

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 09.12.91.

⑬ Priorité :

④ Date de la mise à disposition du public de la demande : 11.06.93 Bulletin 93/23.

⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦ Demandeur(s) : *ALCATEL ESPACE Société Anonyme — FR.*

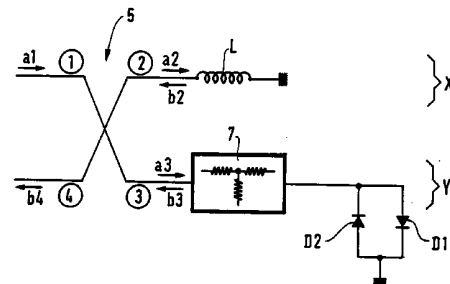
⑧ Inventeur(s) : *Cogo Bernard et Moroni Pascal.*

⑨ Titulaire(s) :

⑩ Mandataire : *SOSPI Du Boisbaudry Dominique.*

⑪ Linéariseur à pré-distorsion à diodes en réflexion, pour amplificateur de puissance fonctionnant en hyperfréquence.

⑫ Linéariseur à pré-distorsion à diodes en réflexion, ou "Reflective Diode Linearizer", pour amplificateur de puissance hyperfréquence, ce linéariseur étant à large bande.  
La voie réfléchissante linéaire (X) est constituée par une self (L), cette self étant reliée à la masse. On obtient ainsi une variation de phase, en fonction de la fréquence, du coefficient de réflexion dans la voie linéaire (X) qui est très voisine de celle du coefficient de réflexion dans la voie non-linéaire (Y).



## LINEARISEUR A PRE-DISTORSION A DIODES EN REFLEXION, POUR AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE FONCTIONNANT EN HYPERFREQUENCE

La présente invention se rapporte à un linéariseur à pré-  
5 distorsion à diodes en réflexion, ou "Reflective Diode Linearizer",  
pour amplificateur de puissance fonctionnant en hyperfréquence.

Il est bien connu que le rendement d'un amplificateur de  
puissance hyperfréquences s'améliore lorsque cet amplificateur  
fonctionne à fort niveau, mais qu'en revanche sa linéarité est  
10 alors dégradée.

Ce problème est particulièrement crucial dans le cas des  
antennes actives qui comportent tout un réseau d'antennes, chacune  
précédées d'un amplificateur de puissance. Il paraît alors  
intéressant de pouvoir améliorer la linéarité de ces amplificateurs  
15 lorsque ces derniers fonctionnent à fort niveau, c'est à dire dans  
leur zone de rendement élevé.

Parmi les moyens connus pour réaliser cette amélioration  
de linéarité à fort niveau, il est possible de citer :

- La linéarisation par contre-réaction négative :

20 Selon ce procédé, on prélève d'une part une fraction du signal  
de sortie de l'Amplificateur de Puissance, et d'autre part une  
fraction du signal d'entrée de cet Amplificateur. Cette fraction  
du signal de sortie, qui comporte en fait les fréquences  
porteuses et leurs produits d'intermodulation, est soustraite de  
25 ladite fraction du signal d'entrée, par exemple en utilisant un  
coupleur WILKINSON et un organe de réglage de la phase et de  
l'Amplitude de la fraction du signal de sortie, de manière à ce  
qu'il ne subsiste que les signaux à la fréquence des produits  
d'intermodulation. Ces derniers signaux, correctement atténués et  
30 déphasés, sont alors injectés à l'entrée de l'Amplificateur de  
manière à finalement annuler les produits d'intermodulation qui  
sont, en sortie, créés par cet Amplificateur.

Ce genre de dispositif a pour inconvénients majeurs d'être d'une  
part à faible largeur de bande, et d'autre part d'entraîner des  
35 risques importants de mises en oscillation qui seraient dues à  
une mauvaise annulation des signaux aux fréquences des porteuses

dans la boucle de contre-réaction.

- La linéarisation par contre-réaction sur paramètres:

Selon ce procédé, qui s'apparente sur le principe au précédent, les phases et amplitudes des signaux d'entrée et de sortie de l'amplificateur sont comparées, et les signaux résultant de ces comparaisons sont appliqués à un bloc de calcul et de commande numérique qui, après calcul, commande en conséquence des organes de réglage de phase et d'amplitude prévus à cet effet en amont de l'Amplificateur, ces commandes étant déterminées par le microprocesseur du bloc de calcul pour en définitive annuler les produits d'intermodulation en sortie de cet amplificateur.

