

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 87400803.0

51 Int. Cl.³: **H 01 Q 3/26**
G 10 K 11/34

22 Date de dépôt: 09.04.87

30 Priorité: 11.04.86 FR 8605205

43 Date de publication de la demande:
14.10.87 Bulletin 87/42

84 Etats contractants désignés:
DE GB NL

71 Demandeur: **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)**
15, Quai Anatole France
F-75007 Paris(FR)

72 Inventeur: **Bolomey, Jean-Charles**
6 rue Berthollet
F-75005 Paris(FR)

74 Mandataire: **Bloch, Robert et al,**
6, rue du Faubourg Saint-Honoré
F-75008 Paris(FR)

54 **Procédé et dispositif de focalisation, sur un point à examiner, des antennes d'un réseau.**

57 Chaque signal microonde (s_i) reçu par une antenne de réseau est soumis à une modulation en amplitude (2) à l'aide d'un signal de modulation basse fréquence déphasé (C_i). Les signaux modulés (s'_i) sont sommés, et le résultat de la sommation soumis à une détection microonde (6) puis à une démodulation basse fréquence (8) à l'aide du signal de modulation (D). Le point de focalisation dépend de la loi de phase (Δ_x) selon laquelle on déphase le signal de modulation (D) pour obtenir chaque signal de modulation déphasé (C_i).

L'invention s'applique en particulier aux systèmes d'imagerie microonde et aux antennes à balayage électronique.

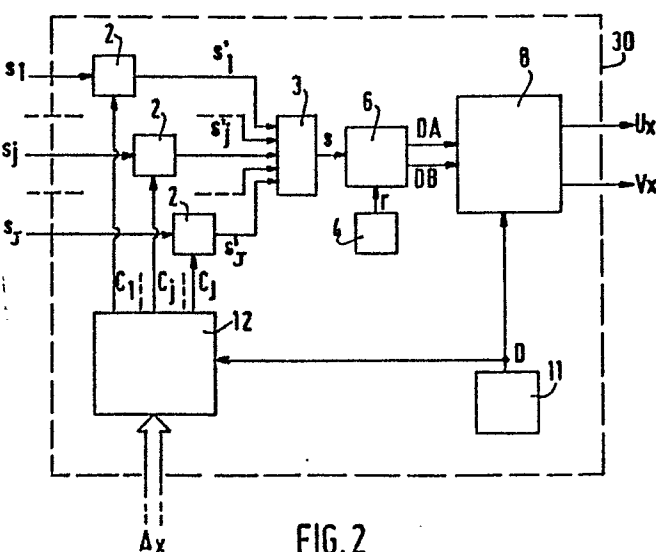


FIG. 2

La présente invention a tout d'abord pour objet un procédé de focalisation, sur au moins un point à examiner d'une source de rayonnement microonde, des antennes d'un réseau d'antennes recevant le rayonnement du point avec des
5 déphasages de réception respectifs.

Un tel procédé est utilisé lorsque l'on désire obtenir, à partir du rayonnement microonde en provenance d'un objet à analyser, une image microonde de cet objet. A cet effet,
10 un ensemble d'antennes est organisé pour former un réseau, ce terme étant pris dans un sens voisin, mais plus large, que celui qu'il possède en optique, et ce réseau d'antennes est successivement focalisé sur chacun des points à examiner de l'objet, de façon à construire, point par
15 point, l'image microonde de cet objet. Les systèmes d'imagerie microonde ont, en particulier, des applications dans le génie biomédical pour la détection et le traitement de tumeurs, par exemple, ainsi que dans le génie civil, pour la détection d'objets enterrés par exemple, ou bien pour
20 le contrôle des matériaux traités par rayonnement microonde (polymérisation, décongélation, séchage...). Par ailleurs, les antennes connues sous le nom d'antennes à balayage électronique, utilisées par exemple en radar et en télécommunications, sont organisées en un réseau d'antennes fixe
25 qui présente un maximum de sensibilité dans une direction variable commandable électroniquement, et mettent en oeuvre

un tel procédé, correspondant à la focalisation sur un point situé à une distance infinie, et défini uniquement par sa direction.

- 5 On connaît déjà un procédé de focalisation, dans lequel le signal reçu par chaque antenne est déphasé dans un déphaseur microonde, les signaux déphasés sont additionnés et le signal de sommation soumis à une détection microonde. La loi de phase, qui détermine le déphasage particulier
- 10 à appliquer à chaque signal reçu, est établie de façon à ce que les contributions en provenance du point sur lequel est focalisé le réseau se retrouvent en phase au moment de la sommation, les contributions en provenance des autres points ayant des phases quelconques les unes par rapport
- 15 aux autres. Ainsi, après sommation, le signal obtenu représente principalement la contribution du point de focalisation.

- Ce procédé connu présente, d'une part, l'inconvénient d'une
- 20 mise en oeuvre difficile sur le plan pratique, car elle nécessite d'utiliser autant de déphaseurs microondes qu'il y a d'antennes dans le réseau. Or un déphaseur microonde est un composant relativement complexe, d'un prix de revient élevé et d'un encombrement important. Dans les cas où le
- 25 nombre d'antennes atteint plusieurs centaines, voire plusieurs milliers, cette solution est donc très onéreuse. De plus, il est clair que l'encombrement des déphaseur conditionne la distance entre une antenne et les antennes voisines, c'est-à-dire le pas du réseau. Or une antenne à pas
- 30 trop grand donnera une image de mauvaise qualité. D'autre part, un inconvénient de ce procédé est qu'il ne permet pas, à un instant donné, la focalisation simultanée sur plusieurs points.

- 35 Pour pallier ces inconvénients, il est connu d'utiliser un

procédé de focalisation synthétique. Dans un tel procédé, on ne déphase pas chaque signal reçu, qui est soumis directement à une détection cohérente microonde, c'est-à-dire une détection permettant de connaître le signal détecté en module et en phase. Module et phase de chaque signal reçu sont alors acquis par un calculateur. Le calculateur effectue un traitement numérique de l'ensemble de ces données, afin d'en extraire la contribution en provenance d'un point quelconque de l'objet. Un tel traitement revient donc à une focalisation synthétique par opposition à la focalisation analogique obtenue en utilisant des déphaseurs microondes.

Le procédé de focalisation synthétique présente cependant les inconvénients suivants :

- le rapport signal à bruit est très inférieur au rapport signal à bruit du procédé de focalisation analogique;
- les seuls algorithmes de traitement numériques qu'il est possible de mettre en oeuvre ne correspondent qu'à des géométries de réseau particulières et en nombre limité (géométrie plane, cylindrique, sphérique ...);
- la mise en oeuvre pratique du procédé, qui nécessite autant de détections cohérentes microondes successives que d'antennes, impose l'utilisation d'un multiplexeur microonde à très grand nombre de voies, donc d'un prix de revient et d'un encombrement élevé;
- les détections cohérentes effectuées sur chaque signal rendent impossible le traitement des signaux incohérents, c'est-à-dire des signaux dont la phase varie de façon aléatoire, comme les signaux microondes émis par l'objet lui-même utilisés par exemple en thermographie pour

obtenir une image de la température des différents points de l'objet;

- la focalisation simultanée sur plusieurs points nécessite d'utiliser autant de calculateurs que de points de focalisation.

Pour pallier les inconvénients des procédés connus le demandeur a cherché un procédé de focalisation de type analogique, pouvant s'adapter à n'importe quelle géométrie de réseau, mais ne nécessitant pas l'emploi de déphaseurs microondes comme le seul procédé de focalisation analogique connu. Pour ce faire, le demandeur a eu l'idée d'effectuer les déphasages non plus sur les signaux microondes, mais sur un signal basse fréquence.

L'invention, qui a été faite au Laboratoire des Signaux et Systèmes de l'Ecole Supérieure d'Electricité, unité mixte 14 du Centre National de la Recherche Scientifique, a donc pour objet un procédé de focalisation, sur au moins un point à examiner d'une source de rayonnement microonde, des antennes d'un réseau d'antennes recevant le rayonnement du point avec des déphasages de réception respectifs, caractérisé par le fait que :

- les signaux délivrés par les antennes sont modulés en amplitude par au moins un même signal de modulation basse fréquence, respectivement avec des déphasages de modulation correspondant aux déphasages de réception,
- les signaux modulés sont additionnés en un signal de sommation,
- la composante microonde du signal de sommation est détectée, et

- le signal détecté est démodulé.

Le procédé de l'invention ne met en oeuvre aucun déphaseur microonde. C'est le signal de modulation basse fréquence
5 qui est déphasé dans des déphaseurs basse fréquence, au demeurant très simples. Ce résultat est obtenu en modulant en amplitude les signaux délivrés par des antennes. Or, comme cela sera abordé plus loin, on peut utiliser des modulateurs microondes peu encombrants et peu coûteux.

10

Le procédé de l'invention étant un procédé de type analogique, il peut s'adapter à des géométries de réseau non conventionnelles, il permet de compenser des irrégularités dans l'alignement des antennes du réseau, par exemple, il
15 présente un meilleur rapport signal à bruit que le procédé de focalisation synthétique, et il peut s'adapter aux rayonnements incohérents.

Avantageusement, les signaux délivrés par les antennes
20 sont modulés en amplitude par un signal de modulation basse fréquence de type carré, avec des déphasages de modulation.

