

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 28.08.03.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 04.03.05 Bulletin 05/09.

56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71) Demandeur(s) : FRANCE TELECOM Société ano-  
nyme — FR.

72) Inventeur(s) : CUENOT BENJAMIN.

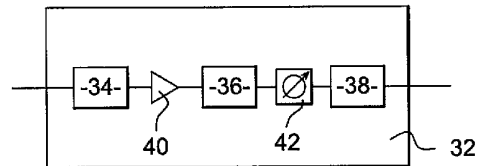
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET LHERMET LA BIGNE &  
REMY.

54) DISPOSITIF DE REGENERATION D'UN SIGNAL OPTIQUE ET PROCEDE CORRESPONDANT.

57) L'invention concerne notamment un dispositif (32) de  
régénération optique d'un signal porteur d'une information  
codée par modulation de phase de ce signal, ce signal étant  
transmis à travers un réseau optique (14) et comportant une  
succession temporelle d'impulsions optiques.

Le dispositif comporte un module (36) de déphasage  
non-linéaire des impulsions optiques, ce module de dé-  
phasage comportant un milieu de propagation optique non-  
dispersif et non-linéaire paramétré de manière à compenser  
l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique  
(14), induit sur la différence de phase entre impulsions suc-  
cessives.



La présente invention concerne un dispositif de régénération optique d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal. L'invention concerne également un procédé de régénération correspondant.

Plus précisément, l'invention concerne un dispositif de régénération optique  
5 d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal, ce signal étant transmis à travers un réseau optique et comportant une succession temporelle d'impulsions optiques.

Lorsqu'un signal est transmis dans une fibre optique, il subit un certain nombre de distorsions, par exemple des distorsions d'amplitude, de fréquence ou de  
10 phase. Afin de récupérer un signal le plus semblable possible au signal émis, il est alors nécessaire de placer un dispositif de régénération du signal à la sortie de la fibre optique.

On connaît déjà dans l'état de la technique, des dispositifs de régénération optique de l'amplitude des signaux, comme les absorbants saturables par exemple.

Or, les dispositifs de transmission optique actuels, permettant d'obtenir des  
15 débits de 40 Gbits/s ou plus, sont de plus en plus utilisés pour des signaux modulés en phase notamment par des modulations du type RZ-DPSK (Differential Phase Shift Keying). Dans ce type de modulation, l'information est codée dans la phase des signaux : par exemple, un bit "1" est codé par une inversion de phase du signal porteur et un "0" par une absence de changement de phase.

20 Les dispositifs de régénération optique actuels ne permettent pas d'obtenir une régénération correcte des signaux porteurs d'une information codée par modulation de phase puisqu'ils n'agissent que sur l'amplitude des signaux. Par conséquent, la distorsion de phase des signaux qui détériore l'information qu'ils transportent ne peut pas être supprimée ou du moins réduite.

25 L'invention a pour but de proposer un dispositif de régénération d'un signal, permettant la régénération des signaux porteurs d'une information codée par modulation de leur phase.

L'invention a donc pour objet un dispositif de régénération optique tel que décrit précédemment, caractérisé en ce qu'il comporte un module de déphasage non-  
30 linéaire des impulsions optiques, ce module de déphasage comportant un milieu de propagation optique non-dispersif et non-linéaire paramétré de manière à compenser l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique, induit sur la différence de phase entre impulsions successives.

Lorsque plusieurs impulsions successives sont transmises dans un milieu  
35 non-linéaire, on constate que des interactions non-linéaires entre impulsions successives provoquent des distorsions de phases de ces impulsions.

Afin de réduire l'effet de ces distorsions de phases subies par le signal transmis dans le réseau optique, un dispositif selon l'invention utilise un module de déphasage non-linéaire permettant de recréer des interactions entre impulsions successives. Les interactions entre impulsions successives deviennent alors telles que les  
5 distorsions de phases qu'elles induisent compensent celles subies par les impulsions lors de leur transmission dans le réseau optique.

Un dispositif selon l'invention permet donc de régénérer les phases des impulsions d'un signal dont l'information qu'il transporte est codée par modulation de phase.