La bande passante d'un tel dispositif reste faible, mais en revanche les risques d'oscillations sont supprimés du fait que la boucle travaille sur les paramètres représentatifs du signal hyperfréquence, et non sur le signal hyperfréquence proprement dit.

- La linéarisation par réinjection en sortie ("Feed forward Correction") :

Selon cette technique, une fraction du signal d'entrée de l'Amplificateur de puissance est combinée à une fraction du signal de sortie de ce même Amplificateur de manière à finalement créer un signal ne comportant que le signal de distorsion introduit par cet Amplificateur. Le signal ainsi créé est alors amplifié par un amplificateur auxiliaire puis recombiné au signal de sortie de l'Amplificateur de puissance avec une amplitude et une phase correctement réglées pour finalement pratiquement annuler le signal de distorsion global.

L'inconvénient principal d'un tel dispositif est de nécessiter un amplificateur auxiliaire, ce qui est pénalisant aussi bien en consommation d'énergie électrique qu'en prix de revient. En outre, un tel dispositif est lui aussi à relativement faible bande passante.

- La linéarisation par pré-distorsion :

Ce procédé consiste à insérer en amont de l'Amplificateur de puissance un dispositif électronique dit "linéariseur à pré-

distorsion" qui crée des non-linéarités d'amplitude et de phase qui, variant en sens inverse de celles créées par l'Amplificateur, viennent compenser ces non-linéarités de cet Amplificateur. Ce procédé de linéarisation est le plus  
5 intéressant à utiliser lorsque, comme c'est le cas pour une antenne active, un grand nombre d'amplificateurs de puissance doivent être linéarisés. Il est en effet de mise en oeuvre facile, et il ne génère aucune perte de puissance en sortie des amplificateurs de puissance.

10 Il existe plusieurs types connus de linéariseurs à pré-distorsion. L'invention intéresse un linéariseur à diodes en réflexion, ou "Reflective Diode Linearizer", qui est en principe le linéariseur à pré-distorsion qui conduit au plus faible encombrement. Un analyseur de ce type est par exemple décrit et  
15 analysé dans l'article de MM. A. KATZ et al : "A reflective diode linearizer for spacecraft applications", publié dans la revue américaine "IEEE MTT-S Digest", 1985, pages 661 à 664.

La figure 1 jointe donne un schéma simplifié d'un linéariseur à réseau de diodes en réflexion de type connu.

20 Sur cette figure, la référence 5 désigne un coupleur hybride 3 dB dont les quatre accès sont désignés par les références 1 à 4.

L'onde incidente a1 qui est appliquée sur l'accès 1 est transmise, avec sa puissance divisée par 2, selon l'onde a2 et  
25 par l'accès 2, à une première voie réfléchissante X, dite "voie linéaire", comportant dans cet exemple un tronçon de ligne 6 en circuit ouvert, réalisé en microruban, dont le déphasage est ajusté par sa longueur l.

L'onde b2 réfléchie dans la voie X a donc une phase qui, dépendant de la longueur de la ligne 6, est indépendante du niveau  
30 de l'onde incidente a1, et une amplitude qui varie linéairement en fonction de ce niveau, il s'agit donc bien d'une "voie linéaire".

Cette même onde incidente a1 est appliquée, sur la sortie 3 et avec sa puissance divisée par 2, à une autre voie  
35 réfléchissante Y, dite "voie non-linéaire". L'onde réfléchie b3 se combine, dans le coupleur 5, vectoriellement à l'onde b2 pour

donner, à l'accès 4 de sortie du linéariseur, une onde résultante b4.

La voie Y comporte, outre un réseau 7 d'atténuation, un couple de diodes D1, D2 (par exemple des diodes Schottky) montées tête-bêche entre l'adaptateur-atténuateur 7 et la masse. Sachant que l'impédance dynamique de telles diodes diminue quand l'amplitude du signal qu'elles voient à leurs bornes augmente, la voie Y est bien une voie réfléchissante non-linéaire.

A bas niveau, l'impédance dynamique des diodes D1, D2 est élevée, et d'ailleurs indépendante du niveau : le linéariseur fonctionne alors en régime linéaire.

