

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

11

Numéro de publication:

**0 368 121  
A1**

12

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21

Numéro de dépôt: **89120178.2**

51

Int. Cl.<sup>5</sup>: **H01Q 3/26**

22

Date de dépôt: **31.10.89**

30

Priorité: **03.11.88 FR 8814330**

43

Date de publication de la demande:  
**16.05.90 Bulletin 90/20**

84

Etats contractants désignés:  
**DE FR GB IT SE**

71

Demandeur: **ALCATEL ESPACE**  
**11, avenue Dubonnet**  
**F-92407 Courbevoie Cédex(FR)**

72

Inventeur: **Cerro, Albert**  
**52, avenue Victor Segoffin**  
**F-31400 Toulouse(FR)**  
Inventeur: **Coustere, Michel**  
**78, rue du Maréchal Lyautey**  
**F-78100 Saint-Germain-en-Laye(FR)**  
Inventeur: **Hanin, Benoît**  
**Pratviel Sainte Foy d'Aigrefeuille**  
**F-31570 Lanta(FR)**  
Inventeur: **Lenormand, Régis**  
**7bis, Pargaminières**  
**F-31000 Toulouse(FR)**  
Inventeur: **Marre, Jean-Philippe**  
**1, rue Henri Barbusse Seysses**  
**F-31600 Muret(FR)**

74

Mandataire: **Weinmiller, Jürgen et al**  
**Lennéstrasse 9 Postfach 24**  
**D-8133 Feldafing(DE)**

54

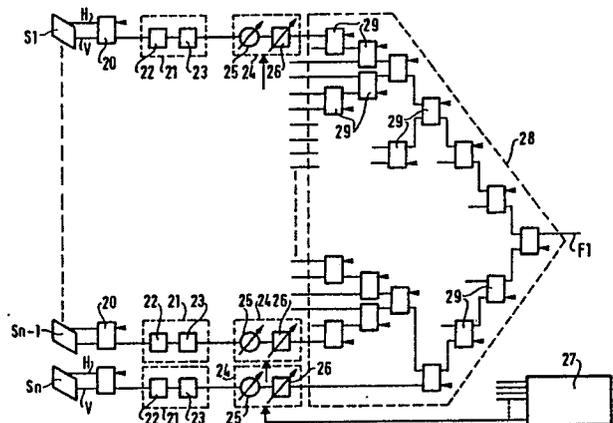
**Antenne à balayage électronique.**

57

L'antenne à balayage électronique comprenant un réseau de sources élémentaires (S), un réflecteur focalisant l'énergie, une électronique d'alimentation et de commande ; les sources élémentaires étant situées dans la zone focale du réflecteur, l'électronique d'alimentation et de commande comprenant plusieurs circuits d'atténuateur et de déphasage (24) pilotés par une unité de commande (27), ces circuits étant reliés en sortie à au moins un combineur (28)

Application notamment au domaine des télécommunications spatiales.

**FIG. 3**



**EP 0 368 121 A1**

## Antenne à balayage électronique

L'invention se rapporte à une antenne à balayage électronique.

Un ouvrage intitulé "télécommunications spatiales" de la collection technique et scientifique des télécommunications notamment dans son tome I pages 92 à 94 et pages 259 à 261 (Masson, 1982) décrit d'une part le fait de grouper plusieurs antennes, alimentées simultanément par le même émetteur avec interposition de diviseurs de puissances et de déphaseurs, les caractéristiques de rayonnement de ce groupement dépendant à la fois du diagramme de chaque antenne et de la répartition des puissances en amplitude et phase. Cette propriété est mise à profit pour obtenir un diagramme qui ne pourrait pas être obtenu avec une seule source rayonnante. Si en outre on modifie les caractéristiques des diviseurs de puissance et des déphaseurs par des moyens électroniques, on peut obtenir une modification quasi instantanée du diagramme. Le groupement le plus simple de sources rayonnantes est le réseau, dans lequel toutes les sources sont identiques et se déduisent l'une de l'autre par une translation quelconque. On peut donc avoir en particulier des réseaux rectilignes ou plans.

Ce document décrit, d'autre part, l'utilisation d'antennes à réflecteur pour la génération de faisceaux multiples, qui présentent l'avantage d'une faible poids et des possibilités de réalisation de grandes surfaces de rayonnement en utilisant des structures déployables. On fait généralement appel à ce type d'antennes lorsque l'on veut engendrer de nombreux faisceaux étroits. En général le système d'illumination du réflecteur est décentré par rapport à celui-ci de façon à éviter tout blocage de l'ouverture rayonnante. En effet, un blocage de cette ouverture se traduit par un accroissement du niveau des lobes secondaires, ce qu'il faut à tout prix éviter dans ce genre d'application. Le réflecteur principal est par exemple un paraboloïde. Les faisceaux multiples sont obtenus en plaçant un ensemble de sources d'illumination au voisinage du foyer, chaque source correspondant à un faisceau. Du fait qu'on ne peut pas les placer exactement au foyer, l'illumination n'est pas géométriquement parfaite et il se produit des aberrations de phase qui dégradent quelque peu les performances de rayonnement. On observe une déformation du diagramme de rayonnement, des baisses de gain par rapport aux valeurs réalisables au foyer, et des lobes secondaires parasites. Ces dégradations sont d'autant plus importantes que l'on s'écarte du foyer et que la courbure du réflecteur est importante. On doit donc réaliser des réflecteurs aussi "plats" que possible, c'est-à-dire avec un rapport distance fo-

cale à diamètre d'ouverture élevé. Ceci conduit à des structures de dimensions importantes qui posent des problèmes de précision et de tenue mécanique. De plus, il peut exister entre les différentes sources des couplages mutuels parasites qui créent des lobes secondaires supplémentaires.

Dans le domaine spatial des applications, qui nécessitent une déflexion électronique de l'onde rayonnée sur un large champ visuel, conduisent à des déviations angulaires de plusieurs largeurs de pinceau. En conséquence, la possibilité de contrôler précisément la forme du diagramme de l'antenne est essentielle. La configuration de ces grandes antennes doit aussi tenir compte de plusieurs aspects système :

- limitation en volume du satellite, liée à la nécessité pour une antenne de transmettre et de recevoir simultanément ;
- compatibilité de la facilité d'agencement mécanique sur la plate-forme, et sur le lanceur avant et pendant le fonctionnement ;
- bon contrôle thermique ;
- multiplicité éventuelle des missions et des utilisateurs.

L'invention a pour but de résoudre ces différents problèmes.

L'invention propose, à cet effet, une antenne à balayage électronique, caractérisée en ce qu'elle comprend un réflecteur focalisant l'énergie, un réseau de sources élémentaires, une électronique d'alimentation et de commande ; le réseau étant situé dans la zone focale du réflecteur, l'électronique d'alimentations et de commande comprenant plusieurs circuits d'atténuation et de déphasage pilotés par une unité de commande, ces circuits étant reliés en sortie à au moins un combineur.