10 Selon un mode de réalisation avantageux, le dispositif peut comporter un module d'élargissement linéaire des impulsions situé dans la chaîne de fonctionnement avant le module de déphasage, ce module d'élargissement comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire, et un module de compensation linéaire de l'élargissement subi par les impulsions dans le module d'élargissement linéaire, situé  
15 dans la chaîne de fonctionnement après le module de déphasage, ce module de compensation linéaire comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire.

En effet, les distorsions dues aux interactions entre impulsions voisines sont d'autant plus sensibles à la non-linéarité du milieu que les impulsions sont temporellement proches et/ou élargies.

20 Le module d'élargissement linéaire qui accroît la largeur temporelle des impulsions permet d'augmenter la sensibilité et l'efficacité du module de déphasage.

Le module de compensation linéaire permet, après avoir régénéré la phase du signal, de retrouver les largeurs initiales des impulsions.

25 De façon optionnelle, le dispositif de régénération peut comporter un amplificateur optique situé dans la chaîne de fonctionnement avant le module de déphasage.

Cet amplificateur permet au signal d'atteindre une puissance optique suffisante pour se propager dans le module de déphasage.

30 Pour que le module d'élargissement fonctionne de manière linéaire, il est préférable que la puissance optique injectée soit relativement faible. Il est donc conseillé de placer l'amplificateur optique entre le module d'élargissement et le module de déphasage en subissant les effets non-linéaires.

Un dispositif de régénération optique selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

35 - le dispositif comporte un atténuateur optique situé dans la chaîne de fonctionnement après le module de déphasage ;

- le dispositif comporte des moyens de régénération en amplitude, tel qu'un absorbant saturable ;

L'invention a également pour objet un procédé de régénération optique d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal, ce signal  
5 étant transmis à travers un réseau optique et comportant une succession temporelle d'impulsion optiques, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de déphasage non-linéaire des impulsions optiques, dans un module de déphasage comportant un milieu de propagation optique non-dispersif et non-linéaire paramétré de manière à compenser l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique, induit sur la différence de  
10 phase entre impulsions successives.

Un procédé de régénération optique selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le procédé comporte une étape d'élargissement linéaire des impulsions réalisée avant l'étape de déphasage par un module d'élargissement linéaire des  
15 impulsions comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire et une étape de compensation linéaire de l'élargissement subi par les impulsions lors de l'étape d'élargissement linéaire, cette étape étant réalisée après l'étape de déphasage par un module de compensation linéaire des impulsions comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire ;

20 - on amplifie le signal avant qu'il n'entre dans le module de déphasage ;  
- on atténue le signal après sortie du module de déphasage.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans  
lesquels :

25 - la figure 1 représente schématiquement la structure générale d'une installation de transmission optique d'impulsions comportant un dispositif de régénération optique selon l'invention ; et  
- la figure 2 illustre une représentation détaillée du dispositif de régénération optique de la figure 1.

30 On a représenté sur la figure 1 une installation de transmission optique d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal.

Cette installation comporte un dispositif d'émission 10, un dispositif de réception 12 et un réseau optique 14 de transmission du signal. Dans le mode de réalisation représenté, le réseau optique est constitué d'une fibre optique 14 de type  
35 classique.

L'information à transmettre du dispositif d'émission 10 vers le dispositif de réception 12 est codée en binaire.

Prenons par exemple la séquence "...00101110111...". Afin de permettre sa transmission dans la fibre optique 14, on module la phase d'un signal optique pour qu'il soit porteur de l'information à transmettre.

Pour cela le dispositif d'émission 10 comporte un générateur 18 d'impulsions optiques. Le dispositif d'émission 10 comporte en outre un modulateur de phase 16. Ce modulateur de phase 16 reçoit en entrée les impulsions optiques fournies par le générateur 18, ainsi qu'une séquence de valeurs de phase de ces impulsions déterminée à partir de la séquence "...00101110111...".

Les impulsions sont espacées d'une durée  $T_B$  que l'on nomme « temps bit » et présentent toutes le même spectre fréquentiel.

Le modulateur de phase 16 fournit en sortie des impulsions optiques à la même fréquence que les impulsions d'entrée, mais dont les phases sont porteuses de l'information.