Dans ce cas, la modulation peut être effectuée à l'aide d'interrupteurs microondes, du type à diode PIN par exemple,
2 donc d'un prix de revient et d'un encombrement faibles.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention, caractérisé par le fait qu'il comprend :

30

- des moyens pour engendrer un signal basse fréquence,
- des moyens pour déphaser le signal basse fréquence de déphasages correspondant aux déphasages de réception,

- des moyens pour moduler en amplitude les signaux délivrés par les antennes, par le signal basse fréquence avec les déphasages, respectivement,
 - 5 - des moyens pour additionner les signaux modulés, délivrant un signal de sommation,
 - des moyens pour détecter la composante microonde du signal de sommation et
 - 10 - des moyens pour démoduler le signal détecté.
- Naturellement et comme cela sera vu dans la description, l'invention peut également être mise en oeuvre pour la
- 15 focalisation des antennes d'un réseau d'antennes d'émission.
- La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante de plusieurs mises en oeuvre du procédé de l'invention et de plusieurs formes de réalisation du
- 20 dispositif de l'invention, faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :
- la figure 1 représente un schéma par blocs d'un réseau d'antennes de réception et d'un dispositif de focalisation
 - 25 selon l'invention;
 - la figure 2 représente un schéma détaillé du dispositif de focalisation de la figure 1;
 - 30 - la figure 3 représente un schéma détaillé du circuit de détection cohérente microonde de la figure 2;
 - la figure 4 représente un schéma détaillé du circuit de détection cohérente basse-fréquence de la figure 2;

- la figure 5 représente un schéma détaillé du circuit de déphasage de la figure 2;
 - la figure 6 représente un dispositif de focalisation
5 simultanée sur deux points des antennes d'un réseau d'antennes de réception;
 - la figure 7 représente un dispositif de focalisation des antennes d'un réseau d'antennes d'émission;
 - 10 - la figure 8 représente une première variante du dispositif de focalisation de la figure 2;
 - la figure 9 représente une deuxième variante du dispositif
15 de focalisation de la figure 2, et,
 - la figure 10 représente un diagramme temporel des signaux du dispositif de focalisation de la figure 2.
- 20 En référence à la figure 1, afin d'obtenir une image microonde d'un objet 20, on dispose une série de J antennes 1 sur une surface, ici un plan P, exposée à un rayonnement électromagnétique microonde en provenance de l'objet 20. L'antenne 1 de rang j reçoit un signal microonde s_j . Un
25 dispositif de focalisation 30 est pourvu de J entrées recevant les J signaux $s_1, \dots, s_j, \dots, s_J$. Il est aussi pourvu de deux sorties délivrant deux signaux utiles U_X et V_X , ainsi que d'une entrée de commande recevant, ici par l'intermédiaire d'un bus parallèle, un signal de commande
30 Δ_X .
- L'objet 20 peut être lui-même la source de rayonnement reçu par les antennes 1, ou il peut agir comme source secondaire, c'est-à-dire comme réflecteur d'un rayonnement
35 émis par une source primaire microonde, destinée à illuminer

l'objet 20, et non représentée sur la figure 1 dans un souci de simplicité. On considèrera dans toute la suite, sauf indication contraire, que le rayonnement microonde reçu par les antennes 1 est monochromatique de fréquence $\underline{f}$, soit parce que la source de rayonnement est elle-même monochromatique de fréquence $\underline{f}$, soit parce que, la source émettant un rayonnement dans une certaine bande de fréquence, on utilise un dispositif de focalisation 30 sélectif, centré sur la fréquence $\underline{f}$.

10

La série des J antennes 1 disposées régulièrement dans le plan P est appelée, par analogie avec les réseaux rencontrés en optique, réseau d'antennes. L'image microonde est obtenue en focalisant successivement le réseau d'antennes 1 sur chacun des points à examiner X de l'objet 20, au cours d'un balayage séquentiel, point par point, de cet objet.

Par focalisation des antennes 1 du réseau d'antennes sur un point X, on entend commande du dispositif de focalisation 30 à l'aide du signal de commande Δ_X de façon à ce que les signaux utiles U_X et V_X en sortie du dispositif ne soient représentatifs que du rayonnement microonde en provenance du point X.

25

Un dispositif de balayage séquentiel, non représenté, engendre les signaux de commande Δ_X successifs et un dispositif de visualisation, non représenté, synchronisé par le dispositif de balayage séquentiel, recueille les signaux U_X et V_X . Le dispositif de balayage séquentiel et le dispositif de visualisation sont du type classique utilisé dans les systèmes d'imagerie connus.

Avant de décrire le dispositif de focalisation 30 selon l'invention, il est utile de préciser le principe des

procédés de l'art antérieur.

Dans ces procédés, on fait subir à chaque signal s_j un déphasage microonde d'un angle déterminé $\Delta_X(j)$, et on
5 somme les J signaux déphasés. La loi $\Delta_X(j)$ qui détermine l'angle de déphasage pour chaque signal s_j , appelée loi de phase pour le point X , est établie de façon à ce que les contributions en provenance du point X , se retrouvant en phase au moment de la sommation, interfèrent de façon
10 constructive, alors que les contributions en provenance des autres points, ayant des phases quelconques les unes par rapport aux autres, interfèrent de façon destructive. Ainsi, le résultat de la sommation représente principalement la contribution du point X . On focalise donc le réseau
15 d'antennes 1 sur le point X en imposant la loi de phase $\Delta_X(j)$ à l'aide du signal Δ_X . La loi de phase $\Delta_X(j)$ peut se déduire de la connaissance des longueurs des trajets reliant le point X à chacune des antennes 1.

20 Le dispositif de focalisation 30 selon l'invention va maintenant être décrit, en référence à la figure 2. Sur cette figure, chaque référence 2 désigne un interrupteur microonde. Il est prévu autant d'interrupteurs 2 que d'entrées, c'est-à-dire ici J interrupteurs.

25

L'interrupteur 2 de rang j est pourvu d'une entrée microonde recevant le signal s_j et d'une sortie microonde délivrant le signal s'_j , ainsi que d'une entrée de commande recevant un signal C_j .

30

Un sommateur microonde 3 est pourvu de J entrées recevant les J signaux $s'_1, \dots, s'_j, \dots$ et s'_J , et d'une sortie délivrant un signal s .

35 Un circuit 6 de détection cohérente microonde est pourvu

d'une entrée de signal recevant le signal $\underline{s}$, d'une entrée de commande et de deux sorties délivrant des signaux DA et DB.

- 5 Un oscillateur microonde 4 est pourvu d'une sortie délivrant un signal $\underline{r}$ de détection cohérente microonde, reliée à l'entrée de commande du circuit 6. Le signal $\underline{r}$ est un signal sinusoïdal de fréquence $\underline{f}$.
- 10 Un circuit 8 de détection cohérente basse fréquence est pourvu de deux entrées de signal recevant les signaux DA et DB, d'une entrée de commande et de deux sorties délivrant les signaux U_X et V_X .
- 15 Un oscillateur basse fréquence 11 est pourvu d'une sortie délivrant un signal de modulation D, reliée à l'entrée de commande du circuit 8. Le signal D est un signal sinusoïdal de fréquence F, de valeur comprise entre sensiblement quelques kilohertz et sensiblement quelques mégahertz.
- 20 Un circuit de déphasage 12 est pourvu d'une entrée recevant le signal D, de J entrées de commande reliées au bus parallèle recevant le signal de commande Δ_X , et de J sorties délivrant les J signaux $C_1, \dots, C_J, \dots$ et C_J .
- 25 En référence à la figure 3, le circuit 6 de détection cohérente microonde comprend deux mélangeurs 61 et 62 et un déphaseur 63. Les mélangeurs 61 et 62 sont du type comprenant deux entrées, et une sortie délivrant un signal égal,
- 30 à tout instant, au produit des signaux reçus sur les deux entrées. Il s'agit ici des dispositifs connus par l'homme de métier sous le nom de modulateurs en anneau ou mélangeurs équilibrés.
- 35 Le mélangeur 61 reçoit sur une entrée le signal $\underline{s}$ et sur

l'autre entrée le signal $\underline{r}$, et délivre en sortie le signal DA.

Le mélangeur 62 reçoit sur une entrée le signal $\underline{s}$ et sur
5 l'autre entrée le signal $\underline{r}$ déphasé d'un angle égal à $\pi/2$, dans le déphaseur 63. Le mélangeur 62 délivre en sortie le signal DB.

En référence à la figure 4, le circuit de détection cohé-
10 rente basse fréquence 8 comprend quatre mélangeurs 81, 82, 83 et 84, deux déphaseurs 85 et 85', un soustracteur 86 et un additionneur 88, et deux filtres passe-bas 87 et 89.

Les mélangeurs 81 à 84 sont d'un type comparable à celui
15 des mélangeurs 61 et 62. Le mélangeur 81 reçoit sur une entrée le signal DA et sur l'autre entrée le signal D, et il délivre en sortie un signal SA. Le mélangeur 82 reçoit sur une entrée le signal DB et sur l'autre entrée le signal D déphasé d'un angle égal à $\pi/2$ dans le déphaseur 85, et
20 il délivre en sortie le signal SB. Le mélangeur 83 reçoit sur une entrée le signal DA et sur l'autre entrée le signal D déphasé d'un angle égal à $\pi/2$ dans le déphaseur 85', et il délivre en sortie le signal SC. Le mélangeur 84 reçoit sur une entrée le signal DB et sur l'autre entrée le
25 signal D, et il délivre en sortie le signal SD.

Le soustracteur 86 reçoit sur ses deux entrées les signaux SA et SB; sa sortie est reliée au filtre 87, qui délivre en sortie le signal U_X .