Selon l'invention, le combineur est formé d'un ensemble de jonctions hybrides dont les sorties sont combinées deux à deux jusqu'à obtenir le ou les signaux de sortie utiles.

Avantageusement l'électronique d'alimentation comprend un dispositif de commutation.

La solution proposée est du type balayage électronique. Elle est constituée d'un réseau réalisant la synthèse du champ électromagnétique dans la zone focale d'un réflecteur.

Par rapport aux solutions mécaniques, l'invention présente l'avantage de ne pas nécessiter de mouvements de la source ou du réflecteur. Elle permet d'utiliser des focales faibles (antenne compacte). Elle assure plusieurs liaisons simultanées.

Les avantages par rapport à une solution réseau à rayonnement direct sont les suivantes :

- . la performance de l'antenne n'est pas liée directement à la dimension totale du réseau,

. l'implantation n'est pas obligatoirement sur la face terre du satellite.

Par rapport à une solution réseau imageur à simple réflecteur, la solution proposée présente les avantages suivants :

- . la dimension hors tout du réseau est réduite,
- . l'efficacité antenne est améliorée.

Enfin, si on compare la solution proposée à une solution réseau imageur à double réflecteur, la compacité de l'antenne de l'invention est clairement mise en évidence.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'ailleurs de la description qui va suivre, à titre d'exemple non limitatif, en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- la figure 1 illustre schématiquement l'antenne à balayage selon l'invention ;

- la figure 2 illustre le fonctionnement de l'antenne selon l'invention ;

- la figure 3 illustre une première réalisation d'une électronique d'alimentation et de commande de l'antenne selon l'invention ;

- la figure 4 illustre une seconde réalisation d'une électronique d'alimentation et de commande de l'antenne selon l'invention ;

- les figures 5, 6 et 7 illustrent une troisième réalisation d'une électronique d'alimentation de l'antenne selon l'invention.

- les figures 8, 9 et 10 illustrent une quatrième réalisation d'une alimentation de l'antenne selon l'invention.

L'antenne de l'invention, représentée à la figure 1, comprend un réflecteur parabolique 10 excentré alimenté par un réseau plan 11 de sources situé au voisinage du foyer F du réflecteur, le réseau 12 représentant le réseau de sources virtuelles correspondant à ce réseau 11

La figure 2 donne un exemple de plusieurs répartitions en amplitude lors de déplacement selon deux directions OX et OY au niveau du réseau 11 de sources.

Les diamètres des disques portés sur la figure 2 représentent l'amplitude du signal reçu par les différentes sources du réseau.

L'efficacité pour capter ces différentes répartitions d'énergie, lorsque le capteur a une loi de répartition fixe, ne peut être optimale. Il en est de même pour la répartition en phase.

Ainsi si l'on déplace fictivement une source par rapport au foyer du réflecteur on dégrade le rendement de l'antenne.

Dans l'antenne selon l'invention, on joue sur l'amplitude et sur la phase de chaque source élémentaire ; ce qui permet de réaliser la synthèse optimale de chaque source élémentaire comme si elle était au foyer F du réflecteur.

Un tel fonctionnement permet de réaliser une antenne dont le gain ne dépend pas de la direction

de pointage, tout en maintenant fixes le réflecteur 10 et le réseau 11 de sources élémentaires.

En utilisant le réseau 11 de sources on capte localement les composantes correspondant à la distribution réelle. Après filtrage et amplification, ces composantes sont affectées de termes de phases (par des déphaseurs variables) en vue d'annuler leurs phases différentielles, et additionnées de manière optimale par un sommateur constitué d'atténuateurs variables et de coupleurs hybrides.

Le déplacement du maximum d'amplitude du champ est fonction de l'angle  $\theta$  de balayage d'une part, et de la distance du centre du réseau au centre du réflecteur, d'autre part.

La dimension du réseau est déduite de l'excursion maximale et de la répartition d'amplitude. Cette répartition varie en fonction de  $\theta$  en raison des aberrations.

Une telle alimentation par réseau permet de synthétiser une distribution de champ qui harmonise au mieux la distribution de champ électromagnétique dans la région du foyer F du réflecteur 10. Plus précisément, quand l'antenne reçoit des signaux, cela implique l'optimisation des coefficients d'amplitude et de phase relatives appliqués à chaque source élémentaire du réseau, pour recevoir une puissance maximale en provenance d'une direction particulière.

Les coefficients d'amplitude et de phase relatives, qui doivent être appliqués aux éléments du réseau, sont calculés par la technique bien connue de l'homme de l'art de "l'adaptation par complexes conjugués". Pour un transfert de puissance maximale entre chaque source élémentaire du réseau et sa distribution de champ environnante, la distribution de champ globale sur l'ouverture du réseau doit être le conjugué de la distribution de champ dans la région du foyer du réflecteur.

Un tel contrôle de l'amplitude et de la phase des sources élémentaires présente de nombreux avantages, puisque en principe, n'importe quelle distribution de champ peut être synthétisée (en dépendance de l'espacement entre sources élémentaires). La restriction habituelle d'un grand ratio F/D, F étant la distance focale du réflecteur et D son diamètre, (pour réduire des pertes dues au dépointage) peut être relaxée ce qui permet d'optimiser la position du réseau. Ces caractéristiques ont un impact important sur la forme globale du sous-système antenne ; ainsi, par exemple, le réseau peut être monté directement sur une face de la plate-forme du satellite pour faciliter le contrôle thermique. De plus un faible ratio F/D peut être utilisé de manière à disposer le réflecteur près de la plateforme, sans entraîner de pertes de dépointages significatives.

A la figure 3 est représentée une première réalisation de l'électronique de mise en oeuvre de

l'antenne selon l'invention, dans le cas d'un seul faisceau reçu.

En sortie de chaque source élémentaire  $S_j$  on a une première sortie polarisation horizontale H et une seconde sortie polarisation verticale V, qui sont toutes deux reliées à un coupleur hybride 20 dans lequel, après déphasage de  $90^\circ$  dans le temps d'un signal par rapport à l'autre, on obtient une polarisation circulaire somme des deux polarisations horizontale et verticale.

Les signaux respectifs obtenus en sortie des coupleurs hybrides 20 sont entrés dans un circuit 21 d'amplification faible bruit, constitué par exemple d'un filtre 22 et d'un amplificateur 23 proprement dit, puis dans un circuit 24 de formation de faisceau constitué d'un déphaseur réglable 25 et d'un atténuateur réglable 26 pilotés respectivement par une unité de commande 27. Les signaux antennes en sortie de ces circuits de formation de faisceaux sont entrés dans un combineur 28 formé d'un ensemble de coupleurs hyperfréquences 29, par exemple des jonctions hybrides, dont les sorties sont combinées deux à deux jusqu'à obtenir le signal F1 de sortie utile correspondant au faisceau considéré.

