

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

①① N° de publication :

2 852 168

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

03 02814

⑤① Int Cl⁷ : H 04 B 3/32

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ET DISPOSITIF NUMERIQUES POUR LA TRANSMISSION AVEC UNE FAIBLE DIAPHONIE.

②② Date de dépôt : 06.03.03.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *EXCEM Société anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 10.09.04 Bulletin 04/37.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 29.04.05 Bulletin 05/17.

⑦② Inventeur(s) : BROYDE FREDERIC et CLAVELIER EVELYNE.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

⑦③ Titulaire(s) :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) :

FR 2 852 168 - B1



Procédé et dispositif numériques pour la transmission
avec une faible diaphonie.

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé et un dispositif
numériques pour la transmission avec une faible diaphonie dans
les interconnexions servant à transmettre une pluralité de
signaux, telles que celles réalisées avec des câbles
multiconducteurs plats, ou avec les pistes d'un circuit
10 imprimé, ou encore à l'intérieur d'un circuit intégré.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Considérons le problème théorique d'une interconnexion à
 n conducteurs de transmission placés à proximité d'un
15 conducteur de référence. Numérotons ces conducteurs de 0 à n ,
le numéro 0 étant attribué au "conducteur de référence" qui
servira de référence pour la mesure des tensions, ce conducteur
de référence étant souvent appelé conducteur de masse.

Nous définirons un point quelconque le long d'une
20 interconnexion de longueur L par une abscisse curviligne réelle
 z , l'interconnexion s'étendant depuis $z = 0$ jusqu'à $z = L$.

Tout entier j supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal
à n correspond au numéro d'un conducteur de transmission de
l'interconnexion, c'est-à-dire d'un conducteur autre que le
25 conducteur de référence. Cet entier peut donc être utilisé
comme indice pour définir, pour chaque conducteur de
transmission, deux variables électriques : un courant et une
tension. A une abscisse donnée z le long du câble, nous
définissons ainsi le courant i_j circulant sur ce conducteur de
30 transmission, et la tension v_j entre ce conducteur de
transmission et le conducteur de référence. Ces n courants et
ces n tensions seront respectivement appelés les courants
naturels et les tensions naturelles. L'expression "variable
électrique naturelle" désignera indifféremment un courant
35 naturel ou une tension naturelle.

- Le vocabulaire et les définitions que nous utiliserons seront ceux de la demande de brevet français numéro 0300064 du 6 janvier 2003 concernant un "procédé et dispositif pour la transmission avec une faible diaphonie". En particulier, les
- 5 définitions des termes suivants sont concernées:
- "ligne de transmission multiconductrice",
 - "matrice inductance linéique" ou "matrice \mathbf{L} ",
 - "matrice résistance linéique" ou "matrice \mathbf{R} ",
 - "matrice capacité linéique" ou "matrice \mathbf{C} ",
 - 10 - "matrice conductance linéique" ou "matrice \mathbf{G} ",
 - "ligne de transmission multiconductrice uniforme",
 - "vecteur-colonne \mathbf{I} des courants naturels i_1, \dots, i_n ",
 - "vecteur-colonne \mathbf{V} des tensions naturelles v_1, \dots, v_n ",
 - "équations des télégraphistes",
 - 15 - "courant modal",
 - "tension modale",
 - "vecteur-colonne \mathbf{I}_M des courants modaux i_{M1}, \dots, i_{Mn} ",
 - "vecteur-colonne \mathbf{V}_M des tensions modales v_{M1}, \dots, v_{Mn} ",
 - "matrice de passage des tensions naturelles aux tensions
 - 20 modales" ou "matrice \mathbf{S} ",
 - "matrice de passage des courants naturels aux courants modaux" ou "matrice \mathbf{T} ",
 - "variable électrique modale",
 - "matrice de passage des variables électriques naturelles aux
 - 25 variables électriques modales",
 - "matrice impédance caractéristique" ou "matrice \mathbf{Z}_c ",
 - "constante de propagation" pour un mode.

L'état de la technique antérieur applicable à la présente demande est constitué d'une part par l'état de l'art présenté

30 dans la dite demande de brevet français numéro 0300064, et d'autre part par l'invention qui y est décrite.

L'invention présentée dans la dite demande de brevet français numéro 0300064 permet bien de réduire la diaphonie de façon efficace, et elle s'applique bien à des signaux

35 analogiques et à des signaux numériques, mais,

- pour combiner dans un circuit d'émission les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par une

matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission la génération de variables électriques modales,

5 - et pour combiner dans un circuit de réception, dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission, les signaux présents sur les conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables
10 électriques modales, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales,

15 cette demande de brevet ne mentionne, à titre d'exemple, que des dispositifs analogiques. Cette approche peut dans certains cas, notamment lorsque le nombre de voies de transmission est grand, impliquer la réalisation de circuits analogiques comportant un grand nombre de composants pour obtenir toutes
20 les combinaisons linéaires.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Le procédé selon l'invention a pour but la transmission avec une faible diaphonie sur les interconnexions à deux ou plus de deux conducteurs de transmission, dépourvue des
25 limitations des techniques connues.

L'invention concerne un procédé pour la transmission dans une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à 2, procédé procurant, dans une bande de fréquences connue, m
30 voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit d'émission et la sortie d'au moins un circuit de réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à n , procédé comportant les étapes suivantes :

35 - on modélise l'interconnexion, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion et dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses

extrémités, par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue ;

5 - on détermine, pour la dite ligne de transmission multiconductrice et la dite bande de fréquences connue, la matrice impédance caractéristique et une matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales ;

10 - on dispose à au moins une extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;

15 - on combine dans un dit circuit d'émission les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui est reliée aux n conducteurs de transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;

20 - on combine dans un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission, les signaux analogiques présents sur les conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

Les spécialistes comprennent bien les principes que met en oeuvre l'invention. Il s'agit, comme dans la dite demande de brevet français numéro 0300064, d'utiliser pour la transmission une superposition d'ondes comportant chacune une unique

variable électrique modale correspondant à une voie, car les propriétés de telles ondes, produites avec une conversion convenable dans un dit circuit d'émission, et utilisées avec une conversion inverse dans un circuit de réception, permettent
5 d'obtenir une transmission dépourvue de diaphonie entre les voies.

Comme pour l'invention décrite dans la demande de brevet français numéro 0300064, et pour les mêmes raisons, on peut selon le procédé selon l'invention :

- 10 - soit ne disposer qu'à une seule extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique,
- 15 - soit disposer à chaque extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique.

Comme pour l'invention décrite dans la demande de brevet français numéro 0300064, il est important, pour que ce principe puisse apporter les caractéristiques voulues, que
20 l'interconnexion se comporte bien comme une ligne de transmission multiconductrice uniforme sur sa longueur, car une inhomogénéité telle qu'une variation, en fonction de z , de la matrice impédance caractéristique peut produire des couplages préjudiciables entre les voies, c'est-à-dire de la diaphonie.

25 Dans certains cas, pour prendre en compte des impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, le concepteur pourra se limiter à constater qu'elles ne sont pas présentes ou qu'elles peuvent être négligées. Dans d'autres cas, pour
30 prendre en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, le concepteur devra, pour obtenir une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques suffisamment uniformes sur sa longueur, prendre en
35 compte quantitativement ces impédances localisées. Par exemple, un circuit de réception pourrait être vu par l'interconnexion comme une matrice capacité s'ajoutant à celle de

l'interconnexion : cette capacité localisée pourrait donc être compensée par une modification locale des caractéristiques géométriques de l'interconnexion autour du point de connexion, convenablement dimensionnée. Au titre d'un second exemple, des
5 matrices capacité localisées en des points de connexion régulièrement espacés le long de l'interconnexion pourraient être prises en compte pour parvenir, par un dimensionnement approprié des conducteurs de transmission, à une matrice capacité linéique moyenne donnée, pertinente jusqu'à une
10 certaine fréquence maximale.

Selon l'invention, les combinaisons linéaires effectuées dans un circuit d'émission et les combinaisons linéaires effectuées dans un circuit de réception mettent en oeuvre un traitement numérique. Cette manière de procéder n'est pas
15 décrite dans la demande de brevet français numéro 0300064.

Selon l'invention, les signaux à transmettre peuvent être des signaux analogiques ou des signaux numériques.

Dans le cas où les voies de transmission sont utilisées pour transmettre des signaux numériques, ceux qui sont
20 appliqués à l'entrée d'un dispositif d'émission peuvent par exemple être directement soumis au traitement numérique effectué par ce circuit d'émission, et, de même, les signaux numériques issus du traitement numérique effectué dans un dispositif de réception peuvent par exemple être directement
25 appliqués à la sortie du dispositif de réception.

Dans le cas où les voies de transmission sont utilisées pour transmettre des signaux analogiques, ceux qui sont appliqués à l'entrée d'un dispositif d'émission doivent être convertis en signaux numériques avant d'être soumis au
30 traitement numérique effectué par ce circuit d'émission, et, de même, les signaux numériques issus du traitement numérique effectué dans un dispositif de réception doivent être convertis en signaux analogiques avant d'être appliqués à la sortie du dispositif de réception.

35 Selon l'invention, les variables électriques modales

générées par un circuit d'émission sont chacune proportionnelles à un seul des dits signaux d'entrée. Donc m signaux devant être transmis, il y a au moins m variables électriques modales. Selon le procédé selon l'invention, il est
5 en particulier possible d'obtenir à la sortie d'un circuit d'émission la génération de m variables électriques modales. Cette façon de procéder peut être la plus économique, mais il est également envisageable, lorsque m est strictement plus petit que n , de générer plus de m variables électriques modales
10 pour les m signaux d'entrée.

