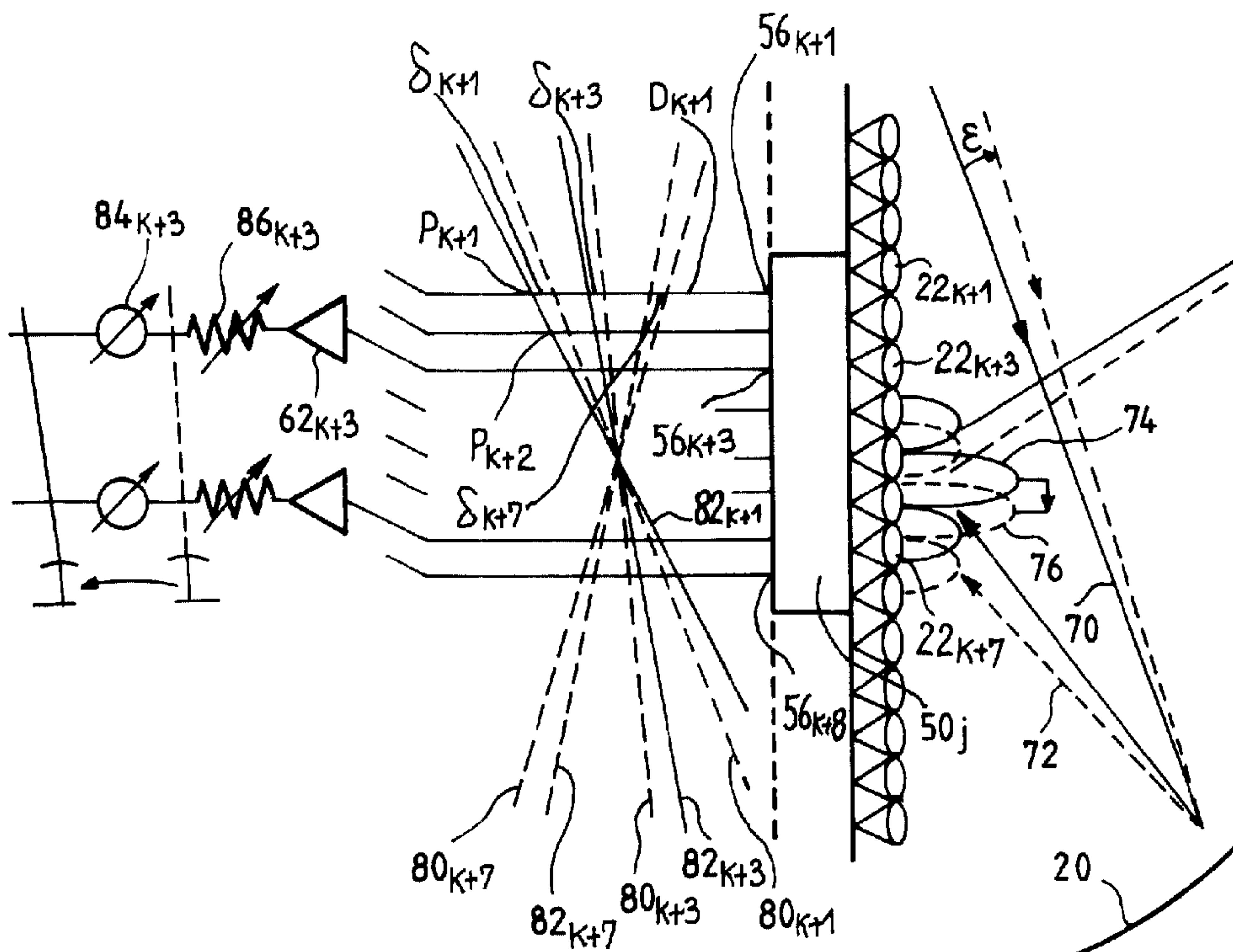
(71) Demandeur/Applicant:
ALCATEL, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
CAILLOCE, YANN, FR;
CAILLE, GERARD, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : ANTENNE DE TELECOMMUNICATION DESTINEE A COUVRIR UNE LARGE ZONE TERRESTRE

(54) Title: TELECOMMUNICATION ANTENNA TO COVER A LARGE LAND AREA



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne une antenne de réception (ou d'émission) pour satellite géostationnaire d'un système de télécommunication destiné à couvrir un territoire divisé en zones, le faisceau destiné à chaque zone étant défini à partir de plusieurs éléments rayonnants, ou sources (22), disposés au voisinage du plan focal d'un réflecteur. L'antenne comprend au moins une première matrice (50_j) de Butler dont chaque entrée est connectée à un élément rayonnant (22_{k+1}, ..., 22_{k+8}) et dont chaque sortie (ou entrée) (56_{k+1}, ..., 56_{k+8}) est reliée à une entrée correspondante d'une matrice (54_j) de Butler inverse par l'intermédiaire d'un amplificateur (62_{k+1}) et d'un déphaseur (84_{k+1}). Les déphasateurs sont commandés pour déplacer les zones ou corriger les défauts de pointage.

ABREGE

L'invention concerne une antenne de réception (ou d'émission) pour satellite géostationnaire d'un système de télécommunication destiné à couvrir un territoire divisé en zones, le faisceau destiné à chaque zone étant défini à partir de plusieurs éléments rayonnants, ou sources (22), disposés au voisinage du plan focal d'un réflecteur.

L'antenne comprend au moins une première matrice (50_j) de Butler dont chaque entrée est connectée à un élément rayonnant (22_{k+1}, ..., 22_{k+8}) et dont chaque sortie (ou entrée) (56_{k+1}, ..., 56_{k+8}) est reliée à une entrée correspondante d'une matrice (54_j) de Butler inverse par l'intermédiaire d'un amplificateur (62_{k+1}) et d'un déphaseur (84_{k+1}).

Les déphaseurs sont commandés pour déplacer les zones ou corriger les défauts de pointage.

ANTENNE DE TELECOMMUNICATION DESTINÉE A COUVRIR UNE LARGE ZONE TERRESTRE

L'invention est relative à une antenne de télécommunication installée dans un satellite géostationnaire et 5 destinée à relayer des communications sur un territoire étendu.

Pour assurer des communications sur un territoire étendu, par exemple de la dimension de l'Amérique du Nord, on fait appel un satellite géostationnaire comprenant une antenne d'émission et une antenne de réception dont chacune présente un 10 réflecteur associé à une multiplicité d'éléments rayonnants ou sources. Afin de pouvoir réutiliser des ressources en communication, notamment des sous-bandes de fréquences, le territoire à couvrir est divisé en zones et ces ressources sont affectées aux diverses zones de façon telle que lorsqu'à une zone 15 est affectée une ressource, aux zones adjacentes on affecte des ressources différentes.

Chaque zone, par exemple, d'un diamètre de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres, est d'une étendue telle qu'elle doit être couverte par plusieurs éléments rayonnants afin 20 d'assurer un gain élevé et une homogénéité suffisante du rayonnement de l'antenne dans la zone.

Ainsi sur la figure 1, on a représenté un territoire 10 couvert par une antenne à bord d'un satellite géostationnaire et n zones $12_1, 12_2, \dots, 12_n$. Dans cet exemple, on utilise 4 sous- 25 bandes de fréquences f_1, f_2, f_3, f_4 .

La zone 12_i est divisée en plusieurs sous-zones $14_1, 14_2, \dots$ dont chacune correspond à un élément rayonnant de l'antenne. La figure 1 montre qu'à certains éléments rayonnants, par exemple celui de référence 14_3 au centre de la zone 12_i , ne 30 correspondent qu'une seule sous-bande de fréquences f_4 , alors que d'autres, tels que ceux se trouvant à la périphérie de la zone 12_i sont associés à plusieurs sous-bandes, celles qui sont affectées aux zones adjacentes.

La figure 2 représente une antenne de réception d'un type connu pour un tel système de télécommunication.

Cette antenne comporte un réflecteur 20 et une pluralité d'éléments rayonnants $22_1, \dots, 22_N$ se trouvant à proximité du plan focal du réflecteur. Le signal reçu par chaque élément rayonnant, par exemple celui de l'élément 22_N , traverse d'abord un filtre 24_N destiné notamment à éliminer la fréquence d'émission (puissante) puis un amplificateur à faible bruit 26_N . A la sortie de l'amplificateur à faible bruit 26_N , le signal est, grâce à un diviseur 30_N , divisé en plusieurs parties, éventuellement avec des coefficients qui peuvent différer d'une partie à une autre ; le but de cette division est de permettre qu'un élément rayonnant puisse participer à la formation de plusieurs faisceaux. On voit ainsi qu'une sortie 32_1 du diviseur 30_N est affectée à une zone 34_p , alors qu'une autre sortie 32_i du diviseur 30_N est affectée à une autre zone 34_q .

Les diviseurs $30_1, \dots, 30_N$ ainsi que les sommateurs $34_p, \dots, 34_q$ destinés à reconstituer les zones font partie d'un dispositif 40 appelé réseau formateur de faisceaux ou pinceaux.

Dans le réseau formateur de faisceaux 40 représenté sur la figure 2, on prévoit pour chaque sortie de chaque diviseur 30_i , un ensemble comportant un déphasageur 42 et un atténuateur 44. Les déphasageurs 42 et atténuateurs 44 permettent de modifier le diagramme de rayonnement soit pour le corriger, si le satellite a subi un déplacement indésirable, soit pour conférer une répartition différente aux zones terrestres.

Par ailleurs, à chaque amplificateur à faible bruit 26_N est associé un autre amplificateur à faible bruit $26'_N$, qui lui est identique et dont le but est de remplacer l'amplificateur 26_N en cas de panne de ce dernier. A cet effet, on prévoit deux commutateurs 46_N et 48_N permettant le remplacement. Il est donc nécessaire de prévoir des moyens de télémesure (non montrés) pour détecter la panne et des moyens de télécommande (également non représentés) pour assurer le remplacement.