Dans le cas de m faisceaux reçus, l'électronique d'alimentation a la forme représentée à la figure 4.

Sur cette figure les éléments identiques à ceux représentés sur la figure 3 ont été référencés avec les mêmes numéros.

Un circuit 21 d'amplification faible bruit est situé derrière chaque source  $S_j$ . Après amplification, le signal est divisé (35) par le nombre m d'utilisateurs sans dégradation significative du ration G/T (G étant le gain et T la température de bruit).

Les circuits 24 de formation de faisceau ajustent alors l'amplitude et la phase de chacun des signaux, ces signaux étant ensuite envoyés sur m combineurs de puissance 28, une sortie maximum étant obtenue après sommation. On récupère alors m signaux F1... Fm, correspondant à chacun des faisceaux.

Pour limiter le nombre de voies à additionner, on remarque que, pour une direction  $\theta$  donnée, seule une partie du réseau contribue de manière significative à la performance. On peut donc, en utilisant un dispositif de commutation, se contenter d'un sommateur à peu de voies. Pour suivre la trace de la tache sur le réseau, le système de commutation fonctionne comme suit : Les circuits actifs correspondant à des sources élémentaires  $S_p, S_{p+1}, S_{p+q}$  à l'état N sont affectés ensuite à des sources élémentaires  $S_r, S_{r+1}, S_{r+q}$  à l'état N+1.

La poursuite d'un mobile s'effectue alors comme suit :

- . pour de faibles variations, on actualise les composantes d'adaptation aux champs (amplitude et phase de chaque voie) pour garder le niveau maximal de directivité en direction du mobile,
- 5 . lorsque le déplacement de la tache a atteint un certain seuil, on commute les voies de manière à garder actifs les éléments contribuant le plus à la performance de gain globale.

Ainsi un dispositif de commutation est disposé 10 entre le circuit 21 d'amplification faible bruit et le circuit 24 d'alimentation et de déphasage de telle façon que seuls les éléments qui reçoivent une puissance significative soient contrôlés par un réseau de taille réduite, et en combineur de puissance ; un groupe d'éléments seulement, et non tout le réseau, devant être contrôlé pour chaque faisceau (ou chaque utilisateur).

Une telle variante permet de réduire la masse de façon importante.

20 Ainsi comme représenté à la figure 5, dans le cas d'un seul faisceau, les sources  $S_j$  suivies de leurs coupleurs hybrides 20, de leurs circuits 21 d'amplification faible bruit respectifs sont reliées à un dispositif de commutation 31.

25 Les q sorties (33) de ce dispositif de commutation 31 sont les entrées (34) d'une unité de formation de faisceau 32, représentée à la figure 7, qui correspond à celle représentée à la figure 3, mais avec un nombre de circuits moindre. Pour différencier ces circuits de ceux représentés à la figure 3, on a affecté leurs références d'un '.

30 Cette troisième réalisation peut, tout aussi bien, être adaptée dans le cas de m faisceaux, on utilise alors un dispositif de commutation, comme représenté figure 6 ; les sorties de ces m dispositifs de commutation sont connectées à m unités de formation de faisceau 32.

Une quatrième variante de l'antenne selon l'invention permet de réduire d'une façon significative le nombre des circuits d'atténuation et de déphasage.

40 Elle consiste à remplacer les dispositifs de commutation 31 par des circuits passifs, ce qui permet de diminuer la complexité et d'améliorer la fiabilité de l'antenne tout en conservant les avantages de la variante utilisant ces circuits de commutation.

45 Cette variante est basée sur l'observation suivante : sur les n éléments rayonnants constituant l'antenne, un certain nombre d'entre eux ne sont jamais utilisés simultanément. Ils peuvent être regroupés dans des classes C1 à Cq de 2 à (X) unités de réception (une unité de réception comprend un élément rayonnant 20 + un filtre 22 + un amplificateur faible bruit 23) ; de telle sorte que chaque unité est utilisée séquentiellement.

50 Dans chaque classe les unités de réception sont regroupées sur un combineur passif 40 constitué de coupleurs 29 identiques et équilibrés. Si on

a déterminé q classes on aura donc q sorties qui seront connectées aux q entrées d'une unité de formation de faisceau 32, on aura donc réduit le nombre de circuits d'atténuation et de déphasage 24 dans le rapport q/n.

Pour chaque classe Ci, l'élément rayonnant utilisé à un instant donné est désigné en alimentant l'amplificateur faible bruit 23 qui lui est associé. Cette disposition ayant pour avantage de réduire la consommation de l'ensemble de ces amplificateurs dans le rapport q/n.

Dans l'application ci-après citée à titre d'exemple, l'antenne comprend 126 éléments rayonnants répartis en 29 classes de 2 à 8 éléments ne travaillant jamais simultanément.

La réduction du nombre d'unité d'atténuation et de déphasage est réduite dans un rapport supérieur à 4 en améliorant la masse et la fiabilité de l'ensemble.

Les figures présentent une extension de la variante proposée dans le cas d'utilisation de l'antenne avec m utilisateurs donc m faisceaux simultanés F1 à Fm.

La figure 9 montre une configuration dans laquelle les diviseurs de faisceaux 41 sont situés avant les combineurs 40.

La figure 10 montre une configuration dans laquelle ces diviseurs 41 sont situés après les combineurs 40, ce qui présente l'avantage de réduire leur nombre dans le rapport q/n, mais de réduire les possibilités de combinaisons des unités de réception en classes d'utilisation. Une étude d'optimisation peut conduire à un intermédiaire entre ces deux configurations.

Le fonctionnement de l'antenne à balayage électronique selon l'invention a été décrit jusqu'à présent pour la réception de faisceaux, mais il est tout aussi valable dans un fonctionnement en émission : mais dans ce cas les filtres 22 et les amplificateurs faible bruit 23 représentés aux figures 2, 3, 5 et 7 deviennent des amplificateurs de puissance.

Le réseau 11 de sources élémentaires est par exemple un réseau d'éléments imprimés ("patch") sur un support, chacun de ces éléments pouvant constituer une antenne multifréquence, par exemple bifréquence.

Il est bien entendu que la présente invention n'a été décrite et représentée qu'à titre d'exemple préférentiel et que l'on pourra remplacer ses éléments constitutifs par des éléments équivalents sans, pour autant, sortir du cadre de l'invention.

## Revendications

1/ Antenne à balayage électronique comprenant un réseau (11) de sources élémentaires, caractérisée en ce qu'elle comprend un réflecteur

(10) focalisant l'énergie, une électronique d'alimentation et de commande ; le réseau (11) étant situé dans la zone focale du réflecteur, et en ce que les sources élémentaires non utilisées simultanément sont regroupées en classes (Ci) dans lesquelles une seule source peut être active, toutes les sources de chaque classe (Ci) étant reliées à un combineur passif (40).

