

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

①① N° de publication :

2 852 467

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

②① N° d'enregistrement national :

03 03087

⑤① Int Cl⁷ : H 04 B 3/32

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LA TRANSMISSION SANS DIAPHONIE.

②② Date de dépôt : 13.03.03.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 17.09.04 Bulletin 04/38.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 15.07.05 Bulletin 05/28.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

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

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

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) :

FR 2 852 467 - B1



Procédé et dispositif pour la transmission
sans diaphonie.

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne un procédé et un dispositif pour la
transmission sans 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 imprimé, ou encore à l'intérieur d'un
10 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 des "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} ",
 - "matrice impédance linéique" ou "matrice \mathbf{Z} ",
 - "matrice admittance linéique" ou "matrice \mathbf{Y} ",
 - "ligne de transmission multiconductrice uniforme",
 - "vecteur-colonne \mathbf{I} des courants naturels i_1, \dots, i_n ",
 - 15 - "vecteur-colonne \mathbf{V} des tensions naturelles v_1, \dots, v_n ",
 - "équations des télégraphistes",
 - "courant modal",
 - "tension modale",
 - "vecteur-colonne \mathbf{I}_M des courants modaux i_{M1}, \dots, i_{Mn} ",
 - 20 - "vecteur-colonne \mathbf{V}_M des tensions modales v_{M1}, \dots, v_{Mn} ",
 - "matrice de passage des tensions naturelles aux tensions modales" ou "matrice \mathbf{S} ",
 - "matrice de passage des courants naturels aux courants modaux" ou "matrice \mathbf{T} ",
 - 25 - "variable électrique modale",
 - "matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales",
 - "matrice impédance caractéristique" ou "matrice \mathbf{Z}_c ",
 - "constante de propagation" pour un mode.

30 L'état de la technique antérieur applicable à la présente demande est constitué par l'état de l'art présenté dans la dite demande de brevet français numéro 0300064, par l'invention qui y est décrite, et par la demande de brevet français numéro 0302814 du 6 mars 2003 concernant des "Procédé et dispositif

35 numériques pour la transmission avec une faible diaphonie".

Les inventions présentées dans ces deux demandes de brevet français permettent bien de réduire la diaphonie de façon

efficace, et elles s'appliquent bien à des signaux 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
5 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,
 - et pour combiner dans un circuit de réception, dont l'entrée
10 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 électriques modales, de manière à obtenir à la sortie de ce
15 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,
- des circuits analogiques ou numériques sont nécessaires, qui
20 impliquent un coût, et éventuellement des limitations de bande passante.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Le procédé selon l'invention a pour but la transmission sans diaphonie sur les interconnexions à deux ou plus de deux
25 conducteurs de transmission, dépourvue des 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
30 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 , procédé
35 comportant les étapes suivantes :

- on dimensionne 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, de manière à pouvoir la modéliser par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans 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 ;
 - on dispose aux deux extrémités de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;
 - on utilise un dit circuit d'émission recevant les m signaux d'entrée, de manière à obtenir à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, la génération de variables électriques naturelles, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
 - on utilise un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée à au moins m conducteurs de transmission, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie 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 naturelles.

Selon l'invention, l'interconnexion est dimensionnée pour que les constantes de propagation des différents modes de propagation puissent être considérées comme égales dans la dite bande de fréquences connue. Si nous notons γ la valeur commune, pouvant dépendre de la fréquence, de ces constantes de propagation, les équations (2) et (3) de la dite demande de brevet français numéro 0300064 deviennent :

35

$$\begin{cases} \mathbf{T}^{-1} \mathbf{Y} \mathbf{Z} \mathbf{T} = \gamma^2 \mathbf{I}_n \\ \mathbf{S}^{-1} \mathbf{Z} \mathbf{Y} \mathbf{S} = \gamma^2 \mathbf{I}_n \end{cases} \quad (1)$$

où \mathbf{I}_n est la matrice unité d'ordre n . Ceci entraîne évidemment :

$$\mathbf{YZ} = \mathbf{ZY} = \gamma^2 \mathbf{I}_n \quad (2)$$

De ce fait, les matrices de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales peuvent être prises égales à la matrice unité d'ordre n . Cependant, il est important de noter que certaines propriétés sont liées au choix de matrices \mathbf{S} et \mathbf{T} associées, c'est-à-dire liées par l'équation

$$\mathbf{S} = j\omega c_K \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{T} \quad (3)$$

où c_K est un scalaire arbitraire non nul, pouvant dépendre de la fréquence, homogène à une capacité linéique. Donc, lorsque nous considérerons des matrices \mathbf{S} et \mathbf{T} associées, une seule de ces deux matrices peut être choisie arbitrairement.

Selon le procédé selon l'invention, les dites variables électriques naturelles peuvent être soit toutes des tensions électriques, soit toutes des courants électriques. Pour les raisons exposées dans la demande de brevet français numéro 0300064 et liées à l'utilisation de matrices \mathbf{S} et \mathbf{T} associées,

- il est physiquement équivalent, pour un circuit d'émission, qu'il "génère sur les conducteurs de transmission des tensions modales, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée", ou qu'il "génère sur les conducteurs de transmission des courants modaux, chacun d'eux étant proportionnel à un seul des dits signaux d'entrée" ;
- il est physiquement équivalent, pour un circuit de réception, qu'il délivre en sortie " m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun d'eux étant proportionnel à une seule des tensions modales", ou qu'il délivre en sortie " m signaux de sortie correspondant chacun à une des dites voies de transmission, chacun d'eux étant proportionnel à un seul des courants modaux".