On constate que dans un système d'antenne du type de celui représenté sur la figure 2, le nombre d'amplificateurs à

faible bruit et le nombre de déphaseurs et d'atténuateurs sont importants. Un nombre élevé de composants dans un satellite est un inconvénient gênant en raison de la masse. En outre le nombre élevé de déphaseurs 42 et d'atténuateurs 44 n'est pas favorable à 5 la fiabilité.

L'invention permet de réduire dans une proportion importante le nombre d'amplificateurs à faible bruit et le nombre de déphaseurs et d'atténuateurs.

A cet effet, une antenne de réception selon l'invention 10 comprend:

- au moins une première matrice de type Butler dont chaque entrée reçoit le signal d'un élément rayonnant et à chaque sortie de laquelle est associé un amplificateur à faible bruit en série avec un 15 déphaseur et, de préférence, un atténuateur,
- une seconde matrice de type Butler inverse de la première comportant un nombre d'entrées égal au nombre de sorties de la première et un nombre de sorties égal au nombre d'entrées de la première 20 matrice de type Butler, les sorties de la seconde matrice étant recombinées pour former les faisceaux des zones, et
- des moyens de commandes des déphaseurs et, le cas échéant, des atténuateurs, pour corriger, ou 25 modifier, les faisceaux.

Dans une matrice de type Butler, qui est formée de coupleurs 3dB, le signal sur chaque sortie est une combinaison des signaux sur toutes les entrées, mais les signaux provenant des diverses entrées ont une phase déterminée, distincte d'une 30 entrée à une autre, ce qui permet, après passage dans la matrice de type Butler inverse, de reconstituer intégralement les signaux d'entrées, après amplification et déphasage, et atténuation le cas échéant.

Le nombre de sorties de la première matrice de Butler 35 est de préférence égal à son nombre d'entrées. Dans ces conditions, le nombre d'amplificateurs à faible bruit est égal au

nombre d'éléments rayonnants alors que dans la réalisation antérieure, telle que celle représentée sur la figure 2, le nombre d'amplificateurs à faible bruit est le double du nombre d'éléments rayonnants. En outre, le nombre de déphaseurs est 5 aussi égal au nombre d'éléments rayonnants alors qu'avec la technique antérieure ce nombre de déphaseurs et d'atténuateurs est sensiblement supérieur puisque le signal de sortie d'un élément rayonnant est divisé et que le déphasage et l'atténuation 42, 44 sont affectés à chaque voie du réseau formateur de 10 faisceau.

Pour corriger ou modifier les faisceaux dans une antenne de réception selon l'invention, la commande à appliquer aux déphaseurs en série avec les amplificateurs à faible bruit est particulièrement simple.

15 Grâce à l'utilisation de matrices de type Butler, lorsqu'un amplificateur à faible bruit tombe en panne, le signal est réduit uniformément sur toutes les sorties.

Pour diminuer l'effet de la panne d'un amplificateur sur les signaux de sortie, dans un mode de réalisation 20 l'amplificateur à faible bruit qui est associé à chaque sortie de la première matrice de type Butler, comprend une pluralité, par exemple une paire, d'amplificateurs en parallèle grâce, par exemple, à des coupleurs. Dans ces conditions, l'effet de la panne d'un seul des deux amplificateurs d'une paire entraîne une 25 dégradation au moins deux fois moins importante qu'avec un seul amplificateur associé à chaque sortie.

On peut montrer que si l'on utilise des matrices de Butler d'ordre 8 et une paire d'amplificateurs en parallèle associée à chaque sortie, la dégradation est de -0,56 dB, et avec 30 des matrices de Butler d'ordre 16 - également avec une paire d'amplificateurs associée à chaque sortie de la première matrice de type Butler - la dégradation est de -0,28 dB.

Dans un mode de réalisation, on fait appel à une pluralité de matrices bidimensionnelles associées, par exemple 35 dans des plans différents, de façon que chaque signal reçu par un élément rayonnant soit réparti sur $n \times n$ amplificateurs à faible

bruit, n étant l'ordre de chaque matrice bidimensionnelle. Dans un exemple, $n=8$ et, dans ces conditions, chaque signal reçu par un élément rayonnant est réparti sur 64 amplificateurs à faible bruit. Dans cet exemple, une panne d'un amplificateur n'entraîne 5 qu'une perte de -0,14 dB si un seul amplificateur est associé à chaque sortie.

L'invention s'applique également à une antenne d'émission avec une structure analogue. Dans ce cas, les entrées de la première matrice de type Butler reçoivent les signaux à 10 émettre, tandis que ce sont les sorties de la seconde matrice de type Butler qui sont connectées aux éléments rayonnants. Bien entendu, à la place d'amplificateurs à faible bruit, on prévoit, pour de telles antennes d'émission, des amplificateurs de puissance.

15 Dans un mode de réalisation qui s'applique tant à l'émission qu'à la réception, l'une des matrices de Butler et le réseau formateur de faisceaux constituent un dispositif unique.

Il est vrai qu'il est déjà connu d'utiliser une structure à deux matrices de Butler pour des antennes d'émission 20 afin de répartir la puissance d'émission sur l'ensemble des amplificateurs de puissance, mais, dans ces antennes connues, la correction ou la reconfiguration des faisceaux était obtenue comme décrit en relation avec la figure 2 pour les antennes de réception. Ainsi, pour les antennes d'émission, l'invention 25 permet de réduire le nombre de déphasateurs, et d'atténuateurs éventuellement, et simplifie aussi la commande de ces derniers. Par ailleurs, pour les antennes de réception, l'invention, comme indiqué ci-dessus, réduit (par rapport aux antennes de réception connues) le nombre d'amplificateurs à faible bruit.

30 Chaque couple de matrices de Butler correspond, de préférence, à plusieurs zones. Il est même possible de prévoir une seule matrice de Butler pour l'ensemble des zones. Cependant, pour des raisons de simplicité de réalisation, il est préférable de prévoir plusieurs matrices de Butler. Dans ce cas, certains 35 des éléments rayonnants peuvent être affectés à deux matrices de Butler différentes. Dans cette hypothèse, une panne d'un

amplificateur associé à une matrice de Butler d'une paire de telles matrices conduit à une dégradation des signaux pour l'ensemble des faisceaux associés à la matrice de Butler correspondante. Par contre s'il ne se produit pas de panne 5 d'amplificateur pour la matrice de Butler de la même paire, il se produira alors une atténuation pour les sous-zones correspondant à la première matrice de la paire alors qu'il n'y aura pas d'atténuation pour les sous-zones de la seconde matrice de la paire.

10 Pour remédier à cet inconvénient, l'invention prévoit, dans un mode de réalisation, de commander les atténuateurs associés à une matrice de Butler adjacente à une matrice pour laquelle au moins un amplificateur est tombé en panne de façon à homogénéiser les puissances d'émission ou de réception.

15 Ainsi, l'invention concerne une antenne de réception (ou d'émission) pour satellite géostationnaire d'un système de télécommunication destiné à couvrir un territoire divisé en zones, le faisceau destiné à chaque zone étant défini à partir de plusieurs éléments rayonnants, ou sources, disposés au voisinage 20 du plan focal d'un réflecteur, l'antenne comportant des moyens pour modifier les emplacements de zones ou pour corriger un défaut de pointage de l'antenne. Cette antenne est caractérisée en ce qu'elle comprend au moins une première matrice de type Butler dont chaque entrée (ou sortie) est connectée à un élément 25 rayonnant et dont chaque sortie (ou entrée) est reliée à une entrée correspondante d'une matrice de type Butler inverse par l'intermédiaire d'un amplificateur et d'un déphaseur, les sorties (ou entrées) des matrices de type Butler inverse étant associées à un réseau formateur de faisceaux, et en ce que les déphaseurs 30 sont commandés pour déplacer les zones ou corriger les défauts de pointage, la première matrice et la matrice de type Butler inverse permettant de répartir l'énergie reçue par chaque élément rayonnant sur l'ensemble des amplificateurs afin qu'une panne de 35 l'un de ces derniers ait un effet uniformément réparti sur tous les signaux de sorties.

De préférence, un atténuateur est en série avec chaque amplificateur et chaque déphaseur de façon à permettre d'égaliser les gains des amplificateurs.

Dans une réalisation, l'antenne comprend au moins deux 5 matrices de type Butler à entrées (ou sorties) connectées aux éléments rayonnants, au moins l'un des éléments rayonnants étant connecté à la fois à une entrée de la première matrice et à une entrée de la seconde matrice de type Butler.

Dans ce cas, il est préférable que l'élément rayonnant 10 associé à deux matrices de type Butler soit connecté aux entrées (ou sorties) de ces deux matrices par l'intermédiaire d'un coupleur 3dB et qu'un coupleur analogue soit prévu aux sorties (ou aux entrées) correspondantes des matrices de type Butler inverses.

15 On peut aussi disposer en série avec chaque amplificateur et déphaseur, un atténuateur qui, en cas de panne d'un amplificateur associé à une matrice, atténue les signaux de sorties de l'autre matrice de type Butler, afin d'homogénéiser les signaux de sorties de ces deux matrices.

20 Selon un mode de réalisation, entre chaque sortie (entrée) de la première matrice de type Butler et chaque entrée (sortie) correspondante de la matrice de type Butler inverse, on prévoit des amplificateurs en parallèle, par exemple associés par des coupleurs 90°.

25 Pour corriger une déviation angulaire et repointer simultanément tous les faisceaux, de préférence les déphaseurs sont commandés pour modifier la pente du front de phase des signaux de sortie de la première matrice de type Butler.

La matrice de type Butler inverse et le réseau formateur 30 de faisceaux forment avantageusement un ensemble unique.

Lorsqu'on prévoit un atténuateur en série avec chaque amplificateur, celui-ci présente de préférence une dynamique inférieure à 3dB.

