

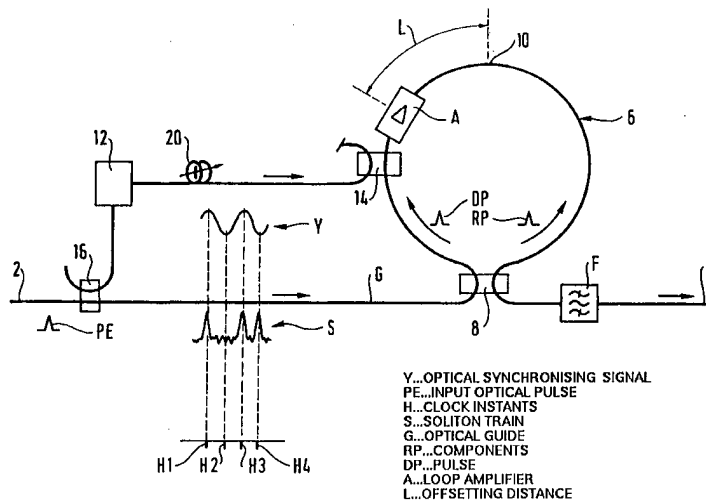


DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G02F 1/35, H04B 10/18</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 98/50824 (43) Date de publication internationale: 12 novembre 1998 (12.11.98)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/00926 (22) Date de dépôt international: 7 mai 1998 (07.05.98) (30) Données relatives à la priorité: 97/05637 7 mai 1997 (07.05.97) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): ALCATEL [FR/FR]; 54, rue de la Boétie, F-75008 Paris (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BIGO, Sébastien [FR/FR]; 17, rue Sainte Geneviève, F-91120 Palaiseau (FR). DUCELLIER, Thomas [FR/CA]; Apartment 3, 299, rue Bruyère, Ottawa, Ontario K1N 5E5 (CA). (74) Mandataires: LAMOUREUX, Bernard etc.; Compagnie Financière Alcatel DPI, 30, avenue Kleber, F-75016 Paris (FR).</p>	<p>(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i></p>	

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR REGENERATING A TRAIN OF SOLITONS

(54) Titre: DISPOSITIF ET PROCEDE DE REGENERATION POUR TRAIN DE SOLITONS



(57) Abstract

The invention concerns a method which consists in passing a train of solitons through a Sagnac interferometer (6) with phase-shifted semiconductor amplifier (A) and in controlling said amplifier by an amplitude modulated optical synchronisation signal (Y) at a frequency half the train frequency bit, said amplifier phase shift in said interferometer and said signal parameters receiving values such that two adjacent solitons of said train are transmitted with reverse optical phase relation. The invention is applicable in optical fibre telecommunication networks.

(57) Abrégé

Selon cette invention on fait passer un train de solitons (S) dans un interféromètre de Sagnac (6) à amplificateur semiconducteur décalé (A) et on commande cet amplificateur par un signal de synchronisation optique (Y) modulé en amplitude à une fréquence moitié d'une fréquence bit de ce train, le décalage de cet amplificateur dans ledit interféromètre et les paramètres dudit signal de synchronisation recevant des valeurs telles que deux solitons adjacents dudit train soient transmis avec inversion de leur relation de phase optique. L'invention s'applique dans les réseaux de télécommunication à fibres optiques.

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	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

Dispositif et procédé de régénération pour train de solitons

La présente invention concerne un dispositif de régénération pour train de solitons et trouve application dans des réseaux de télécommunication.

Pour réaliser des liaisons de télécommunication à grande distance il est bien connu de faire porter une information à transmettre par un train d'impulsions optiques. Un tel train est rythmé c'est à dire qu'il définit des instants d'horloge se succédant régulièrement à une fréquence prédéterminée constituant une "fréquence bit", l'information à transmettre étant portée sous forme binaire par la présence ou l'absence d'une impulsion à chacun des instants d'horloge successifs. Il est également bien connu que ces impulsions peuvent avantageusement être émises sous la forme de solitons dans les fibres qui doivent les guider. On sait qu'un tel soliton est adapté à la fibre qui doit le guider et qu'il est alors caractérisé par un profil temporel d'amplitude spécifique, par une très faible durée à mi-hauteur, et par une grande pureté spectrale. Il présente au moins théoriquement l'avantage de se propager dans cette fibre sans subir de déformations cumulatives, ceci grâce à une compensation des effets de la dispersion chromatique et de la non linéarité, dite effet Kerr, propres à cette fibre. Cette compensation nécessite cependant que la puissance de l'impulsion soit maintenue en moyenne au cours de sa propagation. Or des pertes de puissance sont inévitables. C'est pourquoi ces pertes doivent être compensées à l'aide d'une succession d'amplificateurs optiques répartis le long de la liaison. Ces amplificateurs sont typiquement constitués par des fibres dopées à l'erbium et pompées optiquement. Cette nécessité de compenser les pertes de puissance des impulsions fait notamment apparaître deux phénomènes parasites liés à l'émission spontanée des amplificateurs : l'un est la gigue de Gordon-Haus qui consiste en un déplacement aléatoire de chaque soliton au sein du train de solitons d'un côté et de l'autre de l'instant d'horloge correspondant. L'autre est une accumulation de bruit. Ces deux phénomènes parasites peuvent entraîner une détérioration de la qualité, c'est à dire une augmentation du taux d'erreur de la transmission.

