

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication :

2 879 863

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

21) N° d'enregistrement national :

04 13635

51) Int Cl⁸ : H 04 B 10/18 (2006.01)

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 21.12.04.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.06 Bulletin 06/25.

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) : HIGHWAVE OPTICAL TECHNOLOGIES Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : MUGNIER ALAIN et PUREUR DAVID.

73) Titulaire(s) :

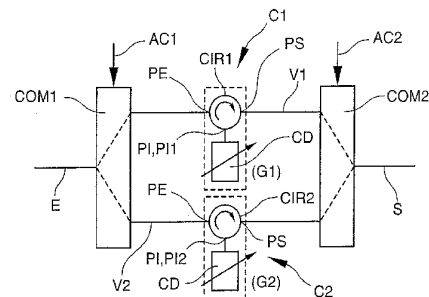
74) Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54) DISPOSITIF DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE.

57) L'invention concerne un dispositif de compensation de dispersion chromatique d'un signal optique, comportant une entrée (E) destinée à recevoir le signal optique et un premier compensateur (C1) de dispersion chromatique, accordable dans une gamme (G1).

Le dispositif est caractérisé en ce qu'il comporte en outre un deuxième compensateur (C2) de dispersion chromatique, et des commutateurs (COM1, COM2) du chemin optique du signal entre des premier et deuxième chemins situés entre l'entrée (E) et une sortie (S),

le premier compensateur (C1) étant dans le premier et/ou deuxième chemin, et le deuxième compensateur (C2) étant dans le deuxième ou premier chemin (V2, V1).



FR 2 879 863 - A1



L'invention concerne un dispositif de compensation de la dispersion chromatique d'un signal optique.

Un domaine d'application de l'invention est celui des télécommunications optiques par guides ou fibres optiques.

5 Un des problèmes posés par la transmission de signaux dans des guides optiques est la dispersion chromatique du signal optique transmis par ceux-ci par rapport au signal optique envoyé dans ceux-ci.

Ce phénomène est dû aux variations des caractéristiques du guide en fonction de la longueur d'onde du signal optique.

10 Ainsi, dans une fibre optique, l'indice dépend de la longueur d'onde.

La conséquence de ce phénomène est que la vitesse de groupe du signal (ou temps de propagation de groupe, ou retard de groupe), qui est égale par définition à la dérivée de la phase du signal par rapport à sa pulsation, dépend de la fréquence et n'est donc pas constante en fonction
15 de la fréquence.

Pour un signal impulsionnel, la dispersion chromatique se traduit par un élargissement temporel des impulsions et un recouvrement temporel des impulsions successives sur de longues distances de transmission, causant des erreurs de bits au récepteur. La dispersion chromatique est donc
20 d'autant plus grave que le débit binaire du signal est grand, et est particulièrement pénalisante à partir de 10 Gbit/s.

De nombreux dispositifs ont été créés pour compenser la dispersion chromatique.

Etant donné que la compensation de dispersion chromatique
25 nécessaire au niveau du récepteur pour maintenir une performance optimale du système peut varier dans le temps, il a fallu prévoir des compensateurs de dispersion, dont on peut commander la compensation de dispersion. Ces compensateurs de dispersion sont dits accordables et possèdent une gamme de compensation de dispersion, appelée ci-après

gamme de dispersion. La compensation de dispersion correspond à la pente de la courbe du retard de groupe en fonction de la longueur d'onde dans le compensateur, en picosecondes par nanomètre. La gamme de compensation de dispersion du compensateur correspond aux bornes entre
5 lesquelles la pente de la courbe du retard de groupe en fonction de la longueur d'onde peut être modifiée par commande extérieure. La compensation de dispersion et la gamme de compensation de dispersion sont en général valables dans une ou plusieurs plages de longueur d'onde. La gamme de compensation de dispersion traduit la différence de
10 compensation du retard de groupe par unité de longueur d'onde entre les deux extrémités d'une plage de longueur d'onde dans laquelle le compensateur est actif.

Ces compensateurs de dispersion accordables permettent de corriger la dispersion chromatique accumulée sur une ligne de transmission
15 de façon dynamique, par exemple dans les réseaux reconfigurables, notamment les réseaux métropolitains, pour tenir compte de l'ensemble des chemins accessibles au signal optique dans un nœud de routage, ou pour tenir compte des modifications des conditions environnementales (par exemple température, vibrations) perturbant les conditions de propagation
20 du signal optique en une variation lente de l'indice effectif des fibres.

Dans le domaine de l'instrumentation optique, un compensateur de dispersion chromatique accordable sur une large gamme présente également un fort intérêt. En effet, tous les composants et sous-systèmes d'équipements de télécommunication sont testés en laboratoire dans des
25 conditions proches de la réalité. Actuellement, ces tests sont menés avec différents tronçons de fibre pour simuler telle ou telle architecture optique. Cette solution est coûteuse, complexe et encombrante à mettre en œuvre. Les phénomènes liés à la dispersion peuvent être avantageusement simulés avec un dispositif émulateur de dispersion accordable. De même
30 que précédemment, plus la gamme d'accord sera importante, plus le composant pourra simuler des architectures avec de grandes longueurs de fibre. La reproductibilité des dispersions, la compacité et la capacité du

dispositif à générer des dispersions positives et négatives, sont des buts à atteindre dans ce domaine.

Les deux principales techniques connues pour réaliser des compensateurs de dispersion chromatique accordables sont le réseau de Bragg et l'interféromètre de Gires-Tournois (ou cavité étalon). Ci-dessous sont donnés des exemples de réalisation de compensateurs de dispersion chromatique accordables utilisant l'une ou l'autre de ces techniques.

Dans le document WO 2004/012365, le compensateur comporte un circulateur, comportant un port d'entrée recevant le signal optique incident, un port d'entrée / sortie pour envoyer le signal incident à un réseau de Bragg et recevoir le signal réfléchi par celui-ci, et un port de sortie du signal. Un dispositif d'accord de dispersion accorde le profil de dispersion caractéristique du réseau de Bragg en appliquant un gradient thermique à celui-ci. Un contrôleur de dispersion prélève une fraction du signal de sortie pour commander le dispositif d'accord de dispersion. La gamme de dispersion de ce compensateur va de -400 ps/nm à +400 ps/nm.

Le document WO 03/087906 décrit un procédé de réalisation d'un filtre accordable par application d'une force, comportant un réseau de Bragg. Est en outre décrit un système permettant de récupérer le signal filtré à la sortie d'un circulateur à trois ports, recevant sur son entrée le signal et relié par son port intermédiaire au filtre. Une boucle de réaction comprend un dispositif de mesure sensible à la réponse du filtre et un module commandé par ce dispositif de mesure pour contrôler la traction et la température du filtre.

Dans le document US 2003/0086168, le compensateur de dispersion accordable comporte un séparateur de faisceau, pour séparer le faisceau incident en deux sous-faisceaux, qui sont envoyés aux deux bras d'un interféromètre de Michelson, connectés entre eux par un réseau de Bragg.

Le document US 2003/0099019 décrit un système de compensation de dispersion, comportant des étages étalons mis en cascade, où le port de sortie de chaque étage étalon est couplé par deux circulateurs au port d'entrée de l'étage étalon suivant. Chaque étage étalon a un revêtement

réfléchissant frontal et un revêtement réfléchissant arrière. Dans l'un des étages étalons, le point d'incidence du chemin optique sur le revêtement réfléchissant frontal est déplaçable, ce qui permet de régler la réflectivité de celui-ci en réglant la position du point d'incidence. Le système est
5 accordable à des valeurs de dispersion allant de -500 ps/nm à +500 ps/nm.

Dans le document US 2002/0181106, des unités étalons sont couplées en cascade à un circulateur à ports multiples. Chaque unité étalon a une première surface réfléchissante recevant un signal incident et une deuxième surface réfléchissante, lesquelles traitent le signal selon une
10 fonction de dispersion basée sur la position incidente du signal.

Les dispositifs de l'état de la technique décrits ci-dessus présentent l'inconvénient d'avoir une gamme de compensation de dispersion relativement étroite.

On peut également citer les dispositifs à configuration HOM (en anglais « High Order Mode » pour fibres à modes d'ordre élevés) ou VIPA (en anglais « Virtual Image Phase Array » pour matrice de phase d'image virtuelle).
15

Dans les dispositifs à configuration HOM, un mode d'ordre supérieur d'une fibre légèrement multimode peut présenter une dispersion négative pouvant aller jusqu'à -800 ps/(nm.km) s'il est situé près de la coupure. On
20 réalise un compensateur de dispersion chromatique en utilisant des convertisseurs de mode de part et d'autre d'un tronçon de cette fibre, mais le compensateur ne peut être accordable que de façon discontinue.

Les systèmes optiques VIPA permettent de compenser une
25 dispersion entre -800 ps/nm et +800 ps/nm. Ils comportent une lentille de collimation, une lentille cylindrique, une lame de verre et une lentille de focalisation, pour focaliser la lumière sur un miroir tridimensionnel. Les différentes longueurs d'onde se réfléchissent en différents endroits du miroir. La valeur de la dispersion est accordable par déplacement du miroir.

30 Toutefois, ces deux solutions sont de structure complexe et sont encore plus coûteuses et encombrantes que les dispositifs précédents. En outre, elles sont moins flexibles que ceux-ci.

L'invention vise à obtenir un dispositif de compensation de la dispersion chromatique d'un signal optique, palliant les inconvénients précités de l'état de la technique et permettant d'augmenter la largeur de gamme sur laquelle la compensation peut être accordée.