Selon l'invention, après avoir choisi si les dites variables électriques naturelles sont des tensions ou des

courants, on peut donc considérer que la matrice de passage des variables électriques naturelles aux variables électriques modales correspondante est prise égale à la matrice unité d'ordre n : ce choix permet de considérer les dites variables
5 électriques naturelles comme des variables électriques modales. Mais ce choix ne s'applique que soit aux tensions modales, soit aux courants modaux.

Dès lors, les spécialistes comprennent bien les principes que met en oeuvre l'invention. Il s'agit, comme dans la dite
10 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
15 une conversion inverse dans un circuit de réception, permettent d'obtenir une transmission dépourvue de diaphonie entre les voies. Toutefois, les dites variables électriques naturelles étant des variables électriques modales, il n'est pas nécessaire, pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention,
20 d'effectuer à la fois des combinaisons linéaires dans les circuits d'émission et dans les circuits de réception, comme nous le verrons plus loin.

Par conséquent, l'exigence de l'égalité, dans la bande de fréquence connue, des constantes de propagation des différents
25 modes de propagation, qui n'est pas décrite dans la demande de brevet français numéro 0300064, permet de simplifier les circuits d'émission et/ou les circuits de réception. Cette question est cependant délicate et sera discutée en détail plus loin.

30 On note que, selon l'invention, pour les raisons exposées dans la demande de brevet français numéro 0300064, et parce qu'un circuit de terminaison est prévu à chaque extrémité de l'interconnexion, il n'y a ni paradiaphonie, ni télédiaphonie. De ce fait, l'invention convient à l'utilisation de
35 l'interconnexion avec des signaux se propageant dans le sens des z croissants et dans le sens des z décroissants, sans diaphonie notable.

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 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.

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 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 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 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 certaine fréquence maximale.

D'autre part, il convient de se demander dans quelles circonstances il est possible d'obtenir que les constantes de propagation des différents modes de propagation puissent être considérées comme égales dans la bande de fréquences connue, puisque cette condition est nécessaire à la mise en oeuvre du procédé selon l'invention. En premier lieu, nous pouvons noter que cette condition est équivalente à l'équation (2).

Le spécialiste, s'appuyant par exemple sur les résultats exposés aux paragraphes 2.4 et 4.4.1 de l'ouvrage *Analysis of Multiconductor Transmission Lines* de C. R. Paul, publié chez John Wiley & Sons en 1994, voit que cette condition pourra par exemple être remplie dans le cas où les quatre caractéristiques

- suivantes sont simultanément obtenues :
- les impédances localisées vues par l'interconnexion, dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, peuvent être négligées,
 - 10 - les pertes peuvent être négligées,
 - les lignes de champ du champ électrique produit par l'interconnexion voient essentiellement un milieu de permittivité homogène,
 - les lignes de champ du champ magnétique produit par
 - 15 l'interconnexion voient essentiellement un milieu de perméabilité homogène.

En particulier, les deux dernières caractéristiques sont obtenues lorsque le dimensionnement de l'interconnexion est tel que, dans une section de l'interconnexion dans un plan

20 orthogonal à la direction de propagation, le milieu entourant les conducteurs est de permittivité et de perméabilité homogènes, jusqu'à une distance suffisante autour des conducteurs.

En particulier, les deux dernières caractéristiques

25 peuvent être obtenues lorsque le dimensionnement de l'interconnexion est tel que, dans une section de l'interconnexion dans un plan orthogonal à la direction de propagation, le conducteur de référence entoure les conducteurs de transmission, complètement ou presque complètement, et que

30 le milieu entourant les conducteurs de transmission à l'intérieur du conducteur de référence est de permittivité et de perméabilité homogènes. Par exemple, dans un circuit imprimé multicouche réalisé avec un diélectrique de caractéristiques électriques homogènes, les conducteurs de transmission

35 pourraient être des pistes d'une couche interne, la couche immédiatement supérieure et la couche immédiatement inférieure étant occupées par des plans de masse constituant ensemble le conducteur de référence.

Il est également possible d'utiliser des impédances localisées vues par l'interconnexion dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités pour obtenir que la ligne de transmission multiconductrice ait des constantes de propagation de ses modes de propagation pratiquement égales dans la bande de fréquences connue. Par exemple, si l'on considère que la matrice Z est définie par la géométrie des conducteurs de l'interconnexion, il est possible d'exploiter des capacités localisées disposées le long de l'interconnexion entre certains de ses conducteurs, pour obtenir une matrice Y telle que l'équation (2) soit vérifiée avec une précision suffisante, jusqu'à une certaine fréquence maximale.

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

Selon l'invention, les variables électriques naturelles 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 naturelles. Selon le procédé selon l'invention, il est en particulier possible d'obtenir à la sortie d'un circuit d'émission la génération de m variables électriques naturelles. 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 naturelles 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 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, l'interconnexion peut être telle que n soit supérieur ou égal à trois.