Dans le mode de réalisation choisi, on utilise une modulation RZ-DPSK : un bit "1" est codé par une inversion de phase du signal porteur et un "0" par une absence de changement de phase. Ainsi, la séquence "...00101110111..." sera codée par la succession de valeurs de phase suivante : "...00 $\pi\pi$ 0 $\pi$ 00 $\pi$ 0 $\pi$ ...".

Pour obtenir automatiquement cette succession de valeurs de phase à partir de la séquence initiale, on utilise une porte logique « ou exclusif » 20, généralement appelée porte logique XOR. Les deux variables d'entrée de cette porte logique sont les données binaires à transmettre "...00101110111..." et les données binaires obtenues en sortie de cette porte après avoir subi un retard d'un temps bit. A l'initialisation, on considère que la sortie vaut 0. La séquence de bits obtenue en sortie de la porte logique 20 est alors : "...00110100101...".

Cette séquence de bits est ensuite envoyée dans un composant 22 qui multiplie par  $\pi$  la séquence de bits qui devient : "...00 $\pi\pi$ 0 $\pi$ 00 $\pi$ 0 $\pi$ ...". On obtient donc une séquence des phases valant 0 ou  $\pi$ , cette séquence étant fournie en entrée du modulateur de phase 16.

Les impulsions modulées sont ensuite transmises dans la fibre optique 14 jusqu'au dispositif de réception 12.

Notons  $E_{gaussien}(t)$  l'équation générale d'une impulsion optique fournie par le générateur 18. Cette impulsion est par exemple une impulsion d'enveloppe gaussienne.

Chaque impulsion transmise est égale à cette impulsion gaussienne, à la phase près notée  $\varphi(n)$  et au décalage temporel près. La  $n^{\text{ième}}$  impulsion, reçue à l'instant  $nT_B$  par le dispositif de réception 12 s'écrit donc :

$$E_n(t) = E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)e^{i\varphi(n)}.$$

5 La valeur de la phase  $\varphi(n)$  de la  $n^{\text{ième}}$  impulsion est donnée par la  $n^{\text{ième}}$  valeur de la séquence des phases.

Le dispositif de réception 12 comprend un détecteur optique 24 qui est sensible à l'intensité des signaux optiques et non pas à leur phase. Par conséquent, on crée à l'aide de coupleurs 3dB un dispositif de changement de modulation 26 permettant  
10 de transformer le signal modulé en phase en un signal modulé en amplitude.

Ce dispositif de changement de modulation 26 fonctionne de la façon suivante : les impulsions passent tout d'abord dans un premier coupleur 28 afin d'obtenir deux séquences d'impulsions identiques. L'une des deux séquences est ensuite retardée temporellement d'un temps bit  $T_B$ . Puis, les deux séquences sont additionnées dans un  
15 deuxième coupleur 30 qui réalise la somme entre deux impulsions successives :

$$E_{\text{final}}(t) = E_n(t) + E_{n-1}(t - T_B).$$

Ce qui donne, en développant cette équation :

$$E_{\text{final}}(t) = E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)e^{i\varphi(n)} + E_{\text{gaussien}}(t - T_B - (n-1)T_B)e^{i\varphi(n-1)}$$

$$E_{\text{final}}(t) = E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)e^{i\varphi(n)} + E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)e^{i\varphi(n-1)}$$

20 
$$E_{\text{final}}(t) = E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)(e^{i\varphi(n)} + e^{i\varphi(n-1)}).$$

Dans le cas où  $\varphi(n) = \varphi(n-1)$ , c'est-à-dire lorsque les deux impulsions successives ont la même phase, le signal final  $E_{\text{final}}$  vaut  $2E_{\text{gaussien}}(t - nT_B)e^{i\varphi(n)}$ . Il n'est pas nul, donc la puissance captée par le détecteur optique 24 n'est pas nulle. Cela correspond au cas où la  $n^{\text{ième}}$  impulsion porte l'information binaire "0".