Les matrices de Butler sont, par exemple, d'ordre huit 35 ou seize.

Dans une réalisation, l'antenne comporte une première série de premières matrices de Butler disposées dans des plans parallèles et une seconde série de premières matrices de Butler disposée également dans des plans parallèles à une direction 5 différente de celle de la première série, par exemple orthogonale, de façon à permettre le déplacement des zones, ou des corrections de défaut de pointage dans deux directions différentes et, ainsi, dans toutes les directions de la zone couverte par l'antenne.

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisations, celle-ci étant effectuée en ce référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, montre un territoire 15 divisé en zones qui est couvert par une antenne à bord d'un satellite géostationnaire,
- la figure 2, également déjà décrite, représente une 20 antenne de réception de l'état antérieur de la technique,
- les figures 3 et 4 sont des schémas montrant des parties d'antennes de réception conformes à l'invention,
- la figure 5 est un schéma d'une variante d'une 25 partie d'antenne selon l'invention,
- la figure 6 représente une matrice de Butler d'ordre 64,
- la figure 7 est un schéma d'une matrice de Butler 30 d'ordre 4,
- la figure 8 est un schéma d'une matrice de Butler d'ordre 16, et
- la figure 9 est un schéma d'une antenne de réception 35 montrant d'autres dispositions de l'invention.

L'antenne de réception représentée sur la figure 3 comporte, comme l'antenne montrée sur la figure 2, un réflecteur 35 (non montré sur la figure 3) et une pluralité d'éléments

rayonnants $22_1, \dots, 22_N$ disposés au voisinage de la zone focale du récepteur.

Dans l'exemple de la figure 3, l'antenne de réception comporte plusieurs matrices de Butler $50_1, \dots, 50_j, \dots, 50_p$. Ces 5 matrices sont toutes identiques, avec un nombre d'entrées égal au nombre de sorties.

Chaque entrée reçoit le signal d'un élément rayonnant. Ainsi la matrice de Butler 50_j comporte huit entrées 52_1 à 52_8 et l'entrée 52_1 reçoit le signal de l'élément rayonnant 22_{k+1} tandis 10 que l'entrée 52_8 reçoit le signal de l'élément rayonnant 22_{k+8} . Les éléments rayonnants 22_{k+1} à 22_{k+8} sont, dans une réalisation, tous affectés à une même zone, c'est-à-dire à un même faisceau. Cependant, comme indiqué plus haut, certains de ces éléments rayonnants contribuent aussi à la formation d'autres faisceaux 15 pour des zones adjacentes.

Chaque sortie de la matrice de Butler 50_j est reliée à une entrée correspondante d'une matrice de Butler inverse 54_i par l'intermédiaire d'un filtre et d'un amplificateur à faible bruit. Sur la figure 3, on a représenté seulement les amplificateurs à 20 faible bruit et les filtres qui correspondent, d'une part, à la première sortie 56_{k+1} de la matrice 50_j et, d'autre part, à la dernière sortie 56_{k+8} de cette matrice 50_j . Ainsi la sortie 56_{k+1} de la matrice 50_j est reliée à l'entrée 58_{k+1} de la matrice 54_j par l'intermédiaire d'un filtre 60_{k+1} et d'un amplificateur à 25 faible bruit 62_{k+1} disposés en série. Le filtre 60_{k+1} a pour but d'éliminer les signaux d'émission. Ce filtre peut faire partie de la matrice 50_j , notamment si celle-ci est réalisée en technologie guide d'ondes.

La matrice de Butler 54_j a une fonction de transfert 30 inverse de celle de la matrice 50_j . Elle présente un nombre d'entrées égal au nombre de sorties de la matrice 50_j et un nombre de sorties égal au nombre d'entrées de la matrice 50_j .

Les sorties des diverses matrices de Butler inverses 54_j sont reliées aux sorties de faisceaux $64_1, \dots, 64_S$ par 35 l'intermédiaire d'un réseau 66 formateur de faisceaux.

On sait qu'une matrice de Butler, qui est, comme on le verra plus loin, formée à partir de coupleurs 3dB, est telle qu'un signal appliqué sur une entrée est réparti sur toutes les sorties avec des phases décalées d'une sortie à une autre de $5 \cdot 2\pi/M$, M étant le nombre de sorties. La matrice 54_j ayant une fonction inverse de la matrice 50_j , un signal d'une entrée déterminée de la matrice 50_j se retrouve, à un filtrage et une amplification près, sur la sortie correspondante de la matrice 54_j .

10 Chaque sortie 56 de la matrice 50_j délivre un signal représentant l'ensemble des signaux d'entrées de cette même matrice. Dans ces conditions, une panne d'un ou plusieurs des amplificateurs à faible bruit 62 n'entraînera pas un défaut d'homogénéité du faisceau reconstitué pour la zone 15 correspondante, mais une diminution homogène de la puissance sur l'ensemble de la zone ou des zones correspondant aux éléments rayonnants 22_{k+1} à 22_{k+8} .

On peut montrer qu'en cas de panne d'un amplificateur, le signal sur toutes les sorties de la matrice 54_j est réduit 20 d'un facteur $20\log(1-1/M)$ en dB, M étant l'ordre de la matrice de Butler concernée, c'est-à-dire huit dans l'exemple. Toutefois la dégradation du paramètre G/T de l'antenne a une valeur moitié, c'est-à-dire $10\log(1-1/M)$, car la perte dans les charges de la matrice 54_j est négligeable. En effet, le bruit prépondérant est 25 celui recueilli en sortie des amplificateurs à faible bruit et comme un amplificateur en panne ne contribue plus au bruit, la puissance de bruit totale est réduite d'un facteur $1-1/M$.

Dans ces conditions, pour des matrices d'ordre huit, la panne d'un amplificateur à faible bruit entraîne une dégradation 30 de G/T égale à -0,56 dB et si $M = 16$ la dégradation est de -0,28 dB. Ces chiffres correspondent à l'hypothèse où chaque amplificateur est constitué par une paire d'amplificateurs, comme décrit plus loin avec la figure 5 et où par « panne d'un amplificateur » on entend la panne d'un seul amplificateur d'une 35 paire.

La panne d'un amplificateur à faible bruit entraîne aussi une dégradation de l'isolation entre les signaux de sorties. Ainsi, si avant la panne les signaux d'entrées sont parfaitement isolés, et donc les signaux de sorties aussi 5 parfaitement isolés, après la panne d'un amplificateur l'isolation entre deux sorties est $20\log(M-1)$ soit 17 dB si $G=8$ et 23,5 dB si $G = 16$.

Les valeurs indiquées ci-dessus sont des valeurs théoriques issues de calculs classiques. Cependant, si on fait 10 appel à des technologies appropriées, par exemple la technique des répartiteurs compacts en guides d'ondes, les pertes et les erreurs sont faibles et les résultats correspondent pratiquement à ceux indiqués par les calculs.

Dans un mode de réalisation, les matrices inverses 54j 15 et le réseau 66 formateur de faisceaux constituent un seul circuit multicouche. Cette réalisation est rendue possible, car les matrices inverses et le réseau 66 sont, de préférence, constitués à l'aide de circuits multicouches planaires utilisant la même technologie et peuvent être ainsi disposés dans un même 20 boîtier. Les pertes entraînées par les circuits se trouvant à l'aval des amplificateurs à faible bruit étant moins critiques qu'en amont, on peut utiliser des circuits du type microbande ou triplaqué plutôt que des circuits à guide d'ondes car ces circuits microbandes ou triplaques sont plus compacts, mais 25 entraînent des pertes légèrement supérieures aux circuits à guide d'ondes, ce qui est peu gênant, comme indiqué ci-dessus.

La figure 4 représente un mode de réalisation préféré de l'invention dans lequel on met à profit l'utilisation de matrices de Butler pour simplifier la commande de la correction ou la 30 modification des faisceaux. Sur cette figure, on a représenté en traits mixtes la direction correcte du rayonnement 70 par rapport à l'antenne, et, en traits interrompus 72, la direction du rayonnement qui est vu de façon incorrecte par l'antenne, par exemple en raison d'une instabilité du satellite.

35 L'énergie du rayonnement 70 correspond au diagramme 74 représenté en traits pleins, et l'énergie du rayonnement 72

correspond au diagramme 76 représenté en traits interrompus. On voit donc qu'une orientation incorrecte de l'antenne correspond à un décalage du rayonnement dans le plan focal, et l'élément rayonnant destiné à capter le plus d'énergie provenant d'un 5 direction donnée ne reçoit cette dernière qu'avec une forte atténuation. Ainsi, le décalage entraîne une perte importante de gain et une altération de l'isolation.

Pour repointer l'antenne, c'est-à-dire corriger son orientation, comme décrit ci-dessus en relation avec la figure 2, 10 la solution antérieure consiste à affecter à chaque élément rayonnant, un déphasateur 42 et un atténuateur 44, et à commander les déphasateurs 42 de façon individuelle. En outre, les atténuateurs ont une forte dynamique car ils doivent pouvoir « éteindre » ou « allumer » certaines sources. Cette contrainte 15 entraîne la nécessité que les amplificateurs à faible bruit aient un grand gain. En outre, il est nécessaire que le nombre d'éléments rayonnants, ou sources, affectés à une zone soit plus important que le nombre de sous-zones. Par exemple, si sept éléments rayonnants fournissent le diagramme nominal, pour 20 permettre un repointage il faut au moins une couronne autour du septet formé par ces éléments rayonnants. Il faudra donc alors prévoir 19 sources (au lieu de 7) pour chaque accès à une zone. Dans le cas où les zones forment une maille carrée et si l'on prévoit quatre sources actives par zone, le nombre d'accès pour 25 une zone sera de 16.