2/ Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que le combineur est formé d'un ensemble de coupleurs hyperfréquences (29) dont les sorties sont combinées deux à deux jusqu'à obtenir le signal de sortie utile.

3/ Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que des diviseurs de faisceaux (41) sont situés juste avant les combineurs (40).

4/ Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que des diviseurs de faisceaux (41) sont situés juste après les combineurs (40).

FIG.1

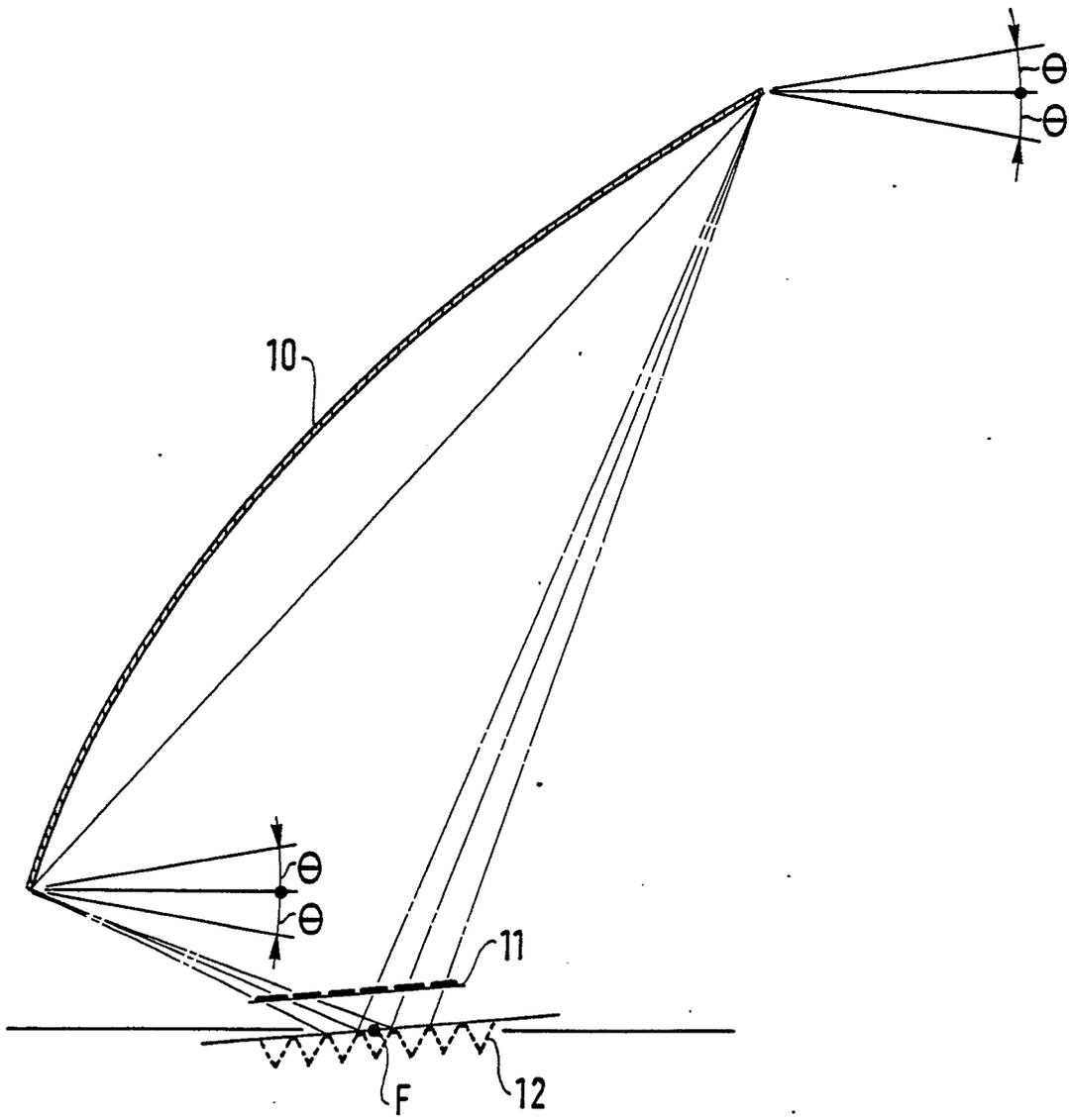
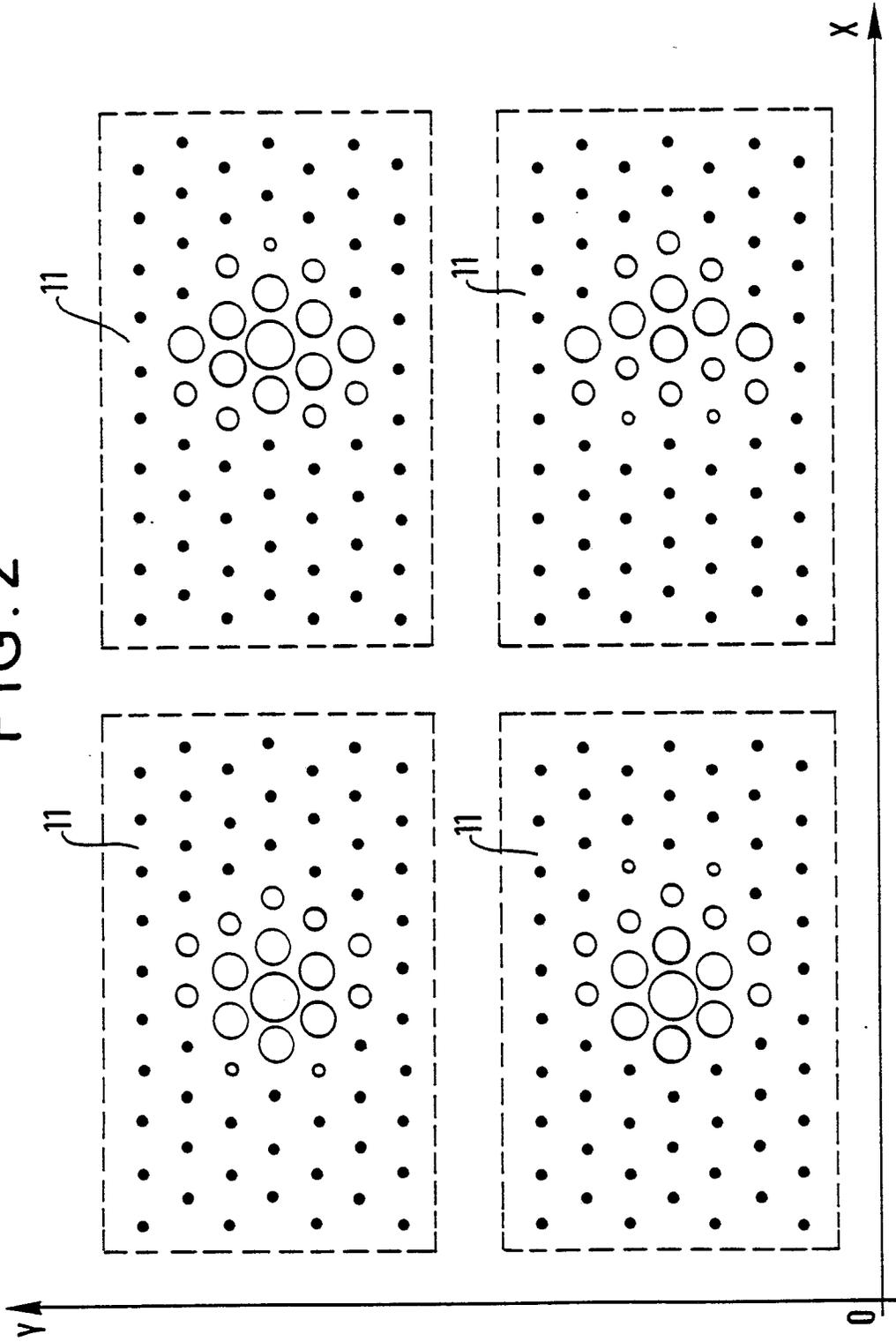