L'une des méthodes connues pour éviter ces inconvénients consiste en une modulation synchrone d'un train d'impulsions optiques ou plus particulièrement de solitons. Une telle modulation réalise une régénération d'un train de solitons. En effet elle rapproche les solitons de leurs positions et de leurs profils temporels corrects et elle élimine ou du moins réduit le bruit.

Son principe a été décrit dans un article de H. Kubota et Nakazawa, "Soliton transmission control in time and frequency domains", IEEE J. Quantum Electronics v. 29, n° 7, pp. 2189-2197, July 1993. Une expérience de transmission à 10 Gbit/s sur 1 million de kilomètres est décrite dans un article
5 de Nakazawa et al., (1991), "Experimental demonstration of soliton data transmission over unlimited distance with soliton control in time and frequency domains", Electronics Letters, v.29, n°9, pp. 729-730, 29 avril 1993.

Par ailleurs un système de régénération d'un train d'impulsions de
10 lumière est décrit dans un article de J. K. Lucek et K. Smith, (1993) "All optical signal regenerator", Opt. Lett. v. 18, n° 15, pp. 1226-1228, 1 aug. 1993. On peut également citer une communication de D. Sandel et al., : "Polarization-independent regenerator with nonlinear optoelectronic phase-locked loop", Optical Fiber Conference Proceedings 1994, paper FG2.

15 Un article de M. Eiselt, W. Piper, and H.G. Weber "SLALOM : Semiconductor Laser Amplifier in a Loop Mirror", Journal of Lightwave Technology, vol. 13, n° 10 , October 1995, pp2099- 2112 décrit un type de dispositif appelé SLALOM. Il indique notamment que ce dispositif peut être utilisé pour réaliser une régénération synchrone comme décrit dans le
20 paragraphe : "SLALOM as Optical Retiming Device". Il ne décrit pas spécifiquement les éléments essentiels d'un régénérateur, c'est à dire d'un dispositif de régénération, mais plutôt ceux d'un dispositif expérimental permettant d'étudier les possibilités d'un tel régénérateur. Un régénérateur qui correspondrait aux indications de cet article sera désigné ci-après par
25 l'appellation "régénérateur SLALOM antérieurement proposé".

Certains des éléments essentiels d'un tel régénérateur antérieurement proposé présentent des analogies avec les éléments d'un dispositif selon cette invention. Ces éléments sont les suivants :

-Un guide optique s'étendant entre d'une part une entrée pour recevoir un
30 signal porteur d'information constitué par un train d'impulsions à régénérer, d'autre part une sortie pour fournir un train d'impulsions régénéré portant la même information. Les impulsions du train à régénérer ont une longueur d'onde d'entrée. Ce train présente un rythme de sorte qu'il permet de définir des instants d'horloge se succédant à une fréquence bit. Un segment de ce
35 guide constitue une boucle interférométrique. Cette boucle est fermée par un

coupleur de bouclage couplant ce guide à lui même à deux extrémités de cette boucle pour constituer un interféromètre de Sagnac.

-Un amplificateur de boucle constitué par un amplificateur laser à semiconducteur est raccordé en série dans la boucle interférométrique à distance d'un point milieu de cette boucle. Cette distance le long de ce

guide sera appelée ci-après "distance de décalage".
- Enfin une source d'horloge fournit un signal de nature optique définissant des instants d'horloge correspondant au train d'impulsions à régénérer. Ce signal est injecté dans la boucle interférométrique pour y faire apparaître une modulation croisée entre lui même et les impulsions de ce train. Sa longueur