L'invention permet une correction de pointage ou un déplacement des zones au sol d'une plus grande simplicité que la solution représentée sur la figure 2. Elle tire avantage de la présence des matrices de Butler 50_j. On part de la constatation 30 qu'à la sortie de la matrice 50_j, le front de phase 80_{k+1} est simplement incliné par rapport au front de phase 82_{k+1} désiré. En effet, le signal de chaque faisceau est réparti sur toutes les sorties de la matrice correspondante 50_j avec une pente de phase donnée ; les pentes correspondant à chaque entrée sont séparées 35 par une valeur fixée, constante pour une matrice d'ordre donné. Dans ces conditions, pour effectuer le repointage, c'est-à-dire

la correction désirée, il suffit de rectifier la pente en prévoyant un déphaseur associé à chaque sortie de la matrice 50_j .

Sur la figure 4, on a représenté par les droites 80_{k+1} et 82_{k+1} la répartition des phases sur les sorties 56_{k+1} à 56_{k+8} pour les signaux provenant de l'élément rayonnant 22_{k+1} . Les droites 80_{k+3} et 82_{k+3} correspondent aux répartitions des phases sur les sorties pour le signal provenant de l'élément rayonnant 22_{k+3} tandis que les droites 80_{k+7} et 82_{k+7} correspondent aux phases sur toutes les sorties pour les signaux fournis par l'élément rayonnant 22_{k+7} . Sur ces diagrammes, la distance entre la sortie 56_{k+1} et l'intersection P_{k+1} de la droite 82_{k+1} avec la droite D_{k+1} liée à la sortie 56_{k+1} représente, par convention, la phase pour cette sortie du signal provenant de l'élément rayonnant 22_{k+1} . De même, les intersections de cette droite 82_{k+1} avec les droites D_{k+2} , etc., correspondantes fourniront les phases des signaux sur les autres sorties toujours pour le signal correspondant à l'élément rayonnant 22_{k+1} .

Ainsi, par exemple pour la sortie 56_{k+1} , pour corriger le front de phase de 80 en 82, du signal provenant d'un élément rayonnant 22_i , il faudra appliquer une correction de phase δ_{k+1} , δ_{k+2} , ..., δ_{k+8} . Mais on constate que les valeurs de δ_{k+1} , δ_{k+2} , δ_{k+3} , etc., sont les mêmes. Il suffit donc d'un simple déphaseur 84_{k+1} , etc., pour corriger cette valeur commune δ_{k+1} , δ_{k+2} , etc.

Il est à noter que la correction qui est effectuée par la matrice de Butler 50_j ne s'effectue que dans un seul plan, celui de la figure. Pour effectuer une correction réelle, il faut prévoir des matrices de Butler dans un autre plan, par exemple perpendiculaire, comme représenté sur la figure 6 qui sera décrite plus loin.

Dans l'exemple, on prévoit un tel déphaseur 84 à l'aval de l'amplificateur à faible bruit 52 . Ainsi, le déphaseur 84_{k+1} sur la figure 4 est relié à la sortie de l'amplificateur 62_{k+1} par l'intermédiaire d'un atténuateur 86_{k+1} et la sortie du déphaseur 84_{k+1} est reliée à l'entrée correspondante de la matrice inverse 54_j .

Dans ce mode de réalisation, les atténuateurs commandables 86 permettent une égalisation du gain des amplificateurs 62. Ils permettent également une compensation en cas de défaillance d'un (ou plusieurs) amplificateur(s) à faible 5 bruit raccordé(s) à une matrice couplée à la matrice 50j, comme on le verra plus loin.

Dans cet exemple on prévoit, dans les matrices de Butler 50j, des filtres passe-haut pour empêcher que les fréquences d'émission ne viennent perturber les fréquences de réception. Il 10 s'agit, par exemple, de guides d'ondes dont la fréquence de coupure est comprise entre la bande de réception et la bande d'émission.

Dans cet exemple, on peut aussi, comme décrit en relation avec la figure 3, prévoir que les matrices de Butler 15 inverses 54j soient intégrées dans le réseau formateur de faisceaux 66.

Dans la variante représentée sur la figure 5, les amplificateurs à faible bruit 62 sont associés par paires grâce à des coupleurs 90°. De façon plus précise, l'amplificateur 62_{k+1} 20 est associé à l'amplificateur 62_{k+2}, de manière telle qu'un coupleur 90°, 88, relie les entrées des amplificateurs et un coupleur 90° relie entre elles les sorties de ces amplificateurs. De cette manière en cas de panne d'un amplificateur, on obtient, avec une matrice de Butler d'ordre 8 une perte de 0,28 dB, ce qui 25 correspond, en l'absence de la disposition représentée sur la figure 5, à la perte quand les matrices de Butler sont d'ordre 16. En effet, la disposition, qui consiste à réaliser chaque amplificateur associé à une sortie d'une matrice de Butler, à l'aide d'une paire d'amplificateurs, réduit de moitié la perte de 30 puissance en cas de panne d'un seul amplificateur de la paire puisque l'autre amplificateur de cette paire est encore en fonctionnement. Autrement dit, cette disposition a le même effet que de multiplier par deux l'ordre des matrices de Butler.

De façon plus générale, également dans le but de réduire 35 l'effet d'une panne d'un amplificateur, on peut associer à chaque sortie une pluralité d'amplificateurs en parallèle. Dans ce cas,

le nombre d'amplificateurs associés à chaque sortie est une puissance de 2 afin de faciliter la division puis la recombinaison.

Bien que dans les exemples décrits jusqu'à présent on ait prévu plusieurs matrices 50_j, il est possible de prévoir une seule matrice de Butler d'ordre M, M étant le nombre d'éléments rayonnants. Cependant les contraintes d'encombrement à bord d'un satellite empêchent de réaliser une telle matrice de Butler dans un seul plan dès que le nombre d'éléments rayonnants devient important. Dans ce cas, il est nécessaire de faire appel à une matrice de Butler de type bidimensionnel comme représenté sur la figure 6. Cette dernière montre une matrice d'ordre 64 réalisée avec une première couche de 8 matrices de Butler 90₁ à 90₈ et une seconde couche de matrices de Butler 92₁ à 92₈ disposées perpendiculairement aux matrices 90.

Une telle matrice bidimensionnelle est de réalisation complexe ; elle peut aussi présenter des pertes préjudiciables à la température de bruit de l'antenne. Mais, elle permet un repointage simultané dans deux plans orthogonaux et elle réduit l'impact d'une panne en couplant entre eux un nombre plus élevé d'amplificateurs à faible bruit.

De façon générale, il n'est pas indispensable pour pouvoir effectuer une correction dans deux plans différents que les matrices 90 et 92 soient selon deux plans perpendiculaires. Il suffit qu'elles soient selon deux plans de directions différentes, suffisamment écartées. Dans un exemple, les directions sont écartées de 60° pour faciliter la connexion à un réseau dont les centres des sources adjacentes forment des triangles équilatéraux.

Les matrices de Butler d'ordre 8 et d'ordre 16 sont réalisées à partir de matrices de Butler d'ordre 4.

Une matrice de Butler d'ordre 4 est représentée sur la figure 7. Elle comporte six coupleurs 3dB avec deux coupleurs d'entrée 94, 96, deux coupleurs de sorties 100, 104 et deux coupleurs intermédiaires 98 et 100. Dans une variante (non montrée), au lieu de coupleurs intermédiaires 98 et 100, on

prévoit des croisements ; toutefois ces croisements sont difficiles à réaliser en technologie guide d'ondes.

On rappelle qu'un coupleur 3dB, par exemple le coupleur 104 d'entrée, comporte deux entrées 104₁ et 104₂ et deux sorties 104₃ et 104₄ et est tel qu'un signal appliqué sur une sortie, par exemple celle de référence 104₁, voit sa puissance répartie sur les deux sorties 104₃, 104₄ avec un déphasage de $\pi/2$ entre les deux signaux de sorties. Ainsi, comme indiqué sur la figure 7, le signal S à l'entrée 104₁ devient le signal $\frac{1}{\sqrt{2}}$ à la sortie 104₃ et le signal $-j\frac{1}{\sqrt{2}}$ sur la sortie 104₄. A un signal S' appliqué sur l'entrée 104₂ correspond un signal $\frac{1}{\sqrt{2}}$ sur la sortie 104₄ et $-j\frac{1}{\sqrt{2}}$ sur la sortie 104₃.

Le signal sur l'entrée 104₁ se retrouve sur les quatre sorties de la matrice de Butler d'ordre 4, à savoir les sorties 94₃, 94₄ et 96₃, 96₄ des coupleurs respectivement 94 et 96. Sur la sortie 94₃ on obtient le signal $j\frac{S}{2}$, sur la sortie 94₄, le signal $-\frac{S}{2}$, sur la sortie 96₃ le signal $-j\frac{S}{2}e^{-j\varphi}$, et sur la sortie 96₄ le signal $\frac{S}{2}e^{-j\varphi}$. La phase φ , constante, est introduite par un déphaseur 105 entre les coupleurs 98 et 100. Ce déphaseur est réglé pour compenser les différences entre longueurs de guide dans les voies centrales et les voies d'extrémités ; ainsi, la matrice fournit une pente régulière aux phases des signaux sur les sorties.

On constate qu'avec une matrice de Butler d'ordre 4, les phases des signaux de sorties varient par incrément de 90° . Avec une matrice de Butler d'ordre 8, l'incrément est de 45° .

Pour réaliser une telle matrice de Butler d'ordre huit, 120 ou 130 (figure 8), on fait appel à deux matrices d'ordre quatre, respectivement 122 et 124, et les sorties de ces deux matrices d'ordre quatre sont combinées grâce à quatre coupleurs 3dB : 126₁, 126₂, 126₃, 126₄.

Pour la réalisation d'une matrice de Butler d'ordre 16 (figure 8), on utilise deux matrices, 120 et 130, d'ordre 8, et les sorties des matrices 120 et 130 sont combinées grâce à huit coupleurs 3dB : 132₁ à 132₈.