Lorsque le niveau d'entrée augmente en atteignant les forts niveaux pour lesquels l'amplitude de la tension de sortie d'un amplificateur de puissance vient à diminuer (phénomène de saturation), tandis que son déphasage augmente, l'impédance de ces deux diodes D1, D2 se rapproche de 50 ohms, et le module de l'onde b3 diminue. Finalement, par un choix judicieux de la longueur l de la ligne 6, c'est à dire du déphasage de la voie linéaire X, il est ainsi possible d'obtenir sur la sortie 4 une onde b4 qui, pour les forts niveaux d'entrée a1, varie exactement en sens inverse, en ce qui concerne son amplitude et son déphasage, des variations précitées de l'amplificateur de puissance qui suit ce linéariseur, ce qui est bien le résultat recherché.

Un inconvénient de ce type de linéariseur réside dans le fait que, en pratique, la phase du coefficient de réflexion de la voie linéaire X varie plus rapidement en fonction de la fréquence que ne le fait celle du coefficient de réflexion de la voie non linéaire Y. Ceci entraîne une forte variation en fonction de la fréquence du déphasage entre la voie linéaire X et la voie non-linéaire Y ainsi que des caractéristiques du linéariseur, ces variations rendant finalement impossible l'utilisation d'un tel linéariseur pour de larges bandes passantes.

Un autre inconvénient de ce linéariseur connu réside dans le fait qu'il n'est pas réalisable en technologie monolithique, c'est à dire sous forme de circuit intégré, en raison de la trop

grande longueur nécessaire pour la ligne 6.

L'invention vise à remédier à ces inconvénients. Elle se rapporte à cet effet à un linéariseur à pré-distorsion à diodes en réflexion, ou "Reflective Diode Linearizer", pour amplificateur de puissance fonctionnant en hyperfréquence, ce linéariseur réalisant la combinaison vectorielle de deux ondes réfléchies à partir de l'onde incidente, dont une première onde réfléchie dans une voie linéaire réfléchissante qui au moins comporte un organe série réalisant un ajustement de la phase de cette première onde réfléchie, et une deuxième onde réfléchie dans une voie non-linéaire réfléchissante qui au moins comporte un réseau de diodes dont l'impédance dynamique varie avec l'amplitude de la tension appliquée à leurs bornes, ce linéariseur se caractérisant par le fait que ledit organe série, qui réalise un ajustement de la phase de cette première onde réfléchie dans cette voie réfléchissante linéaire, est constitué par une self-inductance hyperfréquence.

Le remplacement du tronçon de ligne en circuit ouvert de l'art antérieur par une self-inductance permet d'obtenir sur l'abaque de Smith une variation, en fonction de la fréquence, du coefficient de réflexion de la voie réfléchissante linéaire qui est pratiquement identique à la variation du coefficient de réflexion de la voie non-linéaire, ce qui n'était pas le cas avec le tronçon de ligne utilisé dans l'art antérieur, où à contrario ce coefficient de réflexion dans la voie linéaire variait considérablement plus que celui relatif à la voie non-linéaire. De plus, une self hyperfréquence est de très petites dimensions, de sorte que ce nouveau linéariseur peut maintenant être aisément réalisé en technique monolithique.

De toute façon, l'invention sera bien comprise, et ses avantages et autres caractéristiques ressortiront, lors de la description suivante d'un exemple non-limitatif de réalisation, en référence au dessin schématique annexé dans lequel :

. Figure 2 est un schéma électrique, de même forme que celui relatif à la figure 1 précédemment décrite, de ce nouveau linéariseur à pré-distorsion à diodes en réflexion; et  
. Figure 3 est un schéma pratique de réalisation du linéariseur

selon Figure 2.

La réalisation schématisée sur la Figure 1 diffère de celle du schéma selon Figure 2, décrit ci-dessus, par le fait que le tronçon de ligne 6 en circuit ouvert est ici remplacé par une self-inductance hyperfréquence L dont l'extrémité libre opposée à l'accès 2 du coupleur hybride 3 dB 5 est connectée à la masse. Les autres éléments du circuit sont identiques à ceux selon Figure 1, et ne seront donc pas décrits à nouveau.

La valeur de cette self-inductance est ajustée, comme l'était la longueur l de la ligne 6 de l'art antérieur, pour que le déphasage de l'onde b2 réfléchi sur la voie linéaire X entraîne sur la sortie 4 du linéariseur, l'obtention d'une onde b4 qui, pour les forts niveaux d'entrée a1, varie de façon inverse, du point de vue amplitude et déphasage, aux variations en saturation de l'amplificateur de puissance destiné à être connecté en série avec ce linéariseur.

