

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①1 N° de publication :

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

2 580 072

②1 N° d'enregistrement national :

86 04773

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 J 9/02; G 02 B 6/42.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 3 avril 1986.

③0 Priorité : SE, 4 avril 1985, n° 8501713-5.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 41 du 10 octobre 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : TELEFONAKTIEBOLAGET
LM ERICSSON. — SE.

⑦2 Inventeur(s) : Per-Ola Andersson, Sven Anders Roland
Persson et Lars Helge Thylen.

⑦3 Titulaire(s) :

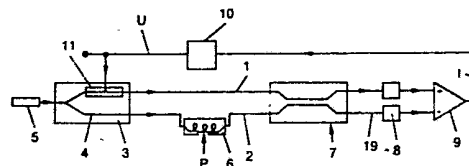
⑦4 Mandataire(s) : Rinuy, Santarelli.

⑤4 Interféromètre à fibres optiques.

⑤7 L'invention concerne un interféromètre de Mach-Zehnder
à fibres optiques destiné à la mesure d'un changement d'une
grandeur unique.

Deux fibres optiques 1, 2 sont connectées à une source de
lumière cohérente 5. Un convertisseur de mesure 6 change la
longueur du chemin optique et donc l'angle de phase de l'onde
lumineuse dans une fibre 2. Un signal de sortie 1 résultant de
la comparaison des angles de phase dans les deux fibres est
renvoyé vers le convertisseur de mesure pour compenser le
changement d'angle de phase. On utilise un coupleur direction-
nel optoélectronique 7 pour rendre le résultat de la comparai-
son indépendant des intensités lumineuses dans les fibres.

Application aux transducteurs de mesure.



FR 2 580 072 - A1

La présente invention concerne un interféromètre à fibres optiques destiné à mesurer un changement d'une grandeur, par exemple un changement de longueur ou de température, et qui comprend deux fibres conductrices de lumière qui sont connectées à une source de lumière cohérente commune, dans lequel une fibre au moins est équipée d'un convertisseur de mesure, qui change la longueur du chemin optique et change donc l'angle de phase d'une onde lumineuse traversant cette fibre, sous l'effet d'un changement de la grandeur mesurée, et dans lequel on compare les angles de phase des ondes lumineuses dans les fibres, on compense ce changement d'angle de phase et on utilise la valeur de compensation en tant que valeur de mesure.

On trouve la description d'interféromètres du genre mentionné ci-dessus, c'est-à-dire des interféromètres de Mach - Zehnder à fibres optiques, dans le document Technisches Messen 51. Jahrgang 1984 Heft 6, R. Kist: "Messwerterfassung mit faseroptischen Sensoren". Dans ces instruments, une source lumineuse commune émet de la lumière dans deux fibres optiques, et on compare les angles de phase des ondes lumineuses dans les deux fibres après que la lumière a traversé les fibres. Si une fibre optique est soumise à un changement de longueur, par exemple, la différence de phase entre les ondes lumineuses change, et ce changement est une mesure du changement de longueur. Dans un appareil connu, les extrémités des deux fibres sont réunies ensemble par fusion et sont connectées à un détecteur d'intensité lumineuse, afin de comparer les angles de phase des ondes lumineuses dans les fibres. L'intensité qui est détectée ici dépend du décalage de phase. L'appareil est simple mais il donne une précision de mesure médiocre dans l'interféromètre, du fait que l'intensité détectée dépend également de changements de l'intensité de la source lumineuse et des intensités lumineuses dans les deux fibres. Dans un autre appareil connu, la lumière provenant des deux fibres éclaire sous une incidence oblique

chaque côté d'un miroir semi-transparent. On détecte individuellement et on compare les intensités des deux ondes lumineuses qui partent du miroir. Un interféromètre équipé de ce type d'appareil pour permettre la comparaison des angles de phase donne une précision de mesure relativement bonne, qui est cependant limitée par le fait qu'il n'est pas capable d'utiliser de la lumière polarisée. L'appareil est également fragile et volumineux, ce qui limite le domaine d'utilisation de l'interféromètre.