25 Dans le cas où  $\varphi(n) = \varphi(n-1) + \pi$ , c'est-à-dire lorsque les deux signaux successifs sont en opposition de phase, le signal final  $E_{\text{final}}$  est nul, donc la puissance captée par le détecteur optique 24 est nulle. Cela correspond au cas où la  $n^{\text{ième}}$  impulsion porte l'information binaire "1".

Ce dispositif de changement de modulation permet donc effectivement de  
30 transformer le signal modulé en phase en un signal modulé en amplitude.

Le détecteur optique 24 interprète le signal final modulé en amplitude et permet de retrouver la séquence de bits d'origine.

Les fibres optiques ne sont cependant pas parfaites. Lors de la transmission, un bruit de phase perturbe le signal optique. A cause de ce bruit de phase, les valeurs des différences des phases des impulsions ne valent plus exactement 0 ou  $\pi$ , mais des valeurs bruitées proches de 0 ou  $\pi$ .

5 Par conséquent, aucune des deux équations  $\varphi(n) = \varphi(n-1)$  et  $\varphi(n) = \varphi(n-1) + \pi$  n'est vérifiée après passage du signal dans le deuxième convertisseur 30, et l'écart entre la valeur minimale et la valeur maximale du signal  $E_{final}$  est moins grand que dans le cas d'une transmission idéale.

10 Il est donc plus délicat pour le détecteur optique 24 de différencier les bits "0" des bits "1", et son taux d'erreurs de détection augmente.

Pour diminuer le taux d'erreurs lors du décodage, on place au bout de la fibre optique 14, avant le dispositif de réception 12, un dispositif 32 de régénération de la phase des impulsions. Ce dispositif de régénération de la phase des impulsions permet d'obtenir des impulsions dont les déphasages sont de nouveau approximativement de 15 0 ou  $\pi$ . Il sera détaillé en référence à la figure 2

Un modèle connu permet d'obtenir l'équation d'évolution d'une impulsion gaussienne au cours de sa transmission dans une fibre optique, en fonction de certains paramètres :

$$f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, t) = X_1 e^{-\frac{(t-X_2)^2}{X_3^2}} e^{i\left(\frac{X_4}{2}(t-X_2)^2 + X_5(t-X_2)\right)} e^{iX_6}.$$

20 Les paramètres de cette équation ont la signification suivante :

- $X_1$  représente l'amplitude de l'impulsion ;
- $X_2$  représente le décalage temporel de l'impulsion ;
- $X_3$  caractérise sa largeur ;
- $X_4$  représente une variation de fréquence du deuxième ordre couramment appelée "chirp" de l'impulsion ;
- 25 -  $X_5$  représente le décalage fréquentiel ; et
- $X_6$  représente le déphasage de l'impulsion.

Dans le cas d'un signal comportant une succession d'impulsions, on montre que la phase  $X_6$  d'une impulsion quelconque suit plus précisément l'équation différentielle 30 suivante :

$$\dot{X}_6 = \beta_2 \left( \frac{1}{X_3^2} - \frac{X_5^2}{2} \right) + \frac{5\gamma X_1^2}{4\sqrt{2}} + 5 \frac{\gamma X_3 X_5 \sqrt{\frac{2}{\pi}}}{X_1^2} \text{Re}[K_{d2} + K_{g2}]$$

dans laquelle  $\text{Re}[\ ]$  est la fonction partie réelle,  $\gamma$  est un coefficient caractéristique de la non-linéarité de la fibre optique dans laquelle se propage le signal, et  $K_{d2}$  et  $K_{g2}$  sont des facteurs caractéristiques des interactions entre impulsions voisines.

5 Le facteur  $K_{d2}$  caractérise les interactions entre l'impulsion considérée et l'impulsion la précédant, tandis que le facteur  $K_{g2}$  caractérise les interactions entre l'impulsion considérée et l'impulsion la suivant. Au premier ordre, ces deux facteurs sont donnés par les équations fournies en annexe.

Dans ces équations, les variables ont deux indices : le premier indice qui varie  
10 entre 1 et 6 reprend la notation adoptée précédemment dans l'équation d'évolution des impulsions gaussiennes. Le second indice vaut 1 lorsque la variable est relative à l'impulsion considérée, et 2 lorsque la variable est relative à l'impulsion voisine.