Selon le procédé selon l'invention, le nombre m de voies de transmission entre un circuit d'émission quelconque et un circuit de réception quelconque peut être égal au nombre n de conducteurs de transmission. Cette façon de procéder est
15 préférée car elle est généralement la plus économique. Toutefois, il est également envisageable d'utiliser un nombre n de conducteurs de transmission strictement supérieur au nombre m de voies.

Selon le procédé selon l'invention, les dites variables
20 électriques peuvent être soit toutes des tensions électriques, soit toutes des courants électriques.

Selon le procédé selon l'invention, on peut utiliser des conducteurs et des diélectriques tels que la section de l'interconnexion dans un plan orthogonal à la direction de
25 propagation ne varie pas, à un facteur d'échelle près, sur la plus grande partie de la longueur de l'interconnexion, au voisinage des conducteurs de transmission. En effet, les spécialistes savent que cette condition permet de maintenir des caractéristiques électriques pratiquement uniformes sur la
30 longueur de l'interconnexion.

On notera qu'il est dans de nombreux cas possible, comme les spécialistes le savent, de considérer que, pour le calcul des matrices Z_c , S et T de la ligne de transmission multiconductrice, les pertes sont négligeables dans certains
35 domaines fréquentiels, par exemple pour les fréquences supérieures à 100 kHz, et que dans ce cas la matrice impédance

caractéristique est réelle et indépendante de la fréquence et que les matrices \mathbf{S} et \mathbf{T} peuvent être choisies réelles et indépendantes de la fréquence. Dans le cas des interconnexions internes des circuits intégrés, on note toutefois que, du fait
5 de la faible section des conducteurs, ce résultat peut n'être obtenu que pour des fréquences bien plus élevées, par exemple supérieures à 1 GHz.

Les spécialistes savent, par exemple par le calcul basé sur la géométrie des conducteurs et des isolants, sur la
10 conductivité des conducteurs et sur la permittivité et les pertes des isolants, déterminer les matrices \mathbf{L} , \mathbf{R} , \mathbf{C} et \mathbf{G} d'une ligne de transmission multiconductrice, en fonction de la fréquence. Les spécialistes savent aussi mesurer ces matrices. Il est donc clair qu'il est possible de déterminer avec
15 précision la matrice impédance caractéristique de la dite ligne de transmission multiconductrice dans un intervalle de fréquences quelconque, jusqu'à la fréquence maximale pour laquelle la théorie des lignes de transmission est applicable. Cette fréquence maximale dépend des dimensions transversales de
20 l'interconnexion et les spécialistes savent qu'elle correspond à l'apparition des premiers modes de propagation non évanescents autres que quasi-TEM. Dans ce même intervalle de fréquences, il est manifestement également possible de déterminer une "matrice de passage des tensions naturelles aux
25 tensions modales" \mathbf{S} et/ou une "matrice de passage des courants naturels aux courants modaux" \mathbf{T} , en fonction de la fréquence, ce qui permet de définir des tensions modales et/ou des courants modaux.

La détermination de la matrice impédance caractéristique
30 et d'un choix convenable de matrices \mathbf{S} et/ou \mathbf{T} peut donc par exemple se faire dans deux contextes distincts : premièrement quand le choix de l'interconnexion est fait et qu'il convient de lui appliquer le procédé selon l'invention en adaptant les autres parties d'un dispositif mettant en oeuvre ce procédé,
35 deuxièmement quand les parties autres que l'interconnexion d'un dispositif mettant en oeuvre ce procédé sont préalablement définies et qu'il convient de concevoir une interconnexion appropriée.

Selon le procédé selon l'invention le dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif d'émission et/ou le dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif de réception peuvent par exemple être définis par un circuit, qui
5 peut par exemple être un circuit défini par un câblage, ou bien un circuit défini par un programme, comme dans un circuit logique programmable.

Selon le procédé selon l'invention le dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif d'émission et/ou le
10 dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif de réception peuvent être définis par un programme, qui peut par exemple être le programme d'un microcontrôleur ou d'un processeur numérique de signal.

Un dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans
15 un procédé selon l'invention est décrit dans la phrase suivante. Un dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé pour la transmission dans une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à 2, procédé procurant, dans
20 une bande de fréquences connue, m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit d'émission et la sortie d'au moins un circuit de réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à n , peut comporter :

- 25 - des moyens pour modéliser l'interconnexion, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion et dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques
30 électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue ;
- des moyens pour déterminer, pour la dite ligne de transmission multiconductrice et la dite bande de fréquences connue, la matrice impédance caractéristique et
35 une matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales ;
- des moyens pour dimensionner un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite

matrice impédance caractéristique ;

- des moyens pour dimensionner un dit circuit d'émission qui combine les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui est reliée aux n conducteurs de transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
- des moyens pour dimensionner un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission, qui combine les signaux analogiques présents sur ces conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

Le dit dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé selon l'invention peut être tel que les moyens pour modéliser l'interconnexion comprennent des moyens pour mesurer et/ou pour calculer en fonction des dispositions relatives des conducteurs de transmission et du conducteur de référence ainsi que des caractéristiques des diélectriques qui les entourent, des caractéristiques électriques réelles de l'interconnexion.

Le dit dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé selon l'invention peut être tel que les moyens pour modéliser l'interconnexion comprennent :

- des moyens pour calculer un ou plusieurs coefficients

d'erreur entre les caractéristiques électriques réelles de l'interconnexion et des caractéristiques souhaitées, pour la bande de fréquences connue ;

- 5 - des moyens pour optimiser la position relative des conducteurs de transmission en minimisant ce ou ces coefficients d'erreur.

Par exemple, dans le cas où le dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif d'émission et/ou le dit traitement numérique effectué dans un dit dispositif de
10 réception sont définis par le programme d'un circuit logique programmable ou par le programme d'un processeur numérique de signal, le dit dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé selon l'invention pourra générer automatiquement une partie ou la totalité de ces programmes.

15 Le dit dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé selon l'invention peut être tel que les moyens pour dimensionner un dit circuit d'émission et les moyens pour dimensionner un dit circuit de réception prennent en compte les erreurs liées à l'échantillonnage, à la quantification et aux
20 éventuelles approximations utilisées pour définir les dits traitements numériques de ce circuit d'émission et de ce circuit de réception.

En effet, le spécialiste comprend bien que les dits traitements numériques n'ont pas pour vocation de correspondre
25 exactement à une caractéristique analogique idéale telle que la réalisation des combinaisons linéaires définies par la matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales ou par son inverse, mais plutôt de s'en approcher suffisamment. L'analyse des erreurs liées à
30 l'échantillonnage, à la quantification et aux approximations est donc particulièrement utile.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention est décrit dans la phrase suivante. Un dispositif pour la transmission procurant, dans une bande de fréquences
35 connue, m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit

d'émission et la sortie d'au moins un circuit de réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2, comporte :

- 5 - une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à m , l'interconnexion étant dimensionnée de telle manière qu'elle peut, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, être modélisée par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquence connue ;
- 10 - un ou deux circuits de terminaison disposés chacun à une extrémité de l'interconnexion et présentant chacun une matrice impédance voisine, dans la dite bande de fréquences connue, de la dite matrice impédance caractéristique de la ligne de transmission multiconductrice, ces circuits de terminaisons étant, s'ils sont plusieurs, disposés chacun à une extrémité différente de l'interconnexion ;
- 15 - au moins un dit circuit d'émission pour combiner les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par une matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui est reliée aux n conducteurs de transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
- 20 - au moins un dit circuit de réception dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission pour combiner les signaux analogiques présents sur les conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux
- 25
- 30
- 35
- 40

de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

Nous notons que, comme il a été exposé plus haut, un
5 dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut :

- soit ne comporter qu'à une seule extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;
10
- soit comporter à chaque extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique.

Dans un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon
15 l'invention, il est possible d'obtenir à la sortie d'un circuit d'émission la génération de m variables électriques modales.

Dans un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il est possible que le nombre m de voies de transmission entre un circuit d'émission quelconque et un
20 circuit de réception quelconque soit égal au nombre n de conducteurs de transmission.

Dans ce cas où $m = n$, à chaque mode correspond une voie de transmission. Notons \mathbf{X}_I le vecteur-colonne des n signaux d'entrée x_{I1}, \dots, x_{In} d'un circuit d'émission et notons \mathbf{X}_O le
25 vecteur-colonne des n signaux de sortie x_{O1}, \dots, x_{On} d'un circuit de réception. Ces signaux peuvent par exemple être des tensions ou des courants. Selon l'invention, à une fréquence donnée, il existe une proportionnalité entre chaque tension modale produite par un circuit d'émission et le signal d'entrée
30 de la voie correspondante. Nous pouvons donc, avec une numérotation convenable des signaux d'entrée, écrire :

$$\mathbf{V}_M = \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (1)$$

où \mathbf{V}_M est le vecteur-colonne des tensions modales produites par

le circuit d'émission, et où $\text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ est la matrice diagonale des coefficients de proportionnalité α_i non nuls. La dimension de chacun de ces coefficients dépend de celle des signaux d'entrée : si par exemple les signaux d'entrée sont des tensions, les coefficients α_i seront sans dimension. Par conséquent, nous voyons que le circuit d'émission doit produire sur chaque conducteur, à son point de connexion à l'interconnexion, les tensions naturelles du vecteur-colonne \mathbf{V} donné par :

$$\mathbf{V} = \mathbf{S} \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (2)$$

D'autre part, comme un circuit de réception produit en sortie, pour chaque voie, un signal pratiquement proportionnel à la tension modale correspondant à cette voie, nous pouvons, avec une numérotation convenable des signaux de sortie, écrire que :

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{V}_M \quad (3)$$

où \mathbf{V}_M est le vecteur-colonne des tensions modales reçues par le circuit de réception, et où $\text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n)$ est la matrice diagonale des coefficients de proportionnalité β_i non nuls. La dimension de ces coefficients dépend de celle des signaux de sortie : si par exemple les signaux de sortie sont des courants, les β_i auront la dimension d'une admittance. Nous voyons que le circuit de réception doit sélectionner, sur l'ensemble des conducteurs, les tensions modales. Par conséquent, si au point de connexion du circuit de réception à l'interconnexion le vecteur-colonne des tensions naturelles est \mathbf{V} , les signaux de sortie sont donnés par :

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{S}^{-1} \mathbf{V} \quad (4)$$

Comme, selon l'invention, les ondes se propagent sur l'interconnexion comme dans une ligne de transmission multiconductrice uniforme, sans réflexion significative aux extrémités, il est possible, en utilisant les formules (1) et (3), de préciser comment la transmission des signaux est assurée. Entre un circuit d'émission et un circuit de réception

dont les points de connexion à l'interconnexion présentent une différence d'abscisse curviligne ΔL , nous obtenons que, pour tout i entre 1 et n inclus :

$$x_{0_i} = \alpha_i \beta_i e^{-\gamma_i |\Delta L|} x_{1_i} \quad (5)$$

5 où γ_i est la constante de propagation pour le mode i .