Le remplacement, nullement évident à priori, de la ligne réfléchrice en circuit ouvert par une self L mise à la masse entraîne l'effet inattendu suivant :

Si l'on examine sur une abaque de Smith la variation, en fonction de la fréquence, du coefficient de réflexion de la voie non-linéaire Y, on constate que cette variation se traduit sur cette abaque par un assez court tronçon d'arc de cercle. En revanche, la variation correspondante du coefficient de réflexion de la voie linéaire X lorsque celle-ci, selon l'art antérieur, comporte un tronçon de ligne 6 en circuit ouvert, se traduit sur cette abaque par un arc de cercle considérablement plus long (environ cinq fois plus long). Le circuit selon Figure 1 ne pouvait donc pas être utilisé pour une large bande de fréquences, du fait de cette différence de variation avec la fréquence des voies linéaires X et non-linéaire Y.

A contrario, si l'on trace sur cette même abaque la variation avec la fréquence du coefficient de réflexion de cette voie linéaire X, lorsqu'elle répond au schéma nouveau selon Figure 2, c'est à dire avec une self L reliée à la masse, on constate avec surprise et satisfaction que cette variation se traduit sur

cette abaque par un court arc de cercle dont la longueur est voisine de celle du segment de droite qui représente, pour cette même gamme de variation en fréquence, la variation du coefficient de réflexion de la voie non-linéaire Y.

5            Ces variations de phase du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence étant alors voisines dans les deux voies, linéaire X et non linéaire Y, il s'en suit que le nouveau linéariseur selon Figure 2 peut couvrir une assez large bande de fréquence.

10           Les essais réalisés en utilisant pour la self L un tronçon de fil d'une longueur de l'ordre de 0,6 mm ont permis d'obtenir, pour ce linéariseur, des courbes caractéristiques (gain et phase de transfert en fonction du niveau d'entrée) qui sont très homogènes dans une bande passante dépassant les 17 % pour des  
15           fréquences de l'ordre de 11 à 12 Gigahertz.

Ces mêmes essais ont permis de constater, lorsque ce linéariseur est associé à un amplificateur hyperfréquence, une nette amélioration de la linéarité de ce circuit d'amplification.

20           Un schéma pratique de réalisation, en circuit imprimé à technique micro-ruban, du linéariseur de la Figure 2 est représenté en vue en plan sur la Figure 3.

On reconnaît, sur ce schéma pratique, le coupleur hybride 5, qui est en fait un coupleur de LANGE, avec ses accès 1 à 4.

25           La self L est constituée d'un tronçon de fil électrique d'une longueur de l'ordre de 0,6 mm, tandis que sa mise à la masse est réalisée par une ligne quart d'onde 8, avec pavés de réglage 9.

30           L'atténuateur 7 est de même réalisé en technique de circuit imprimé, avec trois résistances 10,11,12 et mise à la masse de la résistance 10 par une ligne quart d'onde 13, avec pavés de réglage 14.

Les diodes Schottky D1, D2 sont de même façon mises à la masse par une ligne quart d'onde 15 avec pavés de réglage 16.

35           Un autre avantage appréciable du linéariseur selon Figure 2 est qu'il peut maintenant, du fait qu'il utilise une self L, être aisément réalisé en circuit intégré monolithique.

Comme il va de soi, l'invention n'est pas limitée à l'exemple de réalisation qui vient d'être décrit. Elle englobe bien au contraire toutes les formes de réalisation faisant usage de moyens équivalents.

## REVENDICATIONS

- 1 - Linéariseur à pré-distorsion à diodes en réflexion, ou "Reflective Diode Linearizer", pour amplificateur de puissance  
fonctionnant en hyperfréquence, ce linéariseur réalisant la  
combinaison vectorielle (b4) de deux ondes réfléchies (b2,b3) à  
partir de l'onde incidente (a1), dont une première onde réfléchie  
(b2) dans une voie linéaire réfléchissante (X) qui au moins  
comporte un organe série réalisant un ajustement de la phase de  
cette première onde réfléchie, et une deuxième onde réfléchie (b3)  
dans une voie non-linéaire réfléchissante (Y) qui au moins  
comporte un réseau de diodes (D1,D2) dont l'impédance dynamique  
varie avec l'amplitude de la tension appliquée à leurs bornes,  
caractérisé en ce que ledit organe série, qui réalise un ajustement  
de la phase de cette première onde réfléchie (b2) dans cette voie  
réfléchissante linéaire (X), est constitué par une self-inductance  
hyperfréquence (L).
- 2 - Linéariseur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il  
est réalisé sous forme de circuit imprimé et en ce que cette self-  
inductance (L) est constituée par un tronçon de fil électrique de  
très faible longueur.
- 3 - Linéariseur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il  
est entièrement réalisé sous forme de circuit intégré monolithique.