FIG. 2





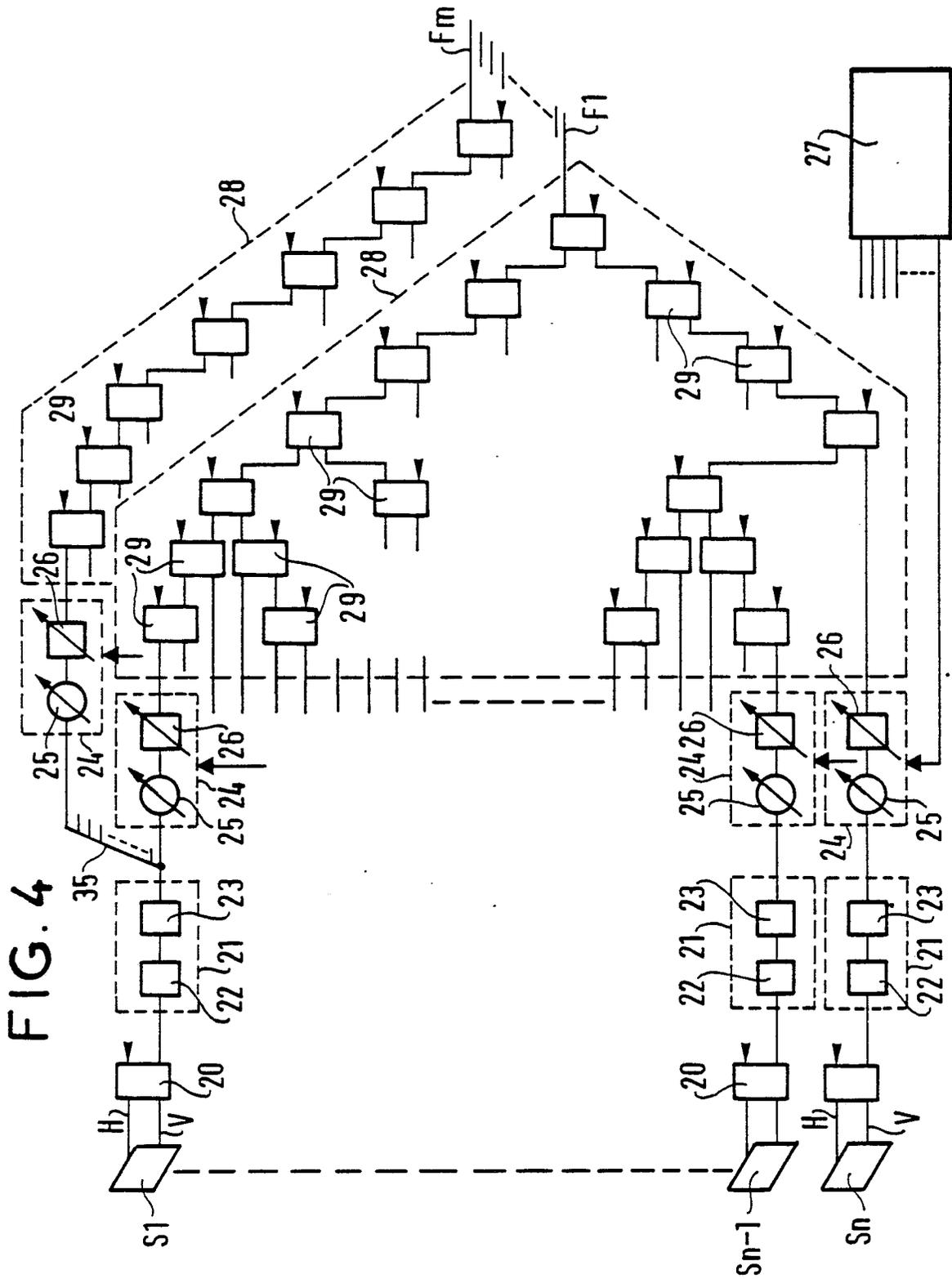


FIG. 5

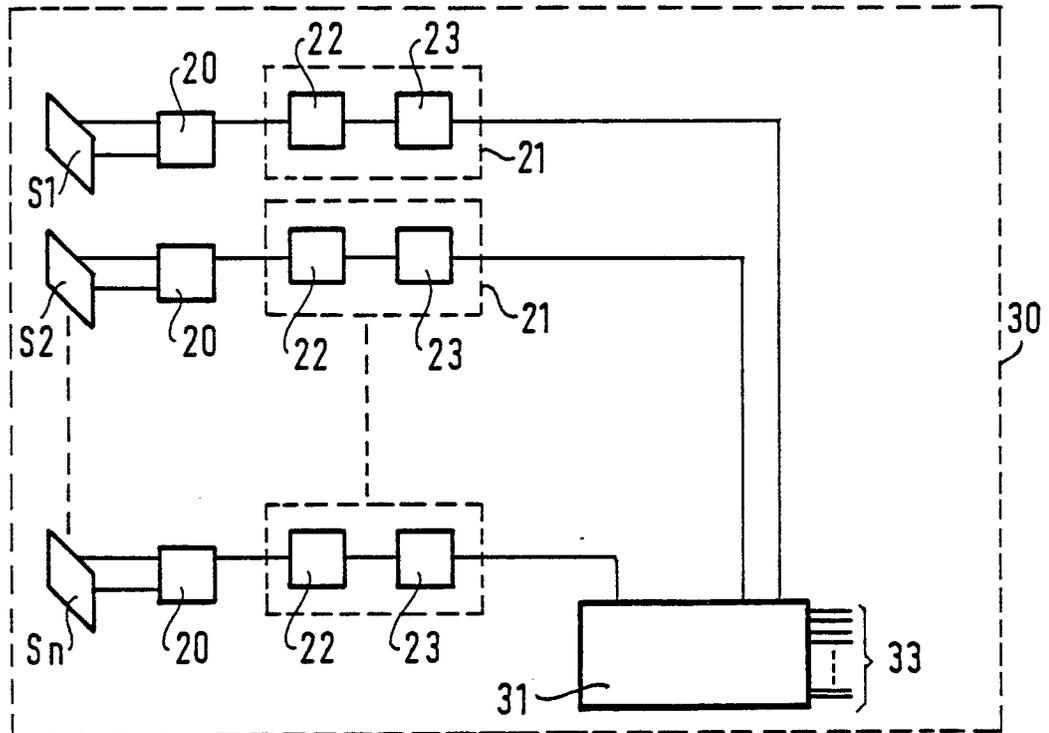


FIG. 6

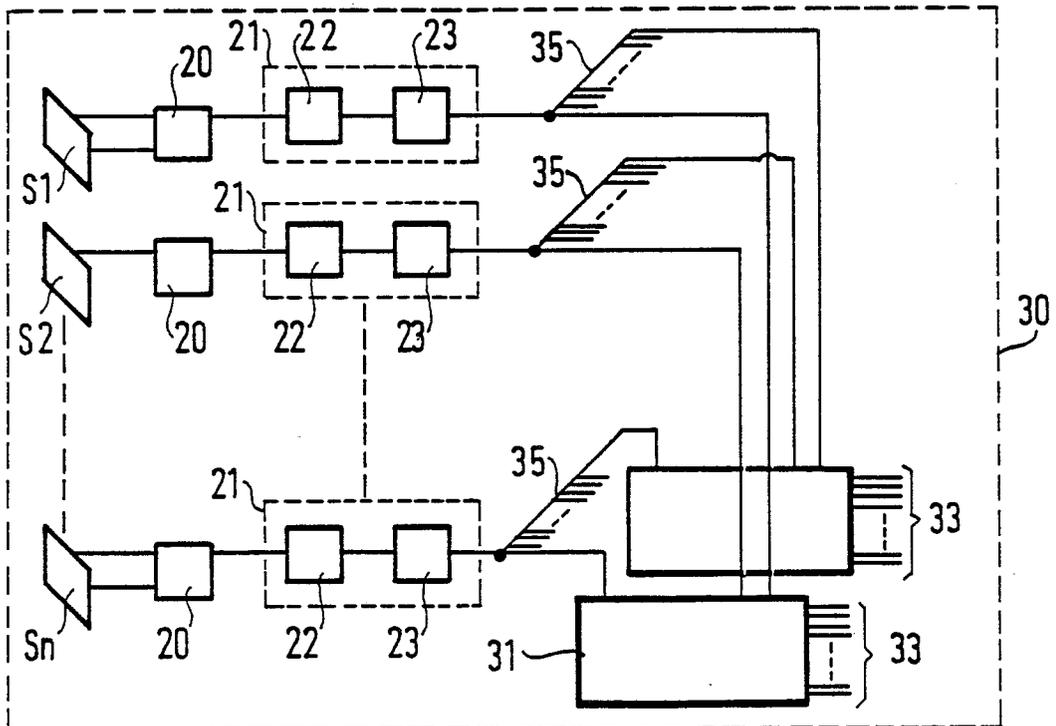


FIG. 7

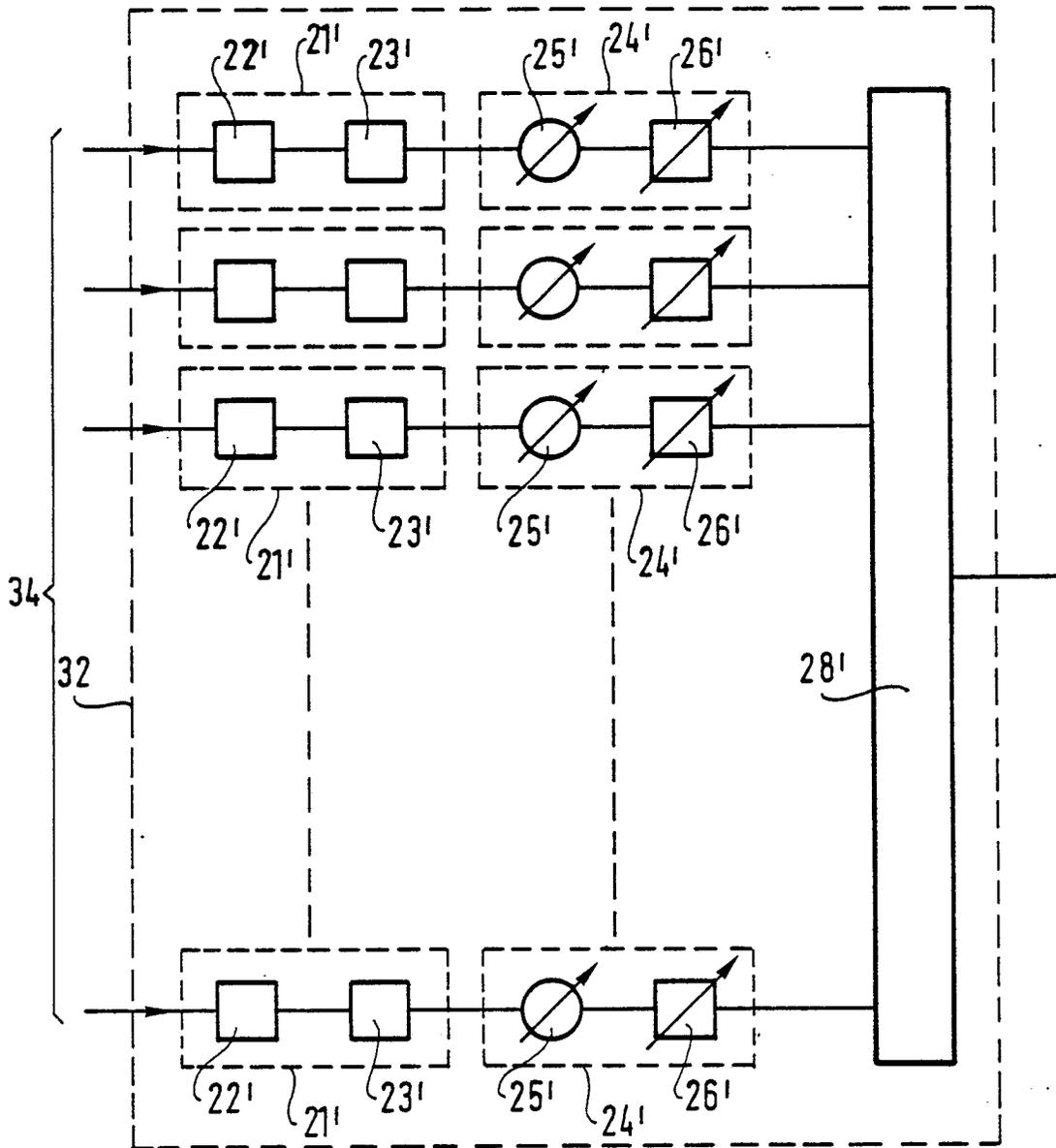


FIG. 8

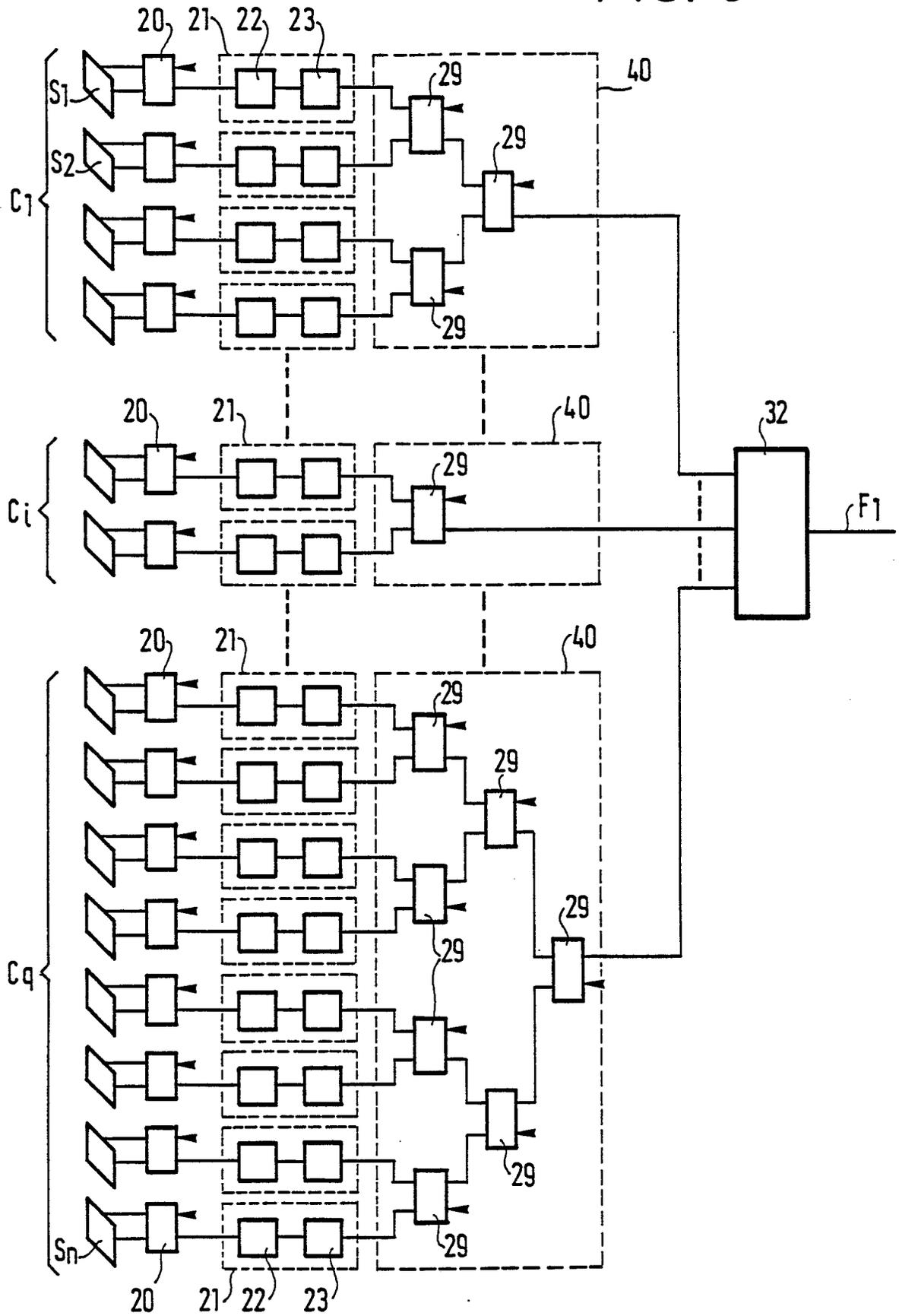


FIG. 9

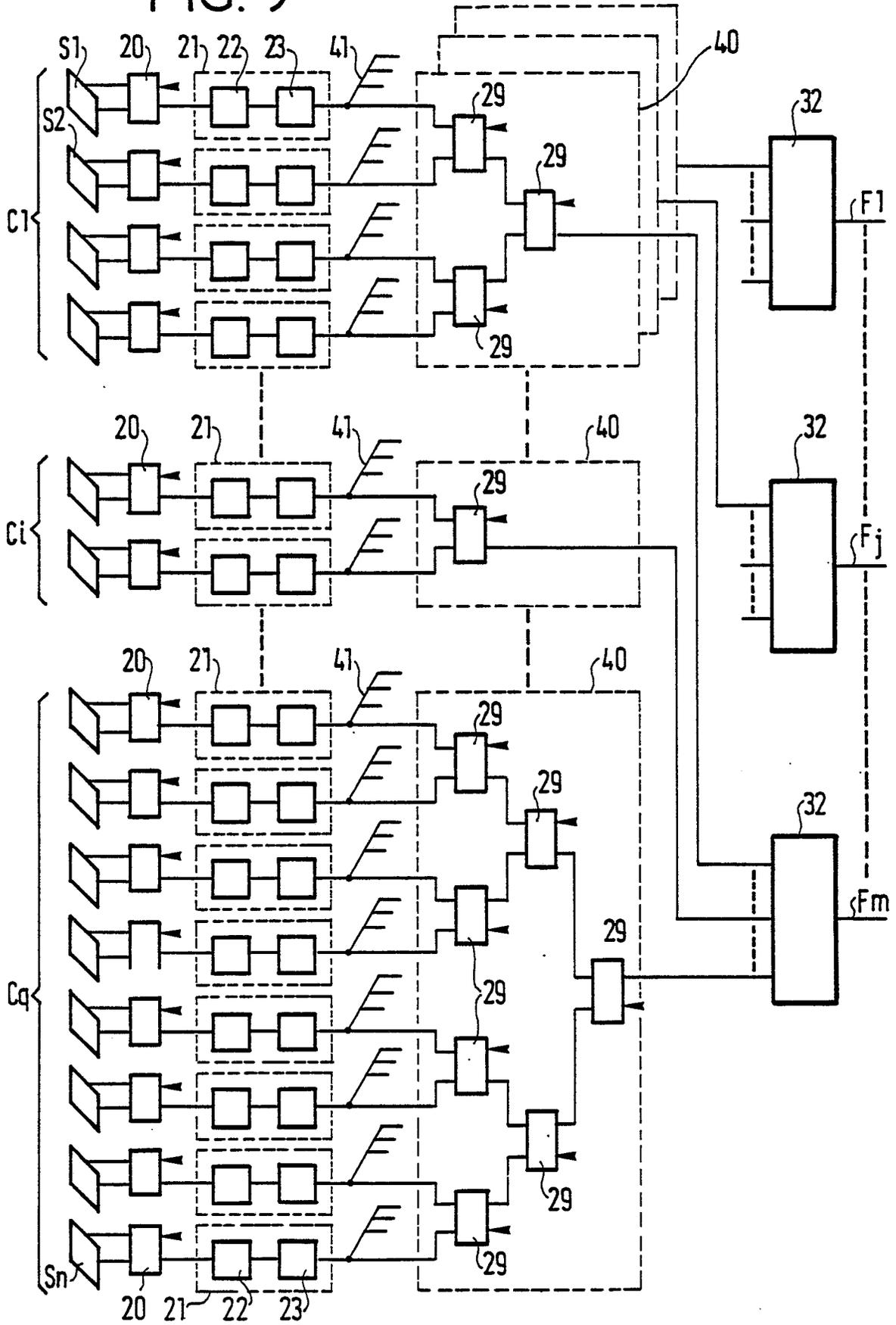