d'onde sera appelée longueur d'onde d'horloge.
Dans le régénérateur SLALOM antérieurement proposé la source d'horloge fournit son signal mentionné ci-dessus sous la forme d'impulsions d'horloge. Ces impulsions sont fournies à l'entrée du guide de la boucle interférométrique. Des composantes sont dérivées des impulsions du signal porteur d'information et des impulsions d'horloge par le coupleur de bouclage. Elles circulent dans la boucle interférométrique dans deux sens opposés. Celles qui sont dérivées du signal porteur d'information provoquent une saturation temporaire de l'amplificateur de boucle. La distance de décalage mentionnée ci-dessus est alors choisie de manière que celles qui sont dérivées des impulsions d'horloge rencontrent cet amplificateur dans un état saturé ou dans un état non saturé selon leurs positions temporelles par rapport aux précédentes. Dans le cas où les deux composantes dérivées d'une impulsion d'horloge ont rencontré l'amplificateur dans deux états de saturation différents, elles interfèrent positivement dans le coupleur de bouclage de sorte que cette impulsion d'horloge est transmise à la sortie du guide de la boucle interférométrique. Ce cas se produit lorsque le signal porteur d'information comportait une impulsion dans une position temporelle convenable par rapport à l'impulsion d'horloge, c'est à dire lorsque ce signal porteur d'information a ouvert une fenêtre temporelle pour l'impulsion d'horloge. Le dispositif fonctionne donc comme une porte commandée par le signal porteur d'information. L'information est ainsi transférée au train d'impulsions constitué par celles des impulsions d'horloge qui sont transmises à la sortie du guide. Ce nouveau signal porteur d'information est donc fourni à la longueur d'onde d'horloge.

Il apparait d'autre part que, dans ce régénérateur antérieurement proposé, la distance de décalage est définie en fonction de la durée de l'état de saturation provoqué dans l'amplificateur de boucle par chaque impulsion du signal portant initialement l'information. Cette distance est donc définie en fonction de la durée de vie des porteurs de charge dans cet amplificateur.

Ce régénérateur SLALOM antérieurement proposé présente l'avantage d'être du genre dit "tout optique", ce qui évite les limitations de bande passante liées à l'utilisation de signaux électroniques. Il semble devoir présenter divers autres avantages par rapport aux modulateurs connus du genre tout optique d'autres types. Ces avantages sont notamment que sa boucle interférométrique a une longueur beaucoup plus faible que celle des dispositifs du type NOLM et qu'ils ne nécessitent pas l'emploi de fibres à maintien de polarisation lorsque cette boucle est constituée par une fibre optique et lorsque le modulateur doit être insensible à la polarisation. Ces avantages sont importants parce que, d'une part il est parfois très souhaitable de réaliser le modulateur sous une forme intégrée, et parce que d'autre part un signal optique présente un état de polarisation aléatoire lorsqu'il a parcouru de grandes distances dans une liaison à fibres optiques. Ce régénérateur SLALOM antérieurement proposé semble cependant devoir présenter notamment l'inconvénient que son fonctionnement serait fortement dépendant des paramètres de fonctionnement qui définissent la durée de l'état de saturation provoqué dans l'amplificateur de boucle. De plus, dans le cas où il serait appliqué à la régénération d'un train de solitons, le signal de synchronisation devrait présenter lui même la forme d'un train de solitons que l'on pourrait appeler des solitons d'horloge. Il convient enfin de tenir compte du fait que la longueur d'onde du nouveau signal porteur d'information est différente de celle du signal reçu en entrée. Ce fait constituerait un inconvénient sérieux dans de nombreuses applications.

La présente invention a notamment pour buts :

- de rendre le fonctionnement d'un régénérateur du type Slalom peu sensible aux variations éventuelles des paramètres de fonctionnement de l'amplificateur de boucle à semi-conducteur inclus dans ce régénérateur,
- de conserver la longueur d'onde optique du signal porteur d'information,
- de manière plus générale de conserver les avantages du régénérateur Slalom antérieurement proposé tout en évitant ses inconvénients, et,

- de limiter autant que possible le taux d'erreur d'un système de transmission à fibres optiques dans lequel des informations à transmettre sont portées par des trains de solitons.

Dans ces buts un dispositif selon cette invention est notamment caractérisé par le fait que la distance de décalage de l'amplificateur de boucle de ce dispositif est au moins égale à une valeur minimale, cette dernière étant égale à 20% d'un décalage nominal LN tel que

$$LN = c/2B.$$

De plus cette distance de décalage présente une différence au moins égale à cette valeur minimale par rapport à des valeurs interdites égales au produit de ce décalage nominal par un nombre entier pair, c étant la vitesse de la lumière dans ledit guide, B étant la fréquence bit définie par ledit rythme du train de solitons. Quant au signal représentatif des instants d'horloge du signal porteur d'information, ce signal représentatif est un signal de synchronisation dont l'enveloppe optique a une fréquence égale à la moitié de cette fréquence bit. Enfin l'amplitude et la phase de cette enveloppe du signal de synchronisation et une valeur moyenne de la puissance de ce signal sont telles que deux solitons parvenant à l'entrée de ce dispositif et occupant deux instants d'horloge immédiatement successifs dans un train de solitons soient transmis à la sortie de ce dispositif avec deux phases optiques mutuellement opposées.