Il est à noter que, de façon en soi connue, les croisements de lignes de la matrice d'ordre 16 qui sont représentés sur la figure 8, peuvent être remplacés par des coupleurs tête-bêches analogues aux coupleurs 98 et 100 de la 5 matrice d'ordre 4 représentée sur la figure 7.

Les matrices de Butler 50 sont, dans l'exemple, réalisées en technologie « répartiteur compact en guide d'ondes ». Dans ce cas il est possible d'intégrer à ces matrices un filtrage évitant que les amplificateurs à faible bruit ne 10 soient délinéarisés par des signaux parasites hors bande. Il s'agit en particulier du filtrage permettant de rejeter les fréquences d'émission qui, du fait de la très grande puissance d'émission, sont nécessairement réinjectées dans les antennes de réception disposées à proximité.

15 Il est préférable de réaliser chaque matrice de Butler 50_j de façon telle qu'elle corresponde à une ou plusieurs zones et que les autres matrices n'interviennent pas pour la (ou les) zone(s) associée(s) à la matrice de Butler 50_j. Mais il n'est pas toujours possible de satisfaire à cette condition car chaque 20 source contribue en général à la formation de plusieurs zones adjacentes. Dans ces conditions, une source 22_q (figure 9) qui doit être associée à deux matrices 50₁, 50₂ adjacentes est reliée aux entrées, respectivement 140₁ et 140₂, des matrices 50₁ et 50₂ par l'intermédiaire d'un coupleur 3 dB 142. Un coupleur identique 25 144 permet de recombiner les sorties correspondantes des matrices inverses 50'₁ et 50'₂.

Les coupleurs 142, 144 permettent, en outre, de limiter la dégradation du signal provenant d'une source partagée entre deux matrices, en cas de panne d'un amplificateur à faible bruit 30 associé soit aux matrices 50₁, 50'₁ soit aux matrices 50₂, 50'₂. En effet, le signal capté par une telle source est réparti en parts égales sur deux matrices. Ainsi, seule la partie affectée par une panne intervient.

Bien que ces coupleurs permettent de réduire (de 35 moitié) le déséquilibre provoqué par une panne dans une matrice, le déséquilibre qui subsiste en cas de panne n'est

en général pas acceptable. C'est pourquoi à la place des coupleurs 142, 144, ou en complément de ces derniers, en cas de panne d'un amplificateur à faible bruit associé à l'une des matrices, par exemple celle de référence 50₁, on atténue 5 les signaux de sortie de l'autre matrice 50₂ d'une quantité permettant d'équilibrer les signaux des sorties des matrices 50₁ et 50₂. Cette commande d'atténuation est effectuée à l'aide des atténuateurs 86 représentés sur la figure 4. Cette atténuation doit être de $20\log(1-1/M)$ pour les entrées 10 ou sorties n'utilisant pas de coupleur 3dB et de $10\log(1-1/M)$ pour les sorties reliées à des coupleurs 3dB 144.

L'atténuation est réalisée de façon automatique après détection d'une panne. La détection de panne sur chaque amplificateur à faible bruit est, par exemple, réalisée par 15 contrôle de son courant d'alimentation ou à l'aide d'un détecteur à diode disposé en aval de chaque amplificateur à faible bruit.

Il est à noter que les atténuateurs 86 (figure 4) ont, 20 dans l'exemple, une faible dynamique, inférieure à 3dB. En effet, leur dynamique est principalement déterminée par leur fonction d'égalisation des gains des divers amplificateurs à faible bruit à l'installation de l'antenne. Pour cette égalisation, la dynamique est au maximum de 2,5 dB. Par 25 ailleurs, la compensation à apporter pour rééquilibrer les sorties d'une matrice quand la matrice adjacente comporte un amplificateur en panne, est de 0,28 dB.

Bien qu'on ait seulement décrit une antenne de 30 réception, il va de soi que l'invention s'applique aussi à une antenne d'émission dont la structure est analogue mais en sens inverse, des amplificateurs de puissance étant utilisés à la place d'amplificateurs à faible bruit.

REVENDICATIONS

1. Antenne de réception (ou d'émission) pour satellite géostationnaire d'un système de télécommunication destiné à couvrir un territoire divisé en zones, le faisceau destiné à chaque zone étant défini à partir de plusieurs éléments rayonnants, ou sources, disposés au voisinage du plan focal d'un réflecteur, l'antenne comportant des moyens pour modifier les emplacements de zones ou pour corriger un défaut de pointage de l'antenne, caractérisée
 - 5 en ce qu'elle comprend au moins une première matrice (50_j) de type Butler dont chaque entrée (ou sortie) est connectée à un élément rayonnant (22_{k+1}, ..., 22_{k+8}) et dont chaque sortie (ou entrée) (56_{k+1}, ..., 56_{k+8}) est reliée à une entrée correspondante d'une matrice (54_j) de type Butler inverse par l'intermédiaire d'un amplificateur (62_{k+1}) et d'un déphasageur (84_{k+1}), les sorties (ou entrées) des matrices de type Butler inverse étant associées à un réseau formateur de faisceaux, et,
 - 10 en ce que les déphasageurs sont commandés pour déplacer les zones ou corriger les défauts de pointage,
 - 15 la première matrice et la matrice de type Butler inverse permettant de répartir l'énergie reçue par chaque élément rayonnant sur l'ensemble des amplificateurs afin qu'une panne de l'un de ces derniers ait un effet uniformément réparti sur tous les signaux de sorties.
2. Antenne selon la revendication 1 caractérisée en ce que chaque matrice de type Butler présente un nombre d'entrées égal à son nombre de sorties.
3. Antenne selon la revendication 1 ou 2 caractérisée en ce qu'un atténuateur (86_{k+1}) est en série avec chaque amplificateur et chaque déphasageur de façon à permettre d'égaliser les gains des amplificateurs.
- 25 4. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisée en ce qu'elle comprend au moins deux matrices de type Butler (M₁, M₂) à entrées (ou sorties) connectées aux éléments rayonnants, au moins l'un (22_q) des éléments rayonnants étant connecté à la fois à une entrée de la première matrice (M₁) et à une entrée de la seconde matrice (M₂) de type Butler.
- 30 5. Antenne selon la revendication 4 caractérisée en ce que l'élément rayonnant associé à deux matrices de type Butler est connecté aux entrées (ou sorties) de ces deux matrices par l'intermédiaire d'un coupleur 3dB (14₂) et en ce qu'un coupleur analogue (144) est prévu aux sorties (ou aux entrées) correspondantes des matrices de type Butler inverses.

6. Antenne selon la revendication 4 ou 5 caractérisée en ce qu'elle comprend, en série avec chaque amplificateur et déphaseur, un atténuateur $(86k+1)$ qui, en cas de panne d'un amplificateur associé à une matrice, atténue les signaux de sorties de l'autre matrice de type Butler, afin d'homogénéiser les signaux de sorties de ces deux matrices.
5
7. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce qu'entre chaque sortie (entrée) de la première matrice de type Butler et chaque entrée (sortie) correspondante de la matrice de type Butler inverse, on prévoit des amplificateurs en parallèle $(62k+1, 62'k+1)$, par exemple associés par des coupleurs 90° (88, 90).
10
8. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que pour corriger une déviation angulaire et repointer simultanément tous les faisceaux, les déphaseurs sont commandés pour modifier la pente du front de phase des signaux de sortie de la première matrice de type Butler.
15
9. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce qu'êtant destinée à la réception, la première matrice de type Butler comporte des moyens de filtrage pour éliminer les bandes de fréquences d'émission.
20
10. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que la matrice de type Butler inverse et le réseau formateur de faisceaux forment un ensemble unique.
25
11. Antenne selon la revendication 3 ou 6 caractérisée en ce que l'atténuateur en série avec chaque amplificateur présente une dynamique inférieure à 3dB.
12. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que les matrices de Butler sont d'ordre huit ou seize.
30
13. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce qu'elle comporte une première série de premières matrices de Butler disposées dans des plans parallèles et une seconde série de premières matrices de Butler disposée également dans des plans parallèles à une direction différente de celle de la première série, de façon à permettre le déplacement des zones, ou des corrections de défaut de pointage dans deux directions différentes et, ainsi, dans toutes les directions de la zone couverte par l'antenne.
35
14. Antenne selon la revendication 13 caractérisée en ce que les directions des deux séries de premières matrices de Butler sont orthogonales.
40