5 A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de compensation de la dispersion chromatique d'un signal optique, comportant

- une entrée destinée à recevoir le signal optique et
- au moins un premier compensateur de dispersion chromatique, accordable dans une première gamme de compensation de dispersion

10 déterminée,

caractérisé en ce qu'il comporte en outre

- au moins un deuxième compensateur de dispersion chromatique, qui est accordable dans une deuxième gamme de compensation de dispersion déterminée,

15 - des commutateurs du chemin optique du signal entre au moins un premier chemin et un deuxième chemin, qui sont situés entre l'entrée et une sortie,

le premier compensateur se trouvant respectivement dans le premier et/ou deuxième chemin, et le deuxième compensateur se trouvant

20 respectivement dans le deuxième ou premier chemin.

Grâce à l'invention, on dispose d'au moins un degré de liberté pour sélectionner la compensation de dispersion par les commutateurs et atteindre des gammes de compensation importantes.

L'invention a également pour objet un dispositif de compensation de 25 la dispersion chromatique d'un signal optique, comportant

- une entrée destinée à recevoir le signal optique et
- au moins un premier compensateur de dispersion chromatique, accordable dans une première gamme de dispersion déterminée et prévu

sur le chemin optique du signal entre l'entrée et une sortie,

30 caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- au moins un deuxième compensateur de dispersion chromatique,
- au moins un troisième compensateur de dispersion chromatique, et

- des commutateurs du chemin optique du signal entre au moins un premier chemin et un deuxième chemin,
 - le premier chemin correspondant à la mise en série du premier compensateur et du troisième compensateur,
 - 5 le deuxième chemin correspondant à la mise en série du premier compensateur et du deuxième compensateur,
 - et les deuxième et troisième compensateurs étant accordables dans respectivement des deuxième et troisième gammes de dispersion déterminées et disjointes l'une de l'autre.
- 10 L'invention a également pour objet un dispositif de compensation de la dispersion chromatique d'un signal optique, comportant
 - une entrée destinée à recevoir le signal optique et
 - au moins un premier compensateur de dispersion chromatique, accordable dans une première gamme de dispersion déterminée et situé
 - 15 dans une première voie comprise dans le chemin optique du signal entre l'entrée et une sortie,
 - caractérisé en ce qu'il comporte en outre, en série avec la première voie et entre l'entrée et la sortie, des commutateurs du chemin optique du signal entre
 - 20 - au moins une deuxième voie comportant au moins un deuxième compensateur de dispersion chromatique, qui est accordable dans une deuxième gamme de compensation de dispersion déterminée, et
 - au moins une troisième voie de dispersion non comprise dans la deuxième gamme de dispersion.
- 25 Suivant d'autres caractéristiques de l'invention,
 - la troisième voie possède une dispersion chromatique sensiblement nulle ;
 - la troisième voie est exempte de compensateur de dispersion chromatique ;
 - 30 - ou la troisième voie comporte au moins un troisième compensateur de dispersion chromatique, accordable dans une troisième gamme de

compensation de dispersion déterminée, qui est disjointe par rapport à la deuxième gamme de compensation de dispersion ;

Suivant un mode de réalisation, les commutateurs sont aptes à commuter en plus une voie supplémentaire de dispersion chromatique sensiblement nulle et, dans ce dernier cas, les commutateurs sont par exemple chacun composés de deux commutateurs entre deux positions.

Suivant un autre mode de réalisation de l'invention, entre l'entrée et la sortie et en série avec les commutateurs de la deuxième voie et de la troisième voie sont prévus des commutateurs de la première voie et d'une quatrième voie de dispersion différente de la gamme de compensation de dispersion de la première voie.

La quatrième voie possède une dispersion chromatique sensiblement nulle, ou la quatrième voie comporte au moins un quatrième compensateur de dispersion chromatique, accordable dans une quatrième gamme de compensation de dispersion déterminée, qui est disjointe par rapport à la première gamme de dispersion.

Dans un autre mode de réalisation, le dispositif de compensation de la dispersion chromatique comporte au moins:

un commutateur de l'entrée sur soit la première voie comportant le premier compensateur, soit sur la quatrième voie comportant le quatrième compensateur,

un commutateur relié aux première et quatrième voies, permettant la commutation soit de la première voie vers une première sortie intermédiaire, soit de la quatrième voie vers la première sortie intermédiaire, soit de la première voie vers une deuxième sortie intermédiaire, soit de la quatrième voie vers la deuxième sortie intermédiaire,

un commutateur relié à la deuxième sortie intermédiaire pour commuter celle-ci soit sur la troisième voie contenant le troisième compensateur, soit sur la deuxième voie contenant le deuxième compensateur,

un commutateur relié à une troisième sortie intermédiaire pour commuter vers cette troisième sortie intermédiaire soit la troisième voie, soit la deuxième voie,

un commutateur relié à la sortie et commutant soit la première sortie
5 intermédiaire, soit la troisième sortie intermédiaire sur cette sortie.

Suivant d'autres caractéristiques de l'invention,

- les gammes de compensation de dispersion chromatique globales associées aux chemins forment une plage de compensation de dispersion chromatique, continue entre une borne inférieure et une borne supérieure ;

10 - les compensateurs comportent un réseau de Bragg, ou une cavité étalon ;

- au moins une paire des compensateurs comporte un réseau de Bragg commun, attaqué par des extrémités opposées sur chaque compensateur de la paire ;

15 - au moins une paire des compensateurs situés entre les commutateurs comporte des gammes de compensation de dispersion opposées ;

- les compensateurs ont des gammes de compensation de dispersion de même largeur ;

20 - les commutateurs comportent chacun au moins un accès de commande de commutation depuis l'extérieur ;

- les accès de commande de commutation sont pilotés par logiciel ;

- au moins un amplificateur optique est prévu entre l'entrée et la sortie ;

25 - l'amplificateur optique est à gain ajustable.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

30 - la figure 1 représente schématiquement un premier mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,

- la figure 2 représente schématiquement le premier mode de réalisation comportant un seul réseau de Bragg,
- la figure 3 représente schématiquement un deuxième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant
5 l'invention,
- la figure 4 représente schématiquement un exemple comparatif de dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,
- la figure 5 représente schématiquement un troisième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant
10 l'invention,
- la figure 6 représente schématiquement un quatrième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,
- la figure 7 représente schématiquement un cinquième mode de
15 réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,
- la figure 8 représente schématiquement un sixième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,
- 20 - la figure 9 représente schématiquement un septième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,
- la figure 10 représente schématiquement un huitième mode de réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant
25 l'invention,
- la figure 11 représente les différents chemins possibles du signal dans le huitième mode de réalisation de la figure 10, et les gammes de dispersion associées à ces chemins,
- la figure 12 représente schématiquement un neuvième mode de
30 réalisation du dispositif de compensation de dispersion chromatique suivant l'invention,

- la figure 13 représente schématiquement la courbe de transmission et trois courbes du retard de groupe du signal pour des accords de -300 ps/nm, 0 ps/nm et +3000 ps/nm du neuvième mode de réalisation de la figure 12,

5 - la figure 14 représente schématiquement la courbe de transmission et trois courbes du retard de groupe du signal pour des accords de -400 ps/nm, 0 ps/nm et +400 ps/nm de l'exemple comparatif de la figure 4 pour deux compensateurs élémentaires en cascade, et

- la figure 15 représente schématiquement la courbe de transmission
10 et trois courbes du retard de groupe du signal pour des accords de -400 ps/nm, -600 ps/nm et -800 ps/nm de l'exemple comparatif de la figure 4 pour un seul compensateur élémentaire.

Dans les modes de réalisation représentés aux figures, le dispositif de compensation suivant l'invention comporte une entrée E destinée à être
15 connectée à une fibre optique transportant un signal optique, une sortie S et des moyens de compensation de dispersion chromatique entre l'entrée E et la sortie S.

Dans ce qui suit, les moyens de compensation de dispersion chromatique comprennent des compensateurs individuels de dispersion
20 chromatique, apte à compenser le retard de groupe du signal envoyé sur leur accès d'entrée, d'une valeur de compensation pouvant être sélectionnée ou accordée de l'extérieur dans une gamme de compensation de dispersion déterminée, ainsi que cela est représenté par les flèches en oblique aux figures, des moyens de contrôle de la valeur de compensation
25 de dispersion étant prévus à cet effet sur le compensateur. Ces compensateurs individuels de dispersion chromatique peuvent être de tout type connu et être le cas échéant de types différents les uns des autres. Aux figures, à titre d'exemple illustratif, chaque compensateur de dispersion chromatique est réalisé par un compensateur dit élémentaire, constitué
30 principalement d'un composant dispersif CD et d'un circulateur multi-port CIR, dont un port PE d'entrée et un port PS de sortie forment respectivement l'accès d'entrée et l'accès de sortie du compensateur, et

dont un port intermédiaire PI est relié au composant dispersif élémentaire CD, apte à compenser la dispersion chromatique du signal qui lui est envoyé par ce port intermédiaire PI, de la valeur de compensation accordée dans la gamme de compensation. Ce composant dispersif élémentaire CD
5 fonctionne par exemple en réflexion, pour renvoyer au port intermédiaire PI le signal corrigé de la valeur de compensation accordée sur ce composant. Ce composant dispersif élémentaire est par exemple un réseau de Bragg à pas variable. Ce pourrait être également un interféromètre de Gires-Tournois. Le circulateur pourrait être remplacé par tout autre moyen de
10 couplage. Le composant dispersif élémentaire a par exemple une gamme de compensation continue entre une borne inférieure, typiquement de quelques centaines de ps/nm, et une borne supérieure allant typiquement jusque 1500 à 2000 ps/nm. Typiquement et actuellement, la borne supérieure de la gamme de compensation a le même signe que sa borne
15 inférieure, sans comprendre le zéro de dispersion. Les différents compensateurs peuvent avoir des gammes opposées et/ou de même largeur, par exemple lorsqu'il se trouvent entre de mêmes commutateurs entre les voies où ils se trouvent.