10 Les difficultés indiquées ci-dessus sont résolues conformément à l'invention par le fait que la lumière provenant des fibres optiques est appliquée avant la détection à un dispositif de couplage optoélectronique simple qui permet d'obtenir une précision de mesure élevée.

15 Un aspect de l'invention porte sur un interféromètre à fibres optiques destiné à mesurer un changement d'une grandeur, par exemple un changement de longueur ou de température, et comprenant deux fibres conductrices de lumière qui sont connectées à une source de lumière cohérente commune, dans
20 lequel une fibre au moins comporte un convertisseur de mesure qui change la longueur du chemin optique, et change donc l'angle de phase, pour une onde lumineuse traversant cette fibre, sous l'effet d'un changement de la grandeur précitée, et dans lequel on compare les angles de phase des ondes lumineuses
25 dans les fibres et on compense le changement de l'angle de phase, en utilisant la valeur de compensation en tant que valeur de mesure, caractérisé en ce que, au moment de la comparaison, on rend le résultat de la comparaison pratiquement indépendant de l'intensité lumineuse dans les fibres conduc-
30 trices de lumière, ces fibres étant connectées à un dispositif de couplage optoélectronique du type coupleur directionnel, qui comporte deux entrées connectées à deux sorties par des guides de lumière, par l'intermédiaire d'une zone d'interaction, et qui est conçu de façon que la puissance lumineuse
35 soit distribuée également entre les sorties lorsqu'une onde

lumineuse provenant de la source lumineuse est appliquée uniquement à l'une des entrées, ou lorsque deux ondes lumineuses ayant une différence de phase donnée, qui peut également être égale à zéro, sont appliquées aux entrées respectives, et en ce que lorsque deux ondes lumineuses ayant une différence de phase qui diffère de la différence de phase donnée sont appliquées aux entrées respectives, les intensités sortantes sont affectées par un facteur qui dépend de la différence de phase fondamentalement selon les relations :

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{A^2 + B^2}{2} + A B \sin(\varphi - \varphi_0) \\
 U_2 &= \frac{A^2 + B^2}{2} - A B \sin(\varphi - \varphi_0)
 \end{aligned}$$

dans lesquelles A et B sont les amplitudes des ondes lumineuses aux entrées, φ est leur différence de phase mutuelle, φ_0 est la différence de phase donnée et U_1 et U_2 sont les intensités des ondes lumineuses sur les sorties, ce qui fait que la différence entre ces intensités est fondamentalement indépendante d'une variation des intensités lumineuses dans les fibres lorsque la différence de phase est compensée en étant ramenée à la valeur donnée.

On va maintenant décrire un mode de réalisation préféré de l'invention, en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 représente schématiquement un interféromètre de Mach - Zehnder,

la figure 2 est une vue en perspective de dessus d'un coupleur directionnel optoélectronique,

la figure 3 représente une partie de l'interféromètre avec un coupleur directionnel et des détecteurs de lumière,

la figure 4 est une vue en perspective de dessus d'un dispositif de couplage avec une bifurcation optoélectronique, et

la figure 5 représente un autre interféromètre conforme à l'invention.