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 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 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 de la matrice Z_c de la ligne de transmission multiconductrice, les pertes sont négligeables dans certains 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. Dans le cas des interconnexions internes des circuits intégrés, on note toutefois que, du fait 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 un calcul basé sur la géométrie des conducteurs et des isolants, sur la conductivité des conducteurs et sur la permittivité et les pertes des isolants, déterminer les matrices L , R , C et 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 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 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 si la condition (2) est vérifiée avec une précision suffisante, et si les constantes de propagation des différents

modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences connue.

La détermination de la matrice impédance caractéristique peut donc par exemple se faire dans deux contextes distincts :
5 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, deuxièmement quand les parties autres que l'interconnexion d'un dispositif mettant en oeuvre ce procédé
10 sont préalablement définies et qu'il convient de concevoir une interconnexion appropriée.

Un dispositif pour dimensionner les circuits utilisés dans un procédé selon l'invention est décrit dans la phrase suivante. Un dispositif pour dimensionner les circuits utilisés
15 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
20 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 :

- des moyens pour dimensionner l'interconnexion, en prenant en compte les impédances localisées vues par
25 l'interconnexion et dues aux circuits qui lui sont connectés ailleurs qu'à ses extrémités, de manière à pouvoir la modéliser par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences connue ;
- des moyens pour déterminer la matrice impédance caractéristique de la dite ligne de transmission multiconductrice dans la dite bande de fréquences connue ;
- 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 recevant les m signaux d'entrée, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, des variables électriques naturelles, 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 à au moins m conducteurs de transmission, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie 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 naturelles.

- 15 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
- 20 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

25 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 ;
- 30 - des moyens pour optimiser la position relative des conducteurs de transmission et/ou des diélectriques qui les entourent, en minimisant ce ou ces coefficients d'erreur.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon

35 l'invention est décrit dans la phrase suivante. Un 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 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
- 10 modélisée par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées
- 15 comme égales dans la bande de fréquences connue ;
- deux circuits de terminaison disposés chacun à une extrémité différente de l'interconnexion et présentant chacun une matrice impédance voisine, dans la dite bande de fréquences connue, de la dite matrice impédance
- 20 caractéristique de la ligne de transmission multiconductrice ;
- au moins un dit circuit d'émission recevant les m signaux d'entrée, produisant à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, des
- 25 variables électriques naturelles, 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 à au moins m conducteurs de transmission, produisant à sa sortie m signaux de sortie correspondant
- 30 chacun à une des dites voies de transmission, chacun de ces signaux étant proportionnel à une seule des dites variables électriques naturelles.

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

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

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 circuit de réception quelconque soit égal au nombre n de conducteurs de transmission.

Un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut en particulier être tel que n soit supérieur ou égal à trois.

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/ou 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/ou du ou des circuits de réception présentent une haute impédance à l'interconnexion.

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 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 en série avec l'interconnexion.

Considérons à présent par exemple le cas où $m = n$. 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 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.

Plaçons-nous maintenant dans le cas où, par exemple, les dites variables électriques considérées dans l'énoncé de l'invention sont des tensions. Nous considérons alors que la matrice \mathbf{S} est égale à la matrice unité d'ordre n si bien que les tensions modales sont les tensions naturelles. Selon l'invention, il existe à toute fréquence donnée dans la dite bande de fréquences une proportionnalité entre chaque tension naturelle produite par un circuit d'émission et le signal d'entrée de la voie correspondante. Nous pouvons donc, avec une numérotation convenable des signaux d'entrée, écrire :

$$\mathbf{V} = \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (4)$$

où \mathbf{V} est le vecteur-colonne des tensions naturelles 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.

La formule (4) est celle que l'on utilisera naturellement pour définir un circuit d'émission connecté en série avec les conducteurs de l'interconnexion, et présentant une faible impédance série. Si par contre le concepteur préfère définir un circuit d'émission connecté en parallèle avec les conducteurs

de l'interconnexion, et présentant une forte impédance parallèle, il pourra préférer traiter le circuit d'émission comme une source de courant. Si l'on note \mathbf{I} le vecteur-colonne des courants naturels injectés par le circuit d'émission, il faut considérer que, puisque 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, la sortie du circuit d'émission voit la matrice impédance $\mathbf{Z}_c/2$, et par conséquent :

$$\mathbf{I} = 2 \mathbf{Z}_c^{-1} \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (5)$$

On voit donc que selon l'application de la formule (5), le circuit d'émission doit combiner les signaux d'entrée selon des combinaisons linéaires.

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

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{V} \quad (6)$$

où \mathbf{V} est le vecteur-colonne des tensions naturelles 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.

Dans le cas qui nous intéresse où la matrice \mathbf{S} est égale à la matrice unité d'ordre n , un circuit de réception pourra donc par exemple être connecté en parallèle avec les conducteurs de l'interconnexion, en présentant une forte impédance parallèle, et prélever directement, sur les différents conducteurs, les tensions naturelles.

Dans le cas qui nous intéresse où la matrice \mathbf{S} est égale à la matrice unité d'ordre n , un circuit de réception pourrait aussi par exemple être connecté en série avec les conducteurs de l'interconnexion, en présentant une faible impédance série, et prélever des courants naturels. Si l'on note \mathbf{I} le vecteur-colonne des courants naturels mesurés par le circuit de réception, on a :

$$\mathbf{X}_0 = \pm \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{Z}_C \mathbf{I} \quad (7)$$

On voit donc que selon l'application de la formule (7), le circuit de réception doit combiner les signaux d'entrée selon des combinaisons linéaires.