Suivant l'invention, le dispositif comporte un nombre n supérieur ou
20 égal à 2 de voies possibles pour le chemin optique du signal, allant de l'entrée E à la sortie S, et des commutateurs aptes à être commandés de l'extérieur pour faire passer le chemin optique du signal par l'une de ces voies. Les commutateurs sont commandés de l'extérieur chacun sur leur accès de commande par exemple par un logiciel approprié de pilotage de
25 leur fonctionnement.

PREMIER MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 1 sont prévues, parmi ces n voies, deux voies V1, V2, avec dans la voie V1 un
30 compensateur C1 de dispersion et dans l'autre voie V2 un autre compensateur C2 de dispersion. Un commutateur COM1 de l'entrée E vers l'une sélectionnée des deux première et deuxième voies V1, V2 (du type

commutateur 1 vers 2), et un commutateur COM2 de la voie sélectionnée parmi les deux voies V1, V2 vers la sortie S (du type commutateur 2 vers 1) sont prévus, la sélection de la voie V1 ou V2 reliée entre l'entrée E et la sortie S étant opérée par un accès de commande extérieure de commutation AC1, AC2, prévu respectivement sur les commutateurs COM1 et COM2. Ainsi, lorsque la voie V1 est sélectionnée sur les commutateurs COM1 et COM2, le signal passe par le premier chemin optique allant de l'entrée E, au commutateur COM1, à la voie V1, au commutateur COM2 et à la sortie S et, lorsque la voie V2 est sélectionnée sur les commutateurs COM1 et COM2, le signal passe par le deuxième chemin optique allant de l'entrée E, au commutateur COM1, à la voie V2, au commutateur COM2 et à la sortie S.

Les voies sont orientées d'une manière générale dans le sens allant de l'entrée E à la sortie S et, dans le cas des voies comportant un ou plusieurs compensateurs, dans le sens allant de l'accès d'entrée à l'accès de sortie des compensateurs. A la figure 1, les voies du chemin optique, pouvant être prévues en plus de V1 et V2 et pouvant comporter également un compensateur, ne sont pas représentées.

Les compensateurs C1, C2 possèdent respectivement des gammes G1 et G2 de compensation de dispersion, différentes l'une de l'autre. Ces gammes G1 et G2 peuvent avoir des parties communes ou, ainsi que cela sera supposé être le cas ci-dessous, être disjointes.

La voie V1, le compensateur C1 et la gamme G1 jouent le rôle de première voie V1, de premier compensateur C1 et de première gamme G1, tandis que la voie V2, le compensateur C2 et la gamme G2 jouent le rôle de deuxième voie V2, de deuxième compensateur C2 et de deuxième gamme G2.

Par exemple, la gamme G1 de C1 va de -1500 ps/nm à -750 ps/nm et la gamme G2 de C2 va de +750 ps/nm à +1500 ps/nm. Ainsi, la gamme de compensation globale du dispositif de la figure 1 a une largeur de 1500 ps/nm.

Ainsi que cela est représenté à la figure 2 et d'une manière générale pour les modes de réalisation de l'invention, les compensateurs C1 et C2 situés entre de mêmes commutateurs COM1, COM2 peuvent être réalisés par des compensateurs élémentaires ayant comme composant dispersif
5 élémentaire CD un réseau de Bragg commun, attaqué par des extrémités E1, E2 opposées. Le réseau de Bragg CD est relié par une première extrémité E1 au port intermédiaire PI1 du circulateur CIR1 du compensateur C1, et par sa deuxième extrémité E2, éloignée de la première extrémité E1, au port intermédiaire PI2 du circulateur CIR2 du
10 compensateur C2. Ainsi, le réseau CD compense la dispersion d'une valeur +VD dans la voie V1 et de la valeur opposée -VD dans la voie V2, et dans ce cas les gammes G1 et G2 sont de valeurs opposées.

DEUXIEME MODE DE REALISATION

15 Dans le mode de réalisation représenté à la figure 3, le dispositif de compensation est basé sur celui décrit ci-dessus en référence à la figure 1, et comporte en plus, en série avec l'ensemble formé par les commutateurs COM1, COM2 et les voies V1, V2 pouvant être commutées entre ceux-ci, une voie V3 de passage du signal optique entre l'entrée E et la sortie S.
20 Cette voie V3 est donc située entre l'entrée E et le commutateur COM1, ainsi que cela est représenté à la figure 3, ou entre le commutateur COM2 et la sortie S. Dans la voie V3 se trouve un compensateur C3 de dispersion, accordable dans une gamme G3 de compensation de dispersion.

La voie V1, le compensateur C1 et la gamme G1 jouent le rôle de
25 troisième voie V1, de troisième compensateur C1 et de troisième gamme G1. La voie V2, le compensateur C2 et la gamme G2 jouent le rôle de deuxième voie V2, de deuxième compensateur C2 et de deuxième gamme G2. La voie V3, le compensateur C3 et la gamme G3 jouent le rôle de première voie V3, de premier compensateur C3 et de première gamme G3.
30 Le premier chemin optique passe donc par la première voie V3 et la troisième voie V1 lorsque la voie V1 est sélectionnée sur les commutateurs COM1 et COM2, tandis que le deuxième chemin optique passe par la

première voie V3 et la deuxième voie V2 lorsque la voie V2 est sélectionnée sur les commutateurs COM1 et COM2.

Ainsi, si $G1 = [a, b]$, $G2 = [c, d]$ et $G3 = [e, f]$,

avec $b > a$, $d > c$, $f > e$,

- 5 la gamme de compensation globale du dispositif sera $G = [a+e, b+f] \cup [c+e, d+f]$, ayant une largeur globale de $(b+f-a-e) + (d+f-c-e)$, pour respectivement les premier et deuxième chemins optiques.

La somme des largeurs individuelles des gammes G1, G2, G3 des compensateurs individuels étant $(b-a) + (d-c) + (f-e)$, le dispositif aura un gain GL en largeur de gamme de compensation de dispersion, défini par la
 10 largeur globale des chemins optiques sur la somme des largeurs individuelles, égal à

$$GL = 1 + (f-e)/(b-a+d-c+f-e)$$

qui sera donc supérieur à un.

- 15 Ainsi, il s'ensuivra un gain en largeur de compensation de dispersion plus grand que dans le cas d'une simple mise en série de deux ou trois compensateurs C'1, C'2, C'3, représentée à la figure 4, qui n'a qu'un gain en largeur GL égal à un. Ainsi, dans l'exemple numérique où $a = e = + 750$ ps/nm, $b = f = + 1500$ ps/nm, $c = -1500$ ps/nm et $d = -750$ ps/nm, $GL = 1,33$
 20 à la figure 3, contre 1 à la figure 4.

Dans chaque mode de réalisation, le gain GL correspond au gain réel en largeur de compensation de dispersion, lorsque les gammes globales des différents chemins optiques sont disjointes, ou n'ont qu'une borne supérieure ou inférieure en commun.

- 25 Les gammes G1, G2, G3 sont par exemple telles que la gamme globale du premier chemin passant par la voie V3 et la voie V1, est continue avec la gamme globale passant par la voie V3 et la voie V2, c'est-à-dire que la gamme globale du premier chemin a une borne supérieure ou inférieure, ou une portion, qui est commune avec la gamme globale du
 30 deuxième chemin, pour que les gammes globales couvrent un seul intervalle complet. Pour ce faire, dans le cas précédent, les gammes G1, G2, G3 doivent respecter la condition $c+e \leq b+f$ et $d > b$, pour que la

gamme globale de V3, V2 suive la gamme globale de (V3, V1), ou inversement $a+e \leq d+f$ et $c < a$, pour que la gamme globale de (V3, V1) suive la gamme globale de (V3, V2). Pour $c+e=b+f$ et $d>b$, la gamme globale du deuxième chemin commence là ou s'arrête la gamme globale du premier chemin, et inversement pour $a+e=d+f$ et $c<a$, la gamme globale du premier chemin commence là ou s'arrête la gamme globale du deuxième chemin. Dans ces deux cas, le gain réel en largeur de compensation de dispersion correspond au gain GL.

En outre, d'une manière générale, on peut obtenir un chemin ayant une gamme globale de compensation de dispersion contenant le zéro de dispersion, et pouvant être centrée sur le zéro de dispersion, par exemple en prévoyant au moins une gamme de compensation positive et au moins une gamme de compensation négative pour les compensateurs individuels traversés par ce chemin.

15

TROISIEME MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 5, basé sur celui décrit ci-dessus en référence à la figure 3, le compensateur C1 est omis et remplacé par une simple ligne LT de transmission dans la voie V1 entre les commutateurs COM1 et COM2. Ainsi la voie V1 située entre les commutateurs COM1 et COM2 a une compensation de dispersion nulle, et la gamme globale de compensation de dispersion de l'entrée E à la sortie S est égale à la gamme G3 du compensateur C3 pour le premier chemin passant par la voie V3 et la voie V1. Dans ce cas, on a dans ce qui précède $a = b = 0$, et le gain GL en largeur de gamme de compensation de dispersion est égal à

25

$$GL = 1 + (f-e)/(d-c+f-e),$$

soit $GL = 1,5$ dans l'exemple numérique précédent.