$\partial(\varphi)$  représente la différence de phase entre l'impulsion considérée et l'impulsion voisine.

15 Dans ces deux équations, on voit apparaître les termes  $X_{32}$  et  $X_{31}$  caractéristiques de la largeur des impulsions. Lorsque  $X_{31}$  et/ou  $X_{32}$  augmentent, c'est-à-dire lors de l'élargissement des impulsions, les termes  $K_{d2}$  et  $K_{g2}$  augmentent, favorisant ainsi les interactions non-linéaires entre impulsions.

L'équation différentielle donnant les distorsions subies par la phase comporte  
20 l'addition de trois termes. Le premier correspond aux effets linéaires de la fibre optique, le second à certains effets non-linéaires (auto-modulation de phase) et le troisième aux interactions non-linéaires entre impulsions voisines.

Le troisième terme révèle que la phase d'une impulsion est modifiée par une interaction non-linéaire avec les impulsions voisines.

25 Le dispositif de régénération selon l'invention utilise cette propriété pour agir sur les phases des impulsions. Afin d'augmenter la sensibilité des variations de phases aux interactions non-linéaires, il agit principalement sur les paramètres liés au troisième terme. Ces paramètres sont notamment le paramètre  $\gamma$ , le paramètre  $X_1$  et le paramètre  $X_3$ .

30 Le dispositif de régénération de phase 32 est représenté sur la figure 2 de façon détaillée.

Il comporte un module 34 d'élargissement linéaire d'impulsions recevant en entrée les impulsions transmises par la fibre optique 14. Ce module d'élargissement 34 comporte un milieu de propagation optique dispersif et linéaire. De façon pratique, il peut être constitué par une fibre optique classique, dans laquelle les impulsions sont élargies  
5 (paramètre  $X_3$ ).

Par exemple, pour un débit de 160 Gbit/s ou de 40 Gbit/s, on utilise avantageusement une fibre optique de dispersion totale égale à  $-2,72$  ps/nm, soit par exemple 30,2 mètres de fibre optique de type DCF de dispersion par unité de longueur égale à  $-90$  ps/nm/km.

10 Le dispositif de régénération de phase 32 comporte en outre un module 36 de déphasage non-linéaire des impulsions élargies par le module d'élargissement linéaire 34. Ce module de déphasage 36 reçoit donc en entrée les impulsions fournies par le module 34 d'élargissement linéaire. Il comporte un milieu de propagation optique non dispersif et non-linéaire destiné à compenser l'effet de la transmission du signal dans le réseau  
15 optique, induit sur la différence de phase entre impulsions successives.

De façon pratique, ce module de déphasage 36 est constitué d'une fibre optique présentant une forte non-linéarité.

De façon avantageuse, pour des débits de 40 Gbit/s ou 160 Gbit/s, on utilise une fibre de longueur égale à 2 km, de dispersion nulle à la longueur d'onde considérée,  
20 d'indice non-linéaire  $2,6 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$  et de diamètre de cœur égal à  $10 \mu\text{m}^2$  afin d'augmenter les effets non-linéaires.

Le dispositif de régénération de phase 32 comporte en outre un module 38 de compensation linéaire de l'élargissement subi par les impulsions dans le module d'élargissement linéaire 34. Ce module de compensation linéaire 38 comporte un milieu  
25 de propagation optique dispersif et linéaire. De façon pratique, il est constitué d'une fibre optique classique présentant une dispersion totale opposée à celle du module 34 d'élargissement linéaire, c'est-à-dire  $2,72$  ps/nm. De façon avantageuse, pour des débits de 40 Gbit/s ou 160 Gbit/s, on utilise 160 m de fibre optique de type SMF de dispersion par unité de longueur égale à  $17$  ps/nm/km.

30 Une telle fibre optique permet de retrouver les largeurs initiales des impulsions fournies par la fibre optique 14.

Pour augmenter les effets de non-linéarité du module de déphasage 36, on peut disposer entre le module 34 d'élargissement linéaire et le module 36 de déphasage, un amplificateur optique 40 permettant aux impulsions d'atteindre une puissance  
35 suffisante.