Ceci clôt la discussion du cas où les dites variables électriques considérées dans l'énoncé de l'invention sont des tensions.

Plaçons-nous à présent dans le cas où les dites variables électriques considérées dans l'énoncé de l'invention sont des courants. Nous considérons alors que la matrice \mathbf{T} est égale à la matrice unité d'ordre n si bien que les courants modaux sont les courants naturels. Selon l'invention, il existe à toute fréquence donnée dans la dite bande de fréquences une proportionnalité entre chaque courant naturel produit par un circuit d'émission et le signal d'entrée de la voie correspondante. Nous pouvons donc, avec une numérotation convenable des signaux d'entrée, écrire :

$$\mathbf{I} = \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (8)$$

où \mathbf{I} est le vecteur-colonne des courants naturels produits 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 des admittances.

La formule (8) est celle que l'on utilisera naturellement pour définir un circuit d'émission connecté en parallèle avec les conducteurs de l'interconnexion, et présentant une forte impédance parallèle. Si par contre le concepteur préfère
 5 définir un circuit d'émission connecté en série avec les conducteurs de l'interconnexion, et présentant une faible impédance série, il pourra préférer traiter le circuit d'émission comme une source de tension. Si l'on note \mathbf{V} le vecteur-colonne des tensions naturelles injectées par le
 10 circuit d'émission, il faut considérer que, puisque 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, la sortie
 15 du circuit d'émission voit la matrice impédance $2\mathbf{Z}_C$, et par conséquent

$$\mathbf{V} = 2\mathbf{Z}_C \text{diag}_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \mathbf{X}_I \quad (9)$$

On voit donc que selon l'application de la formule (9), le circuit d'émission doit combiner les signaux d'entrée selon des
 20 combinaisons linéaires.

D'autre part, comme selon l'invention un circuit de réception produit en sortie, pour chaque voie, un signal pratiquement proportionnel au courant naturel correspondant à cette voie, nous pouvons, avec une numérotation convenable des
 25 signaux de sortie, écrire que :

$$\mathbf{X}_0 = \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{I} \quad (10)$$

où \mathbf{I} est le vecteur-colonne des courants naturels reçus 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
 30 dimension de ces coefficients dépend de celle des signaux de sortie : si par exemple les signaux de sortie sont des courants, les β_i seront sans dimension.

Dans le cas qui nous intéresse où la matrice \mathbf{T} est égale

à la matrice unité d'ordre n , un circuit de réception pourra donc par exemple être connecté en série avec les conducteurs de l'interconnexion, en présentant une faible impédance parallèle, et prélever directement, sur les différents conducteurs, les courants naturels.

Dans le cas qui nous intéresse où la matrice \mathbf{T} est égale à la matrice unité d'ordre n , un circuit de réception pourrait aussi par exemple être connecté en parallèle avec les conducteurs de l'interconnexion, en présentant une forte impédance parallèle, et prélever des tensions naturelles. Si l'on note \mathbf{V} le vecteur-colonne des tensions naturelles mesurées par le circuit de réception, on a :

$$\mathbf{X}_0 = \pm \text{diag}_n(\beta_1, \dots, \beta_n) \mathbf{Z}_C^{-1} \mathbf{V} \quad (11)$$

On voit donc que selon l'application de la formule (11), le circuit de réception doit combiner les signaux d'entrée selon des combinaisons linéaires.

Ceci clôt la discussion du cas où les dites variables électriques considérées dans l'énoncé de l'invention sont des courants.

Comme, selon l'invention, les ondes se propagent sur l'interconnexion comme dans une ligne de transmission multiconductrice uniforme, sans réflexion significative aux extrémités, et sans couplage entre les dites variables électriques naturelles considérées dans l'énoncé de l'invention (puisqu'elles sont aussi des variables électriques modales) il est possible, en utilisant soit les formules (4) et (6) ou bien les formules (8) et (10), 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 :

$$x_{0i} = \alpha_i \beta_i e^{-\gamma|\Delta L|} x_{1i} \quad (14)$$

où γ est la constante de propagation commune aux différents modes de propagation.

Il est intéressant d'examiner à présent dans quel cas il est nécessaire d'effectuer des combinaisons linéaires de signaux non triviales (c'est-à-dire non réduites à la multiplication d'un seul signal par un coefficient) dans les circuits d'émission et/ou dans les circuits de réception. Des combinaisons linéaires pouvant être non triviales sont apparues plus haut, dans les formules (5), (7), (9) et (11), alors que les combinaisons linéaires des formules (4), (6), (8) et (10) sont triviales. Les combinaisons linéaires non triviales étaient employées dans la dite demande de brevet français numéro 0300064, et celle-ci donnait des exemples de mise en oeuvre basés sur des circuits analogiques procédant à un traitement analogique de signaux. Nous notons aussi que la dite demande de brevet français numéro 0302814 donnait des exemples de mise en oeuvre basés sur des circuits numériques procédant à un traitement numérique de signaux.

Selon l'invention, des combinaisons linéaires de signaux peuvent être effectuées dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, avec un traitement analogique.

Selon l'invention, des combinaisons linéaires de signaux peuvent être effectuées dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, avec un traitement numérique.

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.

Un dispositif selon l'invention peut être tel que les dits circuits de terminaison, le ou les dits circuits d'émission et le ou les dits circuits de réception sont tous deux à deux sans

parties communes.

