PCT ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets 6 :
H04J 3/06, H04L 7/033, 7/00

A1

(11) Numéro de publication internationale: **WO 99/17480**

(43) Date de publication internationale: 8 avril 1999 (08.04.99)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02066

(22) Date de dépôt international: 25 septembre 1998 (25.09.98)

(30) Données relatives à la priorité:
97/12134 30 septembre 1997 (30.09.97) FR

(71) Déposant *(pour tous les Etats désignés sauf US)*: THOMSON–CSF [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F–75008 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et
(75) Inventeurs/Déposants *(US seulement)*: CANAL, Yves [FR/FR]; Thomson–CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F–94117 Arcueil Cedex (FR). CHAZELAS, Jean [FR/FR]; Thomson–CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F–94117 Arcueil Cedex (FR). DOLFI, Daniel [FR/FR]; Thomson–CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F–94117 Arcueil Cedex (FR). SERGENT, Paul [FR/FR]; Thomson–CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F–94117 Arcueil Cedex (FR).

(74) Mandataire: THOMSON–CSF; Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F–94117 Arcueil Cedex (FR).

(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

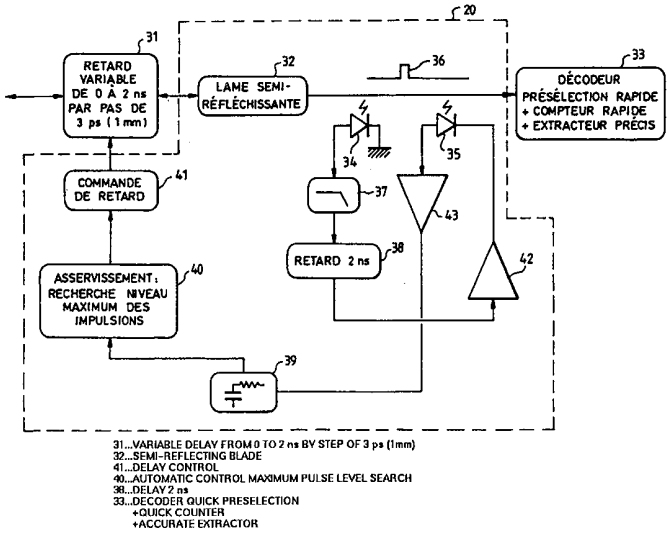
Publiée
Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: ACCURATE SYNCHRONISING DEVICE

(54) Titre: DISPOSITIF DE SYNCHRONISATION PRECISE

(57) Abstract

The invention concerns an accurate synchronising device for synchronising signals transmitted from a transmitter (1) to receivers (2), comprising at least, at transmitter level, means for generating a synchronising signal with a recurrence interval substantially equal to the minimum travel time resolution between the transmitter and a receiver, and at receiver level, controllable means for delaying (31) the synchronising signal and a synchronising loop comprising downstream delaying means (31) and a semi–reflecting blade (32), and comprising correlating means (34, 35, 37, 38, 39, 42, 43) and means automatically controlling (40) the delaying means (31) a function of the correlation, a signal received by a receiver being synchronised when the correlation function of two successive recurrences (36) of the synchronising signal passing through the semi–reflecting blade (32) is at its maximum. The invention is applicable to accurate, even ultra–accurate, synchronisation of data distributed from a transmitter to receivers remote from each other, for example for using complex electromagnetic and/or optical systems.



(57) Abrégé

L'invention concerne un dispositif de synchronisation précise. Le dispositif synchronise des signaux émis depuis un émetteur (1) vers des récepteurs (2). Il comporte au moins, au niveau de l'émetteur, des moyens pour générer un signal de synchronisation ayant une période de récurrence sensiblement égale au minimum de résolution du temps de trajet entre l'émetteur et un récepteur, et au niveau de chaque récepteur, des moyens de retard commandables (31) du signal de synchronisation et une boucle de synchronisation comprenant en aval des moyens de retard (31) une lame semi–réfléchissant (32) et comprenent des moyens de corrélation (34, 35, 37, 38, 39, 42, 43) et des moyens d'asservissement (40) des moyens de retard (31) fonction de la corrélation, un signal reçu par un récepteur étant synchronisé lorsque la fonction de corrélation de deux récurrences successives (36) du signal de synchronisation traversant la lame semi–réfléchissante (32) est maximum. Application: synchronisation précise, voire ultra–précise, d'informations distribuées depuis un émetteur vers des récepteurs éloignés les uns des autres, par exemple pour la mise en oeuvre de chaînes électromagnétiques et/ou optiques complexes.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	**ES**	Espagne	**LS**	Lesotho	**SI**	Slovénie
AM	Arménie	**FI**	Finlande	**LT**	Lituanie	**SK**	Slovaquie
AT	Autriche	**FR**	France	**LU**	Luxembourg	**SN**	Sénégal
AU	Australie	**GA**	Gabon	**LV**	Lettonie	**SZ**	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	**GB**	Royaume-Uni	**MC**	Monaco	**TD**	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	**GE**	Géorgie	**MD**	République de Moldova	**TG**	Togo
BB	Barbade	**GH**	Ghana	**MG**	Madagascar	**TJ**	Tadjikistan
BE	Belgique	**GN**	Guinée	**MK**	Ex-République yougoslave de Macédoine	**TM**	Turkménistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Grèce			**TR**	Turquie
BG	Bulgarie	**HU**	Hongrie	**ML**	Mali	**TT**	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	**IE**	Irlande	**MN**	Mongolie	**UA**	Ukraine
BR	Brésil	**IL**	Israël	**MR**	Mauritanie	**UG**	Ouganda
BY	Bélarus	**IS**	Islande	**MW**	Malawi	**US**	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	**IT**	Italie	**MX**	Mexique	**UZ**	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	**JP**	Japon	**NE**	Niger	**VN**	Viet Nam
CG	Congo	**KE**	Kenya	**NL**	Pays-Bas	**YU**	Yougoslavie
CH	Suisse	**KG**	Kirghizistan	**NO**	Norvège	**ZW**	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	République populaire démocratique de Corée	**NZ**	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun			**PL**	Pologne		
CN	Chine	**KR**	République de Corée	**PT**	Portugal		
CU	Cuba	**KZ**	Kazakstan	**RO**	Roumanie		
CZ	République tchèque	**LC**	Sainte-Lucie	**RU**	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	**LI**	Liechtenstein	**SD**	Soudan		
DK	Danemark	**LK**	Sri Lanka	**SE**	Suède		
EE	Estonie	**LR**	Libéria	**SG**	Singapour		

DISPOSITIF DE SYNCHRONISATION PRECISE

La présente invention concerne un dispositif de synchronisation précise. Elle s'applique notamment pour la réalisation de mesures précises ou une synchronisation précise, voire ultra-précise, d'informations distribuées depuis un émetteur vers des récepteurs éloignés les uns des autres, par exemple pour la mise en oeuvre de chaînes électromagnétiques et/ou optiques complexes.