Selon (2), le circuit d'émission que nous venons d'évoquer doit réaliser, pour une de ses bornes de sortie i quelconque, la combinaison linéaire des signaux des voies d'entrée utilisant les coefficients du i -ième vecteur-ligne de la
 10 matrice obtenue en multipliant chaque colonne j de la matrice \mathbf{S} par un coefficient α_j . Selon (4), le circuit de réception que nous avons discuté doit réaliser, pour une de ses voies de sortie i quelconque, la combinaison linéaire des tensions sur ses bornes d'entrées utilisant les coefficients du i -ième
 15 vecteur-ligne de la matrice \mathbf{S}^{-1} multipliés par un coefficient β_i .

De telles combinaisons linéaires, selon des coefficients pouvant être complexes et dépendre de la fréquence, peuvent être réalisées avec un traitement numérique approprié, en
 20 mettant en oeuvre les techniques bien connues des spécialistes en traitement numérique du signal. Ainsi, dans le cas le plus général, les équations (2) et (4) peuvent être chacune vues comme la définition de n circuits linéaires à n entrées et une sortie, la sortie d'un tel circuit linéaire étant la somme de
 25 n filtres élémentaires à une entrée et une sortie. Chacun de ces filtres élémentaires est défini par un coefficient pouvant dépendre de la fréquence, qui est sa fonction de transfert. Le spécialiste sait qu'il peut utiliser les techniques classiques de conception des filtres numériques pour obtenir une
 30 approximation convenable d'une telle fonction de transfert analogique. Par exemple, le spécialiste pourra, après avoir défini une fréquence d'échantillonnage, calculer les coefficients d'un filtre à réponse impulsionnelle finie, et choisir une structure pour sa réalisation. Chacun des dits
 35 circuits linéaires pourra alors par exemple être réalisé en

sommant les sorties des filtres élémentaires conçus de cette façon.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut être tel que les dites variables électriques sont soit toutes des tensions électriques, soit toutes des courants électriques, et les deux formulations sont en fait équivalentes. Au lieu des équations (1) à (4), nous notons que nous aurions pu aussi bien écrire, au niveau d'un circuit d'émission

$$10 \quad \mathbf{I}_M = \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (6)$$

$$\mathbf{I} = \mathbf{T} \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (7)$$

où \mathbf{I}_M est le vecteur-colonne des courants modaux produits par le circuit d'émission, où \mathbf{I} est le vecteur-colonne des courants naturels correspondants, et où $\text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ est la matrice diagonale des coefficients de proportionnalité α_i non nuls, et, au niveau d'un circuit de réception

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{I}_M \quad (8)$$

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{T}^{-1} \mathbf{I} \quad (9)$$

où \mathbf{I}_M est le vecteur-colonne des courants modaux reçus par le circuit de réception, où \mathbf{I} est le vecteur-colonne des courants naturels correspondants, et où $\text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n)$ est la matrice diagonale des coefficients de proportionnalité β_i non nuls. Les coefficients de proportionnalités apparaissant dans les équations (1) à (5) ne sont évidemment pas les mêmes que ceux apparaissant dans les équations (6) à (9).

Dans un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, il est possible que la section de l'interconnexion dans un plan orthogonal à la direction de propagation ne varie pas, à un facteur d'échelle près, sur la plus grande partie de la longueur de l'interconnexion, au voisinage des conducteurs de transmission.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut préférentiellement être tel que la dite bande de fréquences connue contient des fréquences comprises entre 100 kHz et 100 GHz.

5 Nous avons déjà indiqué qu'il est souvent possible, par exemple à des fréquences supérieures à 100 kHz, d'obtenir des matrices \mathbf{Z}_c , \mathbf{S} et \mathbf{T} réelles et indépendantes de la fréquence. Dans ce cas, il est clair pour le spécialiste qu'un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite
10 matrice impédance caractéristique dans la dite portion de la dite bande de fréquences pourra par exemple être réalisé à l'aide d'un réseau de résistances, et les calculs permettant de dimensionner ce réseau ne sont pas difficiles.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon
15 l'invention peut être tel que les circuits de terminaison sont constitués d'un réseau de résistances.

Des circuits de terminaison constitués d'un réseau de résistances ne sont cependant nullement une caractéristique de l'invention. Selon un premier exemple, les concepteurs, en vue
20 de limiter la puissance consommée par un signal aux bornes des terminaisons, peuvent choisir de ne rendre celles-ci opérantes que dans un intervalle de fréquences pertinent, par exemple en incluant des réactances appropriées dans les circuits de terminaison. Selon un deuxième exemple, les circuits de
25 terminaison pourraient incorporer des composants actifs.

Dans le cas où l'on peut considérer des matrices \mathbf{Z}_c , \mathbf{S} et \mathbf{T} réelles et indépendantes de la fréquence, et où les coefficients α_i et β_i des formules (1) à (9) sont choisis réels et indépendants de la fréquence, il est également clair pour le
30 spécialiste que les filtres élémentaires définis plus haut pour la réalisation des combinaisons linéaires prévues dans les circuits d'émission et dans les circuits de réception ont chacun une fonction de transfert égale à un nombre réel indépendant de la fréquence. Ces filtres élémentaires
35 correspondent alors chacun à un simple gain dans la structure du traitement numérique.

Dans le cas où il s'avère utile de prendre en compte les pertes pour la détermination de la matrice Z_c , celle-ci n'est plus réelle et indépendante de la fréquence, et il devient nécessaire de procéder à la synthèse des dits circuits de terminaison par des méthodes bien connues des spécialistes. Les circuits de terminaison ainsi synthétisés comportent alors des réactances.

Dans le cas où il s'avère utile de prendre en compte les pertes pour la détermination des matrices S et T , celles-ci ne sont a priori plus réelles et indépendantes de la fréquence. Les filtres élémentaires définis plus haut pour la réalisation des combinaisons linéaires prévues dans les circuits d'émission et dans les circuits de réception ont chacun une fonction de transfert qui ne se réduit a priori plus à une constante réelle. Il devient donc nécessaire de procéder à la synthèse de ces filtres élémentaires par une des nombreuses méthodes bien connues des spécialistes, en choisissant une approximation convenable, comme il a été dit plus haut. Cette approximation peut par exemple être basée sur une minimalisation d'erreur, par exemple selon une méthode classique telle que la minimisation d'erreur quadratique.

Selon l'invention, il est spécifié que l'interconnexion doit pouvoir être modélisée par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquence connue, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités. Pour que cette prise en compte puisse se limiter à constater que ces impédances localisées sont négligeables, ces circuits doivent donc être tels qu'ils ne perturbent pas la propagation le long de la ligne de transmission. Le spécialiste voit que ce résultat peut être obtenu par exemple:

- en utilisant des circuits d'émission et/ou des circuits de réception connectés en série avec les conducteurs de l'interconnexion, et présentant une faible impédance série,
- en utilisant des circuits d'émission et/ou des circuits de réception connectés en parallèle avec les conducteurs

de l'interconnexion, et présentant une forte impédance parallèle.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut donc être tel que le ou les circuits d'émission et le ou les circuits de réception sont connectés en parallèle sur l'interconnexion, et tel que les connexions du ou des circuits d'émission et du ou des circuits de réception présentent une haute impédance à l'interconnexion. Dans ce cas le concepteur pourra considérer que le circuit d'émission se comporte comme une source de courant, et appliquer la formule (7). Alternativement, il pourra choisir de raisonner sur des tensions et appliquer la formule (2) en considérant que :

- si le dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention est tel qu'une seule extrémité de l'interconnexion est connectée à un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique, l'autre extrémité, à laquelle est connecté le circuit d'émission, voyant une haute impédance, alors la sortie du circuit d'émission voit pratiquement la matrice impédance Z_c , et par conséquent

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}_C^{-1} \mathbf{S} \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (10)$$

- si le dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention est tel qu'à chaque extrémité de l'interconnexion est connecté un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique, alors la sortie du circuit d'émission voit la matrice impédance $Z_c/2$, et par conséquent

$$\mathbf{I} = 2\mathbf{Z}_C^{-1} \mathbf{S} \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (11)$$

Le concepteur gardera bien sûr à l'esprit que $\text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ n'a pas le même sens dans la formule (7) d'une part, et dans les formules (2), (10) et (11) d'autre part.

Toutefois la connexion en parallèle sur l'interconnexion des circuits d'émission et/ou des circuits de réception n'est nullement une caractéristique de l'invention. Selon l'invention, le ou les circuits d'émission et/ou le ou les
5 circuits de réception peuvent être connectés en série avec l'interconnexion, ce qui imposerait généralement, afin de ne pas perturber la propagation des ondes le long de l'interconnexion, de présenter une basse impédance à l'interconnexion.