A l'aide de la figure schématique ci-jointe on va décrire ci-après à titre d'exemple non limitatif comment la présente invention peut être mise en oeuvre.

Cette figure représente un dispositif selon cette invention.

Ce dispositif comporte les éléments essentiels suivants :

-Un guide optique G s'étend entre d'une part, une entrée 2 pour recevoir un train de solitons S à régénérer, d'autre part une sortie 4 pour fournir un train de solitons régénéré. Ce guide peut être constitué par une fibre optique ou être formé sur un substrat dans le cas où le dispositif est réalisé sous forme intégrée. La longueur d'onde des solitons constitue une longueur d'onde d'entrée. Ce train présente un rythme de sorte qu'il permet de définir des instants d'horloge se succédant à une fréquence bit définie par ce rythme. Un segment de ce guide constitue une boucle interférométrique 6. Cette boucle est fermée par un coupleur de bouclage 8 couplant ce guide à lui-même aux deux extrémités de cette boucle pour constituer un interféromètre

de Sagnac. Le fonctionnement d'un tel interféromètre est bien connu et peut être approximativement décrit comme suit : Si une impulsion optique d'entrée telle que PE est reçue sur l'entrée 2, le coupleur 8 la divise en deux composantes DP et RP se propageant dans la boucle dans deux sens opposés. Ce coupleur applique alors un premier déphasage de $\pi/2$ à la composante RP par rapport à l'impulsion PE. Lorsque cette composante a fait le tour de la boucle ce coupleur lui applique un deuxième déphasage de $\pi/2$ avant de pouvoir la transmettre vers la sortie 4. Sur cette sortie cette composante se trouve en situation d'interférer avec la composante DP qui s'est propagée dans le guide sans subir de déphasage dans le coupleur 8. Cette interférence est constructive ou destructive selon d'éventuels autres déphasages subis par ces composantes dans leurs parcours respectifs dans la boucle 6. Le caractère constructif ou destructif de cette interférence résulte plus précisément de la différence entre deux valeurs totales présentées par ces autres déphasages respectivement pour ces deux composantes. Il en résulte que l'impulsion PE est transmise ou non à la sortie 4 selon la valeur d'un signal commandant cette différence.

-Un amplificateur de boucle A est constitué par un amplificateur laser à semiconducteur. Il est raccordé en série dans la boucle interférométrique à une certaine distance d'un point milieu 10 de cette boucle. Ce point milieu est celui qui est situé à égales distances des deux extrémités de celle-ci. La distance L entre l'amplificateur de boucle et ce point milieu le long de ce guide constitue la "distance de décalage ". Selon des dispositions caractéristiques de la présente invention cette distance de décalage L est au moins égale à la valeur minimale précédemment définie et elle présente une différence au moins égale à cette valeur minimale par rapport aux dites valeurs interdites.

- Enfin une source de synchronisation 12 fournit un signal de synchronisation Y de nature optique. Ce signal présente une longueur d'onde de synchronisation. Sa puissance varie au cours du temps de manière à définir les instants d'horloge H1...H4 du train de solitons S. Le signal de synchronisation Y est injecté dans l'amplificateur de boucle A pour y faire apparaître une modulation croisée entre les solitons et ce signal. Cette injection est effectuée par un coupleur de synchronisation 14 sélectif en longueur d'onde.

Selon l'invention l'enveloppe optique du signal de synchronisation présente une fréquence égale à la moitié de la fréquence bit du train de solitons à régénérer. De plus l'amplitude et la phase de cette enveloppe et une valeur moyenne de la puissance de ce signal sont réglées pour que deux solitons parvenant à l'entrée 2 et occupant deux instants d'horloge immédiatement successifs tels que H3 et H4 dans le train de solitons S soient transmis à la sortie 4 avec inversion de leur relation de phase optique, c'est à dire que ces deux solitons sont transmis avec des phases mutuellement opposées dans le cas où ils étaient en accord de phase à l'entrée du dispositif.

Une telle opposition de phase entre deux impulsions optiques successives a été mentionnée dans un article de O.G. Okhotnikov et F. M. Araujo, intitulé "Pulse generation through optical switching in phase driven loop mirror" , Electronics Letters 7th December 1995 Vol. 31 N°. 25. Cet article décrit un générateur d'impulsions optiques utilisant une boucle interférométrique constituant un interféromètre de Sagnac. L'amplificateur de cette boucle est en position décalée et il est commandé par un signal électrique dont la fréquence est la moitié de la fréquence de récurrence des impulsions générées. Ces impulsions sont alternativement dites brillantes (bright pulses) et sombres (dark pulses) en raison de l'alternance de leurs phases optiques. Les distances de décalage mentionnées sont différentes de celles de la présente invention.