Des informations temporelles étant distribuées vers des récepteurs répartis géographiquement, on entend par précision une dispersion de temps d'arrivée de l'ordre de 10 picosecondes et par ultra-précision une dispersion de temps d'arrivée de l'ordre de la picoseconde. Il est alors nécessaire de connaître les distances entre l'émetteur et les récepteurs avec une précision de l'ordre du centimètre pour la classe précise et du millimètre pour la classe ultra-précise.

Les systèmes électroniques actuels de distribution d'horloge ont généralement une bande passante de l'ordre d'un Gigahertz, ce qui leur permet d'atteindre des résolutions de l'ordre de la nanoseconde.

Pour atteindre la classe de précision de l'ordre de quelques dizaines de picosecondes, c'est à dire un facteur 100 par rapport à la bande passante précitée, ces systèmes nécessitent des fonctions de calibrage et de compensation d'une complexité telle que la classe ultra-précise n'est pas envisageable, la classe ultra-précise étant celle de la picoseconde, soit un facteur 1000. Des exemples de mise en oeuvre de tels systèmes se trouvent par exemple dans des chaînes d'amplification laser.

Pour calibrer ces systèmes électroniques, il est nécessaire de disposer de moyens de mesures ayant une précision environ 10 fois meilleure, c'est à dire de l'ordre de la picoseconde, donc inaccessible.

Enfin pour faire fonctionner ces systèmes avec une précision de l'ordre de la dizaine de picosecondes, il est nécessaire de disposer d'un environnement électromagnétique et thermique extrêmement stable et sans parasites, ce qui rend leur utilisation délicate en présence d'ondes impulsionnelles de forte énergie.

L'invention a pour but de permettre une distribution d'informations temporelles vers des récepteurs répartis géographiquement avec une dispersion de temps extrêmement faible. A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de synchronisation de signaux émis depuis un émetteur vers des récepteurs, caractérisé en ce qu'il comporte au moins, au niveau de l'émetteur, des moyens pour générer un signal de synchronisation ayant une période de récurrence sensiblement égale au minimum de résolution du temps de trajet entre l'émetteur et un récepteur, et au niveau de chaque récepteur, des moyens de retard du signal de synchronisation et une boucle de synchronisation comprenant en aval des moyens de retard une lame semi-réfléchissant de telle sorte qu'une partie du signal effectue au moins un aller-retour entre le récepteur et l'émetteur, et comprenant des moyens de corrélation et des moyens d'asservissement des moyens de retard fonction de la corrélation, un signal reçu par un récepteur étant synchronisé lorsque la fonction de corrélation de deux récurrences successives du signal de synchronisation traversant la lame semi-réfléchissante est maximum.

L'invention a notamment pour principaux avantages qu'elle permet d'atteindre une synchronisation de signaux ultra-précise, qu'elle permet une distribution d'informations temporelles vers un grand nombre de récepteurs situés à des distances très variées de l'émetteur, ces distances pouvant être grandes, qu'elle est peu sensible aux perturbations électromagnétiques et thermiques de l'environnement et qu'elle permet de contrôler de façon intrinsèque le bon fonctionnement de la synchronisation et de corriger les éventuelles dérives pour chaque récepteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard de dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, un exemple d'application d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 2, un mode de réalisation possible d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 3, un exemple de signal de synchronisation utilisé par un dispositif selon l'invention ;

- la figure 4, des éléments d'un dispositif selon l'invention situés au niveau d'un récepteur, et notamment un exemple de réalisation possible d'une boucle de synchronisation.

La figure 1 présente un exemple d'application d'un dispositif selon l'invention. Un émetteur 1 d'onde optique ou électromagnétique émet des signaux vers des récepteurs 2 répartis géographiquement et qui peuvent être plus ou moins éloignés de l'émetteur, les valeurs des distances entre ce dernier et les récepteurs pouvant être notamment très dispersées. En particulier, les récepteurs 2 ou points de synchronisation peuvent être distants de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de l'émetteur. Plus généralement, l'invention s'applique pour toutes les distances. Il peut s'agir par exemple d'une antenne répartie ou d'un émetteur centralisé pour une chaîne d'amplification laser, avec contrôle des retards. Un objectif de l'invention est notamment de synchroniser les signaux captés par les récepteurs à quelques picosecondes près par exemple, c'est-à-dire en fait de contrôler la durée du trajet d'un signal de l'émetteur à n'importe lequel des récepteurs à quelques picosecondes près. Pour cela, l'invention est basée sur une mesure intrinsèque des distances entre l'émetteur et les récepteurs permettant notamment de s'affranchir des variations de l'environnement et des dérives, et de régler chaque branche émetteur-récepteur pour obtenir une valeur définie du temps de trajet du signal de l'émetteur au récepteur, avec par exemple des moyens optiques ou électromagnétiques.

Le procédé selon l'invention peut s'appliquer notamment en connaissant par construction, ou mesure, la longueur des trajets entre l'émetteur et les récepteurs avec une précision par exemple de quelques décimètres seulement, ce qui représente une contrainte faible, puis en effectuant un ajustement du retard par rapport au trajet estimé pour obtenir soit un synchronisme, soit une valeur très précise du trajet pour chaque récepteur. En d'autres termes, le procédé permet notamment une mesure relative d'une longueur très précise à l'intérieur d'un intervalle d'ambiguïté ou d'incertitude, une connaissance approximative de la longueur étant nécessaire.

La durée du trajet d'un signal, par exemple optique, peut être obtenue par la somme de différents paramètres. Pour un récepteur d'ordre i, cette durée peut être obtenue à partir des trois paramètre suivants :

- la longueur physique Li du trajet entre l'émetteur et le récepteur ;
- la correction ri du temps de trajet au niveau du récepteur ;
- le retard initial Ri au niveau de l'émetteur.

Les paramètres ri et Ri peuvent être ajustés, le paramètre Li est fixe. La durée totale du trajet Rt est donnée par la relation suivante :

$$Rt = Li/nc + ri + Ri \quad (1)$$

où n et c sont respectivement l'indice du milieu de propagation et la vitesse de la lumière.