10 Selon l'état de l'art antérieur il était bien connu des spécialistes que la diaphonie dans une interconnexion réalisée avec des conducteurs parallèles était faible à basse fréquence, qu'elle dépendait fortement de la fréquence et qu'elle
15 dépendait fortement de la longueur de l'interconnexion. Ces propriétés limitaient donc en général la longueur maximale de l'interconnexion et la fréquence maximale d'utilisation. Pour un dispositif selon l'invention, on observe que la diaphonie que l'on peut calculer est très peu dépendante de la fréquence et de la longueur de l'interconnexion, ce qui élimine ces
20 limitations.

L'état de la technique antérieur imposait, pour obtenir une très faible diaphonie sur des interconnexions, que celles-ci aient une structure tridimensionnelle complexe, par exemple qu'elles comportent une paire torsadée pour chaque voie, ou un
25 écran pour chaque voie. Selon l'invention, une très faible diaphonie est obtenue avec une interconnexion réalisée simplement avec des conducteurs parallèles, d'où un gain d'encombrement et de coût.

Enfin, on note que selon l'état de la technique antérieur,
30 la propagation voulue d'un signal sur un seul conducteur correspond à la propagation de plusieurs modes, à des vitesses de propagation différentes, responsables d'une dispersion modale bien connue des spécialistes. Dans le domaine temporel, cette dispersion modale déforme les signaux. Selon l'invention,
35 la propagation d'un signal se fait sur un seul mode, et il n'y a donc pas de dispersion modale, ce qui étend la bande passante de l'interconnexion et la longueur maximale qu'elle peut avoir.

Ainsi, selon l'invention, dans une voie de transmission i , une seule constante de propagation γ_i intervient pour la propagation des signaux, comme exprimé par l'équation (5). Cependant, les constantes de propagation applicables aux
5 différentes voies de transmission peuvent être différentes, ce qui conduit à des vitesses de phases différentes, donc à des temps de propagation différents pour les différentes voies, entre un circuit d'émission et un circuit de réception donnés. Toutefois, cette caractéristique de l'interconnexion peut être
10 compensée dans le dispositif selon l'invention, car celui-ci peut être conçu pour retarder, dans un circuit d'émission et/ou dans un circuit de réception, les signaux des voies de transmission dans lesquelles la propagation est la plus rapide, de façon à rendre plus voisins les uns des autres les temps de
15 propagation entre l'entrée d'un circuit d'émission et la sortie d'un circuit de réception. On note que mettre en oeuvre de tels retards conduit à définir des coefficients de proportionnalité α_i et/ou β_i dépendants de la fréquence, puisque la fonction de transfert d'un retard pur est une fonction exponentielle dont
20 l'argument est imaginaire et proportionnel à la fréquence. La mise en oeuvre de tels retards ne pose pas de problème particulier. Par exemple, des retards d'un nombre entier de fois la période d'échantillonnage sont faciles à mettre en oeuvre dans un traitement numérique. Par exemple, des retards
25 quelconques peuvent aussi être introduits par des circuits de retards analogiques bien connus des spécialistes.

Un dispositif selon l'invention peut donc mettre en oeuvre, dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, des retards différents pour
30 les différentes voies de transmission.

Lorsque les pertes de l'interconnexion sont négligeables, les vitesses de phases associées aux constantes de propagation des différentes voies ne dépendent pas de la fréquence, et la propagation le long de l'interconnexion produit des retards
35 dans les différentes voies, mais pas de distorsion des signaux propagés. Il en va différemment lorsque les pertes ne sont pas négligeables. Dans ce cas, dans une voie de transmission i , une constante de propagation γ_i peut correspondre à une vitesse de

phase et à des pertes dépendantes de la fréquence, ce qui produit des distorsions de phase et d'amplitude décrites par l'équation (5), dont on dit qu'elles sont les distorsions liées à la propagation. La réduction de ces distorsions peut être
 5 obtenue, dans un dispositif selon l'invention, par la mise en oeuvre, dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit d'émission et/ou dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission, d'une égalisation réduisant les effets des
 10 distorsions liées à la propagation. Ce type de traitement est bien connu des spécialistes et est par exemple largement employé dans les modems. On note que mettre en oeuvre une telle égalisation conduit à considérer des coefficients de proportionnalité α_i et/ou β_i dépendants de la fréquence, puisque
 15 la fonction de transfert correspondant à l'égalisation idéale pour la voie de transmission i est une fonction exponentielle dont l'argument dépend de γ_i .

Les spécialistes savent qu'il est classique d'utiliser des algorithmes adaptatifs pour mettre en oeuvre ce type de
 20 traitement dans les récepteurs pour transmission de données.

Un dispositif selon l'invention peut mettre en oeuvre une égalisation adaptative dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission. Dans ce cas, les coefficients de
 25 proportionnalité β_i dépendent de la fréquence et sont adaptés pour minimiser la distorsion observée dans la voie de transmission.

BRÈVE PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES FIGURES

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus
 30 clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés dans les dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un premier et un deuxième mode
 35 de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 représente le circuit d'émission du premier

- mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 représente le circuit de réception du premier mode de réalisation de l'invention ;
 - la figure 4 représente le circuit d'émission d'un
- 5 deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 représente le circuit de réception du deuxième mode de réalisation de l'invention ;
 - la figure 6 représente un troisième mode de réalisation de l'invention.

10 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

Au titre d'un premier exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention donné à titre non limitatif, nous avons représenté sur la figure 1 un dispositif

15 selon l'invention, comportant une interconnexion (1) à quatre conducteurs de transmission parallèles plus un conducteur de référence. Les conducteurs de transmission numérotés 1, 2, 3 et 4 (cette numérotation n'apparaît pas sur la figure 1) peuvent être les conducteurs d'un câble plat muni d'un écran (ou

20 blindage), cet écran étant utilisé comme conducteur de référence. Sur la figure 1, une seule extrémité de l'interconnexion est connectée à un circuit de terminaison (4) présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique dans une bande de fréquences connue.

25 Le circuit d'émission (5) reçoit en entrée les signaux des quatre voies de la source (2) et ses quatre bornes de sorties sont connectées aux conducteurs de l'interconnexion, ce circuit d'émission produisant sur ces conducteurs des tensions modales proportionnelles chacune au signal sur une voie différente. Le

30 circuit de réception (6) a ses bornes d'entrées connectées aux conducteurs de l'interconnexion, ce circuit de réception produisant sur ses bornes de sorties connectées au destinataire (3) quatre signaux proportionnels chacun à une des tensions modales apparaissant sur ces conducteurs. Ainsi les signaux des

35 quatre voies de la source (2) sont transmis aux quatre voies du destinataire (3), sans diaphonie notable.

On note que, dans le dispositif de la figure 1, le circuit de réception (6) doit ne pas perturber significativement, par sa connexion en parallèle avec un circuit de terminaison (4), la valeur de la matrice impédance connectée à l'extrémité de la ligne. Le circuit de réception (6) doit donc présenter une haute impédance à l'interconnexion (1), de façon à ce que l'interconnexion (1) voit bien à chacune de ses extrémités une matrice impédance voisine de celle des terminaisons (4).

On note que, dans le dispositif de la figure 1, le circuit d'émission (5) peut par contre présenter une impédance quelconque à l'interconnexion (1), car aucune onde incidente ne peut parvenir à l'extrémité de l'interconnexion (1) à laquelle il est connecté. Pour cette même raison, il n'y a pas de circuit de terminaison connecté à cette extrémité.

Dans ce premier exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, les signaux transmis de la source (2) au destinataire (3) sont des signaux numériques. Compte tenu des caractéristiques résultant du dimensionnement de l'interconnexion et du spectre de ces signaux, le concepteur a établi qu'il pouvait négliger les pertes, ce qui lui a permis de considérer des matrices Z_c , S et T réelles et indépendantes de la fréquence. Le circuit de terminaison a ici pu être conçu comme un simple réseau de 10 résistances.

La figure 2 représente un diagramme du circuit d'émission (5), qui met en oeuvre les combinaisons linéaires définies par l'équation (2) avec des coefficients α_i réels et indépendants de la fréquence. L'entrée (51) du circuit d'émission a 4 points d'entrée (511), (512), (513) et (514), un pour chacune des 4 voies de transmission. Le traitement numérique correspondant à l'équation (2) appliqué aux signaux d'entrée est effectué dans une structure (53) réalisée avec 4 circuits linéaires (531), (532), (533) et (534) ayant chacun 4 entrées et une sortie. La sortie de chacun de ces circuits linéaires est la somme de 4 filtres élémentaires réduits chacun à un gain, car ils ont chacun une fonction de transfert égale à une constante réelle indépendante de la fréquence. Les signaux numériques ainsi traités sont convertis en 4 signaux analogiques dans un

ensemble de conversion (54) constitué de 4 convertisseurs numériques/analogiques (541), (542), (543) et (544), chacun de ceux-ci ayant leur sortie reliée à une des quatre bornes (551), (552), (553) et (554) de la sortie (55) du circuit d'émission.

5 Les gains des filtres élémentaires sont tels que les tensions modales apparaissant sur les 4 conducteurs de transmission sont chacune proportionnelles à un seul des 4 signaux appliqués à l'entrée (51).

La structure (53) effectuant le traitement numérique est ici
 10 mise en oeuvre dans le programme d'un processeur numérique de signal. La structure (53) ne correspond donc pas à des éléments matériels, alors que l'ensemble de conversion (54) et la sortie (55) ont une existence physique.