La condition de continuité sera donc vérifiée pour $c+e \leq f$ et $d > 0$, pour que la gamme globale du deuxième chemin passant par la voie V3 et la voie V2 suive la gamme globale du premier chemin passant par la voie V3 et la voie V1, ou inversement $e \leq d+f$ et $c < 0$, pour que la gamme

30

globale du premier chemin passant par la voie V3 et la voie V1 suive la gamme globale du deuxième chemin passant par la voie V3 et la voie V2.

QUATRIEME MODE DE REALISATION

5 Dans le mode de réalisation représenté à la figure 6, une voie supplémentaire LT à compensation de dispersion nulle, analogue à la voie LT décrite ci-dessus, est rajoutée entre les commutateurs COM1 et COM2 par rapport au mode de réalisation de la figure 3, pour pouvoir être commutée par ceux-ci dans un troisième chemin optique, passant donc par
10 la voie V3 et cette voie LT (le commutateur COM1 étant dans ce cas un commutateur 1 vers 3 et le commutateur COM2 étant un commutateur 3 vers 1). La gamme globale de compensation du signal de ce troisième chemin optique est donc égale à G3.

Le gain GL en largeur de gamme de compensation de dispersion est
15 alors égal à

$$GL = 1 + 2(f-e)/(b-a+d-c+f-e)$$

et sera donc plus grand que dans les modes de réalisation précédents. Ainsi dans l'exemple numérique ci-dessus, GL = 1,66.

Les conditions de continuité des gammes globales de
20 compensations des premier, deuxième et troisième chemins empruntant respectivement la voie V1, V2 et LT sélectionnée se déduisent de celles des deux modes de réalisation précédents, le rôle des voies V1 et V2, et donc des gammes G1 et G2 pouvant être permuté dans celles-ci.

CINQUIEME MODE DE REALISATION

25 Dans le mode de réalisation représenté à la figure 7, équivalent à celui représenté à la figure 6, le commutateur COM1 est remplacé par un premier commutateur COM11 de la voie V3 d'une part vers la voie LT et d'autre part vers l'entrée E12 d'un deuxième commutateur COM12,
30 assurant quant à lui la commutation entre les voies V1 et V2. Inversement, le commutateur COM2 est remplacé par un troisième commutateur COM21 assurant la commutation des voies V1 et V2 sur sa sortie S21, et un

quatrième commutateur COM22, assurant la commutation de la voie LT et de la sortie S21 vers la sortie S. Ces commutateurs COM11, COM12, COM21, COM22 ont respectivement un accès de commande extérieure de commutation AC11, AC12, AC21, AC22, les commutateurs COM11 et
5 COM12 étant dans ce cas chacun un commutateur 1 vers 2, et les commutateurs COM21 et COM 22 étant chacun un commutateur 2 vers 1.

SIXIEME MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 8, reprenant celui
10 de la figure 3, les commutateurs COM1 et COM2 des voies V1 et V2 sont mis en série avec d'autres commutateurs COM3 et COM4 du même type permettant de sélectionner soit la voie V3, soit la quatrième voie V4 entre ces commutateurs COM3 et COM4. Ainsi, quatre chemins optiques sont prévus entre l'entrée E et la sortie S : le premier chemin passant par la voie
15 V1 et la voie V3, le deuxième chemin passant par la voie V2 et la voie V3, le troisième chemin passant par la voie V1 et la voie V4, le quatrième chemin passant par la voie V2 et la voie V4. A la figure 8, la quatrième voie V4 contient un quatrième compensateur C4 de dispersion de retard de groupe, de gamme G4 de compensation de dispersion, par exemple égale
20 à [g, h], différente de la gamme G3. Le gain GL en largeur de gamme de compensation de dispersion est alors égal à 2, supérieur à celui des modes de réalisation précédents. La gamme de compensation globale des quatre chemins peut être réglée de manière continue par un choix correspondant des gammes des compensateurs.

25

SEPTIEME MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 9, reprenant celui de la figure 8, le quatrième compensateur C4 est remplacé par la ligne LT de dispersion nulle décrite ci-dessus dans la voie V4, ayant également un
30 gain $GL = 2$.

HUITIEME MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 10, reprenant celui de la figure 8, le dispositif comprend :

- le commutateur COM3 de l'entrée E, permettant de commuter soit sur la voie V3 comportant le compensateur C3, soit sur la voie V4 comportant le compensateur C4,
- un commutateur COM5 (du type commutateur 2 vers 2) permettant d'effectuer l'une des commutations suivantes : la voie V3 vers une sortie S51 (première sortie intermédiaire S51), la voie V4 vers la sortie S51, la voie V3 vers une autre sortie S52, la voie V4 vers la sortie S52 (deuxième sortie intermédiaire S52),
- le commutateur COM1 relié à la sortie S52 pour commuter cette sortie S52 soit sur la voie V1 contenant le compensateur C1, soit sur la voie V2 contenant le compensateur C2,
- le commutateur COM2 relié à la sortie S21 (troisième sortie intermédiaire S21) pour commuter vers cette sortie S21 soit la voie V1 contenant le compensateur C1, soit la voie V2 contenant le compensateur C2,
- un commutateur COM6 relié à la sortie S et commutant soit la sortie S51, soit la sortie S21 sur cette sortie S (commutateur du type 2 vers 1).

Les commutateurs COM3, COM5, COM1, COM2, COM6 sont aptes à être commandés par des accès de commande extérieure AC3, AC5, AC1, AC2, AC6, pour faire passer le signal par l'un des six chemins suivants de l'entrée E à la sortie S : le premier chemin 1 passant par la voie V3 et la voie V1, le deuxième chemin 2 passant par la voie V3 et la voie V2, le troisième chemin 3 passant par la voie V4 et la voie V1, le quatrième chemin 4 passant par la voie V4 et la voie V2, le cinquième chemin 5 passant par la voie V3 et la sortie S51, le sixième chemin 6 passant par la voie V4 et sortie S51.

Le gain GL en largeur de gamme de compensation de dispersion est égal à

$$GL = 2 + (f-e+h-g)(f-e+h-g+b-a+d-c)$$

et est donc supérieur à celui des modes de réalisation précédents.

Dans l'exemple numérique où $a = e = + 750$ ps/nm, $b = f = + 1500$ ps/nm, $c = g = -1500$ ps/nm et $d = h = -750$ ps/nm, $GL = 2,5$.

Ce cas est illustré à la figure 11, représentant les différentes gammes globales des chemins 1, 2, 3, 4, 5, 6. La gamme de compensation globale réelle du dispositif sera dans ce cas continue de -3000 ps/nm à $+3000$ ps/nm, et représente un gain réel en largeur de compensation de dispersion, par rapport à la somme des largeurs des gammes individuelles des compensateurs C1, C2, C3, C4, égal à $6000/3000 = 2$. Ce gain réel est inférieur au gain GL car on peut remarquer que les chemins 3 et 4 ont la même gamme globale de -750 ps/nm à $+750$ ps/nm.

NEUVIEME MODE DE REALISATION

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 12, analogue à celui de la figure 10, les compensateurs C1 et C2 sont réalisés par des compensateurs élémentaires ayant comme composant dispersif élémentaire CD1 un réseau de Bragg commun, attaqué par des extrémités E1, E2 opposées, reliées respectivement au port intermédiaire PI1, PI2 de leur circulateur CIR1, CIR2, et les compensateurs C3 et C4 sont réalisés par des compensateurs élémentaires ayant comme composant dispersif élémentaire CD2 un autre réseau de Bragg commun, attaqué par des extrémités E3, E4 opposées, reliées respectivement au port intermédiaire PI3, PI4 de leur circulateur CIR3, CIR4. La gamme G1 est donc de signe opposé à la gamme G2, et la gamme G3 est de signe opposé à la gamme G4. On réalise ainsi un gain réel double en largeur de compensation de dispersion à l'aide de seulement deux éléments dispersifs ayant chacun une largeur de compensation de 750 ps/nm dans l'exemple ci-dessus.

La transmission R et le retard de groupe TPG du dispositif selon le huitième mode de réalisation sont représentés à la figure 13. La courbe du retard de groupe en fonction de la longueur d'onde est donnée pour trois accords différents de dispersion des compensateurs dans la gamme globale à -3000 ps/nm, 0 ps/nm et $+3000$ ps/nm, ces accords de dispersion correspondant à la pente des courbes. En faisant varier la valeur de réglage

de la compensation des différents compensateurs dans leur gammes individuelles G1, G2, G3, G4, on fait donc varier la pente des courbes entre -3000 ps/nm et +3000 ps/nm, soit sensiblement plus qu'à la figure 14 pour les deux compensateurs élémentaires en cascade de la figure 4, ayant une
5 gamme de compensation de dispersion allant de -400 ps/nm et + 400 ps/nm, et plus qu'à la figure 15 pour un seul compensateur élémentaire de la figure 4, ayant une gamme de compensation de dispersion allant de -800 ps/nm à -400ps/nm.

10 D'une manière générale, un amplificateur optique peut être prévu entre l'entrée E et la sortie S pour amplifier le signal avant son envoi à cette sortie S, pour compenser les pertes du dispositif. Cet amplificateur est par exemple à gain ajustable pour compenser la variation des pertes se produisant lorsque l'on accorde la compensation de dispersion des
15 compensateurs.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique d'un signal optique, comportant

- 5 - une entrée (E) destinée à recevoir le signal optique et
 - au moins un premier compensateur (C1, C3) de dispersion chromatique, accordable dans une première gamme (G1, G3) de compensation de dispersion déterminée,

 caractérisé en ce qu'il comporte en outre

- 10 - au moins un deuxième compensateur (C2) de dispersion chromatique, qui est accordable dans une deuxième gamme (G2) de compensation de dispersion déterminée,

- des commutateurs (COM1, COM2) du chemin optique du signal entre au moins un premier chemin et un deuxième chemin, qui sont situés
15 entre l'entrée (E) et une sortie (S),

 le premier compensateur (C1, C3) se trouvant respectivement dans le premier et/ou deuxième chemin, et le deuxième compensateur (C2) se trouvant respectivement dans le deuxième ou premier chemin (V2, V1).