Connaissant grossièrement la longueur Li, une détermination plus exacte de la longueur du trajet, et donc du temps propagation d'un signal jusqu'au récepteur d'ordre i peut être définie. Dans une première étape, l'émetteur distribue le même signal, avec une fréquence de récurrence fixe , à tout ou partie des récepteurs. Chaque récepteur utilise l'information reçue pour compenser finement les dispersions du temps d'arrivée du signal. Si nécessaire, une deuxième étape permet la mesure et le calage sur une valeur prédéfinie du temps de propagation entre l'émetteur et chaque récepteur à partir du résultat de la première étape. L'émetteur s'adresse à un récepteur pour lequel un calage du retard est nécessaire. Ce récepteur conserve sa compensation et l'émetteur envoie un signal spécifique permettant de connaître cette compensation et de la modifier si nécessaire. Ce signal spécifique repose sur l'émission d'un signal de récurrence variable dans le temps.

La figure 2 présente un mode de réalisation possible d'un dispositif selon l'invention, employant à titre d'exemple des moyens de transmission optique. Il comporte au moins des moyens pour générer un signal de synchronisation et, au niveau de chaque récepteur 2, une boucle de synchronisation 20 et des moyens de retard 31 du signal de synchronisation reçu, ces moyens de retard étant commandables. La boucle

de synchronisation reçoit en entrée le signal envoyé par l'émetteur centralisé via les moyens de retard 31. Dans le cas d'une application optique, l'émetteur émet par exemple sur une porteuse optique une suite d'impulsions de 20 picosecondes espacées de 2 nanosecondes. Ce signal résulte de la superposition de raies harmoniques. La figure 3 illustre cette forme d'onde. Toute autre forme d'onde est possible, par exemple des impulsions avec des rampes de fréquences ou des suite pseudo-aléatoires d'impulsions, avec une compression d'impulsions au niveau du récepteur. Bien évidemment, des valeurs autres que 20 picosecondes et 2 nanosecondes peuvent être choisies, en particulier la largeur des impulsions peut varier de une à quelques dizaines de picosecondes. Pour une onde se déplaçant à la vitesse de la lumière c, une période de récurrence T de 2 nanosecondes correspond en fait à une résolution en distance égale à cT, de l'ordre de 60 centimètres dans l'air. Pour que le système de synchronisation fonctionne, il est alors nécessaire de connaître grossièrement la longueur du trajet entre l'émetteur et un récepteur à moins de 60 centimètres près comme la suite le montrera, ce qui n'est pas contraignant en pratique.

Les moyens de génération d'un signal de synchronisation comportent par exemple un synthétiseur 22, un générateur d'harmoniques 23 et une source optique 24. Le synthétiseur pilote le générateur d'harmoniques 23 pour obtenir par exemple une modulation de 20 GHz de bande. Cette large bande permet alors de moduler une onde optique produite par la source optique 24, pour créer par exemple une suite d'impulsion de 20 ps espacées de 2 ns, la référence du synthétiseur étant alors égale à 500 MHz.

Le signal modulé, fourni par la source optique est par exemple distribué vers les récepteurs 2 au moyen d'un système de génération et de commutation de retard 21 tel que décrit dans la demande de brevet français n° 2 659 754. La transmission d'un signal entre ce système de distribution 21 et un récepteur est par exemple assurée par une fibre optique 25, dont la longueur est connue approximativement. L'émetteur centralisé 1 comporte par exemple le synthétiseur 22, le générateur d'harmonique 23, la source optique 24 et le système de distribution 21.

La porteuse optique peut par exemple véhiculer des informations de nature plus lente que les signaux de synchronisation. Ces informations sont par exemple des messages fonctionnels ou des horloges rapides, par exemple à 100 MHz ou 500 MHz. Ces horloges rapides peuvent permettre notamment, par un comptage traditionnel, un réglage du retard affecté à chaque récepteur par pas de 10 ns et/ou 2 ns, dans le cas notamment où la synchronisation des signaux se fait par pas de 10 ns et/ou 2 ns. A cet effet, des moyens de codage 26 et une horloge 27 modulent si nécessaire l'onde fournie par la source optique 23, ces moyens 26 et cette horloge 27 sont par exemple contenus dans l'émetteur centralisé 1. Les messages fonctionnels sont par exemple des valeurs de retards à appliquer par les moyens de retard, de façon à synchroniser tous les signaux en sortie de ces derniers. Les valeurs de ces retards ont alors été déterminés précédemment par chaque récepteur à l'aide de sa boucle de synchronisation. Le récepteur comporte des moyens de décodage du message reçu reliés par exemple à des moyens de commande 41 du retard décrits par la suite.

La figure 4 présente des éléments du dispositif selon l'invention situés au niveau d'un récepteur et notamment un mode de réalisation possible d'une boucle de synchronisation 20. La boucle de synchronisation comporte une lame semi-réfléchissante 32 en aval des moyens 31 de retard du signal reçu. Les moyens de retard 31 sont par exemple des moyens de retard optique variables de 0 à 2ns par pas de 3 picosecondes. Pour une onde se déplaçant à la vitesse de la lumière, ces pas de 3 picosecondes permettent d'obtenir une résolution en distance d'un millimètre environ et en durée de trajet de 3 picosecondes. Ces moyens 31 permettent d'obtenir un retard variable soit mécaniquement par déplacement de miroirs, soit électriquement par sélection de chemins optiques de longueurs différentes, soit encore par une combinaison de ces deux solutions. Les moyens de retard 31 réalisent la correction ri définie relativement à la relation (1) précédente.

La lame semi-réfléchissante 32 est par exemple connectée en sortie des moyens de retard 31. Cette lame semi-réfléchissante 32 renvoie vers l'émetteur centralisé le signal de synchronisation, tout en conservant une partie qui est utilisée pour corréler le signal réfléchi par l'émetteur afin d'en déduire le temps de trajet associé à la distance entre l'émetteur et le

récepteur. En fait, pour chaque récepteur, l'onde optique modulée avec une modulation, par exemple de 20 GHz de bande passante, effectue une première fois le trajet entre l'émetteur et le récepteur, puis une partie de cette onde effectue un ou plusieurs aller-retour du récepteur à l'émetteur et de l'émetteur au récepteur, et s'ajoute à la partie de l'onde qui n'a effectué que le trajet simple entre l'émetteur et le récepteur.

Un décodeur optique 33 compte les impulsions des horloges rapides véhiculées par l'onde porteuse émise par l'émetteur afin de connaître grossièrement le temps de trajet si celui-ci n'est pas connu au préalable. Le temps de trajet peut être ainsi connu à une période d'horloge près. Pour pouvoir lever les ambiguïtés sur les longueurs ou les temps de trajet, la suite montrera que la période de l'horloge doit être inférieure ou égale à la période de récurrence du signal de synchronisation.