Inversement, un dispositif selon l'invention peut être tel que les dits circuits de terminaison, le ou les dits circuits d'émission et le ou les dits circuits de réception ne sont pas
 5 tous deux à deux sans parties communes. Cette possibilité est abordée dans la présentation des quatrième cinquième et sixième exemples de dispositif selon l'invention de la dite demande de brevet français numéro 0300064.

La connexion de circuits de réception et de circuits
 10 d'émission en parallèle avec l'interconnexion est plus simple à réaliser que la connexion en série. C'est donc la connexion en parallèle qui est a priori préférée. Si un concepteur souhaite réaliser un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention dans lequel les circuits d'émission
 15 et 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, nous voyons qu'il pourra :
 - pour concevoir les circuits d'émission, soit par exemple
 20 utiliser l'équation (5) dans le cas où la matrice \mathbf{S} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n , soit par exemple utiliser l'équation (8) dans le cas où la matrice \mathbf{T} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n ;
 - pour concevoir les circuits de réception, soit par exemple
 25 utiliser l'équation (6) dans le cas où la matrice \mathbf{S} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n , soit par exemple utiliser l'équation (11) dans le cas où la matrice \mathbf{T} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n .

Que ce soit la matrice \mathbf{S} ou la matrice \mathbf{T} qui soit choisie
 30 égale à l'unité, comme ce choix, soumis à l'équation (3), doit être le même pour les circuits de réception et pour les circuits d'émission, nous voyons que, dans ces exemples, soit les circuits d'émission devront procéder à des combinaisons linéaires non triviales des dits signaux d'entrée, soit les
 35 circuits de réception devront procéder à des combinaisons linéaires non triviales des signaux présents sur les conducteurs de transmission.

Procéder à des combinaisons linéaires non triviales de signaux dans les circuits de réception et/ou dans les circuit d'émission a évidemment aussi un coût. Si un concepteur souhaite réaliser un dispositif pour la mise en oeuvre du
 5 procédé selon l'invention dans lequel les circuits d'émission et les circuits de réception ne mettent pas en oeuvre de combinaisons linéaires non triviales, nous voyons qu'il pourra :

- pour concevoir les circuits d'émission, soit par exemple
 10 utiliser l'équation (4) dans le cas où la matrice \mathbf{S} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n , soit par exemple utiliser l'équation (8) dans le cas où la matrice \mathbf{T} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n ;
- pour concevoir les circuits de réception, soit par exemple
 15 utiliser l'équation (6) dans le cas où la matrice \mathbf{S} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n , soit par exemple utiliser l'équation (10) dans le cas où la matrice \mathbf{T} est choisie égale à la matrice unité d'ordre n .

Que ce soit la matrice \mathbf{S} ou la matrice \mathbf{T} qui soit choisie
 20 égale à l'unité, comme ce choix, soumis à l'équation (3), doit être le même pour les circuits de réception et pour les circuits d'émission, nous voyons que, dans ces exemples, soit les circuits d'émission soit les circuits de réception devront être connectés en série sur l'interconnexion, en présentant une
 25 faible impédance série.

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
 30 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
 35 100 kHz et 100 GHz.

Nous avons déjà indiqué qu'il est souvent possible, par

exemple à des fréquences supérieures à 100 kHz, d'obtenir une matrice Z_c réelle et indépendante 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 matrice
5 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
10 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
15 de limiter la puissance dissipée 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
20 terminaison pourraient incorporer des composants actifs.

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
25 terminaison par des méthodes bien connues des spécialistes. Les circuits de terminaison ainsi synthétisés comportent alors des réactances.

Dans le cas où les coefficients α_i et β_i des formules (4) à (13) sont choisis réels et indépendants de la fréquence, il
30 est clair que les circuits d'émission et les circuits de réception n'ont pas de fonction de filtrage à accomplir. Dans ce cas, le spécialiste voit que, lorsque les circuits d'émission et/ou les circuits de réception n'ont pas à produire de combinaisons linéaires non triviales de signaux, il est
35 possible, dans le cas où les caractéristiques électriques des dispositifs connectés à l'entrée des circuits d'émission et/ou

des dispositifs connectés à la sortie des circuits de réception sont convenables, que ces circuits de réception et/ou ces circuits d'émission ne comportent aucun composant.

Dans le cas où les coefficients α_i et β_i des formules (4) à (13) ne sont pas choisis réels et indépendants de la fréquence, par exemple en vue de l'obtention d'une égalisation comme il sera exposé plus loin, les circuits d'émission et/ou les circuits de réception ont une fonction de filtrage. Il devient donc nécessaire de procéder à la synthèse des filtres correspondants, soit sous la forme de filtres analogiques soit sous la forme de filtres numériques, par une des nombreuses méthodes bien connues des spécialistes.

On note que selon l'état de la technique antérieur, 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, 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 intervient pour la propagation des signaux, comme exprimé par l'équation (14). De plus, les constantes de propagation applicables aux différentes voies de transmission sont égales à γ , ce qui conduit à des vitesses de phases égales, donc à des temps de propagation égaux pour les différentes voies, entre un circuit d'émission et un circuit de réception donnés.