- 20 2. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que

 le premier compensateur (C3) de dispersion chromatique est prévu dans une première voie (V3) située en série avec les commutateurs (COM1, COM2) sur les premier et deuxième chemins optiques du signal entre l'entrée (E) et la sortie (S),

- 25 le premier chemin optique correspondant à la mise en série de la première voie (V3) et d'une troisième voie (V1) de dispersion non comprise dans la deuxième gamme (G2) de compensation de dispersion,

- le deuxième chemin optique correspondant à la mise en série de la première voie (V3) et d'une deuxième voie (V2), dans laquelle se trouve le
30 deuxième compensateur (C2) de dispersion chromatique,

 les commutateurs (COM1, COM2) étant aptes à assurer une commutation au moins entre la deuxième voie (V2) et la troisième voie (V1).

3. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 2, caractérisé en ce que la troisième voie (V1) possède une dispersion chromatique sensiblement nulle.

5 4. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la troisième voie (V1) est exempté de compensateur de dispersion chromatique.

5. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 2, caractérisé en ce que la troisième voie (V1) comporte au moins un troisième compensateur (C1) de dispersion chromatique,
10 accordable dans une troisième gamme (G1) de compensation de dispersion déterminée, qui est disjointe par rapport à la deuxième gamme (G2) de compensation de dispersion.

6. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 5, caractérisé en ce que les commutateurs (COM1, COM2)
15 sont aptes à commuter en plus une voie supplémentaire (LT) de dispersion chromatique sensiblement nulle.

7. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 6, caractérisé en ce que les commutateurs (COM1 ; COM2) sont chacun composés de deux commutateurs (COM11, COM12 ; COM21,
20 COM22) entre deux positions.

8. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'entre l'entrée (E) et la sortie (S) et en série avec les commutateurs (COM1, COM2) de la deuxième voie (V2) et de la troisième voie (V1) sont prévus des commutateurs (COM3, COM4) de
25 la première voie (V3) et d'une quatrième voie (V4) de dispersion différente de la gamme (G3) de compensation de dispersion de la première voie (V3).

9. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 8, caractérisé en ce que la quatrième voie (V4) possède une dispersion chromatique sensiblement nulle.

30 10. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant la revendication 8, caractérisé en ce que la quatrième voie (V4) comporte au moins un quatrième compensateur (C4) de dispersion chromatique,

accordable dans une quatrième gamme (G4) de compensation de dispersion déterminée, qui est disjointe par rapport à la première gamme (G3) de dispersion.

11. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant
5 la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte au moins:

- un commutateur (COM3) de l'entrée (E) sur soit la première voie (V3) comportant le premier compensateur (C3), soit sur la quatrième voie (V4) comportant le quatrième compensateur (C4),

- un commutateur (COM5) relié aux première et quatrième voies (V3,
10 V4), permettant la commutation soit de la première voie (V3) vers une première sortie intermédiaire (S51), soit de la quatrième voie (V4) vers la première sortie intermédiaire (S51), soit de la première voie (V3) vers une deuxième sortie intermédiaire (S52), soit de la quatrième voie (V4) vers la deuxième sortie intermédiaire (S52),

- un commutateur (COM1) relié à la deuxième sortie intermédiaire (S52) pour commuter celle-ci soit sur la troisième voie (V1) contenant le troisième compensateur (C1), soit sur la deuxième voie (V2) contenant le deuxième compensateur (C2),

- un commutateur (COM2) relié à une troisième sortie intermédiaire (S21) pour commuter vers cette troisième sortie intermédiaire (S21) soit la troisième voie (V1), soit la deuxième voie (V2),

- un commutateur (COM6) relié à la sortie (S) et commutant soit la première sortie intermédiaire (S51), soit la troisième sortie intermédiaire (S21) sur cette sortie (S).

12. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant
25 l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les gammes de compensation de dispersion chromatique globales associées aux chemins forment une plage de compensation de dispersion chromatique, continue entre une borne inférieure et une borne supérieure.

13. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant
30 l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les compensateurs comportent un réseau de Bragg, ou une cavité étalon.

14. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une paire des compensateurs (C3, C4 ; C1, C2) comporte un réseau de Bragg commun, attaqué par des extrémités (E1, E2) opposées sur
5 chaque compensateur (C3, C4 ; C1, C2) de la paire.

15. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une paire des compensateurs (C3, C4 ; C1, C2) situés entre les commutateurs (COM3, COM5 ; COM1, COM2) comporte des gammes de
10 compensation de dispersion opposées.

16. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les compensateurs (C3, C4 ; C1, C2) ont des gammes de compensation de dispersion de même largeur.

15 17. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les commutateurs comportent chacun au moins un accès de commande de commutation depuis l'extérieur.

18. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant
20 la revendication 17, caractérisé en ce que les accès de commande de commutation sont pilotés par logiciel.

19. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un amplificateur optique est prévu entre l'entrée (E) et la sortie (S).

25 20. Dispositif de compensation de la dispersion chromatique suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'amplificateur optique est à gain ajustable.

1/7

FIG. 1

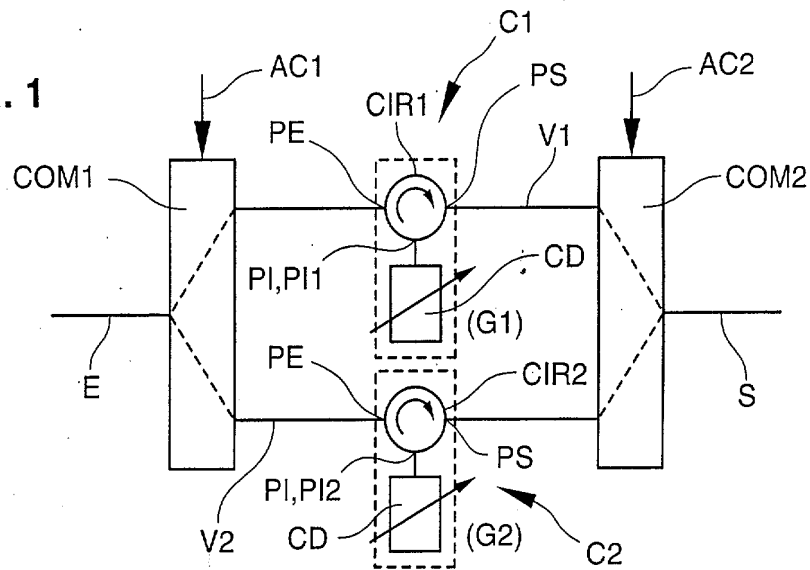


FIG. 2

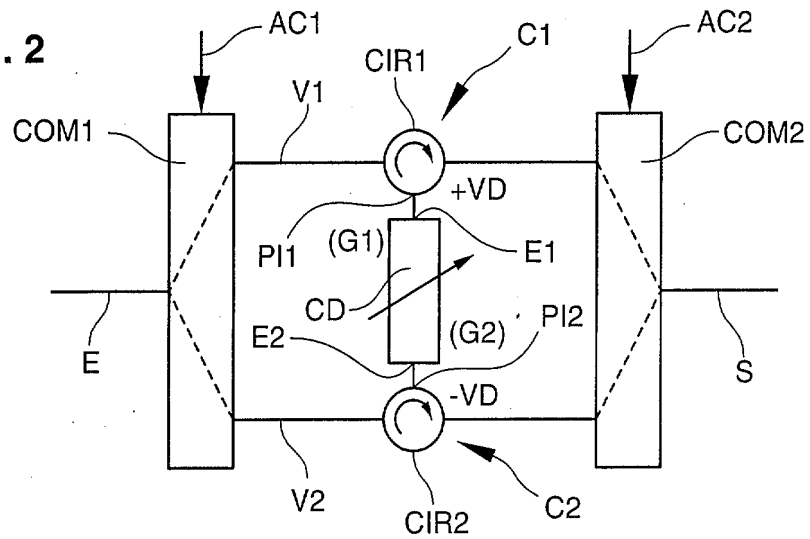
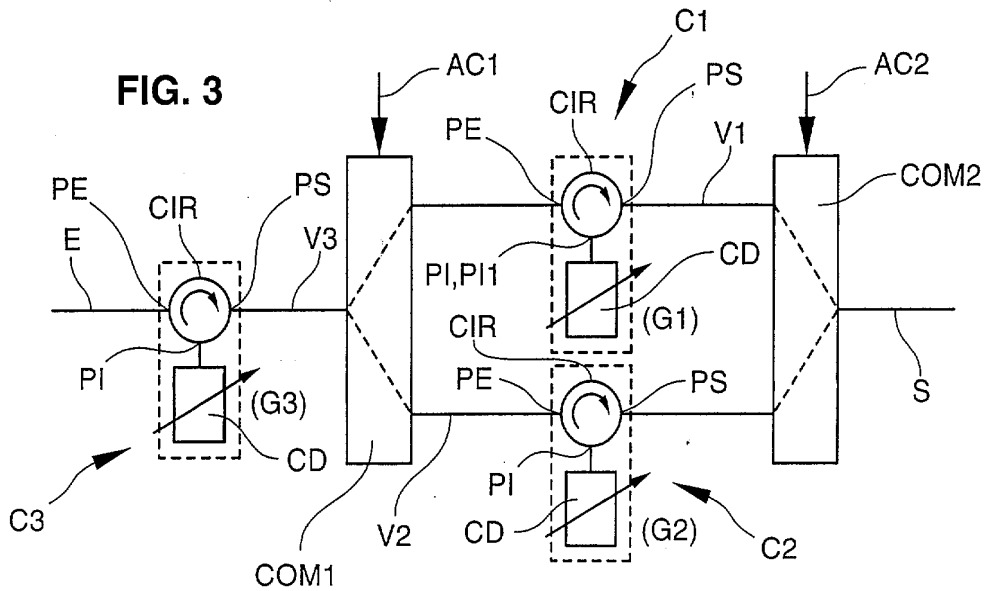