La figure 1 représente schématiquement un mode de réalisation d'un interféromètre de Mach - Zehnder à fibres optiques. Il comporte de manière classique deux fibres optiques, à savoir une fibre de référence 1 et une fibre de mesure 2, qui sont connectées à un laser 5 par l'intermédiaire d'un élément de répartition 3. L'élément de répartition 3 est une lame de matière optoélectronique avec des éléments de guidage d'ondes 4 diffusés dans sa surface, et ces éléments de guidage répartissent la lumière du laser dans les deux fibres 1 et 2. Un convertisseur de mesure 6 est connecté à la fibre de mesure 2 de façon à être soumis à l'action d'une grandeur P, par exemple un changement de longueur ou de température, qu'on désire mesurer. Le laser émet des ondes lumineuses contenues dans une gamme de longueurs d'onde étroite qui traversent l'élément 3 et les fibres 1 et 2. Aux extrémités éloignées des fibres, les ondes lumineuses présentent un déphasage mutuel sous l'effet de la différence de longueur de chemin optique entre le point de répartition dans l'élément de répartition 3 et les extrémités éloignées des fibres. La longueur du chemin optique dépend de la distance que parcourt l'onde lumineuse et de l'indice de réfraction du milieu qu'elle traverse. La longueur du chemin optique peut être changée dans le convertisseur de mesure 6, par exemple par le fait que la fibre 2 est étirée, ce qui augmente la distance, ou par le fait que la fibre est soumise à une force de compression transversale ou à une courbure, ce qui change son indice de réfraction. Lorsque le convertisseur de mesure 6 est soumis à l'action de la grandeur P, la longueur du chemin optique change sous l'effet de cette action, ce qui produit un déphasage d'un angle ϕ entre les ondes lumineuses. On compare les angles de phase des ondes lumineuses dans la fibre de mesure 2 et dans la fibre de référence 1 à l'aide de deux détecteurs optoélectroniques 8 sensibles à l'intensité

lumineuse, et d'un circuit de différence 9, dont les entrées sont connectées aux sorties du détecteur 8. Conformément à l'invention, pour obtenir d'une manière simple un signal de comparaison I précis à partir du circuit de différence 9, on fait passer la lumière, avant détection, par un dispositif de couplage optoélectronique 7, qu'on décrira ci-après. Le signal de comparaison I est renvoyé en réaction de façon classique pour compenser le déphasage φ entre les ondes lumineuses dans les deux fibres optiques 1 et 2. La sortie du circuit de différence 9 est connectée à un circuit de commande 10 dont le signal de commande de sortie U est appliqué à une électrode 11 de l'élément de répartition 3. A l'aide du signal de commande U, on change la vitesse de la lumière, et donc l'indice de réfraction de l'élément de guidage d'onde 4 au niveau de l'électrode 11. On change ainsi la longueur du chemin optique, et donc l'angle de phase pour une onde lumineuse se propageant dans la fibre de référence 1. On peut compenser de cette manière la différence de phase apparaissant dans le convertisseur de mesure 6, au moyen du signal de commande U, et cette compensation est une mesure de la grandeur P.

Comme mentionné ci-dessus et conformément à l'invention, on fait passer dans le dispositif de couplage optoélectronique 7 la lumière provenant de la fibre de référence 1 et de la fibre de mesure 2, avant de détecter l'intensité lumineuse. Dans ce mode de réalisation, le dispositif de couplage est un coupleur directionnel optoélectronique, et il est représenté sur la figure 2. On peut trouver une description plus détaillée du fonctionnement du coupleur directionnel dans les documents : IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol QE-12, n° 7, juillet 1976, H. Kogelink et R. Schmidt: "Switched Directional Couplers with Alternating $\Delta\beta$ ", ou IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol Cas-26, n° 12, décembre 1979, R. Schmidt et R. Alferness : "Directional Coupler Switchers, Modulators, and Filters