La figure 3 représente un diagramme du circuit de réception
 15 (6), qui met en oeuvre les combinaisons linéaires définies par l'équation (4) avec des coefficients β_i réels et indépendants de la fréquence. L'entrée (61) du circuit de réception a 4 bornes d'entrée (611), (612), (613) et (614), une pour chacun des 4 conducteurs de transmission. Les signaux apparaissant sur
 20 ces bornes d'entrée sont convertis en 4 signaux numériques dans un ensemble de conversion (62) constitué de 4 convertisseurs analogiques/numériques (621), (622), (623) et (624). Le traitement numérique correspondant à l'équation (4) appliqué aux signaux ainsi convertis est effectué dans une structure
 25 (63) réalisée avec 4 circuits linéaires (631), (632), (633) et (634) ayant chacun 4 entrées et une sortie. La sortie de chacun de ces circuits linéaires est la somme de 4 filtres élémentaires réduits chacun à un gain, car ils ont chacun une fonction de transfert égale à une constante réelle indépendante
 30 de la fréquence. Les signaux numériques ainsi traités sont appliqués aux quatre points (651), (652), (653) et (654) de la sortie (65) du circuit de réception. Les gains des filtres élémentaires sont tels que les signaux en chacun de ces 4 points de sortie sont chacun proportionnels à une seule des 4
 35 tensions modales apparaissant sur les 4 conducteurs de transmission.

La structure (63) effectuant le traitement numérique est ici

mise en oeuvre dans le programme d'un processeur numérique de signal. La structure (63) ne correspond donc pas à des éléments matériels, alors que l'ensemble de conversion (62) et l'entrée (61) ont une existence physique.

5 Deuxième mode de réalisation.

Notre deuxième exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention donné à titre non limitatif, correspond également au dispositif représenté sur la figure 1. Ce dispositif selon l'invention comporte une interconnexion (1) et un circuit de terminaison (4) identiques à ceux du premier exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Le circuit d'émission (5) reçoit en entrée les signaux des quatre voies de la source (2) et ses quatre bornes de sorties sont connectées aux conducteurs de l'interconnexion, ce circuit d'émission produisant sur ces conducteurs des tensions modales proportionnelles chacune au signal sur une voie différente. Le circuit de réception (6) a ses bornes d'entrées connectées aux conducteurs de l'interconnexion, ce circuit de réception produisant sur ses bornes de sorties connectées au destinataire (3) quatre signaux proportionnels chacun à une des tensions modales apparaissant sur ces conducteurs.

Dans ce deuxième exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, les signaux transmis de la source (2) au destinataire (3) sont des signaux analogiques. Compte tenu des caractéristiques résultant du dimensionnement de l'interconnexion et du spectre de ces signaux, le concepteur a établi qu'il pouvait négliger les pertes, ce qui lui a permis de considérer des matrices Z_c , S et T réelles et indépendantes de la fréquence. Le circuit de terminaison a ici pu être conçu comme un simple réseau de 10 résistances.

La figure 4 représente un diagramme du circuit d'émission (5), qui met en oeuvre les combinaisons linéaires définies par l'équation (2) avec des coefficients α_i réels et indépendants de la fréquence. L'entrée (51) du circuit d'émission a 4 bornes

d'entrée (511), (512), (513) et (514), une pour chacune des 4 voies de transmission. Les signaux apparaissant sur ces bornes d'entrée sont convertis en 4 signaux numériques dans un ensemble de conversion (52) constitué de 4 convertisseurs analogiques/numériques (521), (522), (523) et (524). Le traitement numérique correspondant à l'équation (2) appliqué aux signaux ainsi convertis est effectué dans une structure (53) réalisée avec 4 circuits linéaires (531), (532), (533) et (534) ayant chacun 4 entrées et une sortie. La sortie de chacun de ces circuits linéaires est la somme de 4 filtres élémentaires réduits chacun à un gain, car ils ont chacun une fonction de transfert égale à une constante réelle indépendante de la fréquence. Les signaux numériques ainsi traités sont convertis en 4 signaux analogiques dans un ensemble de conversion (54) constitué de 4 convertisseurs numériques/analogiques (541), (542), (543) et (544), chacun de ceux-ci ayant leur sortie reliée à une des quatre bornes (551), (552), (553) et (554) de la sortie (55) du circuit d'émission. Les gains des filtres élémentaires sont tels que les tensions modales apparaissant sur les 4 conducteurs de transmission sont chacune proportionnelles à un seul des 4 signaux appliqués à l'entrée (51).

La figure 5 représente un diagramme du circuit de réception (6), qui met en oeuvre les combinaisons linéaires définies par l'équation (4) avec des coefficients β_i réels et indépendants de la fréquence. L'entrée (61) du circuit de réception a 4 bornes d'entrée (611), (612), (613) et (614), une pour chacun des 4 conducteurs de transmission. Les signaux apparaissant sur ces bornes d'entrée sont convertis en 4 signaux numériques dans un ensemble de conversion (62) constitué de 4 convertisseurs analogiques/numériques (621), (622), (623) et (624). Le traitement numérique correspondant à l'équation (4) appliqué aux signaux ainsi convertis est effectué dans une structure (63) réalisée avec 4 circuits linéaires (631), (632), (633) et (634) ayant chacun 4 entrées et une sortie. La sortie de chacun de ces circuits linéaires est la somme de 4 filtres élémentaires réduits chacun à un gain, car ils ont chacun une fonction de transfert égale à une constante réelle indépendante de la fréquence. Les signaux numériques ainsi traités sont

convertis en 4 signaux analogiques dans un ensemble de conversion (64) constitué de 4 convertisseurs numériques/analogiques (641), (642), (643) et (644), chacun de ceux-ci ayant leur sortie reliée à une des quatre bornes (651),
5 (652), (653) et (654) de la sortie (65) du circuit de réception. Les gains des filtres élémentaires sont tels que les signaux en chacun de ces 4 points de sortie sont chacun proportionnels à une seule des 4 tensions modales apparaissant sur les 4 conducteurs de transmission.

10 Troisième mode de réalisation.

Au titre d'un troisième exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention donné à titre non limitatif, nous avons représenté sur la figure 6 un dispositif selon l'invention, comportant une interconnexion (1) à quatre
15 conducteurs de transmission parallèles plus un conducteur de référence, connecté à chacune de ses deux extrémités à un circuit de terminaison (4). Deux circuits d'émission (5) placés en deux abscisses z différentes reçoivent en entrée les signaux des quatre voies de chacune des deux sources (2), ces circuits
20 d'émission produisant, lorsqu'ils sont actifs, des tensions modales telles que chacune d'elles est proportionnelle au signal d'une voie. Nous notons que nous avons ici une architecture en bus de données, et que les signaux permettant de commander l'état actif d'au plus un circuit d'émission à un
25 instant donné ne sont pas représentés sur la figure 6. Les trois circuits de réception (6) placés en trois abscisses z différentes ont leurs bornes d'entrées connectées aux conducteurs de l'interconnexion, ces circuits de réception produisant chacun sur leurs bornes de sorties connectées aux
30 destinataires (3) des signaux proportionnels chacun à une tension modale différente. Ainsi les signaux des quatre voies d'une source (2) connectée à un circuit d'émission (5) actif sont transmis aux quatre voies des destinataires (3), sans diaphonie notable.

35 On note que, dans le dispositif de la figure 6, les circuits d'émission (5) et les circuits de réception (6), connectés en parallèle avec l'interconnexion (1), doivent pour ne pas

perturber de façon préjudiciable la propagation des ondes le long de l'interconnexion (1), et pour ne pas provoquer de réflexion indésirable à ses extrémités, présenter à l'interconnexion (1) des impédances élevées. Dans le dispositif
5 de la figure 6, les deux circuits de terminaison (4) sont nécessaires, car des ondes provenant de l'interconnexion (1) peuvent être incidentes sur ses deux extrémités.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Selon l'invention, il est possible d'incorporer à une ou
10 plusieurs entités devant être interconnectées, par exemple des circuits intégrés, un dit circuit d'émission et/ou un dit circuit de réception, prévus pour des interconnexions de caractéristiques pré-définies, par exemple un dessin imposé de la section de l'interconnexion orthogonale à la direction de
15 propagation, pour une mise en oeuvre sur une couche externe d'un circuit imprimé sur du verre époxy de permittivité spécifiée. Le concepteur incorporant de telles entités aurait seulement à réaliser l'interconnexion de caractéristiques pré-définies, mais bien entendu de longueur quelconque, et les
20 circuits de terminaison, pour obtenir un dispositif selon l'invention. Il est clair que cette approche serait par exemple intéressante pour des entités prévues pour une utilisation en bus de données, par exemple des microprocesseurs ou des mémoires, ou par exemple des cartes électroniques devant être
25 connectées à une carte en fond de panier comportant les pistes d'interconnexion.

Selon l'invention, le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit d'émission et/ou le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de réception peuvent être programmés.

30 Il est donc possible d'incorporer à une ou plusieurs entités devant être interconnectées, par exemple des circuits intégrés, un dit circuit d'émission et/ou un dit circuit de réception, dont le traitement numérique peut être programmé pour s'adapter à des interconnexions quelconques d'un nombre maximal de
35 conducteur donné, grâce à un dimensionnement convenable. Le concepteur incorporant de telles entités aurait alors à

dimensionner et à réaliser l'interconnexion, le programme du traitement numérique et les circuits de terminaison pour obtenir un dispositif selon l'invention. Cette approche est clairement plus souple que la précédente.

5 L'invention est particulièrement bien adaptée au cas où les voies de transmission sont utilisées pour transmettre des signaux numériques. En effet, dans ce cas, un facteur de couplage diaphonique résiduel est acceptable, mais la bande passante à prendre en compte est souvent très large. Selon
10 l'invention, ce résultat est facilement atteint de façon économique, car il est compatible avec l'utilisation de résistances de précision moyenne.

Comme montré avec le troisième exemple de dispositif selon l'invention, l'invention est bien adaptée à sa mise en oeuvre
15 avec une interconnexion exploitée en bus de données.