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 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 , la

constante de propagation γ 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 (14), dont on dit qu'elles sont les distorsions
5 liées à la propagation. La réduction de ces distorsions peut être obtenue, dans un dispositif selon l'invention, par la mise en oeuvre, dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission, d'une égalisation réduisant les effets
10 des distorsions liées à la propagation. Ce type de traitement est bien connu des spécialistes et est souvent mis en oeuvre avec un traitement numérique du signal, par exemple comme indiqué dans la dite demande de brevet français numéro 0302814. On note que mettre en oeuvre une telle égalisation conduit à
15 considérer des coefficients de proportionnalité α_i et/ou β_i dépendants de la fréquence, puisque 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 .

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

Un dispositif selon l'invention peut mettre en oeuvre une égalisation adaptative dans au moins un dit circuit de
25 réception, sur une ou plusieurs voies de transmission. Ce type de traitement est bien connu des spécialistes et est souvent mis en oeuvre avec un traitement numérique du signal, par exemple comme indiqué dans la dite demande de brevet français numéro 0302814. Dans ce cas, les coefficients de
30 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
35 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 :

- 5 - la figure 1 représente un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 représente un deuxième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE CERTAINS MODES DE RÉALISATION

Premier mode de réalisation.

10 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 selon l'invention, comportant une interconnexion (1) à quatre conducteurs de transmission parallèles plus un conducteur de
15 référence, telle que les constantes de propagation de ses différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences utilisée pour les signaux à transmettre, qui sont ici des signaux analogiques. L'interconnexion est connectée à chacune de ses deux extrémités
20 à un circuit de terminaison (4). Dans cette réalisation, le concepteur a choisi de prendre S égale à la matrice unité d'ordre n , si bien que les variables électriques naturelles utilisées sont des tensions naturelles.

Deux circuits d'émission (5) placés en deux abscisses z
25 différentes reçoivent en entrée les signaux des quatre voies de chacune des deux sources (2), ces circuits d'émission produisant, lorsqu'ils sont actifs, des tensions naturelles telles que chacune d'elles est proportionnelle au signal d'une voie. Nous notons que nous avons ici une architecture en bus de
30 données, et que les signaux permettant de commander l'état actif d'au plus un circuit d'émission à un instant donné ne sont pas représentés sur la figure 1. Les trois circuits de réception (6) placés en trois abscisses z différentes ont leurs bornes d'entrées connectées aux conducteurs de
35 l'interconnexion, ces circuits de réception produisant chacun

sur leurs bornes de sorties connectées aux destinataires (3) des signaux proportionnels chacun à une tension naturelle différente. Ainsi les signaux des quatre voies d'une source (2) connectée à un circuit d'émission (5) actif sont transmis aux
 5 quatre voies des destinataires (3), sans diaphonie notable.

Dans le dispositif de la figure 1, les deux circuits de terminaison (4) sont nécessaires, car des ondes provenant de l'interconnexion (1) peuvent être incidentes sur ses deux extrémités. Compte tenu des caractéristiques résultant du
 10 dimensionnement de l'interconnexion et du spectre des signaux à transmettre, 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
 15 résistances.

On note que, dans le dispositif de la figure 1, 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
 20 long de l'interconnexion (1), et pour ne pas provoquer de réflexion indésirable à ses extrémités, présenter à l'interconnexion (1) des impédances élevées. Ainsi, les circuits d'émission (5) se comportent presque comme des sources de courant, et l'utilisation de l'équation (5) est justifiée,
 25 ce qui montre que les circuits d'émission (5) doivent combiner les signaux d'entrée selon des combinaisons linéaires non triviales pour pouvoir injecter dans les conducteurs de transmission les courants produisant les tensions naturelles désirées. Ces combinaisons linéaires sont ici réalisées avec
 30 des circuits analogiques classiques utilisant principalement des amplificateurs opérationnels rapides et des résistances. Les circuits de réception (6) ont un fonctionnement correspondant à l'équation (6) et, aucune égalisation n'étant prévue, ces circuits peuvent ne comporter que 4 amplificateurs
 35 à haute impédance d'entrée. Si les destinataires (3) avaient des caractéristiques d'entrée appropriées, on voit que les circuits de réception (6) pourraient même ne comporter aucun composant. Les circuits de réception sont donc plus simples que

les circuits d'émission, dans cet exemple.

Deuxième mode de réalisation.

Au titre d'un deuxième exemple de dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention donné à titre non
5 limitatif, nous avons représenté sur la figure 2 un dispositif selon l'invention, comportant une interconnexion (1) à quatre conducteurs de transmission parallèles plus un conducteur de référence, telle que les constantes de propagation de ses
10 différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences utilisée pour les signaux à transmettre, qui sont ici des signaux numériques. L'interconnexion est connectée à chacune de ses deux extrémités à un circuit de terminaison (4). Dans cette réalisation, le concepteur a choisi de prendre T égale à la matrice unité
15 d'ordre n , si bien que les variables électriques naturelles utilisées sont des courants naturels.

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 d'émission
20 produisant, lorsqu'ils sont actifs, des courants naturels tels que chacun d'eux est proportionnel 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'un plus un circuit d'émission à un instant donné ne sont pas représentés sur la figure 2. Les trois circuits de réception
25 (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 destinataires (3) des signaux proportionnels chacun à un courant naturel différent. Ainsi les
30 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.