Des moyens de corrélations permettent la détection du temps de trajet entre l'émetteur et le récepteur à un multiple de 2 nanosecondes près et au retard ri près apporté par les moyens de retard 31. Ces moyens de corrélations donnent une valeur de corrélation maximum lorsque les moyens de retard 31 font coïncider temporellement l'onde ayant effectué un trajet simple avec celles ayant effectué un trajet triple, quintuple, etc... La valeur de corrélation maximum correspond à la détection précitée. En effet, lorsque la corrélation est maximum, cela correspond par exemple à la coïncidence des impulsions de largeur égales à 20 picosecondes de l'onde ayant effectué un aller simple et d'une ayant effectué un ou plusieurs aller-retours, les coïncidences révélant des temps de trajet modulo 2 nanosecondes, puisque ces impulsions ont une période de récurrence égale à 2 nanosecondes. La connaissance grossière du trajet à moins de 60 centimètres près, correspondant à un temps de parcours dans l'air de 2 nanosecondes permet de lever l'ambiguïté sur le temps de trajet ou sur la longueur du trajet entre l'émetteur et le récepteur, au retard ri près introduit par les moyens de retard 31. Pour déterminer le temps de trajet exact, il suffit alors ensuite de déduire cette correction ri du temps de trajet multiple de 2 ns. Des moyens associés à l'émetteur collectent par exemple la valeur du retard ri réalisé par les moyens de retard 31 pour en déduire le temps de trajet exact. L'exactitude est fonction notamment de la définition des moyens de retard 31. Dans le cas où ceux-ci fonctionnent par pas de 3 ps, le temps

de trajet est déterminé à 3 ps près, ou encore la distance est déterminée à un millimètre près. La connaissance de ces informations pour chaque récepteur, permet bien évidemment de réaliser la synchronisation des informations captées par ces différents récepteurs. Les moyens pour collecter la valeur du retard ri sont connus de l'homme du métier. Cette valeur est par exemple collectée par l'intermédiaire de l'onde porteuse réfléchie vers le récepteur, après avoir été numérisée puis mise en série, l'onde porteuse réfléchie véhiculant le message série vers l'émetteur centralisé. L'information série, pour ne pas perturber la synchronisation, est par exemple transmise à une fréquence d'horloge très nettement supérieure à la fréquence de récurrence du signal de synchronisation. Cette fréquence d'horloge peut par exemple être de quelques millisecondes. Une liaison série spécifique, par transmission optique ou électromagnétique, peut en outre être par exemple prévue entre l'émetteur et chaque récepteur. L'émetteur peut alors s'adresser à chaque récepteur pour connaître d'une part la valeur du temps de trajet à 2 ns près fournie par le décodeur 33, puis d'autre part la valeur exacte du trajet par la prise en compte de la valeur ri établie par les moyens de retard 31. Les moyens de numérisation et de mise en série, prévus au niveau de chaque récepteur, ne sont pas représentés, car ils sont bien connus de l'homme du métier. Ces moyens qui sont des moyens d'extraction précise du trajet ou du temps de trajet sont par exemple implanté sur le même circuit numérique que celui qui comporte le décodeur optique 33. Chaque récepteur comporte par exemple au moins des moyens de mémorisation du retard ri, ce qui permet de connaître le temps de trajet exact une fois les opérations de synchronisation réalisées.

Les moyens de corrélation comportent par exemple deux voies de détection, la corrélation s'effectuant entre ces deux voies. La première voie comporte par exemple une photodiode 34 qui détecte le signal 36 ayant traversé la lame semi-réfléchissante 32. De même, la deuxième voie comporte par exemple une photodiode 35 qui détecte ce signal 36. Un filtre 37 est par exemple connecté sur la première voie, en sortie de la photodiode 34. La bande passante de ce filtre est par exemple de quelques gigahertz, de telle sorte qu'une impulsion de 20 ps environ qui attaque ce filtre provoque un signal de sortie de l'ordre de 100 ps, ce qui permet notamment de faciliter la corrélation avec l'impulsion suivante dont le traitement est

décrit ci-après. La première voie comporte encore, par exemple en sortie du filtre 37, des moyens 38 pour créer un retard de 2 ns sur le signal de détection fourni par la photodiode. Ces derniers moyens peuvent être commandés pour créer un retard différent de 2 ns. Ce retard permet de faire coïncider sensiblement une impulsion ou une récurrence d'ordre N-1 avec l'impulsion ou récurrence suivante d'ordre N, lorsque la durée du trajet de l'émetteur au récepteur est multiple de 2 ns, avec la correction ri réalisée par les moyens de retard. Cette coïncidence s'établit alors sur la deuxième voie, par exemple en sortie de la deuxième photodiode 35, qui détecte le signal d'ordre N, et qui reçoit celui d'ordre N-1, détecté par la première voie dont la sortie est reliée par exemple à l'entrée de la deuxième voie. La sortie de cette deuxième voie attaque par exemple un filtre 39 qui transforme les signaux impulsionnels en tension continue, ce filtre délivrant une tension maximum lorsque deux impulsions ou plus généralement deux signaux successifs coïncident. La sortie de ce filtre 39 est reliée à l'entrée de moyens d'asservissement 40, l'asservissement étant effectué de manière à obtenir en sortie du filtre le maximum de tension. A cet effet, les moyens d'asservissement 40 délivrent un signal de commande à des moyens de commande 41 des moyens de retard 31. Ces derniers modifient alors le retard ri jusqu'à ce que le maximum de tension soit obtenu au niveau des moyens d'asservissement 40, c'est-à-dire en fait jusqu'à ce que la durée du trajet de l'émetteur à la sortie des moyens de retard 31 soit multiple de 2ns. Pour améliorer l'exploitation des signaux détectés, les voies de détections comportent par exemple à leurs sorties, chacune un amplificateur 42, 43.