L'invention est particulièrement adaptée à sa mise en oeuvre avec des structures à micro-rubans et des structures stripline, par exemple sur des circuits imprimés. Elle est particulièrement bénéfique aux circuits imprimés comportant des
20 circuits analogiques à large bande ou des circuits numériques rapides.

L'invention est particulièrement adaptée à la réduction de la diaphonie dans les interconnexions internes des circuits intégrés.

25 L'invention est donc applicable à la constitution des ordinateurs, qui comportent un grand nombre d'interconnexions longues pour des signaux très rapides.

L'invention est aussi particulièrement adaptée à la réduction de la diaphonie dans les câbles multiconducteurs plats. Ce type
30 de câble pourrait alors être utilisé pour transmettre des signaux rapides sur de grandes distances, par exemple dans des applications telles que les réseaux locaux et les télécommunications.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour la transmission dans une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à 2, procédé procurant, dans
5 une bande de fréquences connue, m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit d'émission et la sortie d'au moins un circuit de réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à n , procédé comportant les étapes
10 suivantes :
- on modélise l'interconnexion, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion et dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, par une ligne de transmission multiconductrice de
15 caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue ;
 - on détermine, pour la dite ligne de transmission multiconductrice et la dite bande de fréquences connue, la matrice impédance caractéristique et une matrice de passage
20 des variables électriques naturelles aux variables électriques modales ;
 - on dispose à au moins une extrémité de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;
 - 25 - on combine dans un dit circuit d'émission les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques
30 qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui est reliée aux n conducteurs de transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
 - 35 - on combine dans un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission, les signaux analogiques présents sur les conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques

naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

2. Dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé pour la transmission dans une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à 2, procédé procurant, dans une bande de fréquences connue, m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit d'émission et la sortie d'au moins un circuit de réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2 et inférieur ou égal à n , dispositif comportant :

- des moyens pour modéliser l'interconnexion, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion et dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue ;
- des moyens pour déterminer, pour la dite ligne de transmission multiconductrice et la dite bande de fréquences connue, la matrice impédance caractéristique et une matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales ;
- des moyens pour dimensionner un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;
- des moyens pour dimensionner un dit circuit d'émission qui combine les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies par la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui est reliée aux n conducteurs de

transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;

5 - des moyens pour dimensionner un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission, qui combine les signaux analogiques présents sur ces conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables

10 électriques modales, en mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception

15 m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens pour modéliser l'interconnexion comprennent des moyens pour

20 mesurer et/ou pour calculer en fonction des dispositions relatives des conducteurs de transmission et du conducteur de référence ainsi que des caractéristiques des diélectriques qui les entourent, des caractéristiques électriques réelles de l'interconnexion.

25 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, dans lequel les moyens pour modéliser l'interconnexion comprennent :

- des moyens pour calculer un ou plusieurs coefficients d'erreur entre les caractéristiques électriques réelles de

30 l'interconnexion et des caractéristiques souhaitées, pour la bande de fréquences connue ;

- des moyens pour optimiser la position relative des conducteurs de transmission en minimisant ce ou ces coefficients d'erreur.

35 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel les moyens pour dimensionner un dit circuit d'émission et les moyens pour dimensionner un dit circuit de

réception prennent en compte les erreurs liées à l'échantillonnage, à la quantification et aux éventuelles approximations utilisées pour définir les dits traitements numériques de ce circuit d'émission et de ce circuit de
5 réception.

6. Dispositif pour la transmission procurant, dans une bande de fréquences connue, m voies de transmission correspondant chacune à un signal à transmettre entre l'entrée d'au moins un circuit d'émission et la sortie d'au moins un circuit de
10 réception, m étant un entier supérieur ou égal à 2, comportant :

- une interconnexion à n conducteurs de transmission et un conducteur de référence, n étant un entier supérieur ou égal à m , l'interconnexion étant dimensionnée de telle manière
15 qu'elle peut, en prenant en compte les impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, être modélisée par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour
20 la bande de fréquence connue ;
- un ou deux circuits de terminaison disposés chacun à une extrémité de l'interconnexion et présentant chacun une matrice impédance voisine, dans la dite bande de fréquences connue, de la dite matrice impédance caractéristique de la
25 ligne de transmission multiconductrice, ces circuits de terminaisons étant, s'ils sont plusieurs, disposés chacun à une extrémité différente de l'interconnexion ;
- au moins un dit circuit d'émission pour combiner les m signaux d'entrée, suivant des combinaisons linéaires définies
30 par une matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en mettant en oeuvre un traitement numérique et la conversion des signaux numériques qu'il produit en n signaux analogiques, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit d'émission, sortie qui
35 est reliée aux n conducteurs de transmission, la génération de variables électriques modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
- au moins un dit circuit de réception dont l'entrée est reliée aux n conducteurs de transmission pour combiner les

signaux analogiques présents sur les conducteurs de transmission, suivant des combinaisons linéaires définies par l'inverse de la dite matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales, en
5 mettant en oeuvre la conversion de ces n signaux analogiques en signaux numériques et le traitement numérique des signaux numériques ainsi obtenus, de manière à obtenir à la sortie de ce circuit de réception m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces
10 signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques modales.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel on obtient à la sortie d'un circuit d'émission la génération de m variables électriques modales.

15 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel le nombre m de voies de transmission entre un circuit d'émission quelconque et un circuit de réception quelconque est égal au nombre n de conducteurs de transmission.

20 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel la section de l'interconnexion dans un plan orthogonal à la direction de propagation ne varie pas, à un facteur d'échelle près, sur la plus grande partie de la longueur de l'interconnexion, au voisinage des conducteurs de transmission.

25 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, dans lequel les circuits de terminaison sont constitués d'un réseau de résistances.

30 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, dans lequel le ou les circuits d'émission et le ou les circuits de réception sont connectés en parallèle sur l'interconnexion, et tel que les connexions du ou des circuits d'émission et du ou des circuits de réception présentent une haute impédance à l'interconnexion.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à

11, dans lequel sont mis en oeuvre, dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, des retards différents pour les différentes voies de transmission.

5 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, dans lequel est mise en oeuvre, dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit d'émission et/ou dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission, une
10 égalisation réduisant les effets des distorsions liées à la propagation.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 13, dans lequel est mise en oeuvre une égalisation adaptative dans le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de
15 réception, sur une ou plusieurs voies de transmission.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 14, dans lequel le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit d'émission et/ou le dit traitement numérique d'au moins un dit circuit de réception peuvent être programmés.

20 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 15, dans lequel l'interconnexion est exploitée en bus de données.