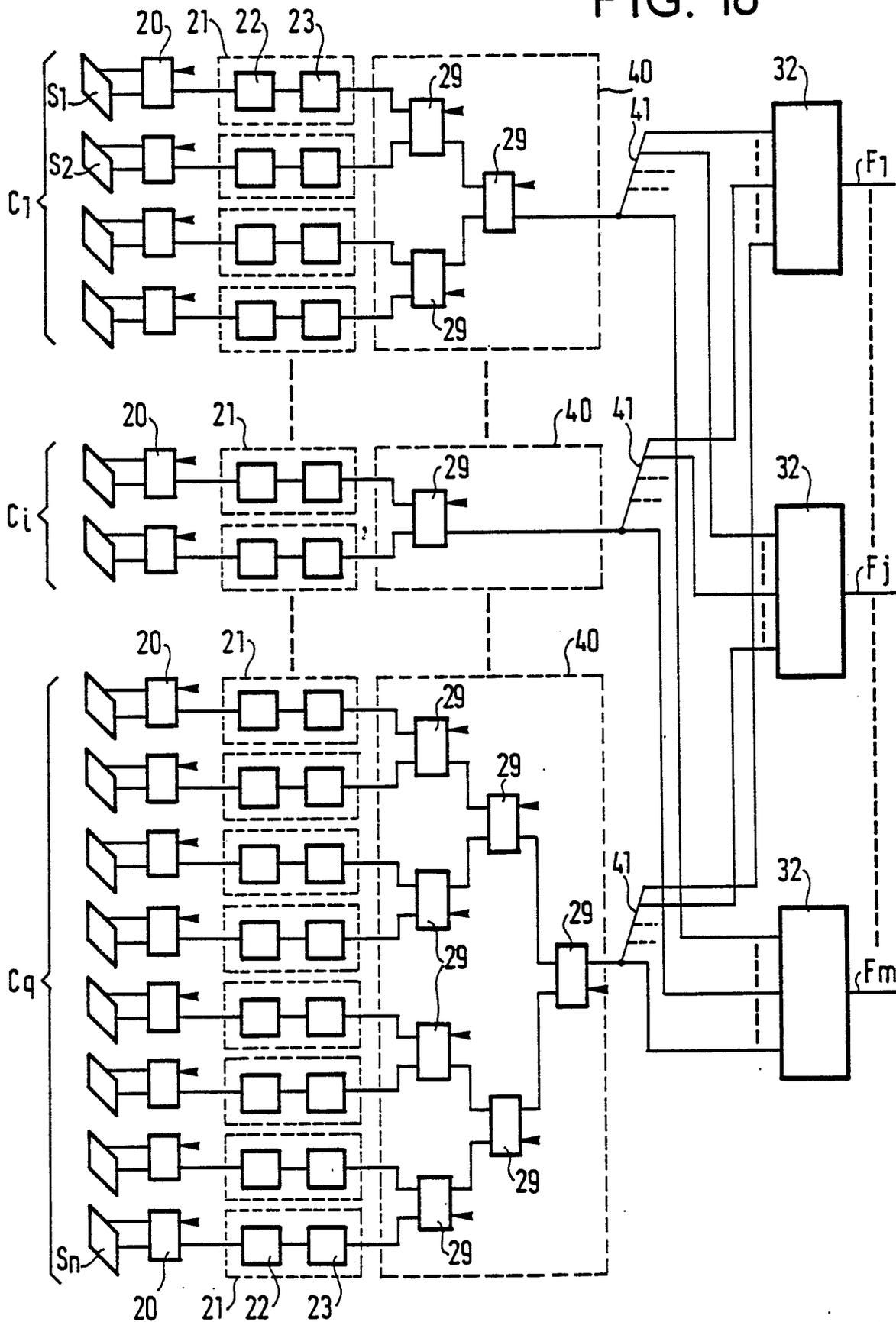


FIG. 10





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 60 (E-584)(2907), 23 février 1988; & JP - A - 62 203 403 (KOKUSAI DENSHIN DENWA CO. LTD.) 08.09.1987 ---	1	H 01 Q 3/26
Y	US-A-3 438 029 (T. D. FUCHSER et al.) * figure 1; colonne 2, lignes 2-46 * ---	1	
E	EP-A-0 340 429 (ALCATEL ESPACE) * figure 4; revendication 1 * ---	2	
A	EP-A-0 108 670 (THOMSON-CSF) * figure 1; abrégé * ---		
A	US-A-4 544 927 (R. R. KURTH et al.) * figure 2; abrégé * ---		
A	US-A-4 257 050 (G. PLOUSSIOS) * figure 2; abrégé * ---		
A	US-A-4 228 436 (E. C. DU FORT) * figure 1; colonne 2, lignes 16-33 * ---		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
A	US-A-4 090 199 (D.H. ARCHER) * figure 3; abrégé * ---		H 01 Q
A	US-A-3 737 899 (C. J. GEORGOPOULOS) * figure 1; abrégé * -----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
BERLIN	18-01-1990	BREUSING J	
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