La synchronisation des signaux de l'émetteur vers les récepteurs peut alors s'effectuer de plusieurs façons. Dans un premier mode de synchronisation possible, l'émetteur collecte la valeur de retard ri résultant de l'asservissement effectué au niveau de chaque récepteur. Connaissant le trajet dans l'air à moins de 60 centimètres près, c'est-à-dire le temps de trajet à 2 ns près, il en déduit le trajet exact, à quelques picosecondes près, en retranchant le retard ri au temps de trajet multiple de 2 ns immédiatement supérieur au temps de trajet estimé, et cela pour chaque récepteur. Connaissant le temps de trajet ou le trajet exact entre l'émetteur et chaque récepteur, il est alors aisé de réaliser la synchronisation des signaux distribués à ces derniers. Dans un deuxième mode de synchronisation

possible, le trajet étant toujours connu grossièrement ou le temps de trajet étant connu à 2 ns près, l'émetteur ne collecte pas la valeur des retard ri effectués au niveau de chaque récepteur, mais considérant que le temps de trajet en sortie des moyens de retard est multiple de 2 ns, et donc égal à la valeur estimée, il émet les signaux vers les récepteurs prenant en compte uniquement les temps de trajet multiples de 2 ns. L'influence de l'environnement sur la mesure du temps de trajet ou sur la synchronisation n'intervient pas, car la mesure ou la synchronisation fine se fait au niveau de chaque récepteur.

Dans le cas où des signaux vers les récepteurs doivent être envoyés à des instants différents, tout en conservant cependant un synchronisme relatif, un retard initial Ri à l'émission peut être créé pour chaque récepteur. Ce retard est par exemple créé à partir de l'horloge 27 de l'émetteur qui commande à cet effet le système de génération et de commutation de retards 21.

L'énergie communiquée à chaque récepteur pour la phase de calibrage est très faible. En effet, même doté d'une amplification optique, la puissance du signal reçu peut être de l'ordre de 50 mW et puisque la durée d'une impulsion est d'environ 20ps, l'énergie transmise n'est donc que de quelques picojoules.

Cette énergie est suffisante pour effectuer une commande électrique de fonctions n'exigeant qu'un faible niveau d'énergie. En revanche, cette énergie peut ne pas être adaptée au pilotage direct de fonctions puissantes si cela s'avère nécessaire. Pour pallier cet inconvénient, en considérant que la puissance maximale transmissible est systématiquement limitée par les amplificateurs optiques contenus dans le système de distribution 21, le dispositif selon l'invention peut comporter en outre des moyens qui augmentent considérablement la durée du signal de commande avant amplification, puis des moyens qui compriment temporellement cette commande après amplification optique. A titre d'exemple, la durée du signal de commande pourrait être étalée sur 20ns, au lieu de 20 ps, permettant ainsi un transfert de quelques nanojoules. Cette énergie appliquée à un photoconducteur par exemple permet alors la commande d'une tension de l'ordre de 30 volts. Les différentes harmoniques des signaux optiques sont envoyés par l'émetteur centralisé vers les

récepteurs avec un retard de 2ns. L'émetteur émet donc successivement les différentes harmoniques permettant par sommation la création d'une impulsion d'une durée de 20ps. Chaque harmonique est émise durant une à plusieurs fois la durée de 2ns. Une ligne à retard équipe chaque récepteur de façon à ce que les différentes harmoniques re-circulent dans le récepteur, ce qui permet de superposer temporellement l'ensemble des trains d'harmoniques dans le récepteur pour recréer par sommation l'impulsion fine, par exemple de 20ps. Ainsi, le signal émis est étalé temporellement au niveau de l'émetteur centralisé, amplifié de façon optique sur la durée d'étalement, puis comprimé temporellement à l'aide par exemple d'une ligne à retard re-circulante équipant chaque récepteur. La ligne à retard est par exemple située à l'entrée du récepteur.

L'exemple de réalisation d'un dispositif selon l'invention tels que décrit relativement aux figures 2 et 4 utilise des transmissions optiques entre l'émetteur et les récepteurs, ainsi que des moyens optiques. Il est cependant possible de réaliser un dispositif selon l'invention où les transmissions précitées sont électromagnétiques, ainsi que les moyens de mise en oeuvre. Par ailleurs, pour faciliter la compréhension de l'invention, la fréquence de récurrence du signal de synchronisation est restée fixée à 2ns. En fait d'autres valeurs peuvent être utilisées. Ces 2ns correspondent en fait à une résolution minimum du temps de trajet, ou du trajet après conversion dans le domaine distance, que doit respecter le dispositif a priori. La boucle de synchronisation permet ensuite d'affiner la résolution, par exemple jusqu'à quelques picosecondes près. Enfin, le signal de synchronisation a été choisi impulsionnel, avec des impulsions de l'ordre de 20ps. Ici encore, d'autres largeurs d'impulsions peuvent être choisies, mais aussi comme il a été mentionné précédemment, d'autres types de signaux peuvent être utilisés. Il suffit que les signaux successifs puissent être facilement corrélés entre eux, notamment par une boucle de synchronisation telle décrite relativement à la figure 4. Il est encore à noter que l'émetteur 1 n'est pas obligatoirement un émetteur unique mais peut correspondre à un ensemble d'émetteurs de signaux.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de synchronisation de signaux émis depuis un émetteur (1) vers des récepteurs (2), caractérisé en ce qu'il comporte au moins, au niveau de l'émetteur, des moyens (22, 23, 24) pour générer un signal de synchronisation ayant une période de récurrence (T), et au niveau de chaque récepteur, des moyens de retard commandables (31) du signal de synchronisation et une boucle de synchronisation comprenant en aval des moyens de retard (31) une lame semi-réfléchissant (32) de telle sorte qu'une partie du signal effectue au moins un aller-retour entre le récepteur et l'émetteur, et comprenant des moyens de corrélation (34, 35, 37, 38, 39, 42, 43) et des moyens d'asservissement (40) des moyens de retard (31) fonction de la corrélation, un signal reçu par un récepteur étant synchronisé lorsque la fonction de corrélation de deux récurrences successives (36) du signal de synchronisation traversant la lame semi-réfléchissante (32) est maximum.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la période de récurrence (T) est supérieur ou sensiblement égale au minimum de résolution du temps de trajet entre l'émetteur et un récepteur

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de corrélation comportent deux voies de détection, une première voie détectant un signal ayant traversé la lame semi-réfléchissante (32) et comportant des moyens (38) pour créer un retard sensiblement égal à la période de récurrence (T) sur le signal de détection, et une deuxième voie détectant un signal ayant traversé la lame semi-réfléchissante (32), la corrélation étant effectuée entre de signal de détection retardé de la première voie et le signal de détection de la deuxième voie.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les signaux sont détectés par des photodiodes (34, 35).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que la première voie comporte un filtre (37) pour élargir le signal de détection.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que les voies de détection comportent en sortie des amplificateurs (42, 43).

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de corrélation comportent en sortie un filtre (39) qui produit une tension continue représentant la fonction de corrélation.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens pour générer un signal de synchronisation comportent un synthétiseur (22), un générateur d'harmoniques (23) et une source (24), le synthétiseur pilotant le générateur d'harmoniques (23) pour moduler une onde optique produite par la source (24).