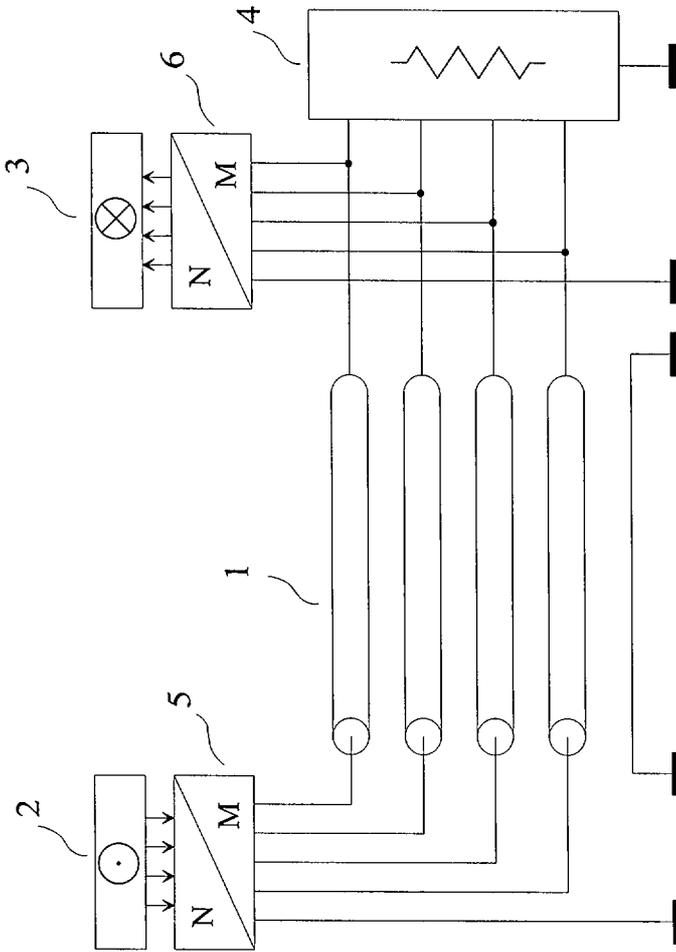


FIG. 1

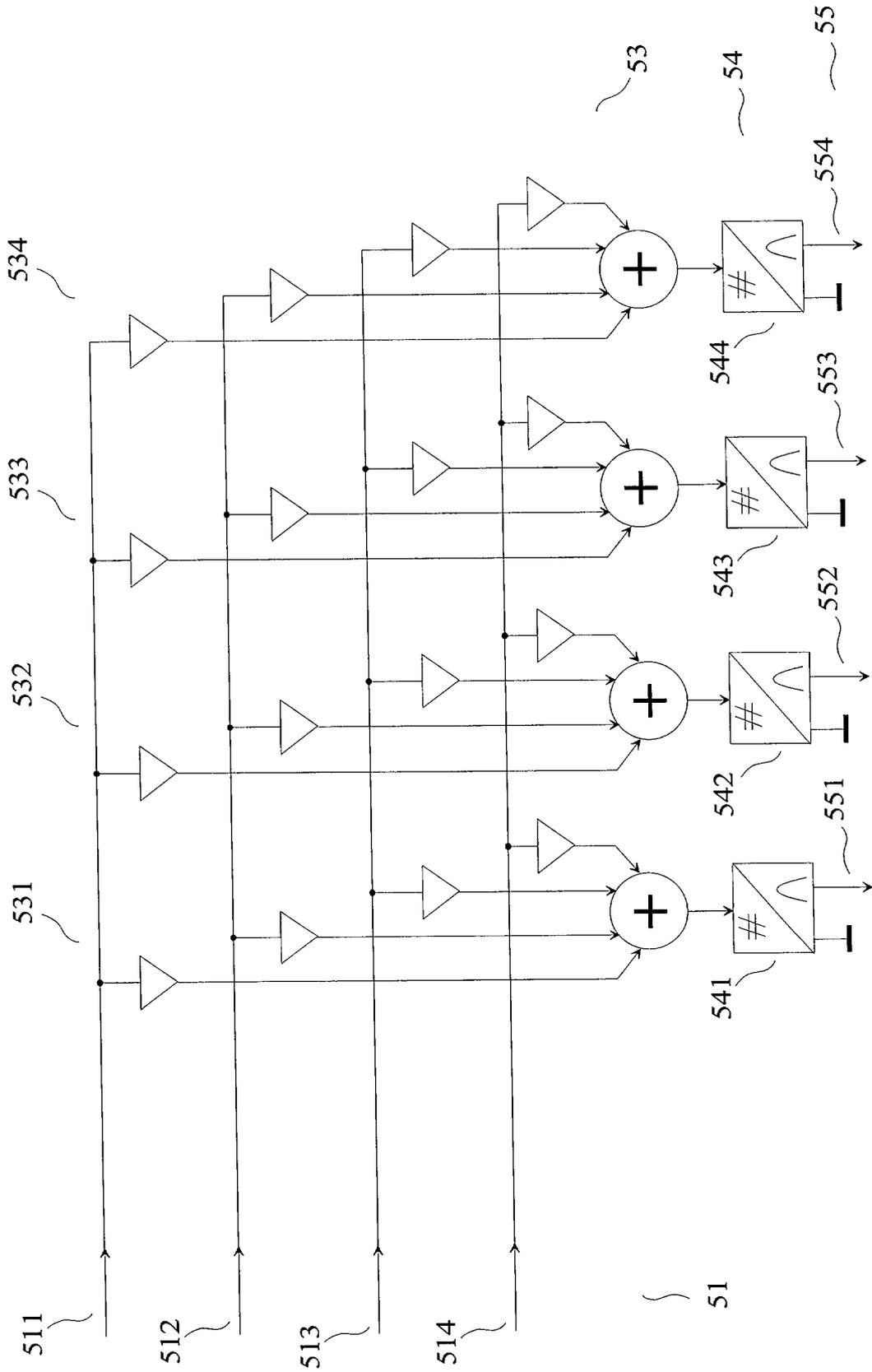


FIG. 2

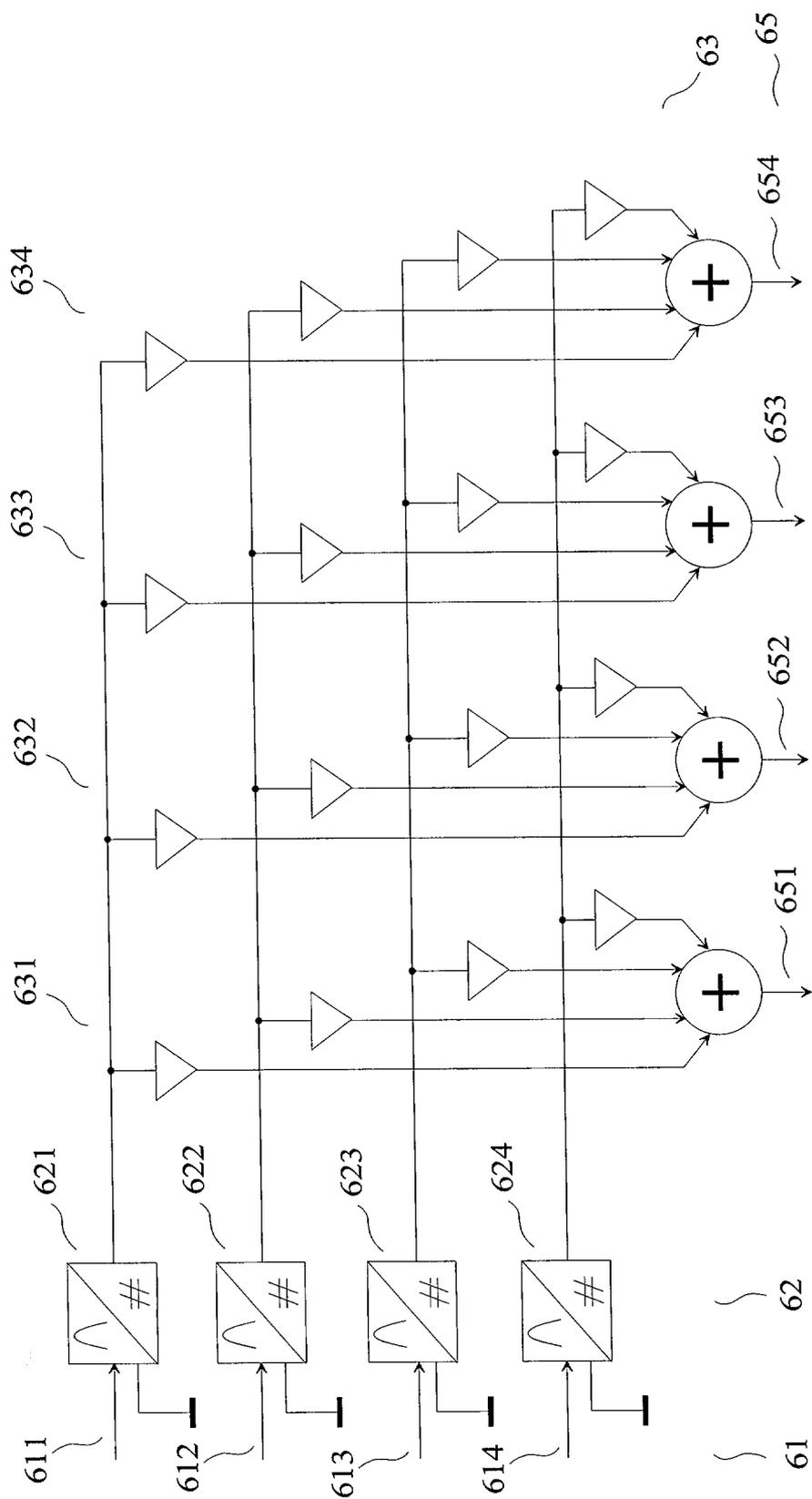


FIG. 3

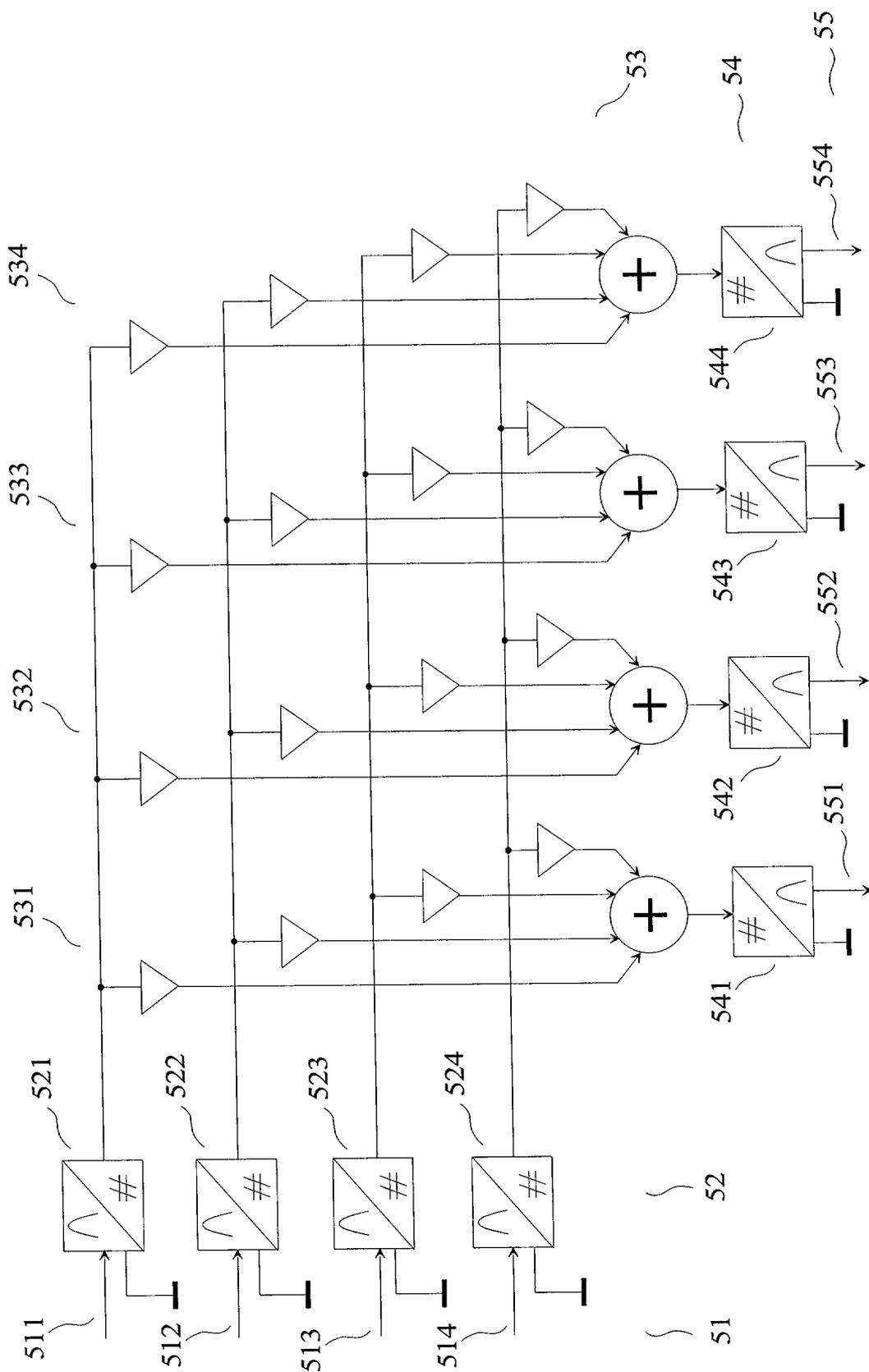


FIG. 4

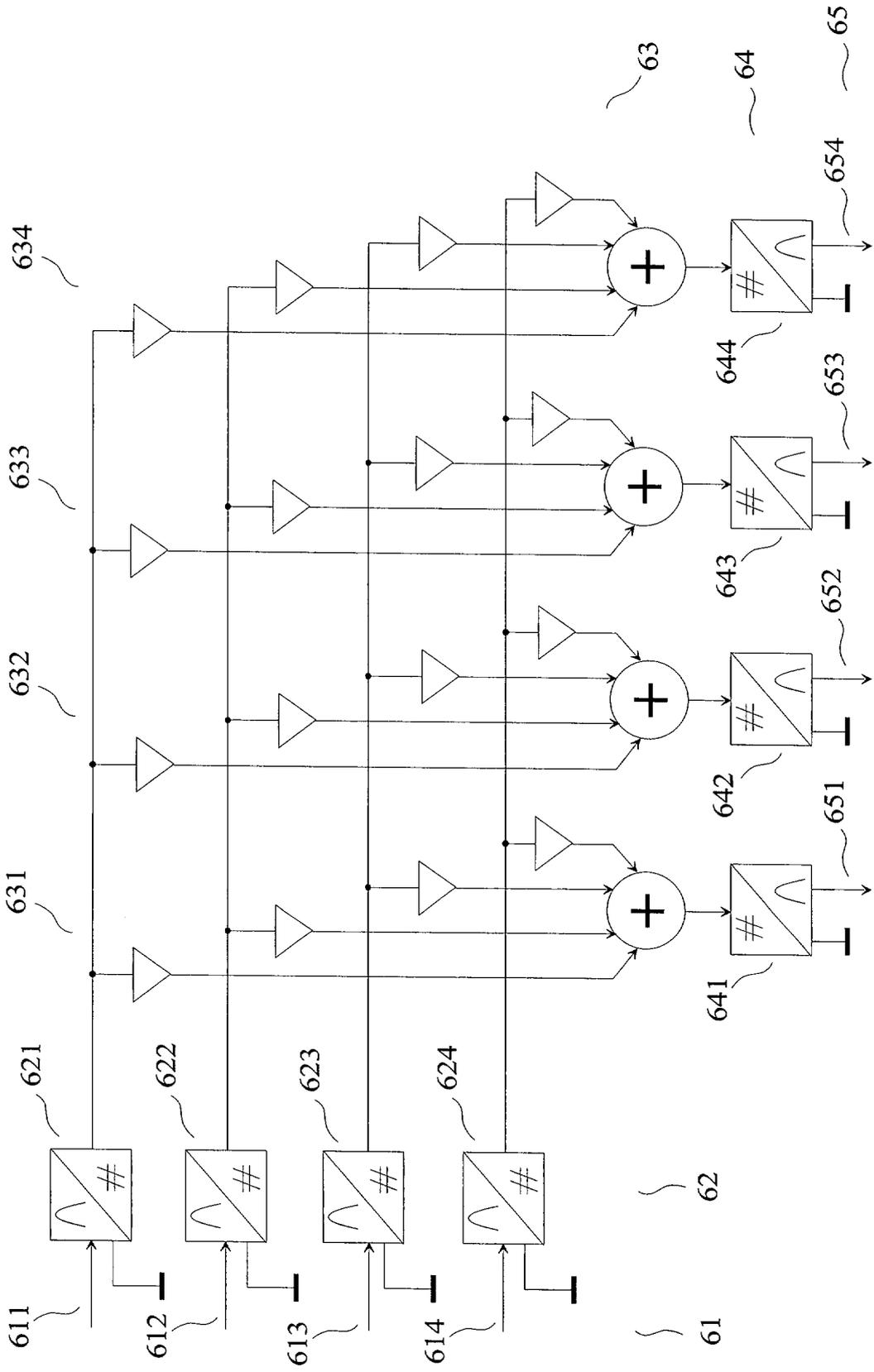


FIG. 5

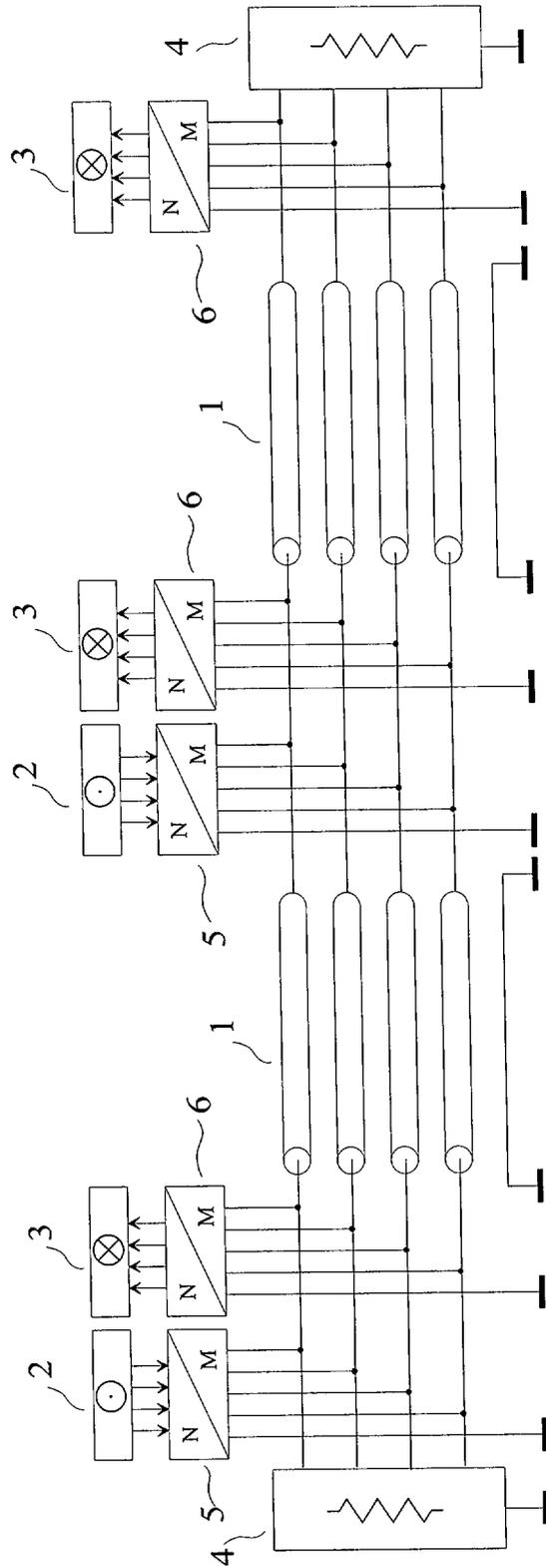


FIG. 6

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

Après l'accomplissement de la procédure prévue par les textes rappelés ci-dessus, le brevet est délivré. L'Institut National de la Propriété Industrielle n'est pas habilité, sauf dans le cas d'absence **manifeste** de nouveauté, à en refuser la délivrance. La validité d'un brevet relève exclusivement de l'appréciation des tribunaux.

L'I.N.P.I. doit toutefois annexer à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention. Ce rapport porte sur les revendications figurant au brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n' étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1.ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION	
Référence des documents (avec indication, le cas échéant, des parties pertinentes)	Revendications du brevet concernées
NEANT	
2.ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL	