30

L'additionneur 88 reçoit sur ses deux entrées les signaux SC et SD; sa sortie est reliée au filtre 89 qui délivre en sortie le signal V_X .

35 En référence à la figure 5, le circuit de déphasage 12

comprend J déphaseurs commandables 121. Le déphaseur 121 de rang j est pourvu d'une entrée de signal recevant le signal D, d'une entrée de commande de l'angle $\Delta_X(j)$ de déphasage, recevant un signal de commande également appelé $\Delta_X(j)$ dans un souci de simplicité, et d'une sortie de signal délivrant le signal C_j , déphasé de l'angle $\Delta_X(j)$ par rapport au signal de modulation D.

Les J entrées de commande des J déphaseurs 121 constituent le bus parallèle auquel est appliqué le signal Δ_X composé des J signaux $\Delta_X(j)$.

Les interrupteurs 2 sont ici des commutateurs à diodes PIN, bien connus de l'homme de métier.

Le sommateur 3 et les mélangeurs 61 et 62 sont des circuits du type connu par l'homme de métier pour une utilisation microonde, alors que les mélangeurs 81 à 84, le soustracteur 86 et l'additionneur 88, les filtres passe-bas 87 et 89 et les déphaseurs 121 sont des circuits du type connu par l'homme de métier pour une utilisation en basse fréquence.

Le fonctionnement du dispositif de focalisation 30 qui vient d'être décrit est maintenant expliqué, en référence à la figure 10.

On suppose que le signal $\underline{r}$, non représenté, de fréquence $\underline{f}$, délivré par l'oscillateur microonde 4, est de la forme

$$r = \cos (2 \pi f t)$$

et que le signal D, de fréquence F, délivré par l'oscillateur 11, est de la forme

$$D = \cos (2 \pi F t)$$

Le signal C_j à la sortie du déphaseur 121 de rang j vaut alors :

$$C_j = \cos (2 \pi F t + \Delta_X(j))$$

5

Supposons alors que le signal microonde reçu par l'antenne de rang j soit de la forme :

$$s_j = A_j \cos (2 \pi f t + \delta_j)$$

10

expression dans laquelle A_j est l'amplitude du signal s_j et δ_j son angle de phase par rapport au signal $\underline{r}$.

Alors le signal s'_j en sortie de l'interrupteur 2 de rang j s'écrit :

15

$$s'_j = s_j \cdot \text{Ech } \lfloor \overline{C_j} \rfloor$$

dans cette expression, la fonction échelon $\text{Ech} \lfloor \overline{C_j} \rfloor$ est égale à 1 si C_j est positif et égal à 0 si C_j est négatif.

20

Ainsi, on peut dire que le signal s'_j est modulé en amplitude par un signal de modulation de type carré, comme le montre la figure 10.

25

Le produit du signal $\underline{r}$ par la composante s'_j du signal $\underline{s}$, effectué, dans le circuit 6 de détection cohérente microonde, par le mélangeur 61, donne un signal :

$$30 \quad r.s'_j = \cos(2 \pi f t) \cdot A_j \cos(2 \pi f t + \delta_j) \cdot \text{Ech } \lfloor \overline{C_j} \rfloor$$

c'est-à-dire :

$$r.s'_j = A_j/2 \cdot \lfloor \cos(4 \pi f t + \delta_j) + \cos(\delta_j) \rfloor \cdot \text{Ech } \lfloor \overline{C_j} \rfloor$$

La première composante de ce signal, à la fréquence $2f$, est ici filtrée par le mélangeur 61. Si cela n'était pas le cas, un filtre passe bas éliminerait cette composante. Ainsi, la contribution DA_j du signal s_j du signal DA en
 5 sortie du circuit 6 de détection cohérente microonde vaut :

$$DA_j = A_j/2 \cdot \cos \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right]$$

Pour les mêmes raisons, et compte tenu du déphasage de
 10 $\pi/2$ introduit par le déphaseur 63, la contribution DB_j du signal s_j au signal DB en sortie du circuit 6 de détection cohérente microonde vaut :

$$DB_j = A_j/2 \cdot \sin \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right]$$

15

Dans le circuit 8 de détection cohérente basse fréquence, les contributions SA_j , SB_j , SC_j et SD_j (ces deux dernières non représentées dans un souci de simplicité) du signal s_j aux signaux SA, SB, SC et SD valent :

20

$$SA_j = A_j/2 \cdot \cos \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right] \cdot \cos (2 \pi Ft)$$

$$SB_j = A_j/2 \cdot \sin \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right] \cdot \cos (2 \pi Ft + \frac{\pi}{2})$$

$$SC_j = A_j/2 \cdot \cos \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right] \cdot \cos (2 \pi Ft + \frac{\pi}{2})$$

25

$$SD_j = A_j/2 \cdot \sin \delta_j \cdot \text{Ech } \left[\overline{C}_j \right] \cdot \cos (2 \pi Ft)$$

Or, la fonction $\text{Ech } \left[\overline{C}_j \right]$ peut être décomposée en un fondamental :

30

$$\frac{1}{\pi} \cos (2 \pi Ft + \Delta_X(j))$$

et des harmoniques.

Seul le fondamental, multiplié par le signal D, déphasé de
 35 $\frac{\pi}{2}$ ou non, donnera naissance à une composante continue ou lentement variable.

Ainsi, après passage dans le soustracteur 86 et dans l'additionneur 88, et filtrage passe-bas dans les filtres 88 et 89, les contributions U_{Xj} et V_{Xj} du signal s_j aux signaux U_X et V_X s'écrivent :

5

$$U_{Xj} = A_j / 4\pi \left[\cos \delta_j \cdot \cos(\Delta_X(j)) - \sin \delta_j \cdot \sin(\Delta_X(j)) \right]$$

$$V_{Xj} = A_j / 4\pi \left[\cos \delta_j \cdot \sin(\Delta_X(j)) + \sin \delta_j \cdot \cos(\Delta_X(j)) \right]$$

10 soit

$$U_{Xj} = A_j / 4\pi \cdot \cos \left[\delta_j + \Delta_X(j) \right]$$

$$V_{Xj} = A_j / 4\pi \cdot \sin \left[\delta_j + \Delta_X(j) \right]$$

15

Il apparaît que le déphasage $\Delta_X(j)$ du signal de modulation s'ajoute au déphasage δ_j du signal microonde. Donc, tout se passe comme si on déphasait le signal s_j d'un angle $\Delta_X(j)$ dans un déphaseur microonde. Ainsi, si on choisit une loi de phase pour que l'angle $\Delta_X(j)$ corresponde à l'angle δ_j de façon à ce que leur somme reste constante quelque soit j , les signaux U_X et V_X , égaux à la somme de tous les U_{Xj} et V_{Xj} respectivement, sont bien représentatifs du rayonnement émis par le point X de focalisation.

25

Le dispositif de focalisation 70 représenté sur la figure 6 permet la focalisation simultanée sur deux points X et Y de l'objet 20, pour observer continûment ce qui se passe en ces deux points particuliers sans avoir à former une image complète, par exemple pour suivre l'évolution de leur température dans le cas de certaines applications biomédicales.

30

A cet effet, le dispositif de focalisation 70 est pourvu de deux bus recevant les signaux Δ_X et Δ_Y représentatifs

35

des lois de phases $\Delta_X(j)$ et $\Delta_Y(j)$ correspondant aux points X et Y à observer. Le dispositif de focalisation 70 est également pourvu de deux groupes de deux sorties délivrant continûment des signaux représentatifs des points X et Y, ici par exemple les signaux précédemment définis U_X , V_X , U_Y et V_Y .

Le dispositif de focalisation 70 se distingue du dispositif 30 de la figure 2 essentiellement en ce qu'il comporte deux oscillateurs 711 et 711' délivrant deux signaux D_1 et D_2 respectivement, de fréquence F_1 et F_2 respectivement. Les deux signaux D_1 et D_2 sont du même type que le signal D déjà rencontré.

Le signal de sortie de l'oscillateur 711 est appliqué à un circuit de déphasage 712 analogue au circuit 12 de la figure 2. Le circuit 712 est commandé par le signal Δ_X .

De même, le signal de sortie de l'oscillateur 711' est appliqué à un circuit de déphasage 712' analogue au circuit 12 de la figure 2, commandé par le signal Δ_Y .

Chaque circuit 712 et 712' délivre un ensemble de J signaux de modulation analogues aux signaux $C_1, \dots, C_j, \dots$, et C_J de la figure 2. Les deux signaux de modulation de rang j commandent deux interrupteurs 72 montés en parallèle en aval d'une antenne 71, de rang j . Les interrupteurs 72, au nombre de $2J$, et les antennes 71, au nombre de J , sont analogues aux interrupteurs 2 et aux antennes 1 de la figure 2.

Les J signaux de sorties des J groupes des deux interrupteurs 72 en parallèle sont additionnés dans un sommateur microonde 73, qui délivre un signal s .

Un circuit 76 de détection cohérente microonde, analogue au circuit 6 de la figure 3, reçoit le signal $\underline{s}$ sur son entrée de signal et délivre deux signaux DA et DB sur ses deux sorties.

5

Un oscillateur microonde 74, analogue à l'oscillateur 4 de la figure 2, délivre un signal $\underline{r}$ à l'entrée de commande du circuit 76.