Dans le dispositif de la figure 2, les deux circuits de
35 terminaison (4) sont nécessaires, car des ondes provenant de

l'interconnexion (1) peuvent être incidentes sur ses deux extrémités. Compte tenu des caractéristiques résultant du dimensionnement de l'interconnexion et du spectre des signaux à transmettre, le concepteur a établi qu'il pouvait négliger
5 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 9 résistances, en mettant en oeuvre un nombre de composants réduit, comme exposé dans le troisième mode de réalisation de
10 la dite demande de brevet français numéro 0300064.

Dans le dispositif de la figure 2, les circuits d'émission (5), 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
15 de réflexion indésirable à ses extrémités, présenter à l'interconnexion (1) des impédances élevées. Ainsi, les circuits d'émission (5) se comportent presque comme des sources de courant, et l'utilisation de l'équation (8) est justifiée, ce qui montre que chaque circuit d'émission (5) peut ne
20 comporter que 4 amplificateurs à forte impédance de sortie, aucune égalisation n'étant prévue.

Dans le dispositif de la figure 2, les circuits de réception (6), connectés en série avec l'interconnexion (1), doivent pour ne pas perturber de façon préjudiciable la propagation des
25 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 faibles en série. Les circuits de réception peuvent donc avoir un fonctionnement correspondant à l'équation (10) et, aucune égalisation n'étant
30 prévue, chaque circuit de réception (6) peut ne comporter que 4 amplificateurs différentiels à basse impédance d'entrée entre chaque paire de bornes d'une entrée, mais avec une haute impédance entre entrées différentes.

On note donc que dans cet exemple, ni les circuits d'émission
35 (5) ni les circuits de réception (6) n'ont à produire des combinaisons linéaires non triviales de signaux. On note que le signe des signaux reçu par un circuit de réception dépend de sa

position par rapport au circuit d'émission actif, cette caractéristique nécessitant éventuellement un traitement spécifique.

INDICATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

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 dans les exemples 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 adaptée à la réduction de la diaphonie dans les interconnexions internes des circuits intégrés.

L'invention est applicable à la constitution des ordinateurs,
25 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 de câble pourrait alors être utilisé pour transmettre des
30 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 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 suivantes :

- on dimensionne 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, de manière à pouvoir la modéliser par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans 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 ;
- on dispose aux deux extrémités de l'interconnexion un circuit de terminaison présentant une matrice impédance voisine de la dite matrice impédance caractéristique ;
- on utilise un dit circuit d'émission recevant les m signaux d'entrée, de manière à obtenir à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, la génération de variables électriques naturelles, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;
- on utilise un dit circuit de réception, dont l'entrée est reliée à au moins m conducteurs de transmission, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie 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 naturelles.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les dites

variables électriques naturelles sont soit toutes des tensions électriques, soit toutes des courants électriques.

3. 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 dimensionner 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, de manière à pouvoir la modéliser par une ligne de transmission multiconductrice de caractéristiques électriques uniformes sur sa longueur pour la bande de fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences connue ;
 - des moyens pour déterminer la matrice impédance caractéristique de la dite ligne de transmission multiconductrice dans la dite bande de fréquences connue ;
 - 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 recevant les m signaux d'entrée, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, des variables électriques naturelles, 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 à au moins m conducteurs de transmission, de manière à ce qu'il délivre à sa sortie 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 naturelles.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel 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.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, 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 l'interconnexion et des caractéristiques souhaitées, pour la bande de fréquences connue ;
 - des moyens pour optimiser la position relative des conducteurs de transmission et/ou des diélectriques qui les entourent, en minimisant ce ou ces coefficients d'erreur.
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 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 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 fréquences connue, caractéristiques électriques telles que les constantes de propagation des différents modes de propagation peuvent être considérées comme égales dans la bande de fréquences connue ;
 - deux circuits de terminaison disposés chacun à une extrémité différente 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 ;

5 - au moins un dit circuit d'émission recevant les m signaux d'entrée, produisant à sa sortie, sortie qui est reliée à au moins m conducteurs de transmission, des variables électriques naturelles, chacune d'elles étant proportionnelle à un seul des dits signaux d'entrée ;

10 - au moins un dit circuit de réception dont l'entrée est reliée à au moins m conducteurs de transmission, produisant à sa sortie 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 naturelles.

15 7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les dites variables électriques naturelles sont soit toutes des tensions électriques, soit toutes des courants électriques.

20 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel on obtient à la sortie d'un circuit d'émission la génération de m variables électriques naturelles.

25 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, 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.

30 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, dans lequel des combinaisons linéaires de signaux sont effectuées dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, avec un traitement analogique.

35 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, dans lequel des combinaisons linéaires de signaux sont effectuées dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, avec un traitement numérique.

12. Dispositif selon la revendication 11, 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.
- 5 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, dans lequel les circuits de terminaison sont constitués d'un réseau de résistances.
- 10 14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 13, dans lequel est mise en oeuvre, dans au moins un dit circuit d'émission et/ou dans au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission, une égalisation réduisant les effets des distorsions liées à la propagation.
- 15 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 14, dans lequel une égalisation adaptative est mise en oeuvre dans au moins un dit circuit de réception, sur une ou plusieurs voies de transmission.
- 20 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 15, dans lequel l'interconnexion est exploitée en bus de données.