FIG. 3



2/7

FIG. 4

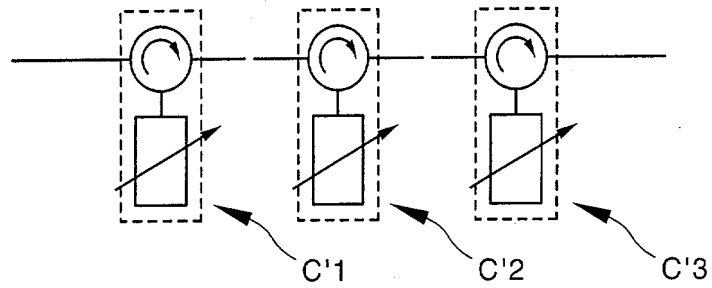


FIG. 5

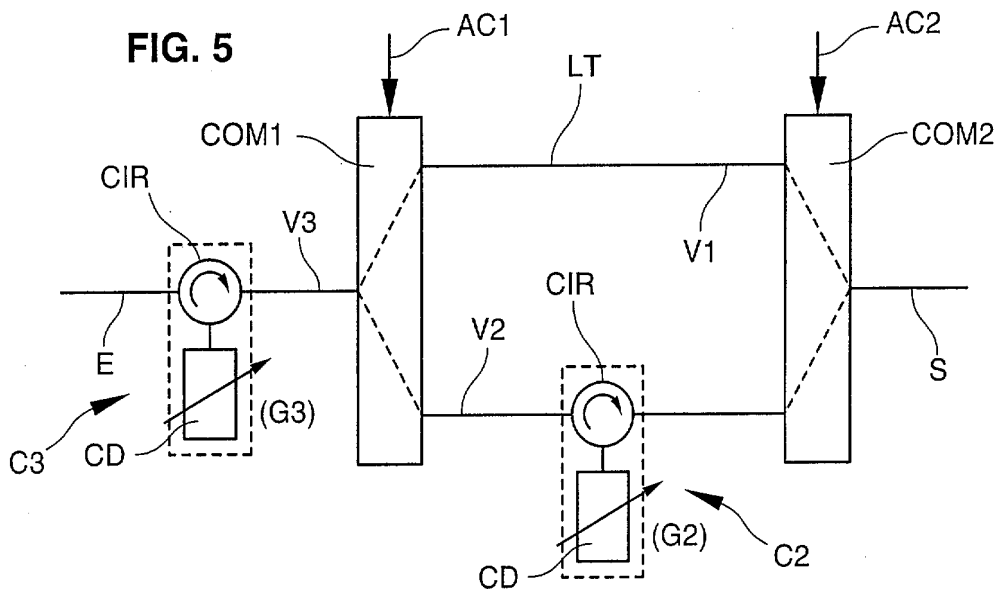


FIG. 6

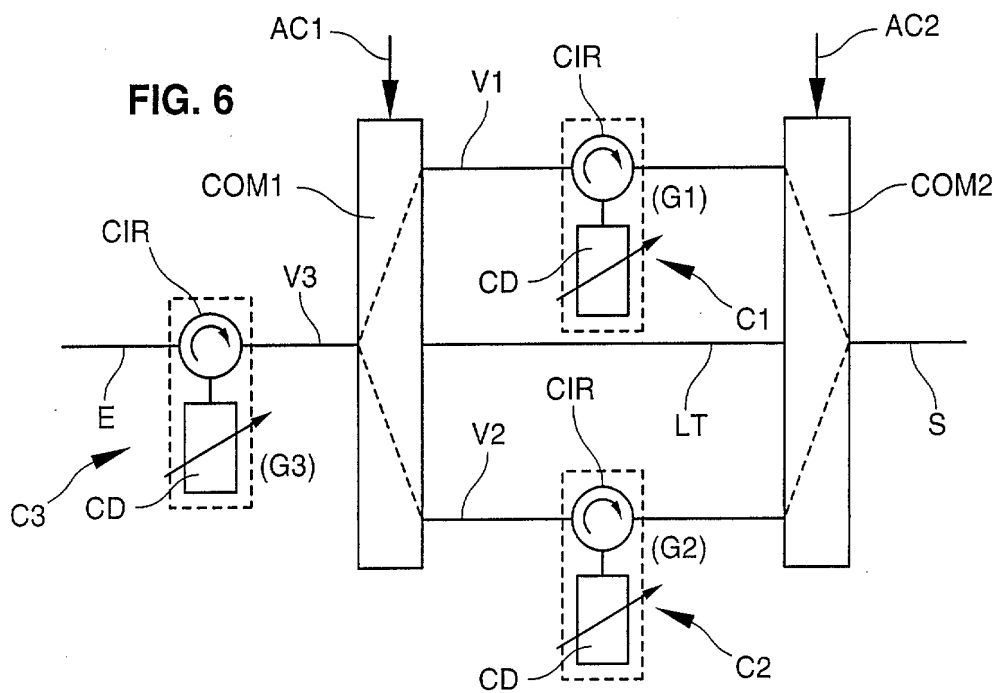


FIG. 9

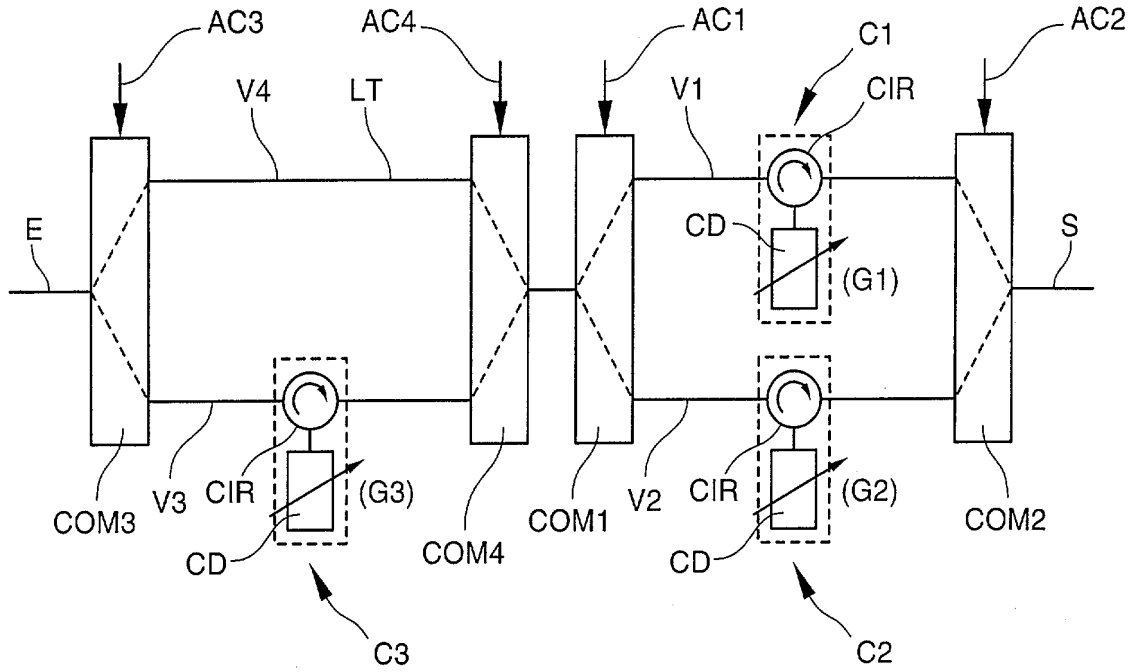