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la source (24) est une source optique.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la période de récurrence (T) est de l'ordre de quelques nanosecondes.

11 Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'émetteur (1) comporte une horloge (27) qui module le signal fourni par la source (24), un récepteur (2) comportant des moyens de comptage (33) des impulsions d'horloge de façon à estimer la durée du trajet entre l'émetteur (1) et le récepteur (2) à la période d'horloge près, la période d'horloge étant inférieure ou égale à la période de récurrence (T) du signal de synchronisation.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un récepteur (2) comporte des moyens d'extraction (33) déterminant la durée sensiblement exacte du trajet de l'émetteur (1) au récepteur (2) à partir de la durée estimée à au moins la période de récurrence (T) du signal de synchronisation et du retard (ri) établi par les moyens de retard (31) pour obtenir le maximum de la fonction de corrélation.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que le récepteur comporte des moyens pour transmettre la durée du trajet ou la valeur du retard (ri) à l'émetteur.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte au moins des moyens de mémorisation du retard établi par les moyens de retard (31).

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'émetteur (1) comporte des moyens de codage (26) de l'onde fournie par la source (24) pour transmettre vers les récepteurs des messages fonctionnels.

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'un message fonctionnel vers un récepteur (2) indique à ce dernier le retard à appliquer par les moyens de retard (31), le récepteur comportant des moyens de décodage du message reçu reliés à des moyens de commande (41) du retard.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de retard (31) sont commandables par pas de quelques picosecondes.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce l'émetteur émet successivement les différentes harmoniques permettant par sommation la création du signal de synchronisation, chaque harmonique étant émise durant une à plusieurs fois

la période de récurrence (T), une ligne à retard équipant chaque récepteur de façon à ce que les différentes harmoniques re-circulent dans le récepteur, pour superposer temporellement l'ensemble des trains d'harmoniques dans le récepteur pour recréer par sommation le signal de synchronisation.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que la ligne à retard est située à l'entrée du récepteur.

20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le signal de synchronisation est impulsionnel.

21. Dispositif selon la revendication 20, caractérisé en ce que la largeur de l'impulsion est de l'ordre de une à quelques dizaines de picosecondes.