<p>ABUSHAABAN M ET AL: "MODAL CIRCUIT DECOMPOSITION OF LOSSY MULTICONDUCTOR TRANSMISSION LINES" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 44, no. 7, 1 juillet 1996 (1996-07-01), pages 1046-1056, XP000749223 ISSN: 0018-9480</p> <p>EL-ZEIN A ET AL: "An analytical method for finding the maximum crosstalk in lossless-coupled transmission lines" PROCEEDINGS OF THE IEEE/ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AIDEDDESIGN (ICCAD). SANTA CLARA, NOV. 8 - 12, 1992, LOS ALAMITOS, IEEE COMP. SOC. PRESS, US, vol. CONF. 10, 8 novembre 1992 (1992-11-08), pages 443-448, XP010094508 ISBN: 0-8186-3010-8</p> <p>SCOTT: "PROPAGATION OVER MULTIPLE PARALLEL TRANSMISSION LINES VIA MODES" IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, IBM CORP. NEW YORK, US, vol. 32, no. 11, 1 avril 1990 (1990-04-01), pages 1-6, XP002063555 ISSN: 0018-8689</p> <p>GUO-LIN LI ET AL: "Line-modes decomposition of three-conductor transmission lines" MICROWAVE CONFERENCE, 2000 ASIA-PACIFIC SYDNEY, NSW, AUSTRALIA 3-6 DEC. 2000, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, US, 3 décembre 2000 (2000-12-03), pages 1031-1034, XP010545073 ISBN: 0-7803-6435-X</p> <p>EP 1 109 328 A (ST MICROELECTRONICS SA ;STMICROELECTRONICS N V (NL)) 20 juin 2001 (2001-06-20)</p>	
3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES	
Référence des documents (avec indication, le cas échéant, des parties pertinentes)	Revendications du brevet concernées
NEANT	