Dans le cadre de la présente invention les solitons successifs peuvent être appelés "solitons adjacents". L'opposition de leurs phases optiques présente l'avantage de limiter fortement le risque que la qualité de la transmission soit dégradée par des phénomènes de collisions de solitons. Cet avantage d'une telle opposition de phase entre solitons adjacents était connu par un article de Pierre-Luc François et Thierry Georges, intitulé Reduction of averaged soliton interaction forces by amplitude modulation, Optics Letters, April 15, 1993, vol.18, N° 8, pp 583 -585.

Il existe indépendamment de la présence d'une gigue temporelle ou d'un bruit dans le train de solitons à régénérer de sorte que le dispositif selon l'invention peut être utilisé avec avantage même si le train de solitons à régénérer n'est affecté ni par la gigue ni par le bruit. Contrairement à ce qu'une analyse trop sommaire pourrait laisser croire cet avantage ne disparaît pas après une deuxième régénération synchrone.

Les dispositions nouvelles ci-dessus concernant la distance de décalage et la fréquence de l'enveloppe du signal de synchronisation permettent non seulement de réaliser une régénération synchrone efficace mais aussi d'obtenir l'avantage résultant de l'opposition de phase entre solitons adjacents. La présente invention enseigne que, lorsque ces dispositions nouvelles ont été réalisées, il existe des valeurs de l'amplitude, de la phase et de la puissance moyenne du signal de synchronisation telles que cette opposition de phase soit réalisée. Ces dernières valeurs sont à la portée des spécialistes avec l'aide des indications ci-dessus, et de celles contenues notamment dans l'article précédemment cité décrivant les dispositifs SLALOM, seule une expérimentation normale étant alors nécessaire.

Dans le cadre de cette invention l'amplitude crête à crête du signal de synchronisation est fortement supérieure à celle qui serait nécessaire pour qu'une impulsion lumineuse d'entrée ayant la longueur d'onde d'entrée et reçue sur l'entrée 2 soit transmise ou non à la sortie 4 selon la relation de temps existant entre cette impulsion lumineuse et la modulation de ce signal de synchronisation. On peut préciser ce qui précède en considérant la différence de phases qui est induite dans l'amplificateur de boucle A entre deux composantes telles que DP et RP d'une telle impulsion lumineuse, ces deux composantes circulant dans la boucle interférométrique respectivement dans un sens direct et dans un sens rétrograde. Cette différence de phases est liée à la variation présentée par la puissance du signal de synchronisation entre les deux instants où ces composantes traversent respectivement cet amplificateur, ou du moins entre deux périodes précédant respectivement ces deux instants, la durée de ces périodes étant définie par la durée de vie des porteurs de charge dans cet amplificateur.

Dans le cadre de cette invention les valeurs de cette différence de phase correspondant à deux instants d'horloge successifs sont sensiblement symétriques par rapport à la valeur correspondant à un instant médian entre ces deux instants d'horloge. Pour que le dispositif assure une régénération synchrone des solitons la valeur de la différence de phases correspondant à un tel instant médian doit interdire à une impulsion d'entrée d'être transmise à la sortie du dispositif. Il en résulte que l'amplitude de la modulation du signal de synchronisation est telle que l'écart entre les valeurs extrêmes de cette différence de phase est sensiblement le double de l'écart qui permettrait que

l'impulsion lumineuse en question soit transmise ou éliminée selon sa relation de temps avec le signal de synchronisation.

Les variations de phase susceptibles d'être obtenues dans les amplificateurs connus susceptibles de constituer l'amplificateur de boucle sont pratiquement limitées notamment lorsque la puissance du signal de synchronisation provoquant ces variations est elle même limitée. C'est pourquoi, dans le cadre de cette invention, il est souhaitable de donner au moins approximativement à la distance de décalage des valeurs optimales permettant d'atteindre les buts de cette invention avec l'aide de valeurs aussi petites que possible de ces variations de phase. C'est pourquoi, de préférence la distance de décalage L est comprise entre 80% et 120% dudit décalage nominal LN éventuellement augmenté du produit de ce décalage nominal par un nombre entier pair. Ceci peut être notamment exprimé par les inégalités

$$0,8 < L/LN - 2k < 1,2$$

k étant un nombre entier. Des valeurs optimales de décalage L sont approximativement données par l'expression : $(2k + 1) LN$. Les valeurs interdites de cette distance sont données par l'expression : $2k.LN$. Ces valeurs interdites sont celles pour lesquelles le dispositif ne pourrait pas fonctionner quelles que soient les caractéristiques de l'amplificateur de boucle et du signal de synchronisation. Les expressions donnant ces valeurs optimales et interdites deviennent exactes dans le cas où la modulation du signal de synchronisation provoque une variation sinusoïdale du déphasage introduit par l'amplification de boucle.