FIG_1

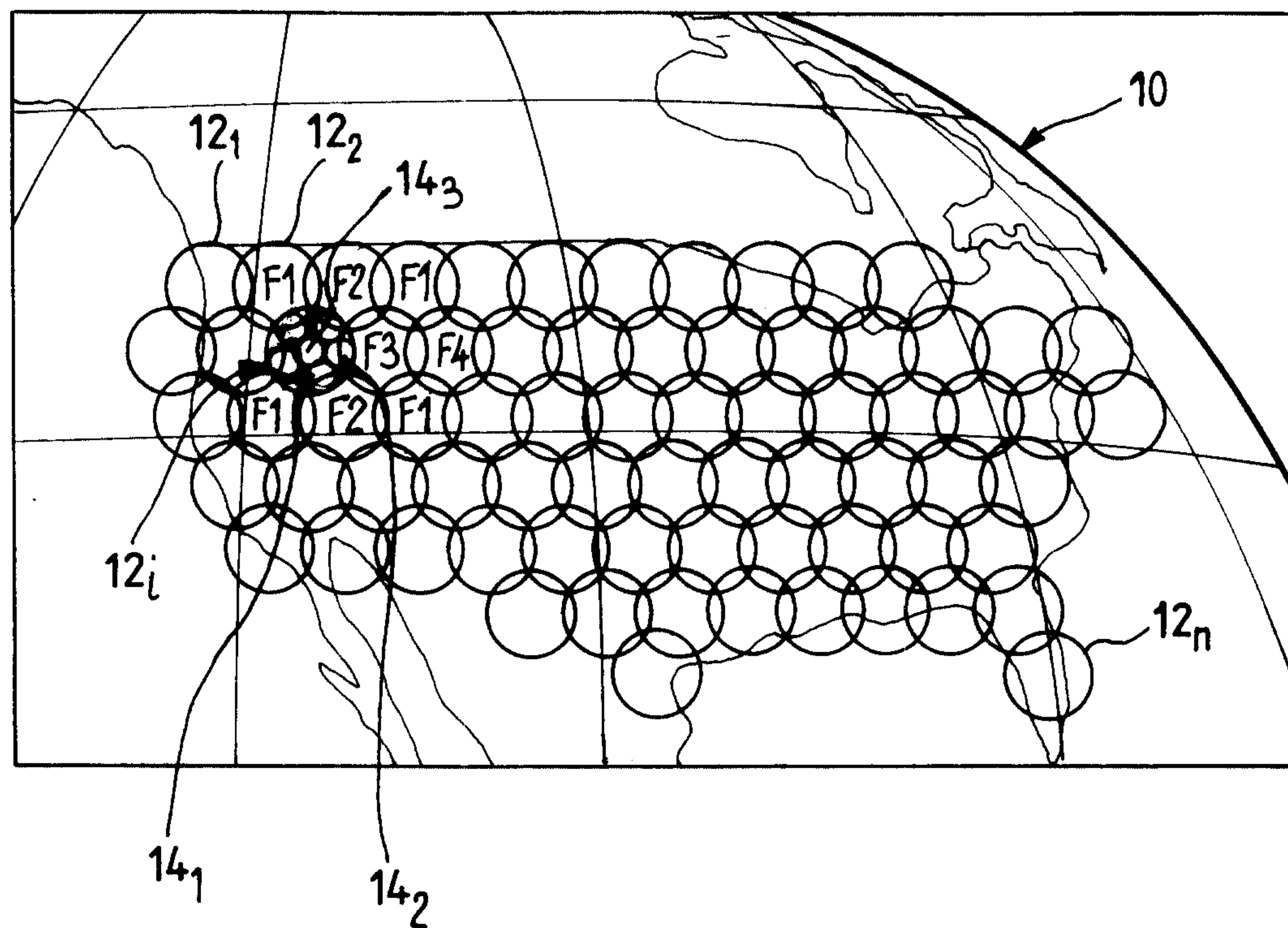
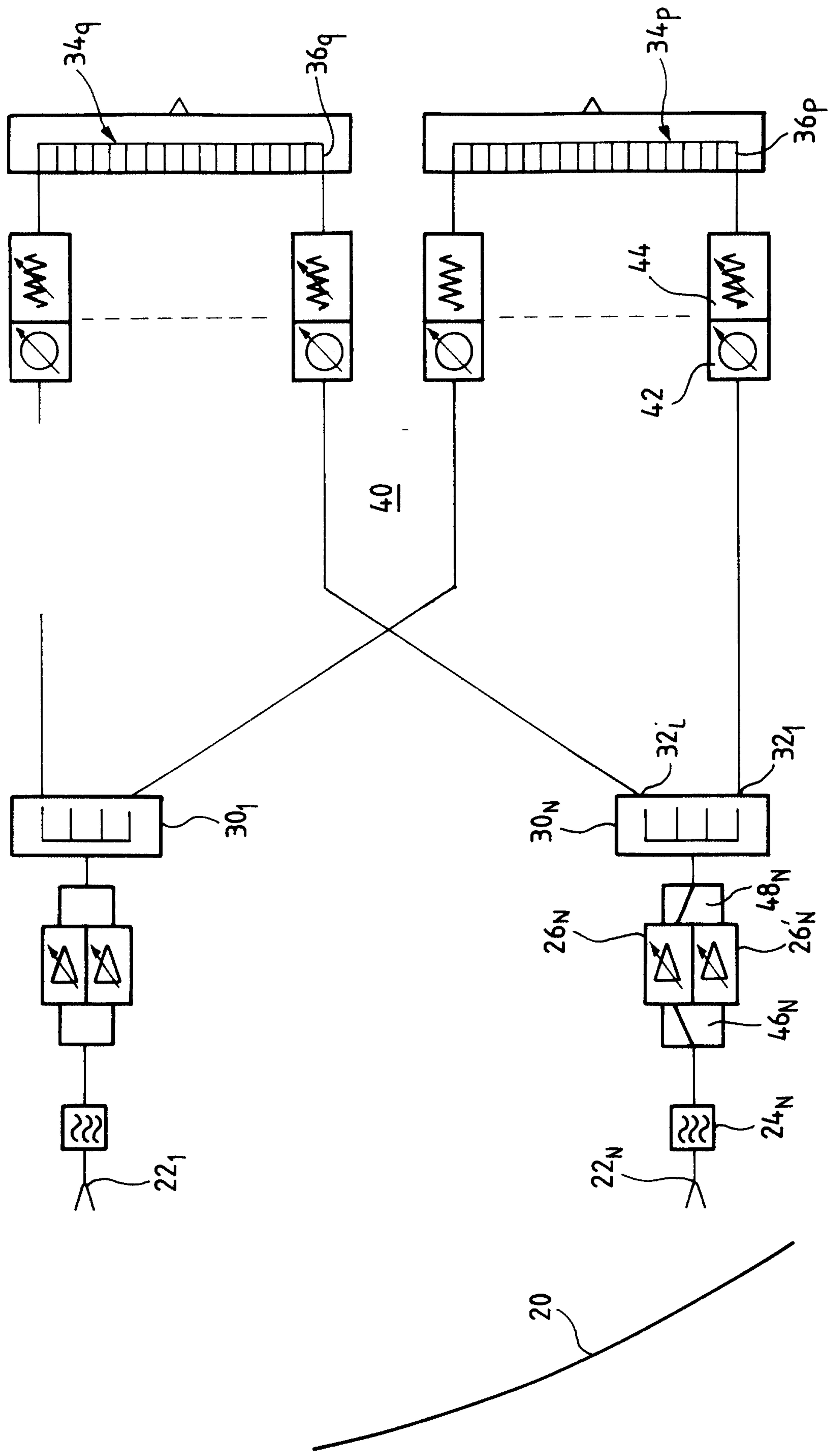