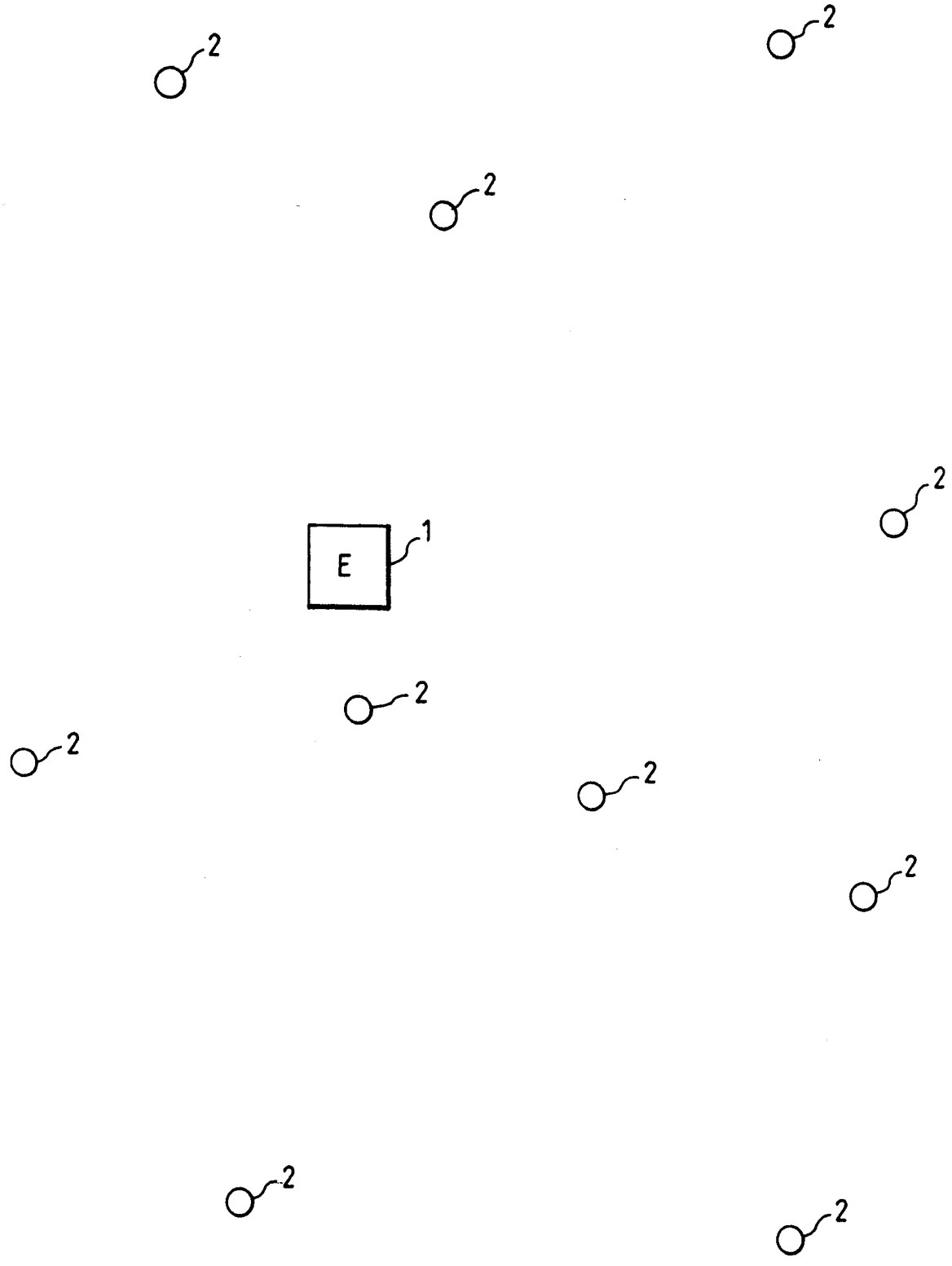


FIG.1

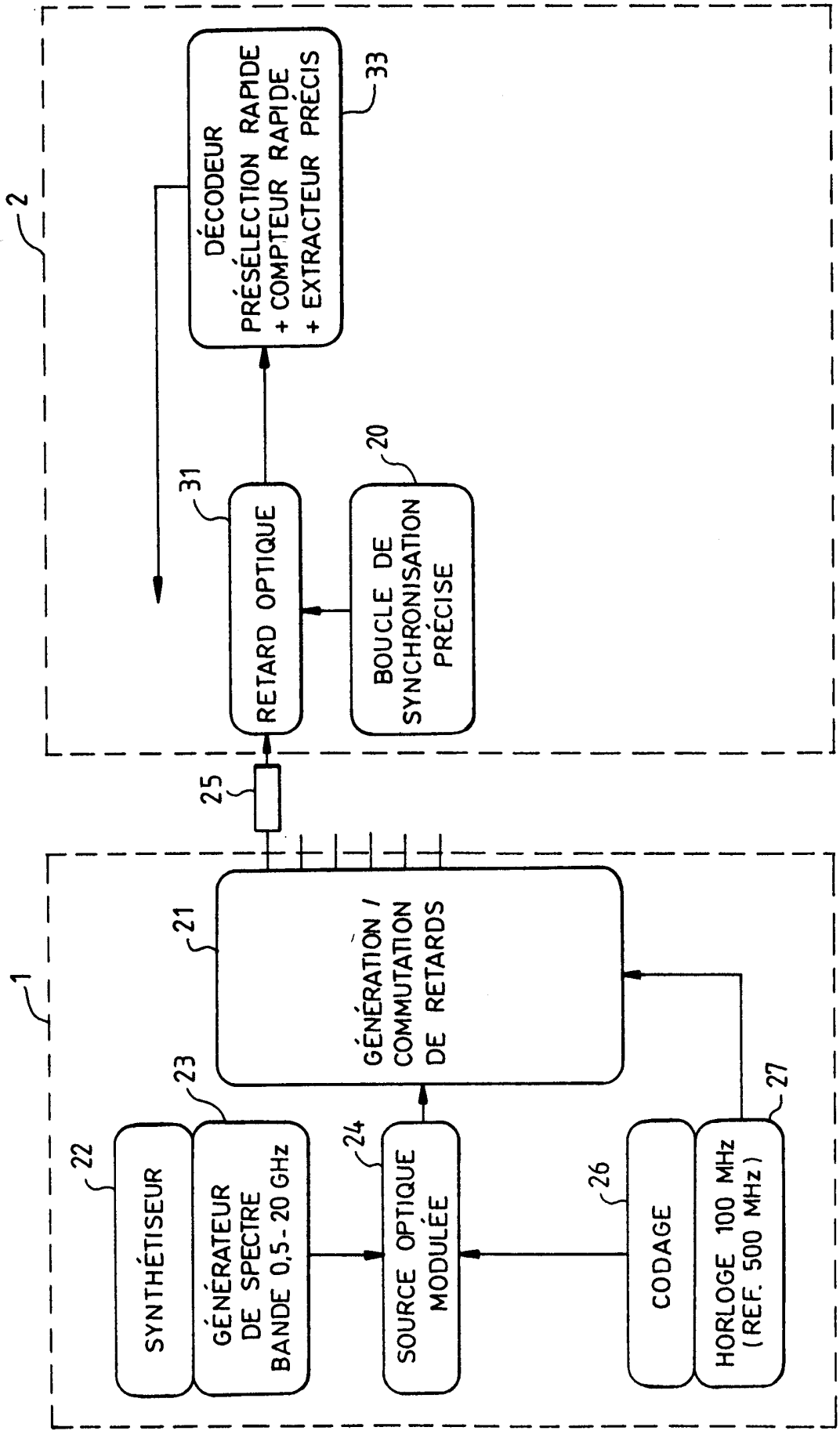

2
DÉCODEUR PRÉSÉLECTION RAPIDE + COMPTEUR RAPIDE + EXTRACTEUR PRÉCIS
33
31
RETARD OPTIQUE
20
BOUCLE DE SYNCHRONISATION PRÉCISE
25
1
21
GÉNÉRATION / COMMUTATION DE RETARDS
23
22
SYNTHÉTISEUR
GÉNÉRATEUR DE SPECTRE BANDE 0,5 - 20 GHz
24
SOURCE OPTIQUE MODULÉE
26
CODAGE
27
HORLOGE 100 MHz (REF. 500 MHz)