- 10 Deux circuits 78 et 78' de détection cohérente basse fréquence sont prévus, analogues au circuit 8 de la figure 4. Chaque circuit 78 et 78' reçoit les signaux DA et DB sur ses deux entrées de signal, et, sur son entrée de commande le signal D_1 et le signal D_2 respectivement. Le circuit
15 78 délivre en sortie les signaux U_X et V_X , et le circuit 78' les signaux U_Y et V_Y .

- Le fonctionnement du dispositif de focalisation 70 est le suivant. Du fait que les fréquences F_1 et F_2 des signaux
20 D_1 et D_2 sont différentes, le circuit 78 de détection cohérente basse fréquence démodule uniquement les composantes des signaux DA et DB modulées à la fréquence F_1 dans les interrupteurs 72, c'est-à-dire celles qui correspondent à la loi de déphasage Δ_X , déterminée par le circuit de dé-
25 phasage 712, focalisant le réseau sur le point X. Pour la même raison, le circuit 78' démodule uniquement les composantes des signaux DA et DB modulées à la fréquence F_2 , c'est-à-dire celles qui correspondent à la loi de déphasage Δ_Y , focalisant le réseau sur le point Y.

30

- Naturellement, il est possible d'étendre le dispositif de focalisation qui vient d'être décrit à la focalisation
simultanée sur un nombre de points supérieur à deux, en choisissant les différentes fréquences de modulation afin
35 d'éviter tout risque d'intermodulation.

Naturellement, le procédé de focalisation de l'invention peut être étendu aux systèmes d'imagerie dans lesquels on utilise un réseau d'antennes focalisé pour illuminer un point de l'objet à observer et un réseau d'antennes
5 non focalisé, ou encore une antenne unique omnidirectionnelle, pour recevoir les rayonnements en provenance du point illuminé.

La figure 7 représente un dispositif mettant en oeuvre
10 un tel procédé. Le bloc 50 représente le dispositif de focalisation d'un réseau de K antennes d'émission 51 à focaliser sur le point X' de l'objet 20'.

Le dispositif de focalisation 50 comprend un oscillateur
15 microonde 54, délivrant un signal microonde d'émission e , de fréquence f .

Chaque antenne 51 est reliée à la sortie de l'oscillateur 54 par l'intermédiaire d'un interrupteur microonde 52,
20 du même type que les interrupteurs 2 de la figure 2. L'interrupteur 52 de rang k est pourvu d'une entrée de commande recevant un signal C_k .

Un circuit de déphasage 512, analogue au circuit de déphasage 12 de la figure 5, est pourvu d'une entrée de signal
25 et de K sorties délivrant les signaux $C_1, \dots, C_k, \dots$, et C_K chaque signal C_k étant déphasé par rapport au signal reçu sur l'entrée du circuit 512 d'un angle $\Delta_X(k)$ commandé par le signal Δ_X appliqué sur le bus de commande du bloc
30 512.

Un oscillateur 511, analogue à l'oscillateur 11 de la figure 2, délivre un signal D' de modulation de fréquence F, à l'entrée du bloc 512.

A la réception, une antenne de réception 40, ici unique, capte les signaux en provenance de l'objet 20'. Elle est suivie d'un circuit de détection cohérente microonde 56, analogue au circuit 6 de la figure 3. Le circuit 56 reçoit, sur son entrée de commande, le signal de sortie de l'oscillateur 54. Les deux sorties du circuit 56 sont reliées à un circuit de détection cohérente 58, analogue au circuit 8 de la figure 4. L'entrée de commande du circuit 58 reçoit le signal de modulation D'. Le circuit 58 délivre en sortie les signaux U_X et V_X .

Le fonctionnement du dispositif de focalisation 50 est analogue à celui du dispositif 30. Les déphasages $\Delta_X(k)$ introduits sur les signaux de modulation des signaux microondes émis produisent le même effet, sur le signal reçu et soumis à la détection cohérente microonde à fréquence f , dans le circuit 56, et à la détection cohérente basse fréquence à fréquence F dans le circuit 58, que des déphasages $\Delta_X(k)$ introduits sur les signaux microondes émis. Si ces déphasages $\Delta_X(k)$ sont choisis pour correspondre à la mise en phase, au point X, des signaux en provenance des K antennes 51, le réseau d'émission a donc été focalisé sur le point X.

Evidemment, il est possible d'utiliser simultanément un réseau d'émission focalisé à l'aide d'interrupteurs commandés à la fréquence F_E et un réseau de réception focalisé à l'aide d'interrupteurs commandés à la fréquence F_R . Dans ces conditions il faudrait effectuer deux détections cohérentes basse fréquence successives, l'une à la fréquence F_E , l'autre à la fréquence F_R . Comme ces détections cohérentes sont suivies d'un filtrage passe-bas pour ne garder que la partie basse du spectre fréquentiel du signal de sortie, il est équivalent d'effectuer une seule détection cohérente basse fréquence à la fréquence de battement F_B

entre F_E et F_R , soit :

$$F_B = |F_E - F_R|$$

- 5 Une telle situation se rencontre par exemple dans les systèmes d'imagerie utilisant des réseaux linéaires croisés. Dans de tels systèmes, on utilise, au lieu de réseaux plans, des réseaux linéaires, la direction du réseau d'émission étant perpendiculaire, par exemple, à la direction du réseau de réception. Ces réseaux linéaires croisés sont bien connus de l'homme de métier pour leur meilleure résolution spatiale longitudinale et le nombre réduit d'antennes mis en oeuvre.
- 10
- 15 Evidemment, il est possible, avec le procédé de l'invention, de focaliser simultanément les antennes d'un réseau d'émission sur plusieurs points, en transposant à l'émission le dispositif 70 de la figure 6.
- 20 Dans la description qui précède, on a implicitement considéré, dans le cas par exemple d'un réseau d'antennes de réception, que la sortie de chaque antenne était un signal microonde guidé par une structure de guidage du type guide d'onde, câble coaxial ou ligne à ruban, par exemple. Dans
- 5 ce cas, la sommation est effectuée par un sommateur microonde, comme le sommateur 3 de la figure 2, pourvu de J accès d'entrée et d'un accès de sortie, chaque accès étant raccordable à une structure de guidage du type défini ci-dessus.
- 0
- Ceci n'est pas obligatoire, et la figure 8 montre par exemple un dispositif dans lequel les antennes de réception sont des antennes dipôles 1', agencées régulièrement sur un panneau 100 en matériau isolant. Le panneau 100 est
- 5 posé devant une unique antenne 41, qui joue le rôle de

sommateur des signaux microondes captés et rayonnés à nouveau par les antennes 1', ces signaux n'étant plus, comme précédemment, supportés par une structure de guidage. Dans ce cas, les interrupteurs peuvent être de simples diodes 2', les signaux de commutations $C_1, \dots, C_j, \dots$ et C_j étant par exemple appliqués grâce à des connexions 21 peu perturbantes pour le champ électromagnétique. De façon connue de telles connexions sont réalisées par exemple, en fils de carbone de façon à être suffisamment résistives pour n'avoir qu'une faible influence sur le champ électromagnétique. On peut également envisager, pour supprimer les connexions 21, d'utiliser des diodes 2' photoconductrices commutées à l'aide de signaux lumineux appliqués par exemple à l'aide d'un faisceau laser.

L'antenne 41, jouant le rôle de sommateur, est reliée directement à un circuit de détection cohérente microonde, identique au circuit 6 de la figure 2, dans le cas d'un réseau d'antennes de réception. Le reste du dispositif est inchangé.

Pour réduire le nombre de mélangeurs utilisés dans le dispositif 30 de la figure 2, on peut, au lieu de faire effectuer à chaque mélangeur la même tâche en permanence, leur faire effectuer des tâches différentes au cours du temps. Ainsi, le dispositif de focalisation 90 de la figure 9 représente une variante du dispositif de l'invention, n'utilisant que deux mélangeurs au lieu de six.

En référence donc à la figure 9, un mélangeur 961, identique au mélangeur 61 de la figure 3, est pourvu d'une première entrée recevant le signal s en sortie du sommateur 3, d'une deuxième entrée et d'une sortie.

Un mélangeur 981, identique au mélangeur 81 de la figure 4,

est pourvu d'une première entrée reliée à la sortie du mélangeur 961, d'une deuxième entrée et d'une sortie reliée à l'entrée d'un filtre passe-bas 987, identique au filtre passe-bas 87 de la figure 4.

5

La sortie d'un oscillateur 94, identique à l'oscillateur 4 de la figure 2, est reliée à la deuxième entrée du mélangeur 961 par l'intermédiaire d'un déphaseur commandable 963. La sortie d'un oscillateur 911, identique à l'oscillateur 11 de la figure 2, est reliée à la deuxième entrée du mélangeur 981 par l'intermédiaire d'un déphaseur commandable 985.

Les déphaseurs commandables 963 et 985 sont susceptibles de déphaser d'un angle égal à 0, ou égal à $\pi/2$, en fonction d'un signal appliqué à l'entrée de commande dont chacun d'entre eux est pourvu.

Un circuit 91 de traitement et de commande, par exemple à microprocesseur, et pourvu de deux sorties reliées aux entrées de commande des déphaseurs 963 et 985, d'une entrée reliée à la sortie du filtre passe-bas 987, et de deux sorties délivrant les signaux U_X et V_X .

Le fonctionnement du dispositif de focalisation 90 est le suivant : le circuit 91 de traitement et de commande commande les déphaseurs 963 et 985 de façon séquentielle, de façon à ce que les signaux SA, SB, SC et SD précédemment définis apparaissent l'un après l'autre à l'entrée du filtre 987.