Dans ce cas, on peut alors aussi disposer entre le module de déphasage 36 et le module de compensation 38, un atténuateur 42 permettant de diminuer la puissance des impulsions, de sorte que celles-ci ne subissent pas de distorsion non-linéaire lors de leur propagation dans le module de compensation 38.

5 De façon avantageuse, on utilise un amplificateur optique de puissance de sortie égale à 13,5 dBm à 160 Gbit/s, et un amplificateur optique de puissance de sortie égale à 16,5 dBm à 40 Gbit/s. De même, on utilise de préférence un atténuateur de 15 dB à 40 Gbit/s ou à 160 Gbit/s.

10 La présence du dispositif de régénération 32 permet d'améliorer le taux d'erreur en sortie du dispositif de réception 12.

Ainsi, une simulation informatique de l'installation décrite précédemment avec les paramètres indiqués, montre que cette installation permet d'améliorer le facteur de qualité  $Q^2$  mesurant le taux d'erreurs en sortie de l'installation :

- 15 - d'environ 2,5 dB à 160 Gbit/s, lorsque l'on se situe au voisinage de  $Q^2 = 16$  dB ; et
- d'environ 3,05 dB à 40 Gbit/s, au voisinage de  $Q^2 = 16$  dB.

20 Il apparaît clairement qu'un dispositif de régénération optique selon l'invention permet de compenser les déphasages subis par des impulsions se propageant dans une fibre optique. En jouant sur les paramètres de largeur des impulsions ( $X_3$ ), grâce à un module d'élargissement linéaire d'une part, sur l'amplitude des impulsions ( $X_1$ ) grâce à la présence d'un amplificateur 40, et sur  $\gamma$  grâce à la présence du module de déphasage 36, on peut régler le dispositif de régénération optique 32 pour que ces effets de non-linéarité réduisent, voire compensent l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique 14.

25 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit précédemment.

En effet, on peut par exemple utiliser le dispositif de régénération 32 décrit précédemment en complément d'un autre dispositif de régénération, par exemple en amplitude, tel qu'un absorbant saturable, afin d'améliorer encore la qualité du signal reçu.

30

ANNEXE

$$\begin{aligned}
 K_{42} &= \frac{X_{12}^3 X_{11} \sqrt{2} \sqrt{\pi} e}{\left[ -\frac{(-X_{21} + T_0 - X_{22})^2}{X_{31}^2} - \frac{1}{2} I_{41} (-X_{21} + T_0 - X_{22})^2 - I(-X_{21} + T_0 - X_{22}) X_{51} \right] e} \left[ \frac{1}{-2} \left( \frac{I(-X_{21} + T_0 - X_{22})}{X_{31}^2} - X_{41} (-X_{21} + T_0 - X_{22}) + X_{52} + X_{51} \right)^2 \right] e^{(-I \varepsilon(\theta))} \\
 &= \frac{X_{12}^3 X_{11} \sqrt{2} \sqrt{\pi} e}{\sqrt{6 \frac{1}{X_{32}^2} + 2 \frac{1}{X_{31}^2} - I(X_{42} - X_{41})}} \left[ \frac{1}{-2} \left( \frac{I(-X_{22} - X_{21})}{X_{31}^2} - X_{41} (-X_{22} - X_{21}) + X_{51} + X_{52} \right)^2 \right] e^{(-I \varepsilon(\theta))} \\
 K_{52} &= \frac{X_{12}^4 \sqrt{2} \sqrt{\pi} e}{\sqrt{6 \frac{1}{X_{32}^2} + 2 \frac{1}{X_{31}^2} - I(X_{42} - X_{41})}}
 \end{aligned}$$