FIG.2

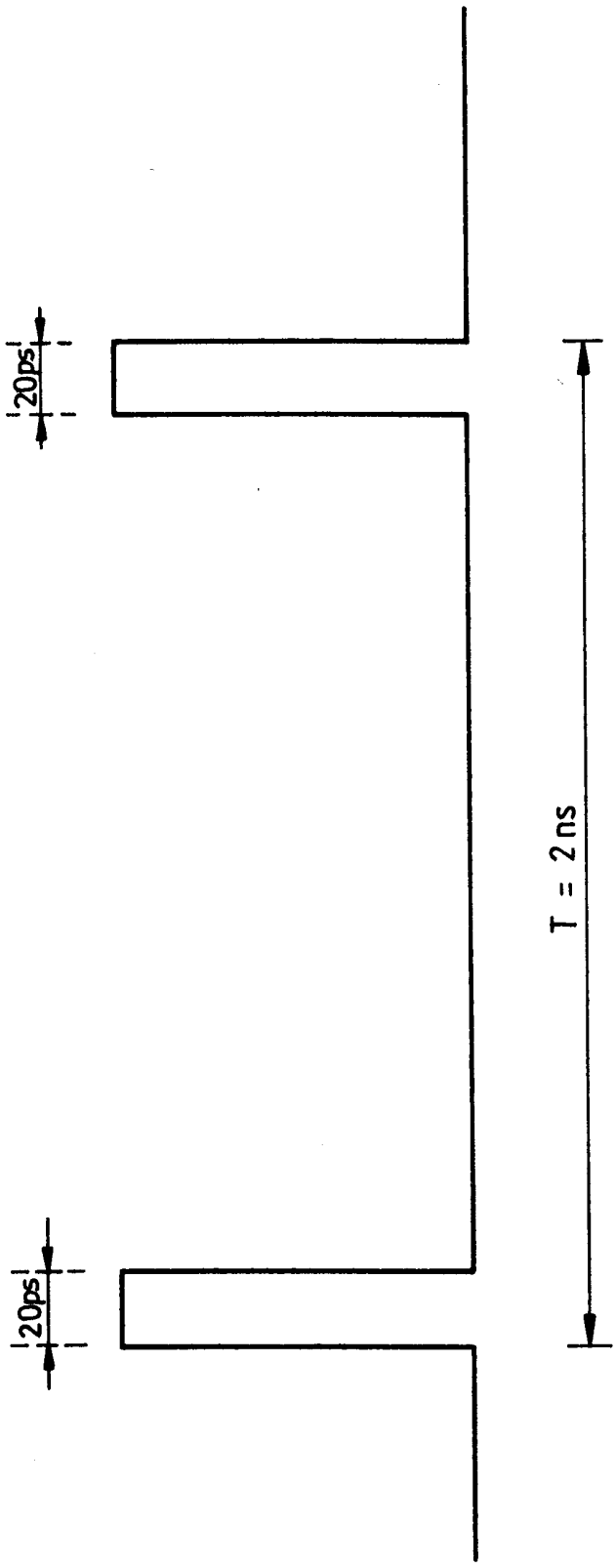


FIG. 3

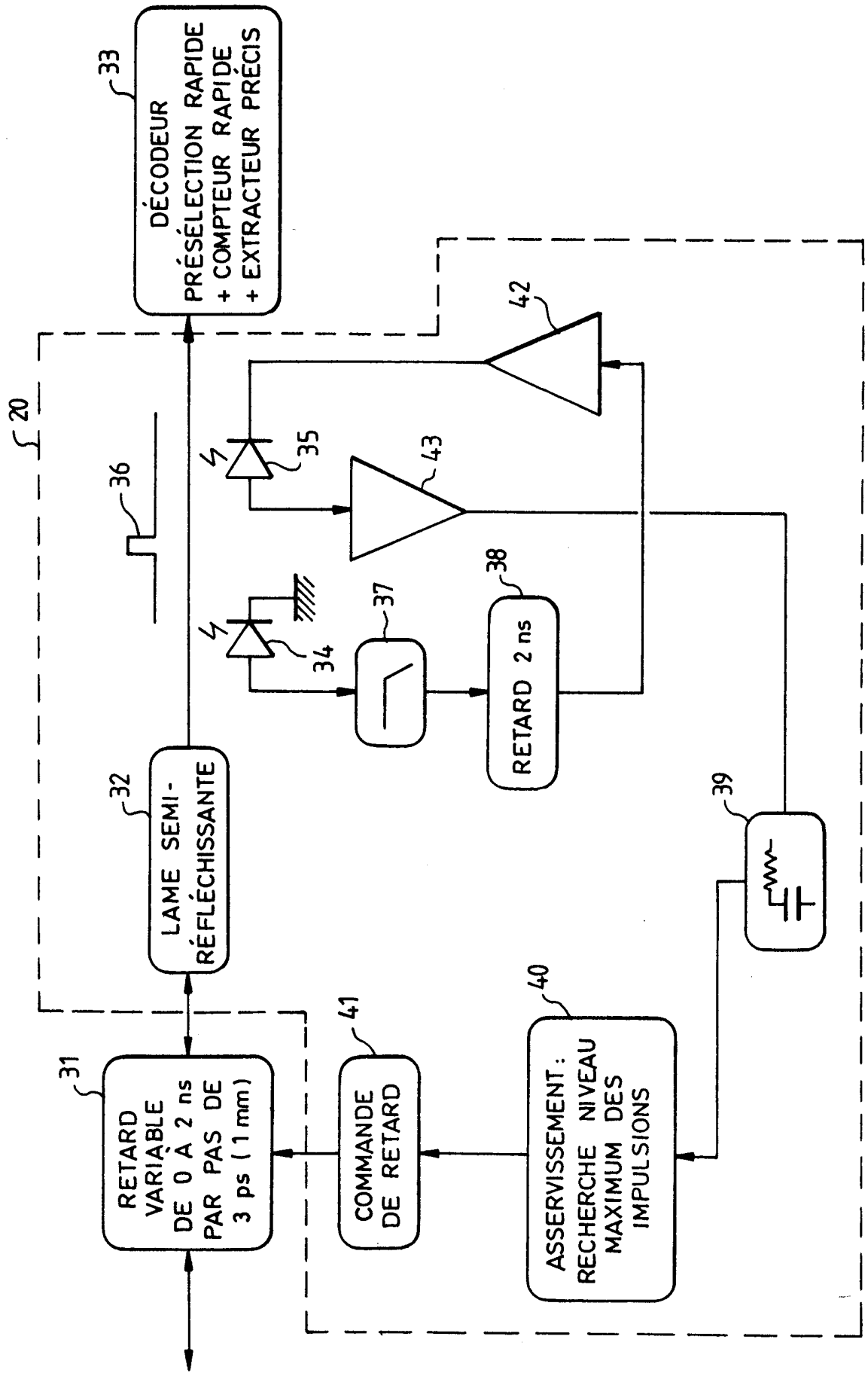

DÉCODEUR
PRÉSÉLECTION RAPIDE
+ COMPTEUR RAPIDE
+ EXTRACTEUR PRÉCIS
33
20
36
35
42
43
34
37
38
RETARD 2 ns
32
LAME SEMI-
RÉFLÉCHISSANTE
39
31
RETARD
VARIABLE
DE 0 À 2 ns
PAR PAS DE
3 ps (1 mm)
41
COMMANDE
DE RETARD
40
ASSERVISSEMENT :
RECHERCHE NIVEAU
MAXIMUM DES
IMPULSIONS

FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/FR 98/02066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H04J3/06 H04L7/033 H04L7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H04L H04J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 497 261 A (MASETTI FRANCESCO) 5 March 1996 see column 1, line 36 - line 45 see column 1, line 55 - column 2, line 39 ---	1
A	GB 2 246 677 A (STC PLC) 5 February 1992 see page 1, line 24 - page 2, line 16 see page 3, line 1 - page 5, line 33 -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
4 December 1998	11/12/1998

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Larcinese, A

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inter ıal Application No
PCT/FR 98/02066

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5497261 A	05-03-1996	FR 2711869 A	05-05-1995
		CA 2118450 A	22-04-1995
		EP 0650275 A	26-04-1995
GB 2246677 A	05-02-1992	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR 98/02066

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 H04J3/06 H04L7/033 H04L7/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 6 H04L H04J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 497 261 A (MASETTI FRANCESCO) 5 mars 1996 voir colonne 1, ligne 36 - ligne 45 voir colonne 1, ligne 55 - colonne 2, ligne 39	1
A	GB 2 246 677 A (STC PLC) 5 février 1992 voir page 1, ligne 24 - page 2, ligne 16 voir page 3, ligne 1 - page 5, ligne 33	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
4 décembre 1998	11/12/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Larcinese, A

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Dem: Internationale No
PCT/FR 98/02066

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5497261 A	05-03-1996	FR 2711869 A	05-05-1995
		CA 2118450 A	22-04-1995
		EP 0650275 A	26-04-1995
GB 2246677 A	05-02-1992	AUCUN	