Le circuit 91 mémorise les différents signaux filtrés et traite les données correspondantes pour les additionner et délivrer les signaux U_X et V_X précédemment définis.

Dans la description qui précède, on a toujours considéré le cas où les signaux captés sont des signaux cohérents,

c'est-à-dire des signaux périodiques de phase définie, auxquels on peut appliquer une détection cohérente microonde, comme dans les circuits 6, 76, 6' et 961-63, selon les cas. L'invention n'est pas limitée à de tels rayonnements cohérents et peut aussi être appliquée à la thermographie, par exemple.

Dans ce cas, on construit une image représentative des températures des divers points de l'objet, à partir des signaux microondes dont l'objet est lui-même la source. Ces signaux étant incohérents, c'est-à-dire de phase aléatoire, ils doivent être détectés avec des dispositifs de détection particuliers de type connu, par exemple des dispositifs de détection quadratique avec ou sans changements de fréquence préalables. Les dispositifs des figures 2, 6, 8 et 9 doivent donc être modifiés, dans ce cas, pour que les circuits de détection cohérente microonde 6, 76, 6' et 961-963 soient remplacés par des dispositifs adéquats.

Enfin, dans tout ce qui précède, on a considéré que les signaux microondes émis ou captés étaient soumis à une modulation d'amplitude par tout ou rien à l'aide d'interrupteurs placés sur les voies microondes. Il est clair que cette solution est matériellement la plus simple à mettre en oeuvre. Une telle modulation par tout ou rien revient à un produit par un signal de modulation de type signal carré. Le spectre d'un tel signal se compose d'une composante fondamentale et d'harmoniques. Or, comme cela a été vu, compte tenu du filtrage passe-bas effectué à la fin de la chaîne, l'influence des harmoniques est nulle. On obtiendrait donc le même résultat, à un facteur de niveau près, en remplaçant les interrupteurs microondes 2 par des modulateurs produits, par exemple des modulateurs en anneau, commandés par les signaux $C_1, \dots, C_j, \dots$ et C_J .

Le dispositif 70 de focalisation simultanée sur plusieurs points de la figure 6 pourrait alors être modifié en ne plaçant qu'un seul modulateur en aval de chaque antenne, et en commandant ce modulateur avec la somme des deux
5 signaux correspondants issus des circuits de déphasage 712 et 712'.

- Dans la description qui précède, les antennes sont en général organisées sur une surface pour former un réseau.
- 10 Naturellement, ceci n'est pas obligatoire, et, comme cela a d'ailleurs été signalé pour les réseaux croisés, les antennes peuvent être organisées selon une ligne, droite ou courbe, pour former un réseau linéique.
- 15 Dans le cas de la focalisation simultanée sur plusieurs points, il n'est pas obligatoire d'utiliser autant d'interrupteurs en parallèle sur chaque voie que de points de focalisation. On peut utiliser un seul interrupteur com-
mandé par un signal convenable, par exemple le signal
20 résultant du produit des fonctions échelons relatives à chacun des signaux de modulation déphasés.

Revendications

1. Procédé de focalisation, sur au moins un point (X) à examiner d'une source (20) de rayonnement microonde, des
5 antennes ($1; 71; 1'$) d'un réseau d'antennes recevant le rayonnement du point avec des déphasages de réception (δ_j) respectifs, caractérisé par le fait que :
- 10 - les signaux (s_j) délivrés par les antennes sont modulés en amplitude par au moins un même signal (D) de modulation basse fréquence, respectivement avec des déphasages de modulation ($\Delta_X(j)$) correspondant aux déphasages de réception (δ_j),
 - 15 - les signaux modulés (s'_j) sont additionnés en un signal de sommation (s),
 - la composante microonde du signal de sommation (s) est détectée, et,
 - 20 - le signal détecté (DA, DB) est démodulé.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les signaux (s_j) délivrés par les antennes sont modulés en amplitude par un signal de modulation basse fréquence de type
25 carré, avec des déphasages de modulation ($\Delta_X(j)$).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel chaque déphasage de modulation ($\Delta_X(j)$) correspond
30 à chaque déphasage de réception (δ_j) pour que leur somme ($\delta_j + \Delta_X(j)$) soit la même, quelle que soit l'antenne délivrant le signal (s_j).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans
35 lequel le signal détecté (DA, DB) est démodulé par produit,

d'une part, par le signal (D) de modulation, d'autre part, par le signal (D) de modulation déphasé de $\pi/2$, puis par filtrage passe-bas.

- 5 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la composante microonde du signal de sommation (s) est détectée par produit, d'une part par un signal microonde de détection (r), d'autre part, par ce signal microonde de détection (r) déphasé de $\pi/2$, puis par filtrage
10 passe-bas.
6. Dispositif de focalisation pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, procédé de focalisation sur au moins un point (X) à examiner d'une source (20) de
15 rayonnement microonde, des antennes (1; 71, 1') d'un réseau d'antennes recevant le rayonnement du point avec des déphasages de réception (ζ_j) respectifs, caractérisé par le fait qu'il comprend :
- 20 - des moyens (11; 711, 711'; 911) pour engendrer un signal basse fréquence (D; D₁, D₂),
- des moyens (12; 712, 712') pour déphaser le signal basse fréquence (D; D₁, D₂) de déphasage ($\Delta_X(j)$) correspondant aux déphasages de réception (ζ_j),
15
- des moyens (2; 72; 2') pour moduler en amplitude les signaux (s_j) délivrés par les antennes par le signal basse fréquence (D; D₁, D₂) avec les déphasages ($\Delta_X(j)$),
0 respectivement,
- des moyens (3; 73; 41) pour additionner les signaux modulés (s'_j), délivrant un signal de sommation (s),
- 5 - des moyens (4, 6; 74, 76; 94, 963, 961, 6') pour

détecter la composante microonde du signal de sommation (s) et

- des moyens (8; 78, 78'; 985, 981) pour démoduler le
5 signal détecté.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les moyens pour moduler en amplitude les signaux (s_j) délivrés par les antennes comprennent des interrupteurs micro-
10 ondes (2; 72; 2').

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 et 7, dans lequel les moyens (8; 78, 78'; 985, 981) pour démoduler le signal détecté comprennent :

- 15 - des moyens (85, 85'; 985) pour déphaser d'un angle égal à $\pi/2$ le signal basse fréquence (D ; D_1 , D_2),
- des moyens (81-84; 981) pour multiplier le signal détecté, d'une part par le signal (D ; D_1 , D_2) de modulation,
20 d'autre part, par le signal de modulation déphasé,
- et, des moyens (87, 89; 987) pour filtrer les composantes à fréquence basse du signal détecté multiplié.

25 9. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel les moyens (4, 6; 74, 76; 94, 963, 961, 6') pour détecter la composante microonde du signal de sommation (s) comprennent :

- 30 - des moyens (4, 74, 94) pour engendrer un signal (r) microonde de détection,
- des moyens (63; 963) pour déphaser d'un angle égal à
35 $\pi/2$ le signal (r) microonde de détection,

- des moyens (61, 62; 961) pour multiplier le signal de sommation (s) d'une part par le signal (r) microonde de détection, d'autre part, par le signal microonde de détection déphasé, et pour filtrer les composantes à fréquence basse du signal de sommation multiplié.

10. Procédé de focalisation, sur au moins un point (X') à examiner d'un objet (20') illuminé par un rayonnement microonde, des antennes (51) d'un premier réseau d'antennes émettant le rayonnement vers le point avec des déphasages d'émission respectifs, au moins une antenne (40) recevant le rayonnement du point (X'), caractérisé par le fait que :

- les signaux délivrés aux antennes sont obtenus à partir d'un même signal microonde d'émission (e) modulé en amplitude par au moins un même premier signal (D') de modulation basse fréquence, respectivement avec des déphasages de modulation ($\Delta_X(k)$) correspondant aux déphasages d'émission,

- la composante microonde du signal reçu est détectée, et,
- le signal détecté est démodulé.

5

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel plusieurs antennes de réception du rayonnement du point (X') sont prévues, agencées pour former un deuxième réseau, chaque antenne recevant le rayonnement du point avec des déphasages de réception respectifs, caractérisé par le fait que :

- les signaux délivrés par les antennes de réception sont modulés en amplitude par au moins un même deuxième signal de modulation basse fréquence, respectivement avec des déphasages de modulation correspondant au déphasage de réception,

5

- les signaux reçus modulés sont additionnés en un signal de sommation avant détection de la composante microonde du signal reçu.