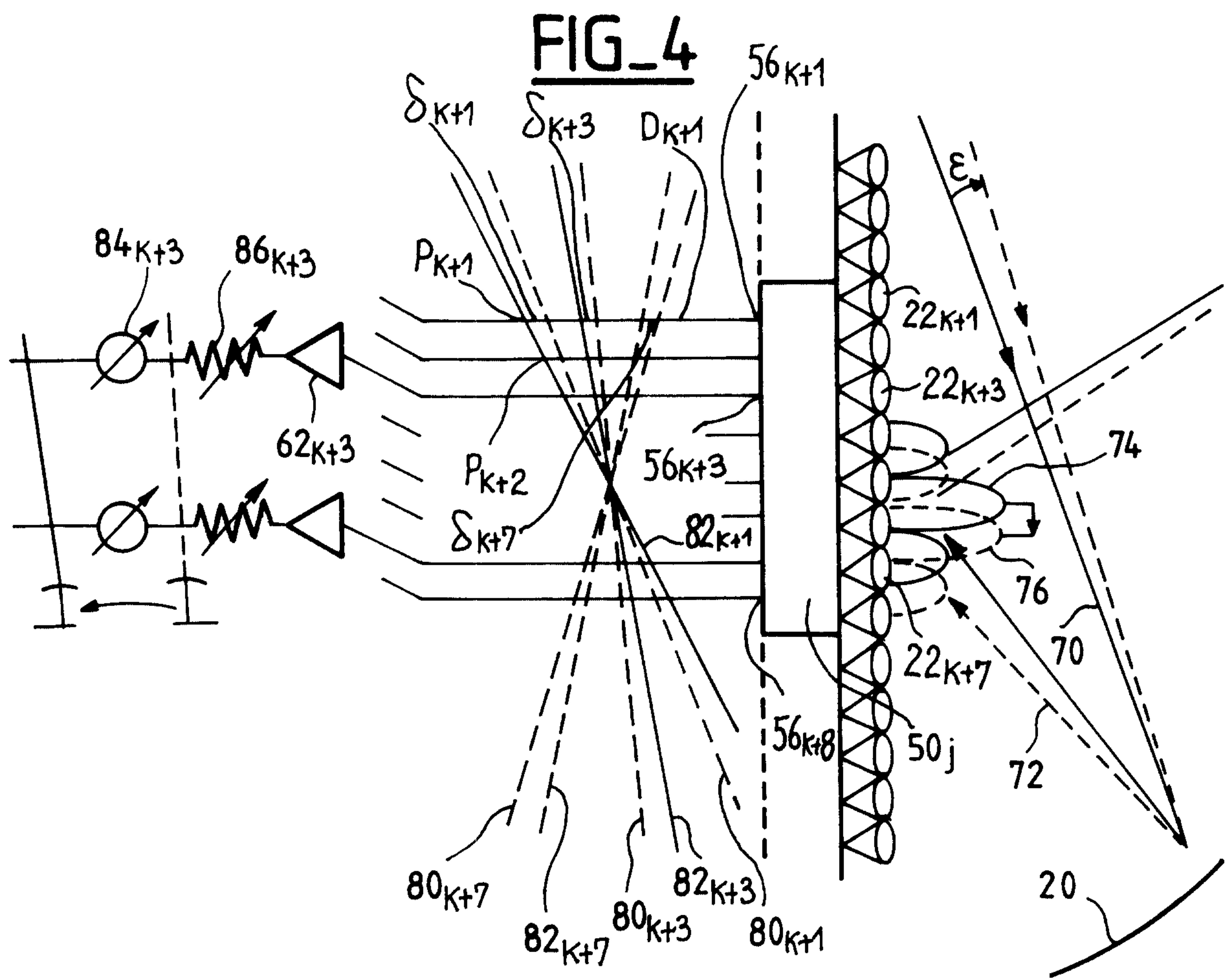
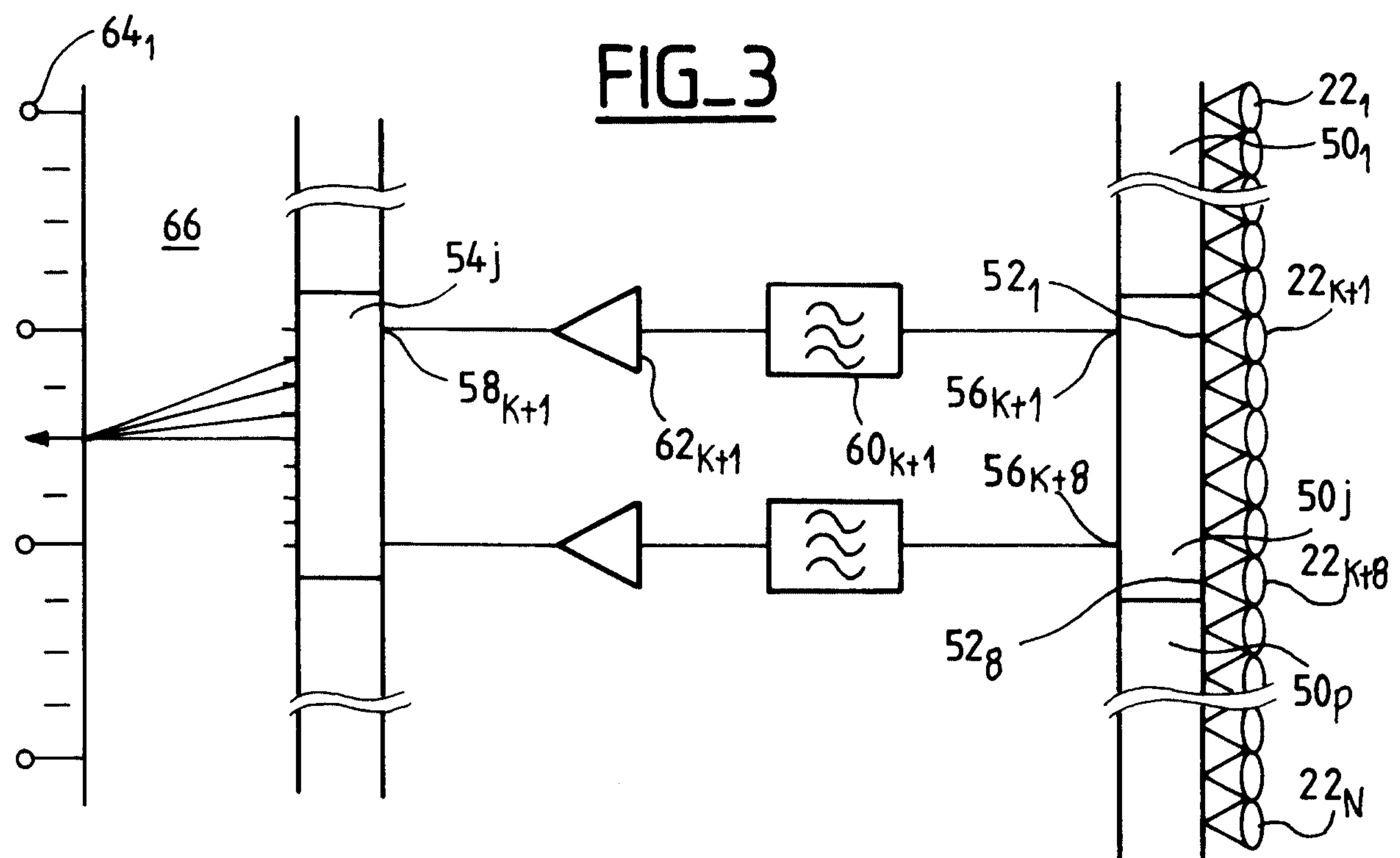
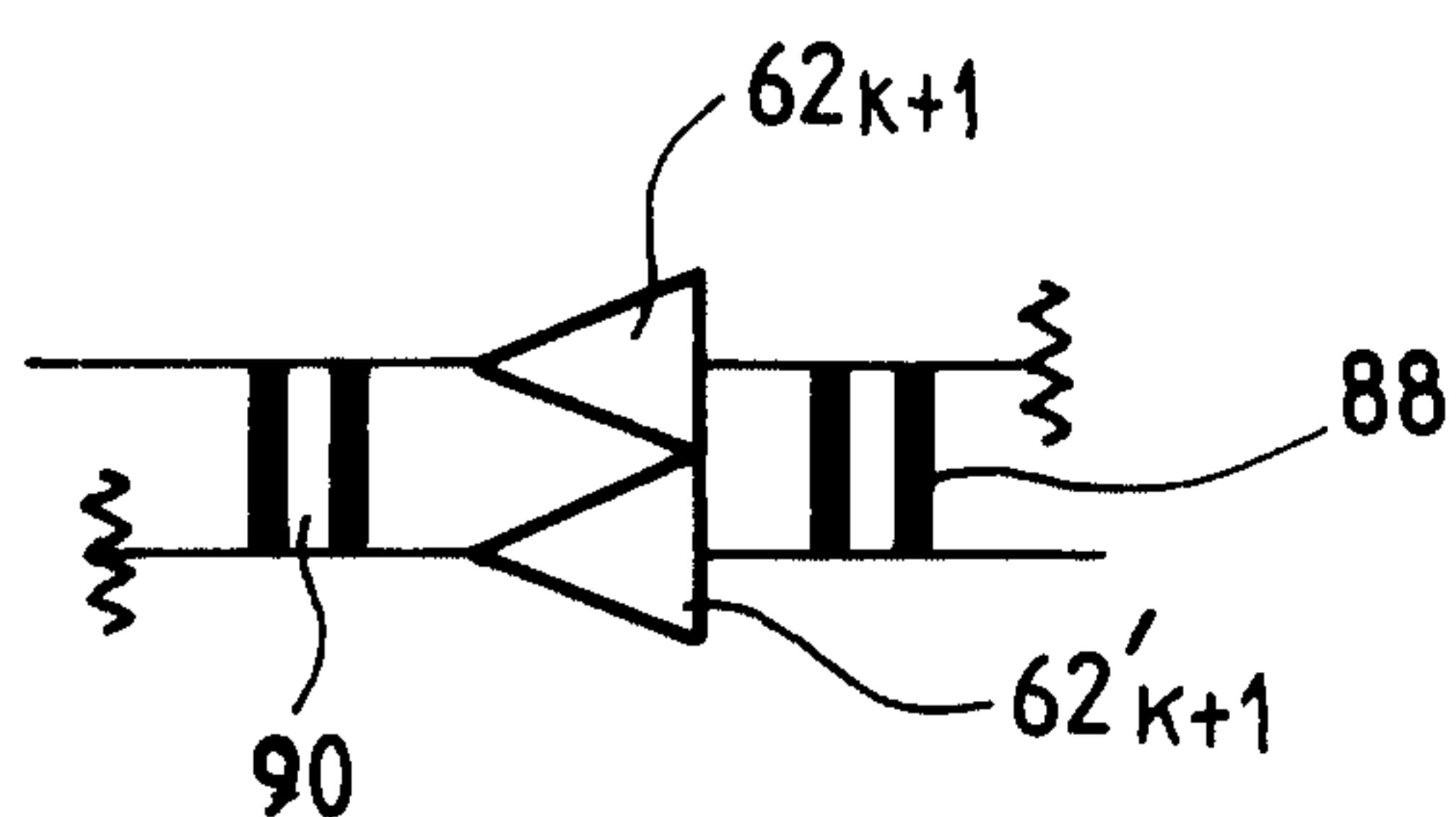