FIG. 10

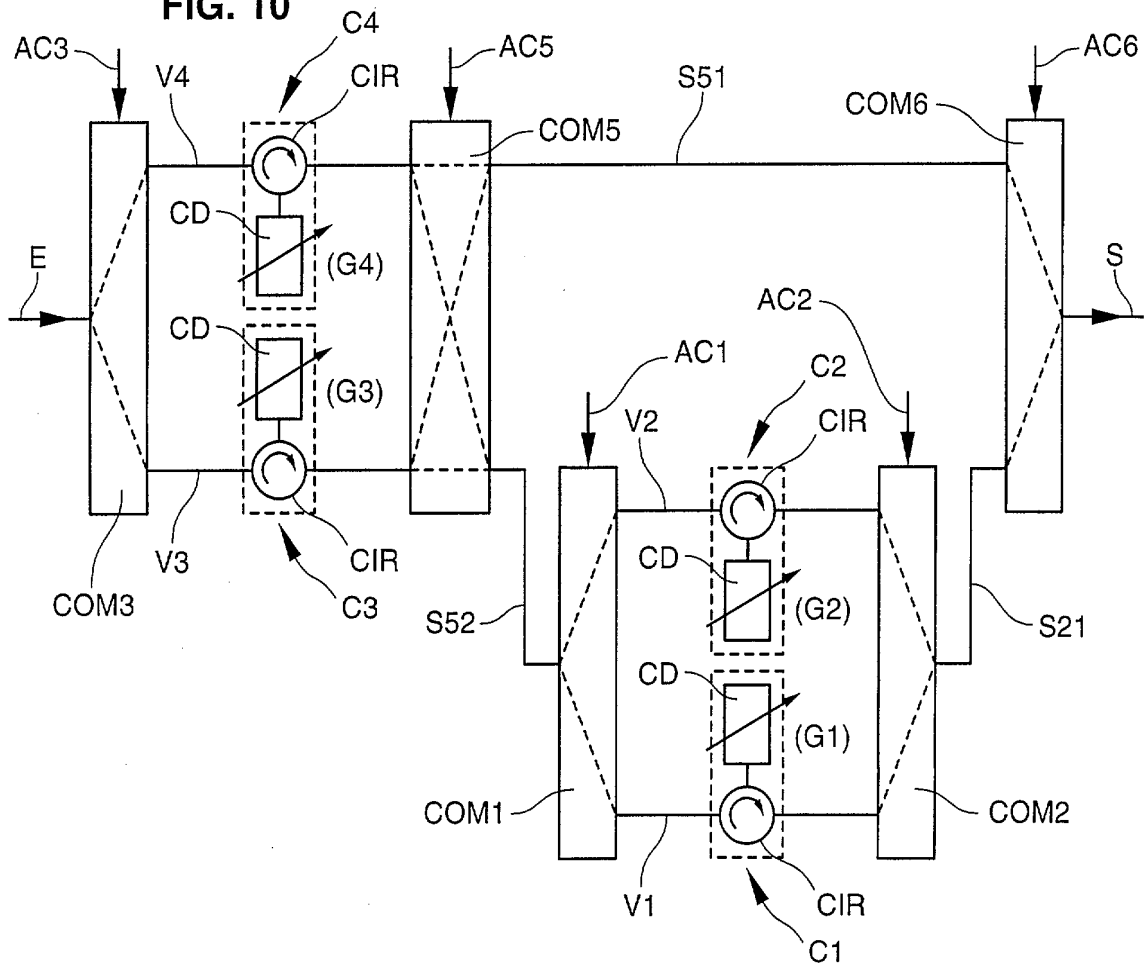


FIG. 11

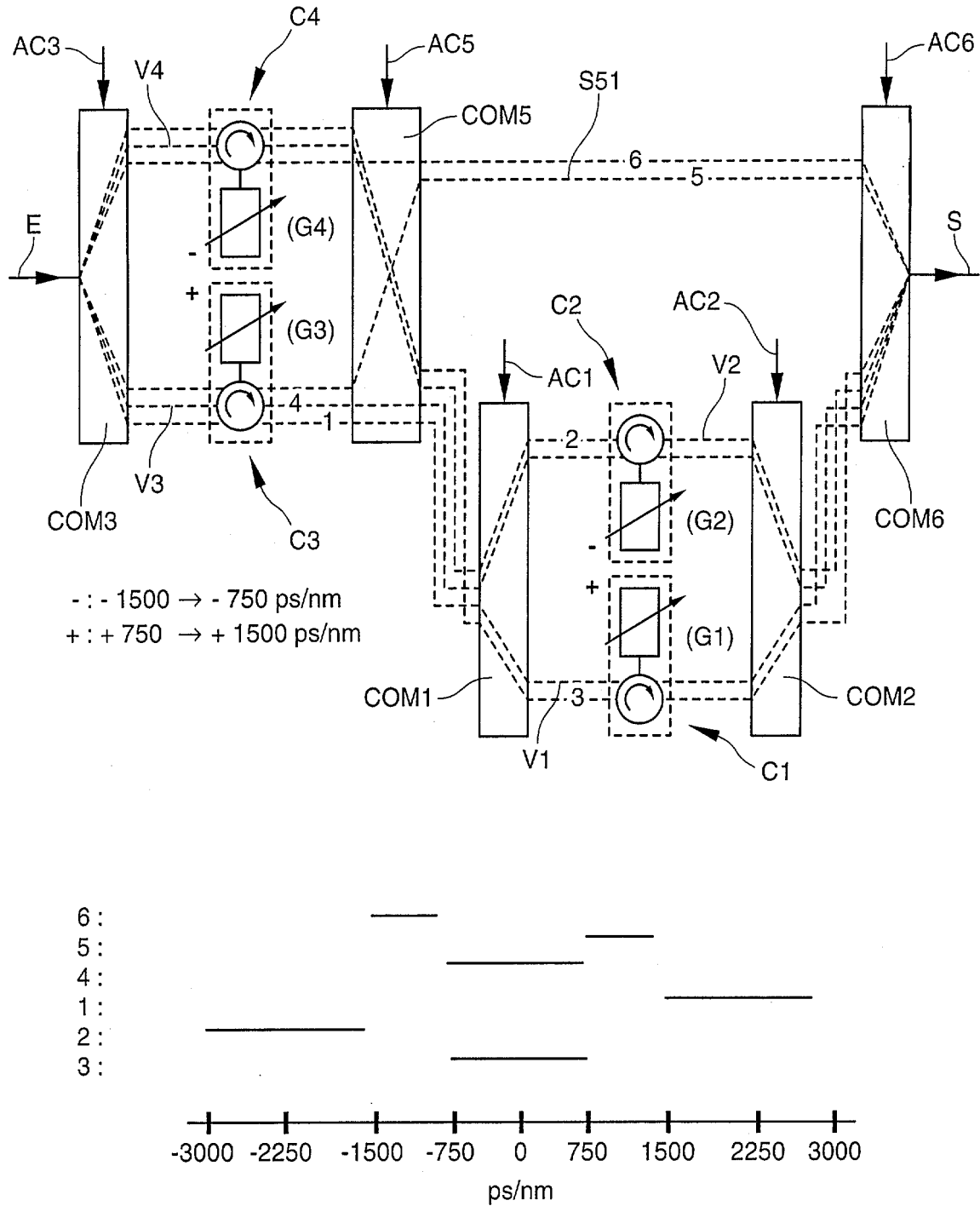


FIG. 12

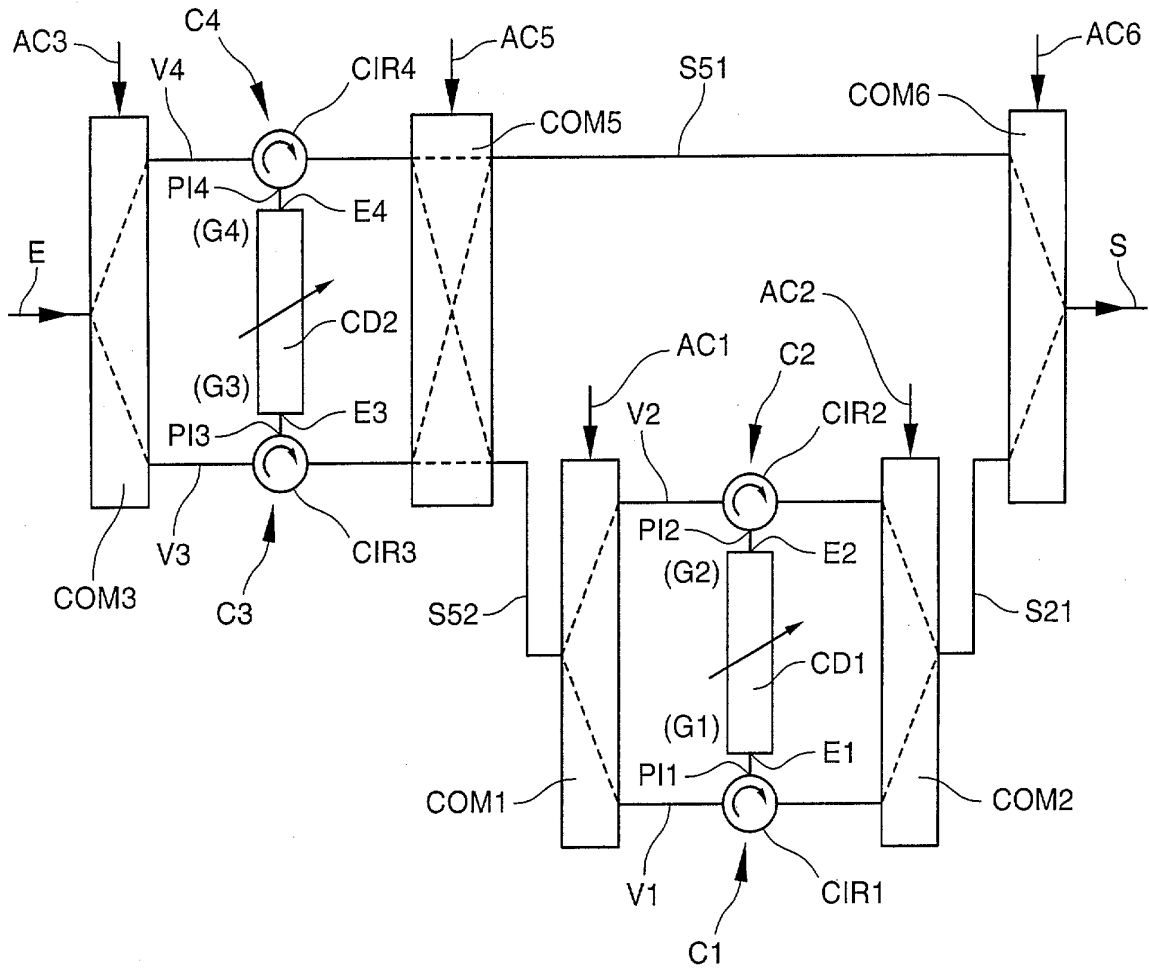
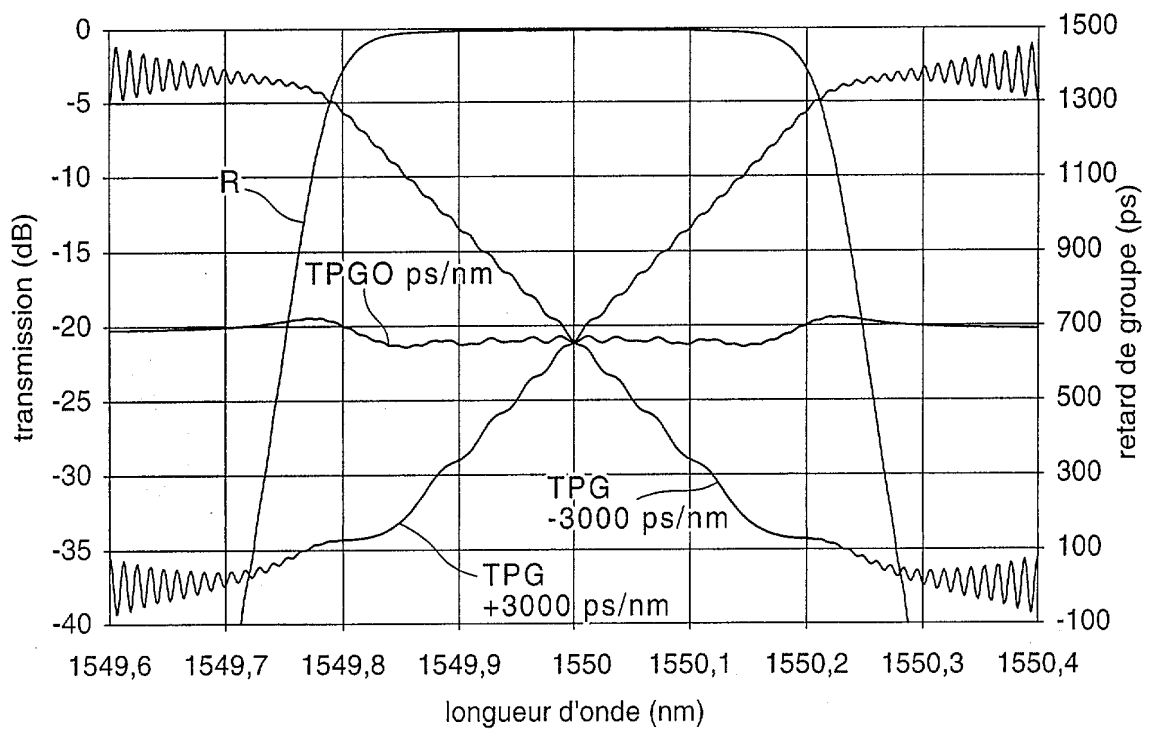