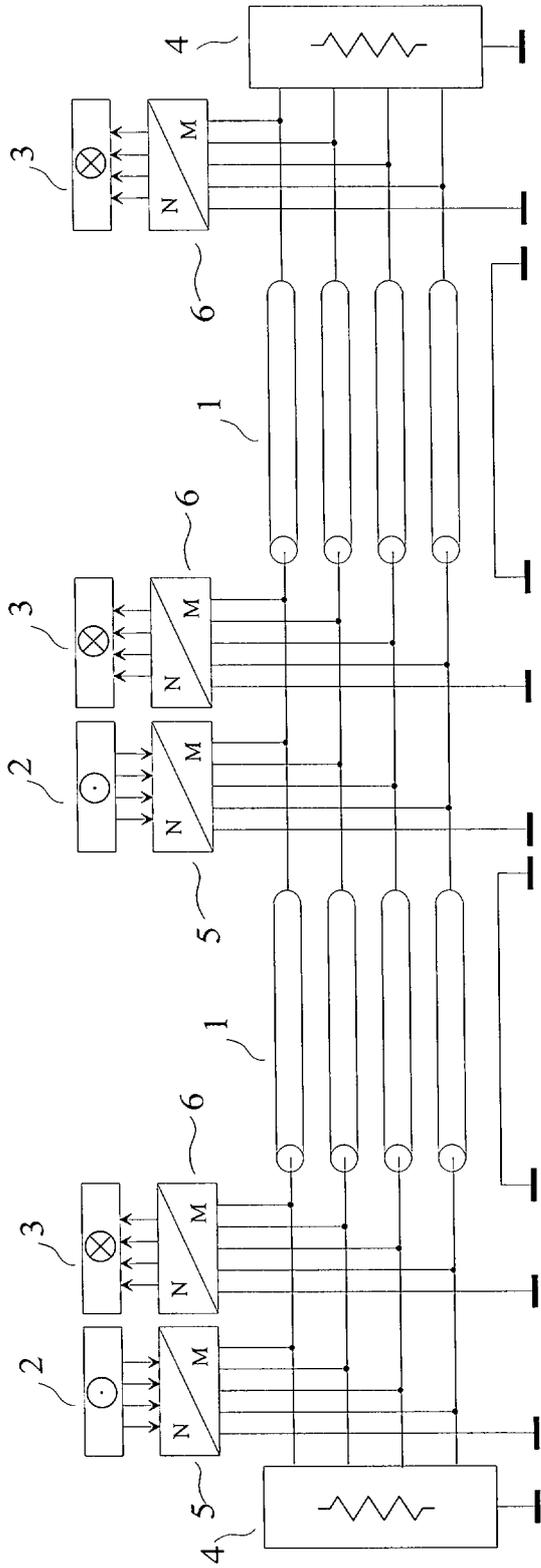


FIG. 1

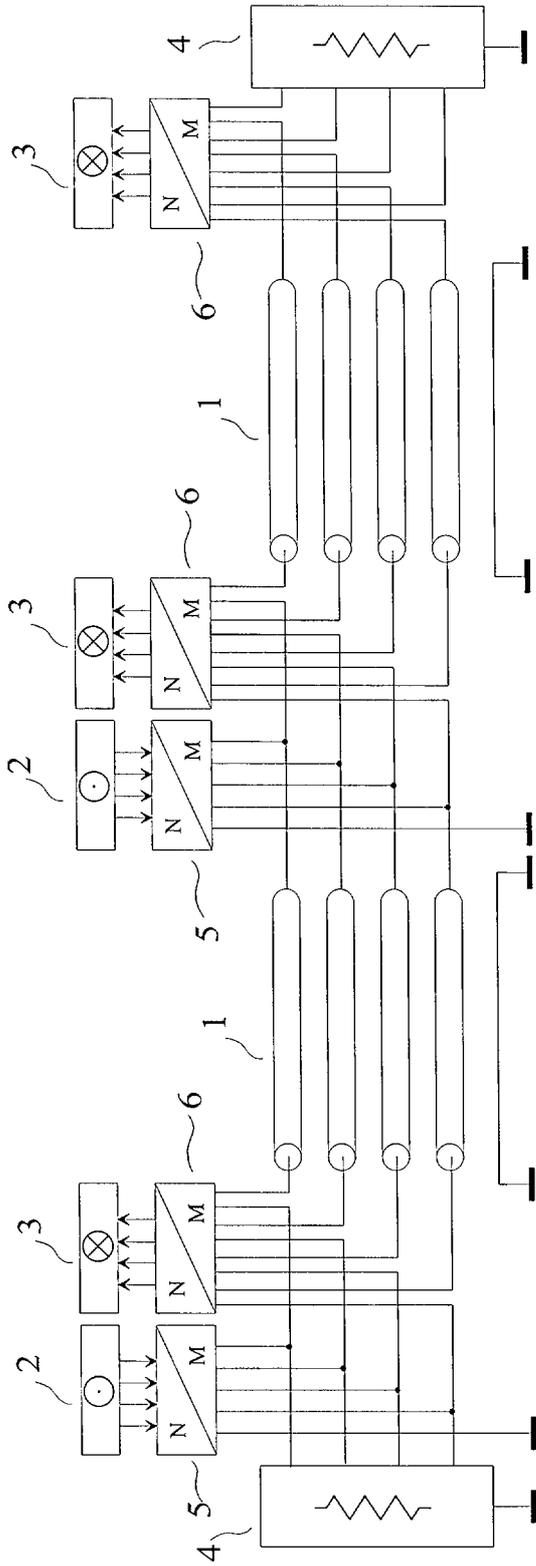


FIG. 2

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	