Selon un mode de réalisation typique la modulation du signal de synchronisation Y est sensiblement sinusoïdale.

De préférence le dispositif comporte en outre un filtre de longueurs d'onde F pour transmettre sélectivement à la sortie 4 la lumière présentant la longueur d'onde d'entrée.

De préférence encore la source de synchronisation 12 est pilotée par le train de solitons S par l'intermédiaire d'un coupleur de récupération d'horloge 16 et d'un guide 18 pour constituer un organe de récupération d'horloge. Cet organe est muni de moyens d'adaptation de phase 20 pour conférer au signal de synchronisation une phase adaptée à ce train de solitons.

La source de synchronisation 12 peut comporter tout d'abord un dispositif de récupération d'horloge analogue à celui décrit dans un article de S. Kawanishi et M. Saruwatari, intitulé New-type phase-locked loop using travelling-wave laser-diode optical amplifier for very high-speed optical transmission, Electronics Letters 10th November 1988 Vol. 24 N° 23, pp 1452-1453. Elle peut comporter ensuite un dispositif apte à donner une forme sinusoïdale et la fréquence voulue à l'enveloppe optique du signal résultant de la récupération d'horloge. Ce dernier dispositif peut être analogue à celui décrit dans un article de N. Onodera intitulé "THz optical beat frequency generation by modelocked semiconductor lasers", Electronics Letters 23rd May 1996 Vol.32 N° 11, pp 1013-1014.

A titre d'indications numériques on peut indiquer que la fréquence bit B peut être de l'ordre de 5 GHz, que la longueur de la boucle interférométrique peut être comprise entre 5 cm et 100 m environ, par exemple voisine de 5 m, et que le décalage temporel induit par la distance de décalage entre les instants où les deux composantes d'une impulsion rencontrent l'amplificateur de boucle peut être donné par l'expression $2 n L/c = 35 \text{ ps}$, par exemple, n étant l'indice de réfraction vu par ces composantes dans la fibre constituant la boucle interférométrique.

20

REVENDEICATIONS

1- Dispositif de régénération pour train de solitons, ce dispositif comportant :

-un guide optique (G) s'étendant entre d'une part une entrée (2) pour recevoir un train de solitons (S) à régénérer, d'autre part une sortie (4) pour fournir un train de solitons régénéré, ce train de solitons ayant une longueur d'onde d'entrée et présentant un rythme de sorte qu'il permet de définir des instants d'horloge de ce train se succédant à une fréquence bit B de ce train, un segment de ce guide constituant une boucle interférométrique (6), cette boucle étant fermée par un coupleur de bouclage (8) couplant ce guide à lui même à deux extrémités de cette boucle pour constituer un interféromètre de Sagnac, un point milieu (10) de cette boucle étant situé à égales distances de ces deux extrémités le long de ce guide,

-un amplificateur de boucle (A) constitué par un amplificateur laser à semiconducteur raccordé en série dans ladite boucle interférométrique, une distance étant présente entre cet amplificateur de boucle et ce point milieu le long de ce guide et constituant une distance de décalage (L), ladite distance de décalage L étant au moins égale à une valeur minimale valant 20% d'un décalage nominal LN tel que

$$LN = c/2B,$$

cette distance de décalage présentant une différence au moins égale à cette valeur minimale par rapport à des valeurs interdites égales au produit de ce décalage nominal par un nombre entier pair, c étant la vitesse de la lumière dans ledit guide,

-une source de synchronisation (12) fournissant un signal de synchronisation (Y) de nature optique définissant des instants d'horloge (H1....H4) pour ledit train de solitons, ce signal présentant une longueur d'onde de synchronisation et ayant une puissance variant selon une enveloppe optique de ce signal, cette enveloppe présentant une fréquence égale à la moitié de ladite fréquence bit et,

-des moyens (14) injectant ledit signal de synchronisation (Y) dans ledit amplificateur de boucle (A) pour y faire apparaître une modulation croisée entre lesdits solitons et ce signal de synchronisation, l'amplitude et la phase de ladite enveloppe du signal de synchronisation et une valeur moyenne de la puissance de ce signal étant telles que deux solitons parvenant à ladite entrée (2) et occupant deux instants d'horloge immédiatement successifs (H3,

H4) dudit train de solitons (S) soient transmis à ladite sortie (4) avec inversion de leur relation de phase optique.