Using Alternating $\Delta\beta$ Techniques". Le coupleur directionnel comprend une lame 12 de matière optoélectronique, par exemple du niobate de lithium, avec des guides d'ondes lumineuses 14 sur sa surface supérieure 13. Ces conducteurs ont un indice 5 de réfraction supérieur à celui de la matière de la lame, et on peut les obtenir par un processus tel que la diffusion de titane dans la couche de surface de la lame. Au niveau des surfaces d'extrémité planes 15 de la lame 12, les guides d'ondes lumineuses 14 ont des entrées 14a et des sorties 14b, 10 et ces guides sont disposés l'un près de l'autre dans une zone d'interaction L. Un rayon lumineux introduit dans l'un des guides 14 est transféré complètement ou partiellement vers l'autre guide dans la zone d'interaction L, comme il est décrit dans les documents précités. La distribution de 15 l'énergie lumineuse sur les sorties 14b dépend de la longueur d'onde de la lumière, de l'étendue de la zone d'interaction et du couplage entre les guides d'ondes. On peut agir sur cette distribution au moyen d'un potentiel électrique appliqué entre des électrodes 16 à la surface de la lame, le long 20 des guides d'ondes 14, dans la zone d'interaction L. Pour obtenir à partir du circuit de différence 9 le signal de comparaison désiré I, on sélectionne les paramètres du coupleur directionnel de façon que l'énergie lumineuse pour une onde lumineuse appliquée à l'une des entrées 14a des guides d'on- 25 des lumineuses soit répartie de façon égale entre les sorties 14b, comme on le décrira de façon plus détaillée en relation avec la figure 3. Sur cette figure, le coupleur directionnel 7 est représenté avec la fibre de référence 1 et la fibre de mesure 2 connectées à des entrées 14a respectives. Chaque 30 sortie 14b est connectée par une fibre optique 19 à chacun des détecteurs optoélectroniques 8. L'onde lumineuse provenant du laser qui se propage dans la fibre de référence 1 a une amplitude A et l'onde lumineuse qui se propage dans la fibre de mesure 2 a une amplitude B, ce qui fait que les in- 35 tensités des deux ondes lumineuses sont proportionnelles à

7

A^2 et B^2 . Avant la mesure de la grandeur P , les ondes lumineuses dans les fibres de mesure et de référence peuvent être mutuellement déphasées d'un angle qui est un multiple d'un demi-tour. Lorsque la grandeur P agit sur le convertisseur de mesure 6, la longueur du chemin optique change, ce qui fait que la différence de phase entre les ondes lumineuses aux entrées 14a change d'un angle φ . Une interaction entre les ondes lumineuses se produit dans la zone d'interaction L , et les détecteurs 8 détectent les intensités U_1 et U_2 des ondes lumineuses sortantes. Ces détecteurs émettent des signaux électriques I_1 et I_2 qui sont respectivement proportionnels à U_1 et U_2 , fondamentalement selon les relations :

$$I_1 = \frac{1}{2}(A^2 + B^2) + A B \sin \varphi$$

$$I_2 = \frac{1}{2}(A^2 + B^2) - A B \sin \varphi$$

Le circuit de différence 9 forme la différence entre les signaux I_1 et I_2 , et il émet le signal de sortie I conformément à la relation :

$$I = I_1 - I_2 = 2 A B \sin \varphi$$

Comme il a été mentionné en relation avec la figure 1, le signal I est renvoyé en réaction par l'intermédiaire du circuit de commande 10, qui applique le signal de commande U à l'électrode 11. Le déphasage entre les ondes lumineuses dans les fibres 1 et 2 est ainsi compensé, ce qui fait que l'angle φ diminue. Pour une compensation complète, $\varphi = 0$ et d'après la relation ci-dessus, $I = 0$. Le signal de commande U a alors atteint sa valeur finale et il constitue une mesure de la grandeur P qu'on désire mesurer. Il faut noter que la compensation de phase fonctionne également si le déphasage dans le convertisseur de mesure 6 est supérieur à 90° . Lors-

que la grandeur P est appliquée et lorsque le déphasage dans le convertisseur de mesure augmente, il y a une compensation continue de l'angle de déphasage φ entre la fibre de mesure 2 et la fibre de référence 1, du fait que le signal de commande U augmente dans une proportion correspondante.

On a indiqué ci-dessus que les paramètres pour le coupleur directionnel 7 doivent être choisis de façon que si une seule des entrées 14a reçoit de la lumière, l'énergie lumineuse soit répartie de façon égale entre les sorties 14b. Ceci ressort de la relation pour les signaux I_1 et I_2 . Pour l'amplitude $B = 0$, on obtient la moitié de l'énergie lumineuse pour chacune des sorties 14b.