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif (32) de régénération optique d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal, ce signal étant transmis à travers un réseau optique (14) et comportant une succession temporelle d'impulsions optiques, caractérisé en ce qu'il comporte un module (36) de déphasage non-linéaire des impulsions optiques, ce module de déphasage comportant un milieu de propagation optique non-dispersif et non-linéaire paramétré de manière à compenser l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique (14), induit sur la différence de phase entre impulsions successives.
2. Dispositif de régénération optique selon la revendication 1 comportant en outre :
- un module (34) d'élargissement linéaire des impulsions situé dans la chaîne de fonctionnement avant le module de déphasage (36), ce module d'élargissement comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire ; et
  - un module (38) de compensation linéaire de l'élargissement subi par les impulsions dans le module d'élargissement linéaire (34), situé dans la chaîne de fonctionnement après le module de déphasage, ce module de compensation linéaire comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire.
3. Dispositif de régénération optique selon l'une des revendications 1 et 2, comportant un amplificateur optique (40) situé dans la chaîne de fonctionnement avant le module (36) de déphasage (36).
4. Dispositif de régénération optique selon la revendication 3, comportant un atténuateur optique (42) situé dans la chaîne de fonctionnement après le module (36) de déphasage.
5. Dispositif de régénération optique selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre des moyens de régénération en amplitude, tel qu'un absorbant saturable.
6. Procédé de régénération optique d'un signal porteur d'une information codée par modulation de phase de ce signal, ce signal étant transmis à travers un réseau optique (14) et comportant une succession temporelle d'impulsion optiques, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de déphasage non-linéaire des impulsions optiques, dans un module de déphasage (36) comportant un milieu de propagation optique non-dispersif et non-linéaire paramétré de manière à compenser l'effet de la transmission du signal dans le réseau optique (14), induit sur la différence de phase entre impulsions successives.

7. Procédé de régénération optique d'un signal selon la revendication 6, comportant en outre les étapes suivantes :

5                   – une étape d'élargissement linéaire des impulsions réalisé avant l'étape de déphasage par un module (34) d'élargissement linéaire des impulsions comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire ;

                  – une étape de compensation linéaire de l'élargissement subi par les impulsions lors de l'étape d'élargissement linéaire, cette étape étant réalisée après l'étape de déphasage par un module de compensation linéaire des impulsions comportant un milieu de propagation optique dispersif et linéaire.

10                 8. Procédé de régénération optique d'un signal selon la revendication 6 ou 7, dans lequel on amplifie le signal avant qu'il n'entre dans le module de déphasage (36).

                  9. Procédé de régénération optique d'un signal selon la revendication 8, dans lequel on atténue le signal après sortie du module de déphasage.