FIG. 13



7/7

FIG. 14

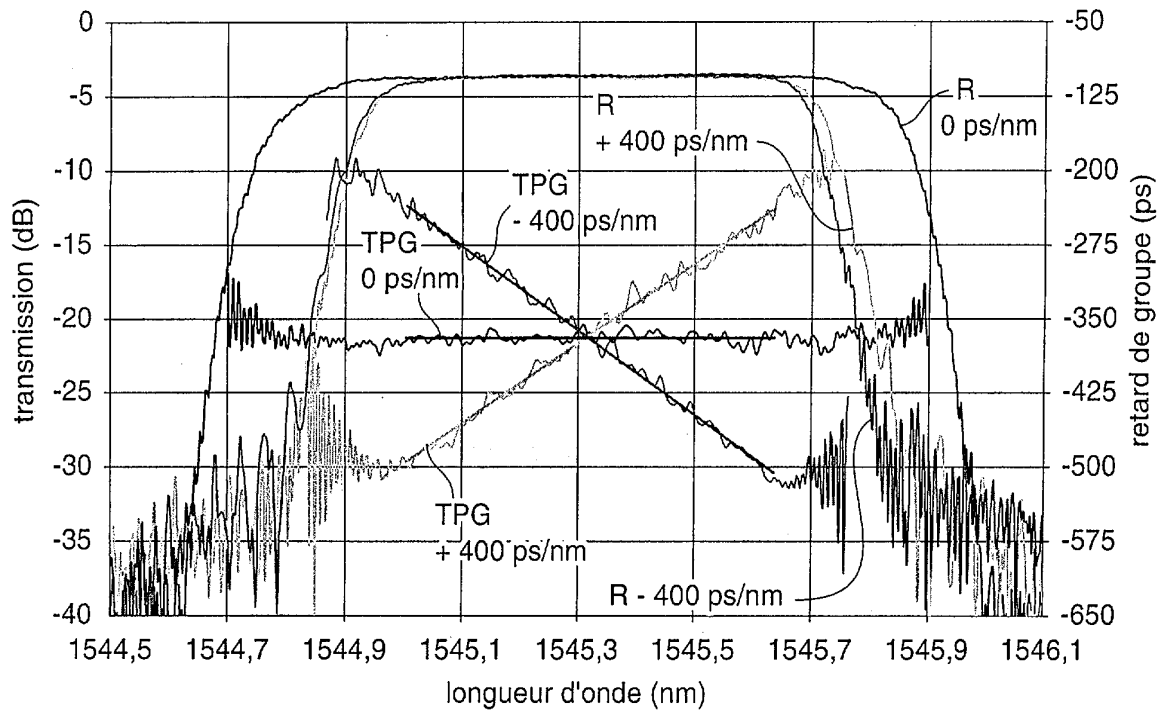
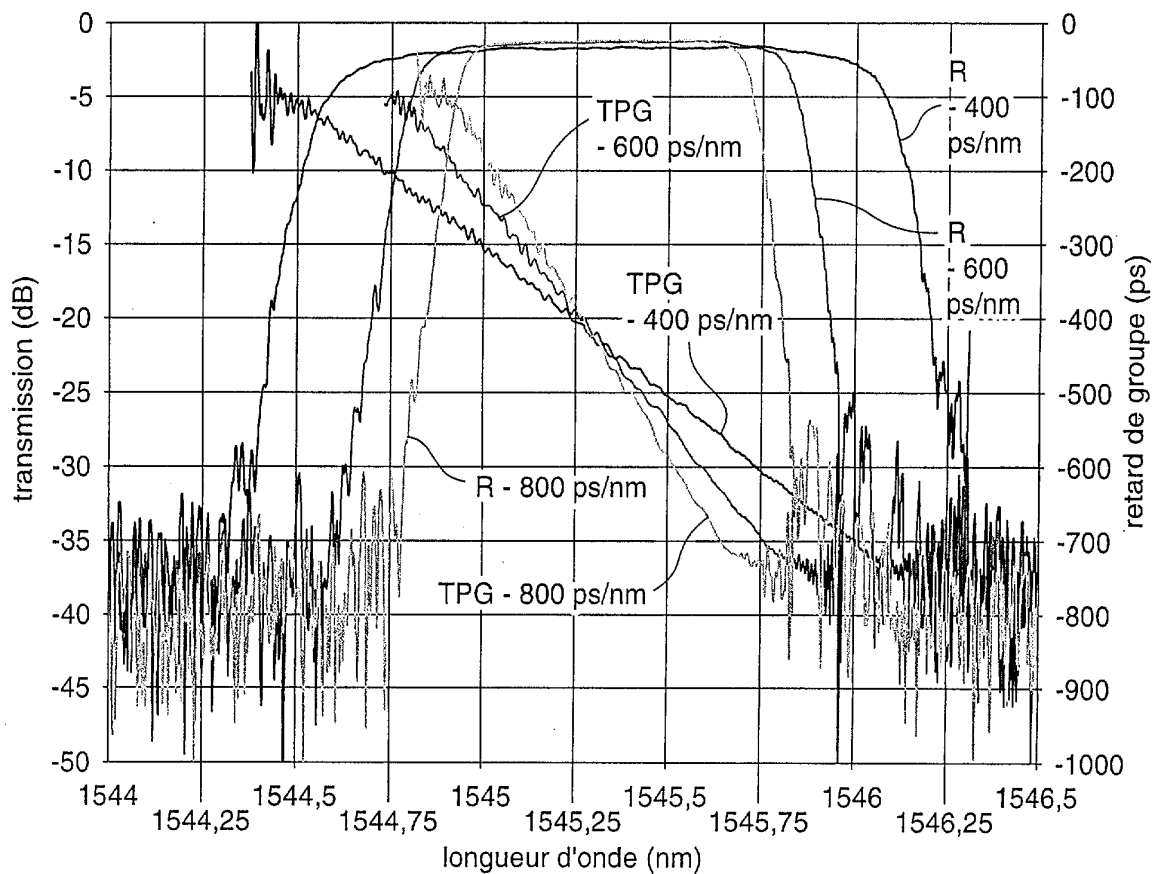


FIG. 15





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 657964
FR 0413635

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 03/041281 A (REDCLOVER NETWORKS, INC) 15 mai 2003 (2003-05-15) * alinéas [0004], [0033], [0039], [0041], [0045]; figures 1,6,9 *	1-20	H04B10/18
X	US 2002/003646 A1 (ISHIKAWA GEORGE) 10 janvier 2002 (2002-01-10) * alinéas [0071] - [0073]; figures 12,13 *	1-20	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H04B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		14 juillet 2005	Cochet, B
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0413635 FA 657964**

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 14-07-2005

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
WO 03041281 A	15-05-2003	US 2004208619 A1 WO 03041281 A2	21-10-2004 15-05-2003

US 2002003646 A1	10-01-2002	JP 11088260 A CN 1211119 A ,C EP 0902558 A2 US 6320687 B1	30-03-1999 17-03-1999 17-03-1999 20-11-2001