2- Dispositif selon la revendication 1, ce dispositif étant caractérisé par le fait
5 que ladite distance de décalage (L) est comprise entre 80% et 120% dudit décalage nominal (LN) éventuellement augmenté du produit de ce décalage nominal par un nombre entier pair.

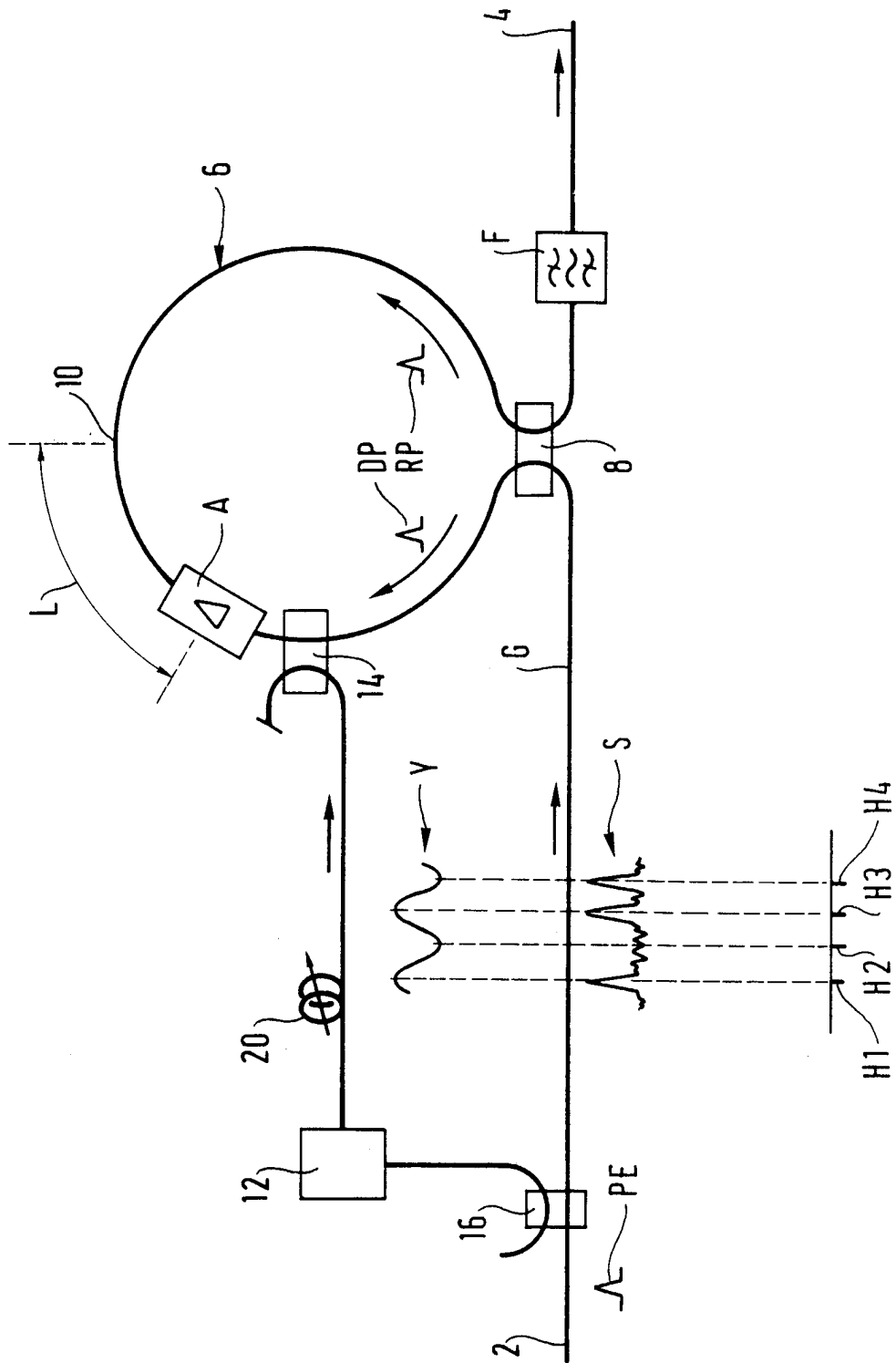
3- Dispositif selon la revendication 1, ce dispositif étant caractérisé par le fait
10 que ladite modulation du signal de synchronisation (Y) est sensiblement sinusoïdale.

4- Dispositif selon la revendication 1, ce dispositif comportant en outre un
15 filtre de longueurs d'onde (F) pour transmettre sélectivement à ladite sortie (4) la lumière présentant ladite longueur d'onde d'entrée.