5 12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le signal détecté est démodulé par produit par au moins un signal à la fréquence de battement ($|F_E - F_R|$) entre la fréquence (F_E) du premier signal de modulation basse fréquence et la fréquence (F_R) du deuxième signal de modulation basse fréquence.
10

1/7

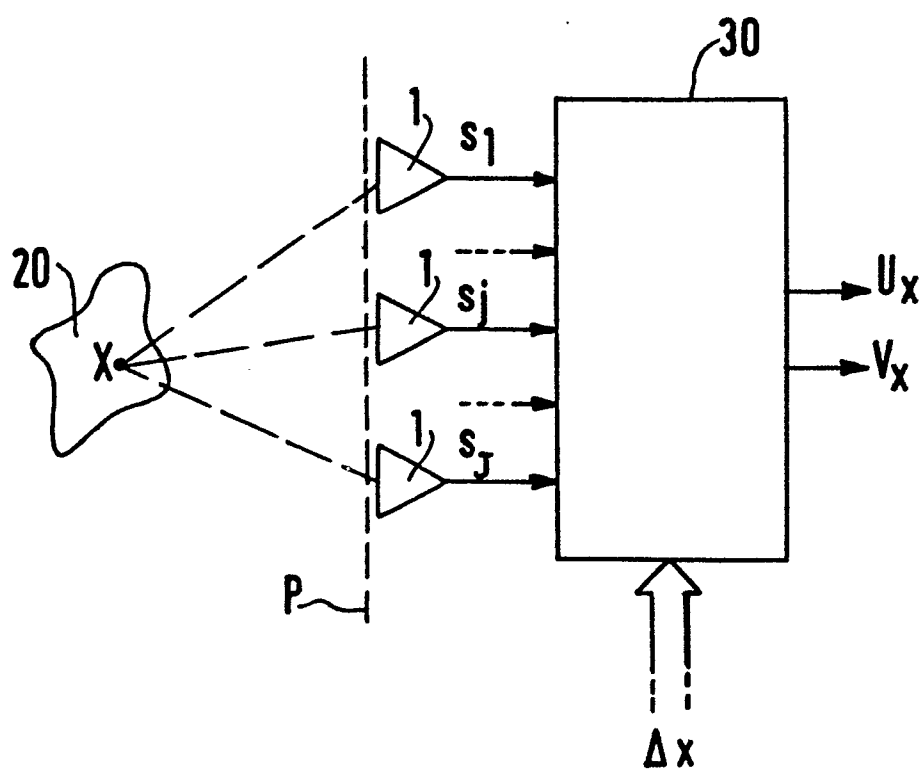
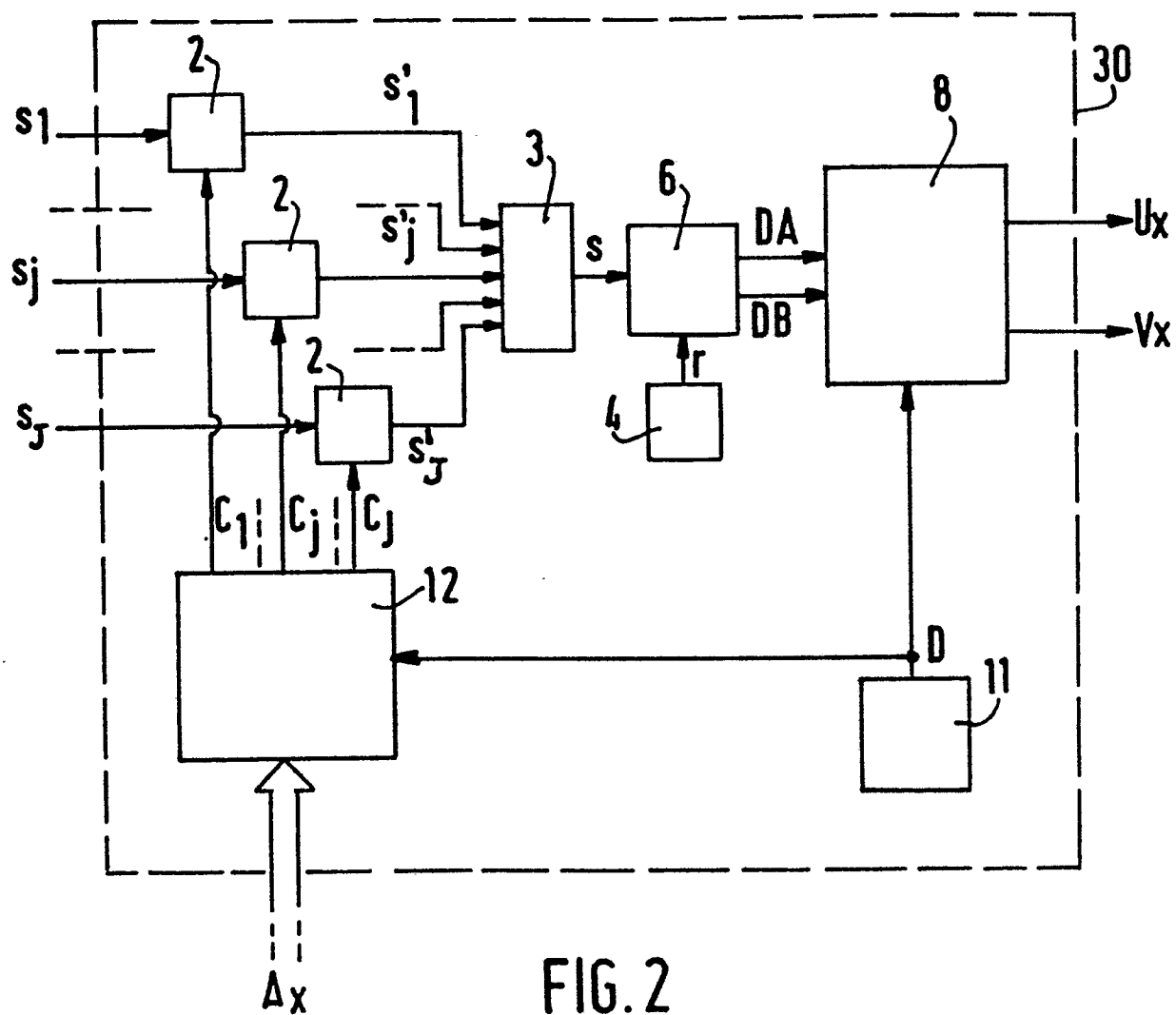