La relation indiquée ci-dessus pour le signal I permet de voir que ce signal est pratiquement indépendant des amplitudes lumineuses A et B pour une compensation complète du déphasage, lorsque $\varphi = 0$. Le signal de commande U qui est la valeur de mesure de la grandeur P est donc indépendant d'une variation de l'intensité lumineuse provenant du laser 5, et indépendant de la répartition de l'énergie lumineuse entre la fibre de mesure 2 et la fibre de référence 1. Ceci permet à l'interféromètre d'avoir simultanément une structure relativement simple et une précision élevée.

Dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, le dispositif de couplage 7 de l'interféromètre est un coupleur directionnel optoélectronique. Le dispositif de couplage 7 peut également être une bifurcation optoélectronique, comme le montre la figure 4. De façon similaire au coupleur directionnel, la bifurcation optoélectronique comporte des guides d'ondes 18 diffusés dans la surface d'une lame 17 constituée par une matière optoélectronique. La bifurcation comporte deux entrées 18a et deux sorties 18b, mais contrairement au coupleur directionnel, elle ne comporte qu'un seul guide d'ondes dans sa zone d'interaction L_1 . Les ondes lumineuses entrantes provenant des fibres de mesure et de référence sont superposées dans la zone d'interaction, et les intensi-

tés des ondes lumineuses sortantes suivent étroitement les relations applicables au coupleur directionnel qui ont été données ci-dessus. On trouvera une description plus détaillée de la bifurcation optoélectronique dans le document "Applied Physics Letter, Vol.31, N° 4, 15 août 1977, M. Papuchon, M. Roy et O. B. Ostorowsky : "Electrically active optical bifurcation: BOA".

Dans l'interféromètre qui est décrit, le signal de comparaison I prend une valeur égale à zéro dans le coupleur directionnel 7 lorsque le déphasage φ entre les ondes lumineuses est compensé de façon à avoir une valeur nulle, conformément à la relation $I = 2 A B \sin \varphi$. On peut également réaliser un coupleur directionnel d'une manière telle que le signal de différence sortant I prenne une valeur nulle lorsque les ondes lumineuses entrantes sont déphasées mutuellement d'un angle donné φ_0 . Lorsque deux ondes lumineuses ayant les amplitudes A et B et le déphasage φ sont appliquées aux entrées de ce coupleur directionnel, l'énergie lumineuse est répartie également entre les sorties. L'angle φ_0 est caractéristique du coupleur directionnel, et le signal de comparaison I qui est obtenu pour un déphasage φ est fondamentalement défini par la relation :

$$I = I_1 - I_2 = 2 A B \sin (\varphi - \varphi_0).$$

Les longueurs des chemins optiques dans les fibres de mesure et de référence sont choisies de façon que les ondes lumineuses soient déphasées de l'angle $\varphi = \varphi_0$, aussi proche que possible d'un multiple d'un demi-tour, lorsque le convertisseur de mesure 6 n'est pas affecté par la grandeur P. Les variations de déphasage qu'on obtient dans le convertisseur de mesure 6 pendant la mesure sont compensées par rapport à l'angle φ_0 par le signal de commande U, comme décrit ci-dessus.