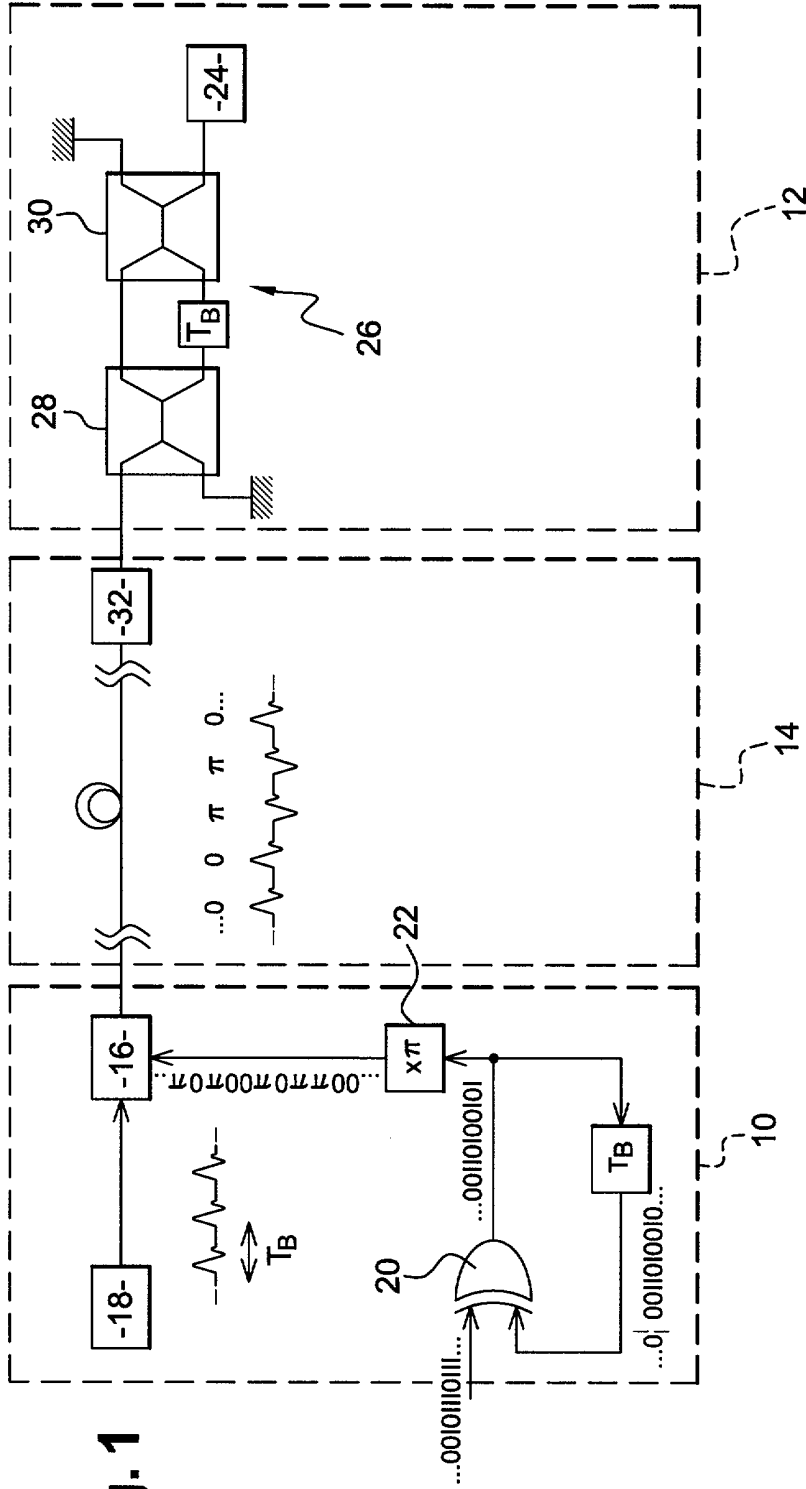


Fig. 1

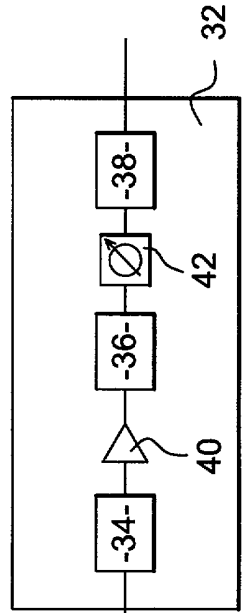


Fig. 2

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
X	LIU X ET AL: "IMPROVING TRANSMISSION PERFORMANCE IN DIFFERENTIAL PHASE-SHIFT-KEYED SYSTEMS BY USE OF LUMPED NONLINEAR PHASE-SHIFT COMPENSATION" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 27, no. 18, 15 septembre 2002 (2002-09-15), pages 1616-1618, XP001161776 ISSN: 0146-9592	1,3,6,8	H04B10/18 H04L27/18
Y	* page 1616, colonne de gauche, ligne 28 - ligne 30 * * page 1617, colonne de gauche, ligne 59 - ligne 62 * * page 1616, colonne de droite, ligne 14 - ligne 16 * * page 1617, colonne de gauche, ligne 1 - ligne 13 * * page 1617, colonne de droite, ligne 9 - ligne 11 * * figure 1 *	5	
Y	FR 2 776 131 A (NIPPON ELECTRIC CO) 17 septembre 1999 (1999-09-17)	5	
A	* page 21, ligne 29 - page 23, ligne 9; figures 4,6 *	2,7	
A	BANERJEE S ET AL: "Long-haul 6440&nbsp;Gbit&sol;s DWDM transmission over commercial fibre types with large operating margins" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 39, no. 1, 9 janvier 2003 (2003-01-09), pages 92-94, XP006019520 ISSN: 0013-5194 * figure 2 *	4,9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 avril 2004		Cochet, B	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**  
**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0310263 FA 638571**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **15-04-2004**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2776131 A	17-09-1999	JP 3226025 B2	05-11-2001
		JP 11261134 A	24-09-1999
		FR 2776131 A1	17-09-1999
-----			

EPO FORM P0485