2 5

3 0

3 5

1 / 2

FIG. 1

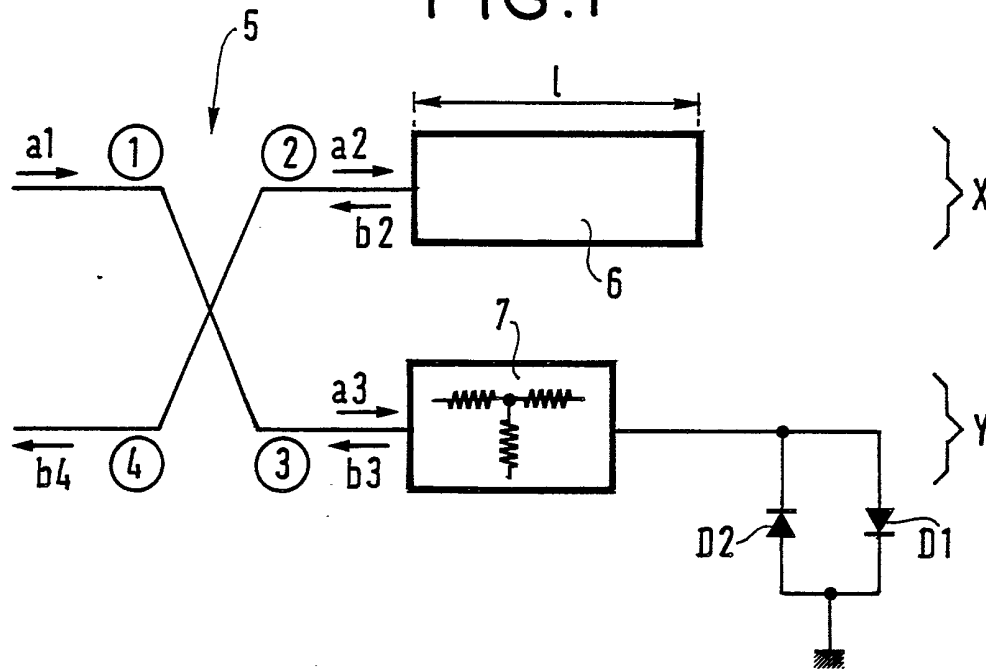
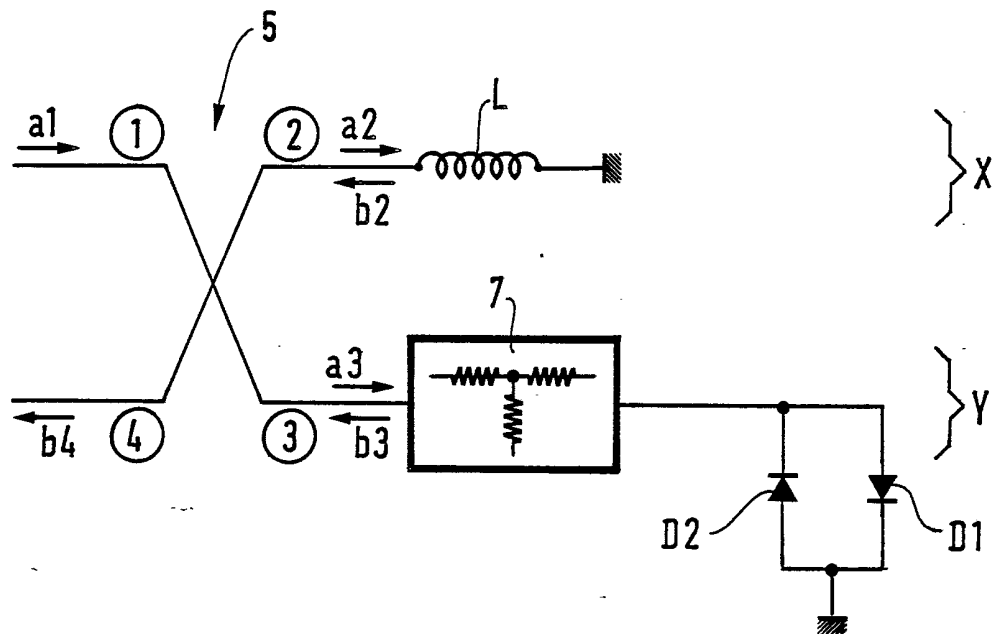
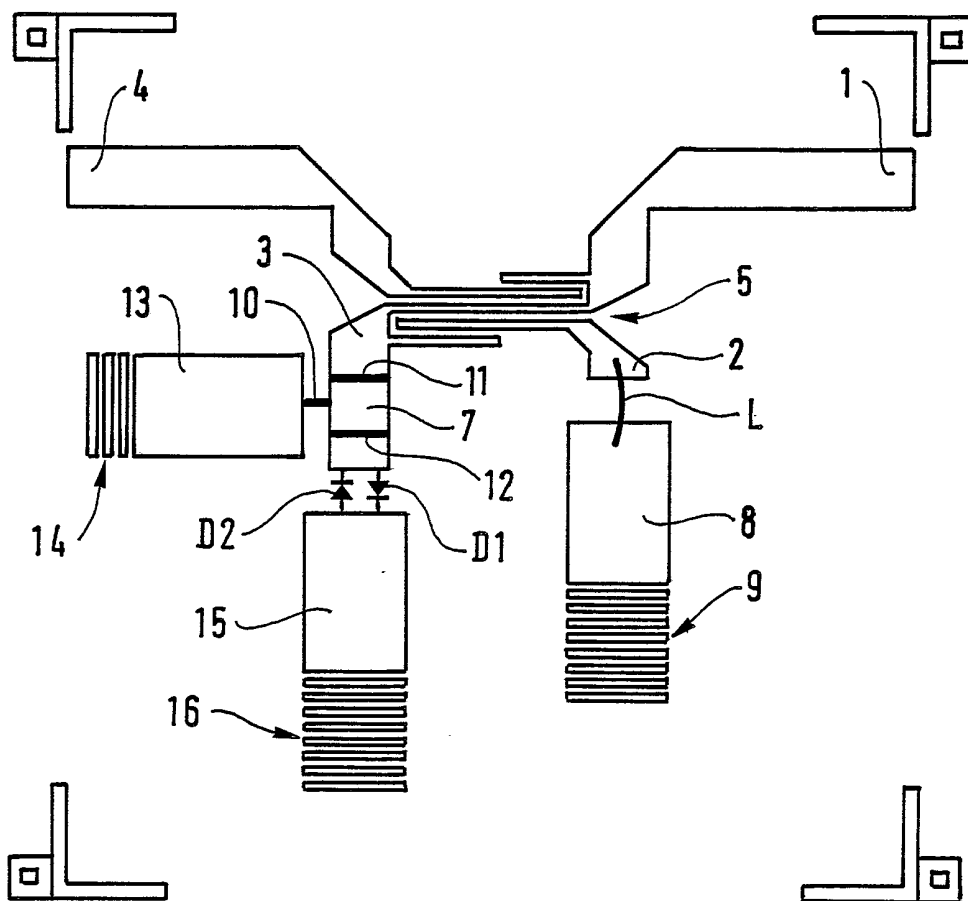


FIG. 2



2/2

FIG. 3



INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FR 9115222  
FA 467798

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | Revendications<br>concernées<br>de la demande<br>examinée |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                               |                                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | US-A-4 588 958 (KATZ ET AL., )<br>* colonne 4, ligne 54 - colonne 5, ligne 19;<br>figures 3,4,9,10 *<br>* colonne 6, ligne 55 - colonne 7, ligne 17 *<br>----    | 1, 2                                                      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 014, no. 515 (E-1000)13 Novembre 1990<br>& JP-A-2 214 207 ( MITSUBISHI ELECTRIC CORP. )<br>27 Août 1990<br>* abrégé *<br>----- | 1                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                  | <b>DOMAINES TECHNIQUES<br/>RECHERCHES (Int. Cl.5)</b>     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                  | H03F<br>H04B                                              |
| Date d'achèvement de la recherche<br>18 AOÛT 1992                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                  | Examineur<br>DANIELIDIS S.                                |
| <b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b><br>X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication<br>ou arrière-plan technologique général<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire<br>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                                                                                                                                                  |                                                           |