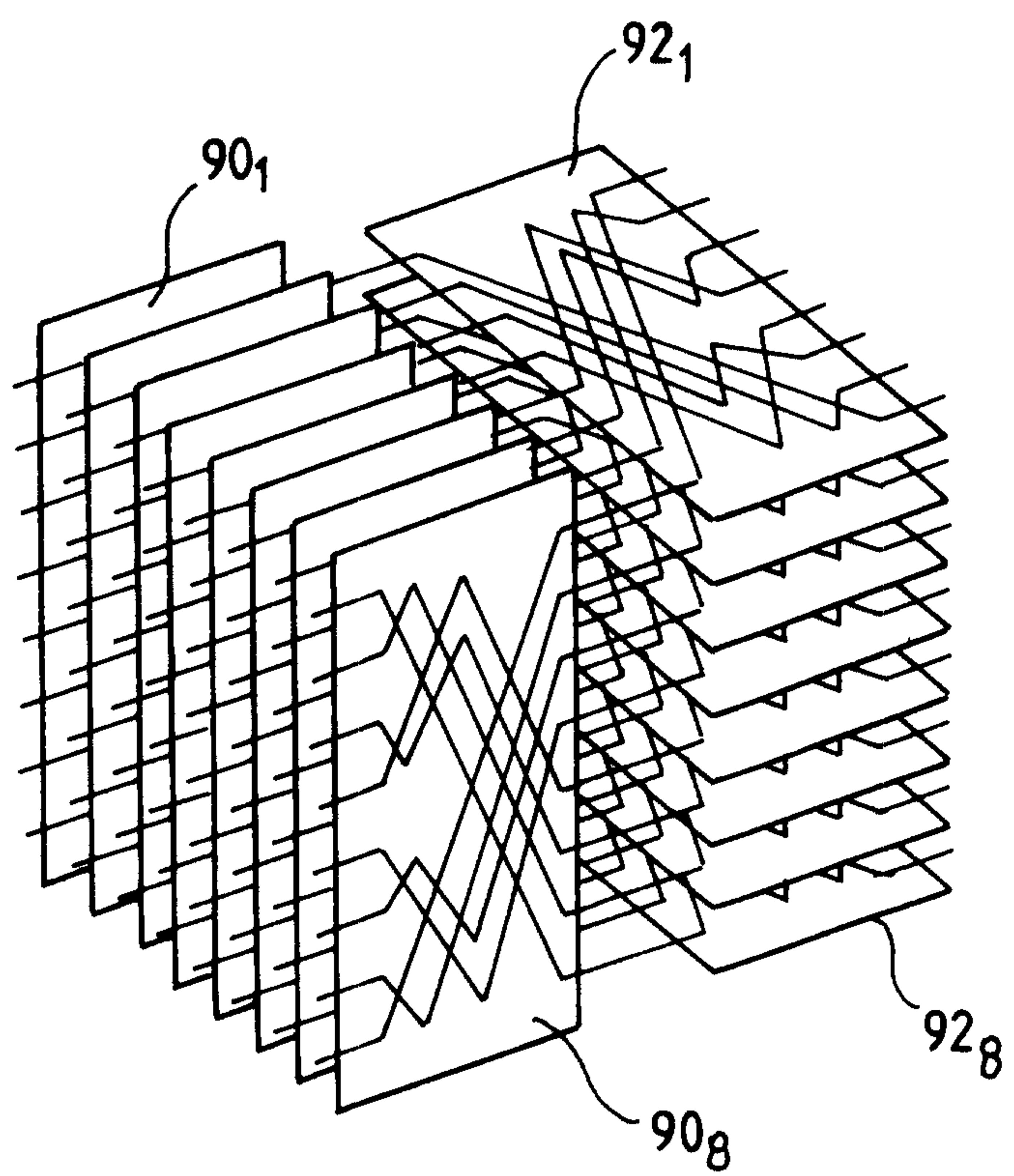
FIG. 2

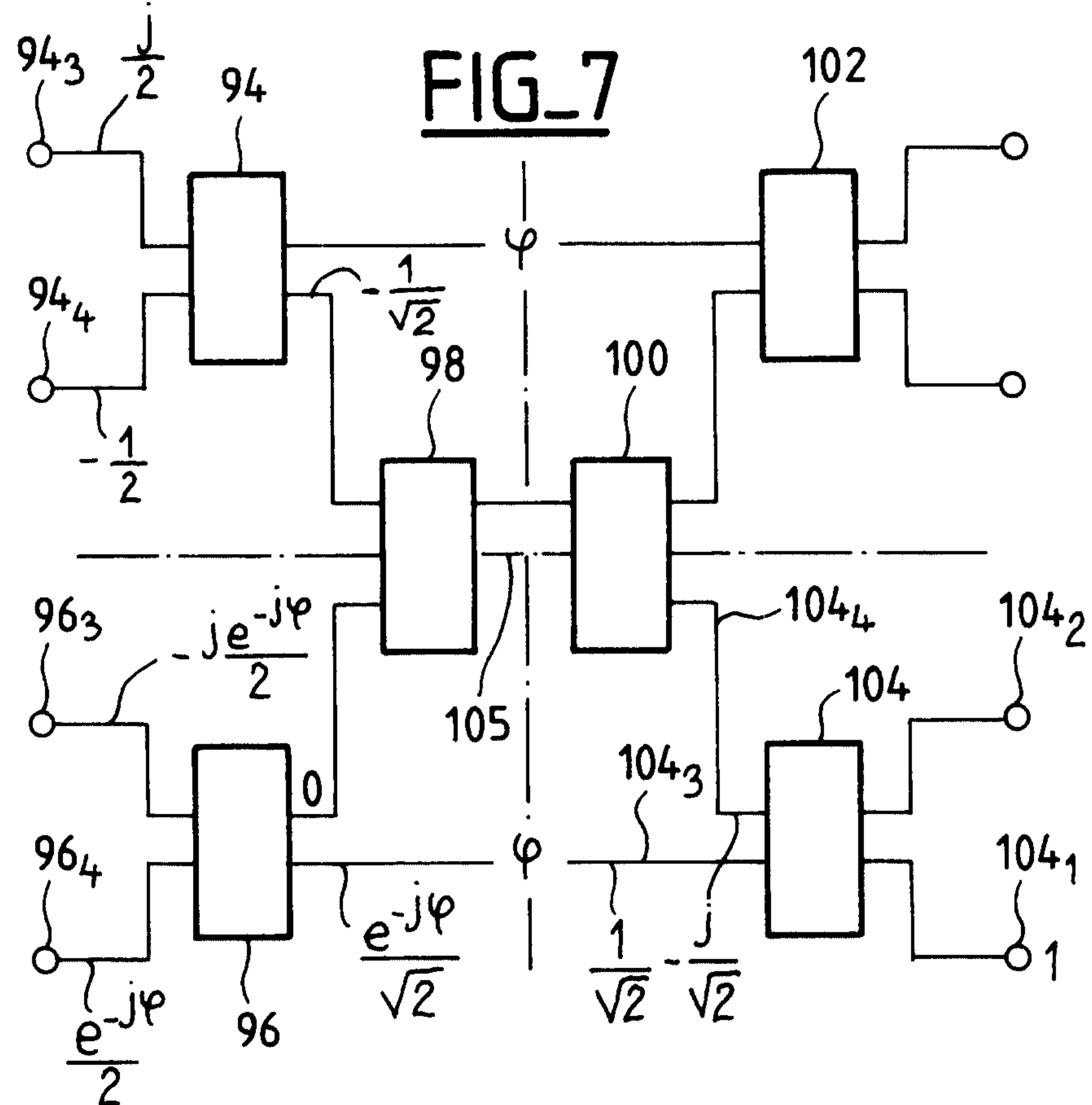
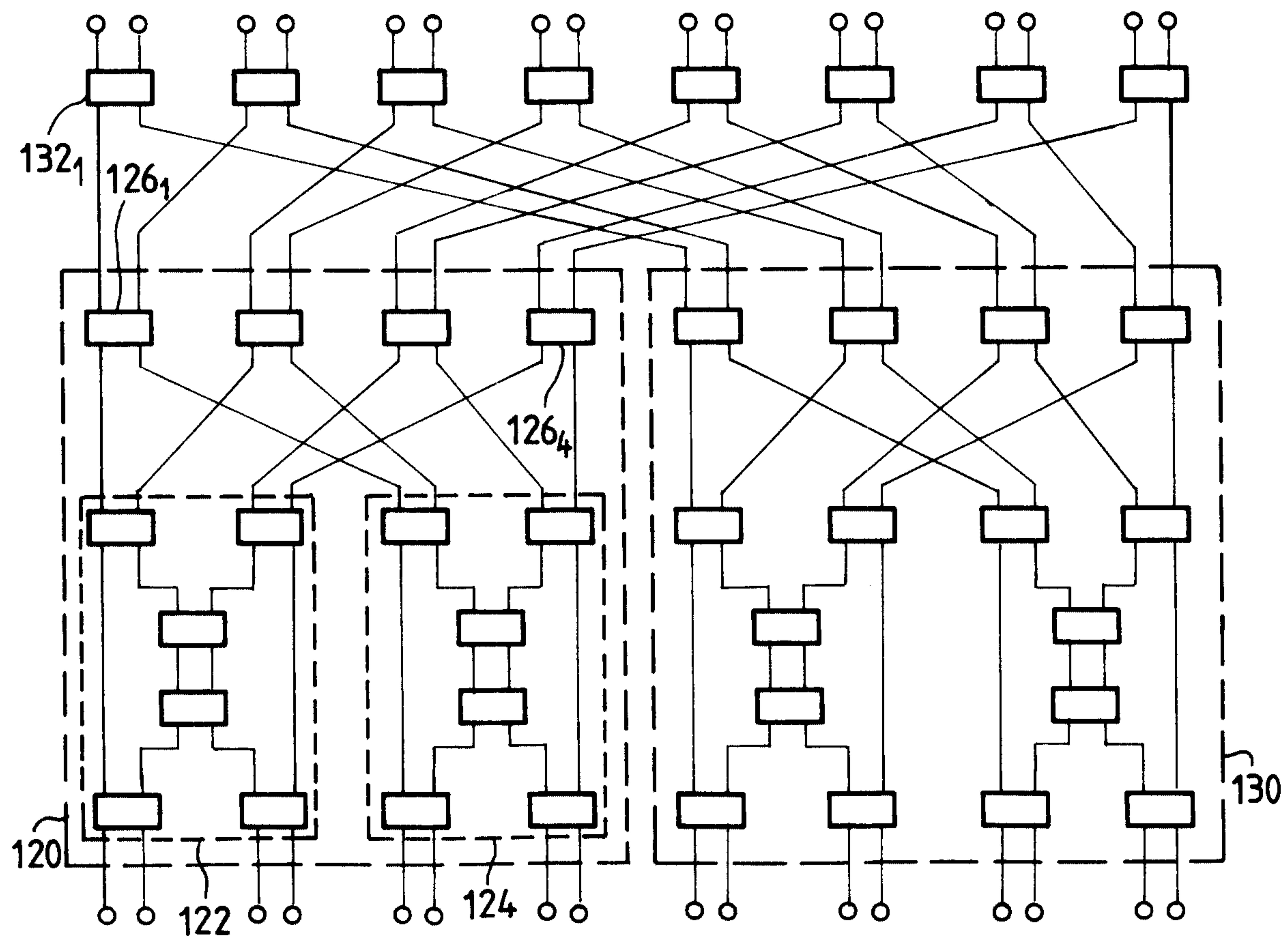


FIG_5



FIG_6



**FIG-8**

FIG_9