5- Dispositif selon la revendication 1, ladite source de synchronisation (12)
étant pilotée par ledit train de solitons par l'intermédiaire d'un coupleur de
récupération d'horloge (16) et d'un guide (18) pour constituer un organe de
20 récupération d'horloge, cet organe étant muni de moyens d'adaptation de phase (20) pour conférer au dit signal de synchronisation une phase adaptée audit train de solitons.

6- Dispositif selon la revendication 1, ledit train de solitons constituant un
25 signal porteur d'information.

7- Procédé de régénération pour train de solitons, procédé selon lequel on
fait passer un train de solitons (S) dans un interféromètre de Sagnac (6) à
amplificateur semiconducteur décalé (A) et on commande cet amplificateur
30 par un signal de synchronisation optique (Y) modulé en amplitude à une fréquence moitié d'une fréquence bit de ce train, le décalage de cet amplificateur dans ledit interféromètre et les paramètres dudit signal de synchronisation étant tels que deux solitons adjacents dudit train soient transmis avec inversion de leur relation de phase optique.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 98/00926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02F1/35 H04B10/18

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 G02F

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.
Y	BIGO S ET AL: "Analysis of soliton in-line regeneration through two-wavelength nonlinear loop mirror as synchronous amplitude/phase modulator" ELECTRONICS LETTERS, 7 DEC. 1995, UK, vol. 31, no. 25, ISSN 0013-5194, pages 2191-2192, XP002052734 see the whole document ---	1-7
Y	EISELT M ET AL: "SLALOM: SEMICONDUCTOR LASER AMPLIFIER IN A LOOP MIRROR" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol. 13, no. 10, October 1995, pages 2099-2112, XP000604371 cited in the application see page 2099, paragraph I; figure 1 --- -/--	1-7

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

6 July 1998

10/07/1998

Name and mailing address of the ISA

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

Authorized officer

Galanti, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 98/00926

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>KANE M G ET AL: "ASYMMETRIC OPTICAL LOOP MIRROR: ANALYSIS OF AN ALL-OPTICAL SWITCH" APPLIED OPTICS, vol. 33, no. 29, 10 October 1994, pages 6833-6842, XP000473152 see the whole document</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1
A	<p>OKHOTNIKOV O G ET AL: "PULSE GENERATION THROUGH OPTICAL SWITCHING IN PHASE DRIVEN LOOP MIRROR" ELECTRONICS LETTERS, vol. 31, no. 25, 7 December 1995, page 2197/2198 XP000546813 cited in the application see the whole document</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1
A	<p>FRANCOIS P -L ET AL: "Reduction of averaged soliton interaction forces by amplitude modulation" OPTICS LETTERS, 15 APRIL 1993, USA, vol. 18, no. 8, ISSN 0146-9592, pages 583-585, XP002052735 cited in the application see abstract</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De le Internationale No
PCT/FR 98/00926

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 6 G02F1/35 H04B10/18		
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 G02F		
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 cela est 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
Y	BIGO S ET AL: "Analysis of soliton in-line regeneration through two-wavelength nonlinear loop mirror as synchronous amplitude/phase modulator" ELECTRONICS LETTERS, 7 DEC. 1995, UK, vol. 31, no. 25, ISSN 0013-5194, pages 2191-2192, XP002052734 voir le document en entier ---	1-7
Y	EISELT M ET AL: "SLALOM: SEMICONDUCTOR LASER AMPLIFIER IN A LOOP MIRROR" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol. 13, no. 10, octobre 1995, pages 2099-2112, XP000604371 cité dans la demande voir page 2099, alinéa I; figure 1 --- -/--	1-7
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input type="checkbox"/> 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 6 juillet 1998		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 10/07/1998
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale 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		Fonctionnaire autorisé Galanti, M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der e Internationale No

PCT/FR 98/00926

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités. avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>KANE M G ET AL: "ASYMMETRIC OPTICAL LOOP MIRROR: ANALYSIS OF AN ALL-OPTICAL SWITCH" APPLIED OPTICS, vol. 33, no. 29, 10 octobre 1994, pages 6833-6842, XP000473152 voir le document en entier ---</p>	1
A	<p>OKHOTNIKOV O G ET AL: "PULSE GENERATION THROUGH OPTICAL SWITCHING IN PHASE DRIVEN LOOP MIRROR" ELECTRONICS LETTERS, vol. 31, no. 25, 7 décembre 1995, page 2197/2198 XP000546813 cité dans la demande voir le document en entier ---</p>	1
A	<p>FRANCOIS P -L ET AL: "Reduction of averaged soliton interaction forces by amplitude modulation" OPTICS LETTERS, 15 APRIL 1993, USA, vol. 18, no. 8, ISSN 0146-9592, pages 583-585, XP002052735 cité dans la demande voir abrégé -----</p>	1