FIG.1



3/7

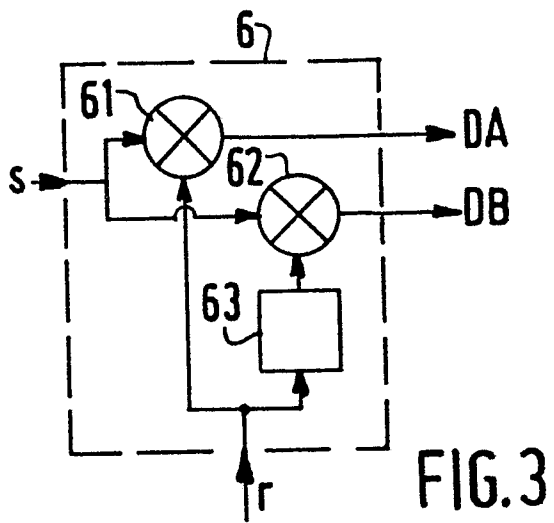


FIG. 3

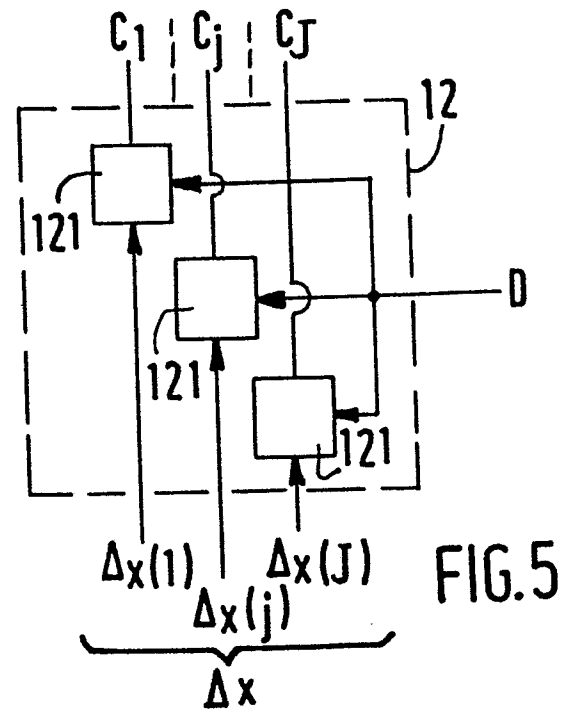


FIG. 5

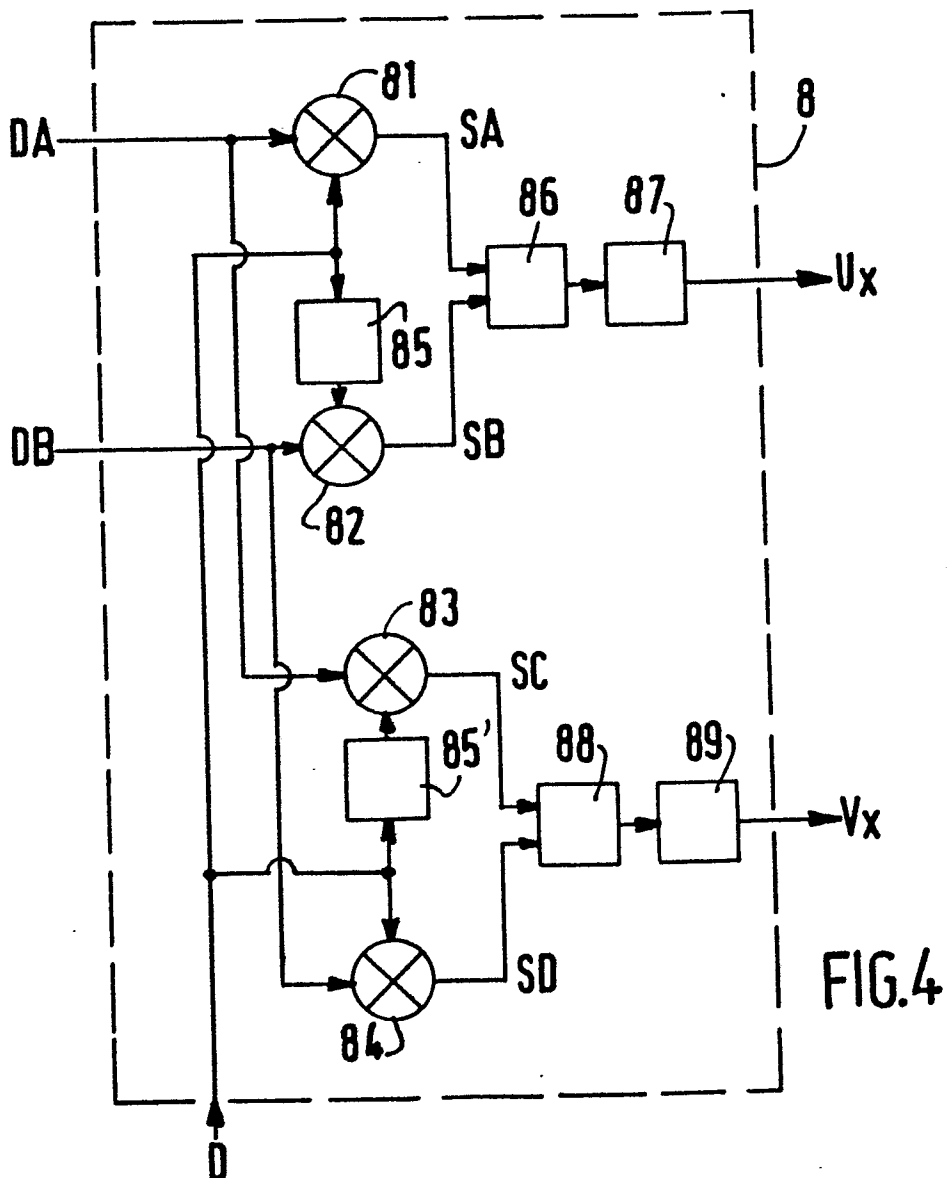


FIG. 4

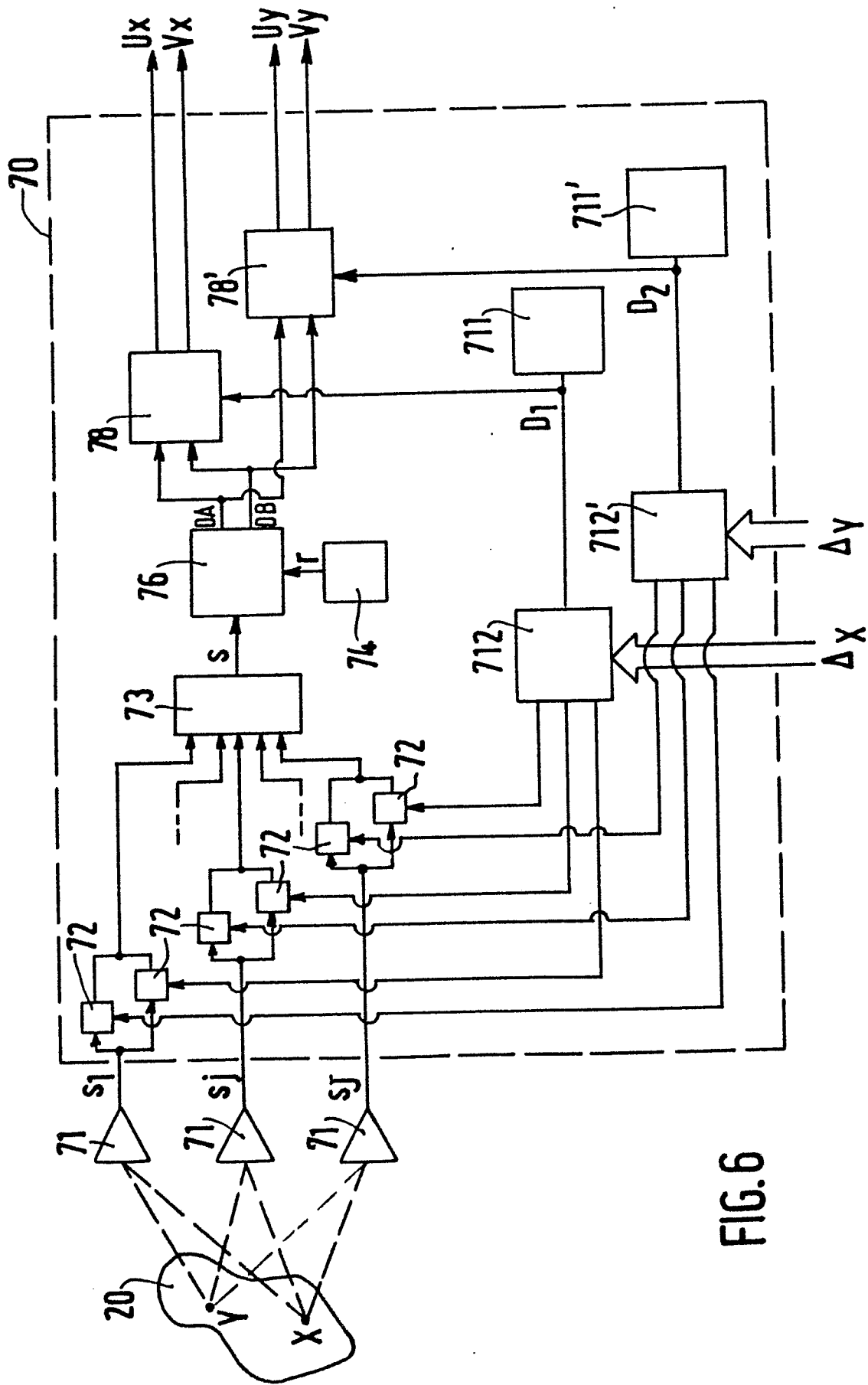


FIG. 6

5/7

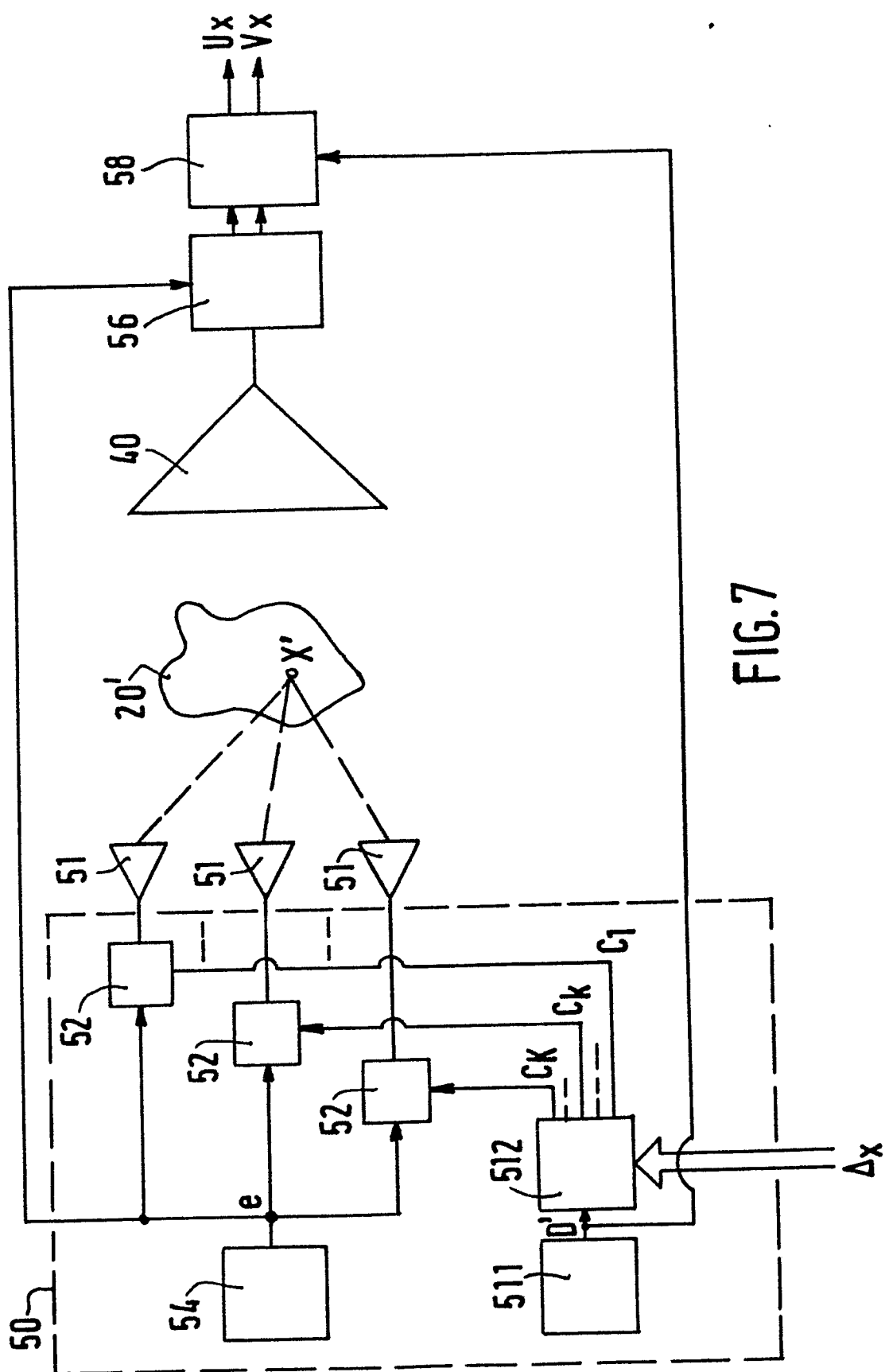


FIG. 7

6/7

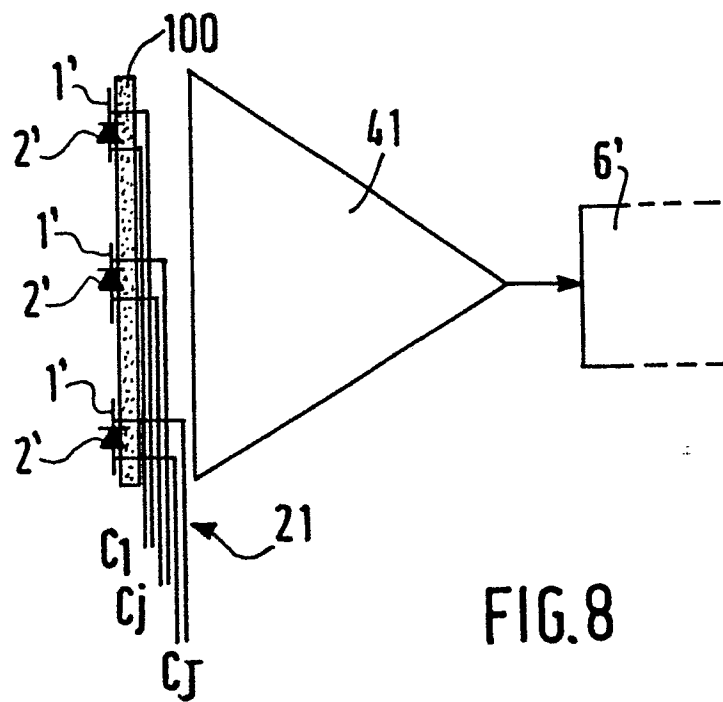


FIG. 8

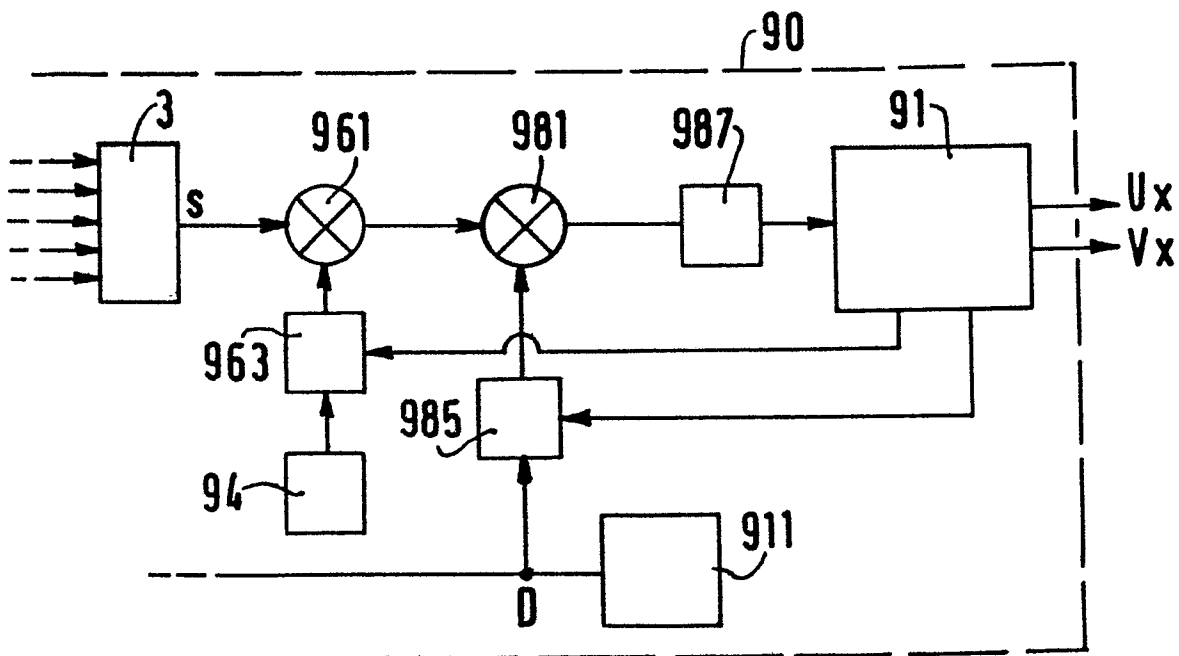


FIG. 9

7/7

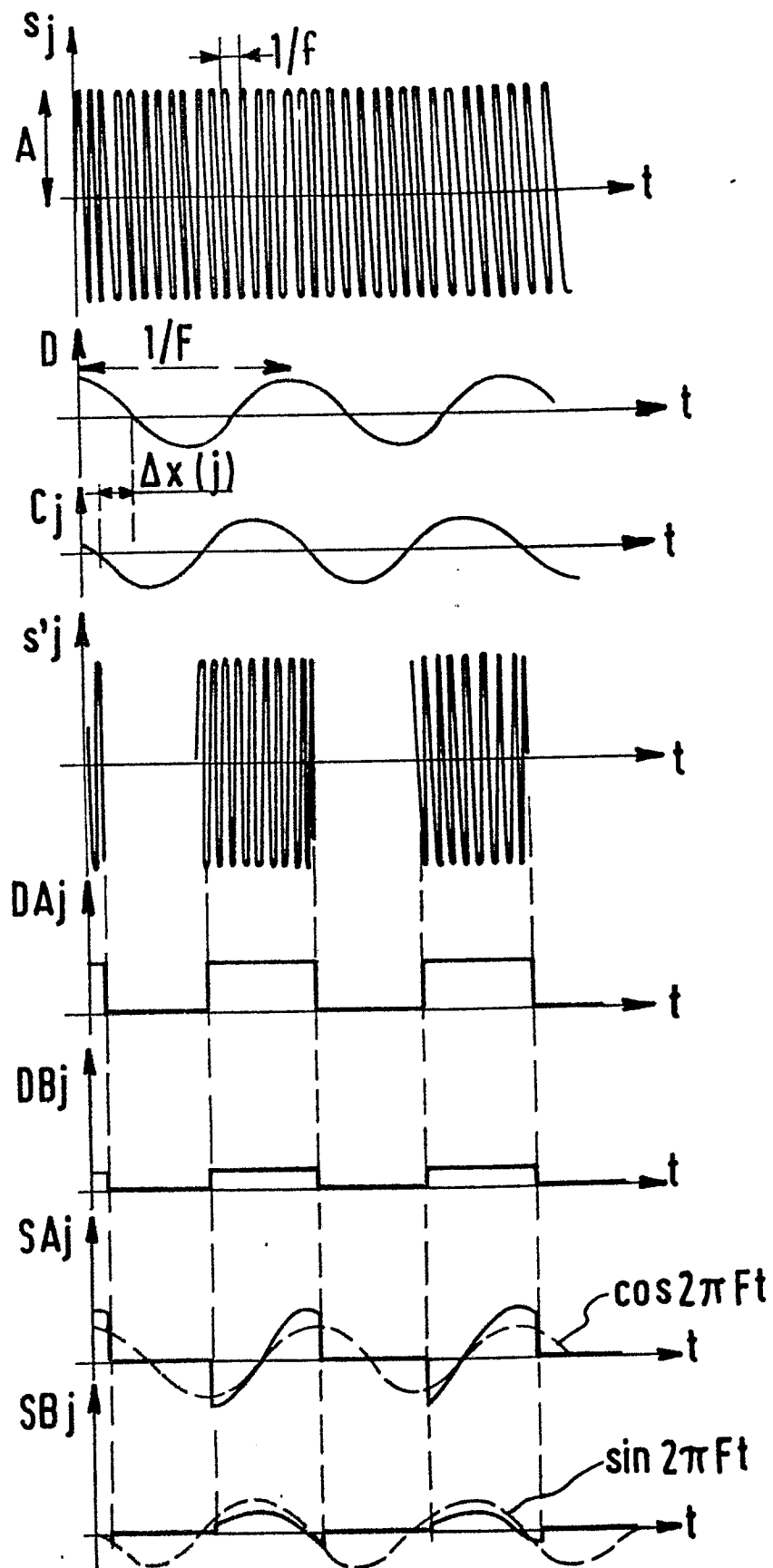


FIG.10



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. 4)
A	US-A-3 140 490 (W. SICHAK et al.) * Colonne 1, lignes 57-67; colonne 2, ligne 63 - colonne 3, ligne 55; colonne 4, lignes 3-45 *	1,6,10	H 01 Q 3/26 G 10 K 11/34
A	EP-A-0 014 650 (SOCIETE D'ETUDES DU RADANT) * Page 4, lignes 15-35; page 5, lignes 3-38; page 7, lignes 14-33; page 12, lignes 8-19 *	1	
A	US-A-3 806 931 (M.L. WRIGHT) * Colonne 1, lignes 21-43 *	1	
A	HEWLETT-PACKARD JOURNAL, vol. 34, no. 12, décembre 1983, pages 13-20, Amstelveen, NL; R.D. GATZKE et al.: "Electronic scanner for a phased-array ultrasound transducer" * Pages 16,17, paragraphe: "A mixing Scheme to Focus a Transducer Array Dynamically" *	1,6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4) H 01 Q G 10 K
A	US-A-4 166 274 (D.O. RENDINK et al.) * En entier *		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16-07-1987	Examineur ANGRABEIT F.F.K.
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			