La figure 5 représente un mode de réalisation supplémentaire d'un interféromètre conforme à l'invention. Une lame 20 d'une matière optoélectronique comporte sur sa surface plane supérieure un coupleur directionnel optoélectronique 21, comme décrit en relation avec la figure 2. La lame comporte un coupleur directionnel supplémentaire 22 et un guide d'ondes 23, avec une électrode 24. Le guide d'ondes 23 est connecté à une entrée du coupleur directionnel 21. La fibre de mesure 2 comportant le convertisseur de mesure 6, est en liaison optique avec une sortie du coupleur directionnel supplémentaire 22 et avec le guide d'ondes 23. La lumière provenant du laser 5 est répartie dans le coupleur directionnel 22 vers la fibre de mesure 2 et la fibre de référence 1. Après passage à travers les fibres 1 et 2, les ondes lumineuses sont mutuellement déphasées d'un angle φ par l'action de la grandeur P sur le convertisseur de mesure 6. Ce déphasage est compensé par le signal de commande U agissant sur l'électrode 24, comme décrit en relation avec la figure 1. Les ondes lumineuses provenant des fibres de mesure et de référence passent par le coupleur directionnel 21 avant la détection dans les détecteurs 8, et elles sont comparées dans le circuit de différence 9, comme décrit en relation avec la figure 2. Le signal de différence I actionne le circuit de commande 10, qui émet le signal de commande U vers l'électrode 24. Dans cet interféromètre, tous les composants optoélectroniques se trouvent sur la lame commune 20, ce qui procure l'avantage consistant en ce qu'on peut réaliser l'interféromètre sous une forme simple et robuste.

La sensibilité d'un interféromètre du genre décrit ci-dessus dépend de la précision avec laquelle on peut détecter les variations de l'angle φ . Cette précision est la plus grande pour des ondes lumineuses correspondant à de la lumière en polarisation plane ayant un angle de phase bien défini. L'interféromètre de l'invention offre l'avantage de pouvoir utiliser cette condition, du fait que le plan de pola-

risation d'une onde lumineuse ne change pas dans le dispositif de couplage optoélectronique 7. Si on utilise des fibres optiques qui conservent la polarisation et un élément de distribution qui conserve la polarisation, la direction de polarisation de la lumière provenant du laser 5 est conservée dans l'ensemble de l'interféromètre, jusqu'aux détecteurs 8. On peut donc ainsi obtenir une sensibilité très élevée, qui est de 10^{-12} m, exprimée en variation de longueur de la fibre de mesure.

REVENDICATIONS

1. Interféromètre à fibres optiques destiné à mesurer un changement d'une grandeur, par exemple un changement de longueur ou de température, et comprenant deux fibres conductrices de lumière qui sont connectées à une source de lumière cohérente commune, dans lequel une fibre au moins comporte un convertisseur de mesure qui change la longueur du chemin optique, et donc l'angle de phase, pour une onde lumineuse traversant cette fibre, sous l'effet d'un changement de la grandeur précitée, et dans lequel on compare les angles de phase des ondes lumineuses dans les fibres et on compense le changement de l'angle de phase, en utilisant la valeur de compensation en tant que valeur de mesure, caractérisé en ce que, au moment de la comparaison, on rend le résultat de la comparaison (I) pratiquement indépendant de l'intensité lumineuse dans les fibres conductrices de lumière (1, 2), ces fibres étant connectées à un dispositif de couplage optoélectronique (7) du type coupleur directionnel, qui comporte deux entrées (14a, 18a) connectées à deux sorties (14b, 18b) par des guides de lumière (14, 18), par l'intermédiaire d'une zone d'interaction (L, L₁), et qui est conçu de façon que la puissance lumineuse soit distribuée également entre les sorties (14b, 18b) lorsqu'une onde lumineuse provenant de la source lumineuse (5) est appliquée uniquement à l'une des entrées (14a, 18a), ou lorsque deux ondes lumineuses ayant une différence de phase donnée (φ_0), qui peut également être égale à zéro, sont appliquées aux entrées respectives (14a, 18a), et en ce que lorsque deux ondes lumineuses ayant une différence de phase (φ) qui diffère de la différence de phase donnée (φ_0) sont appliquées aux entrées respectives (14a, 18a), les intensités sortantes sont affectées par un facteur qui dépend de la différence de phase (φ) fondamentalement selon les relations :

$$U_1 = \frac{A^2 + B^2}{2} + A B \sin(\varphi - \varphi_0)$$

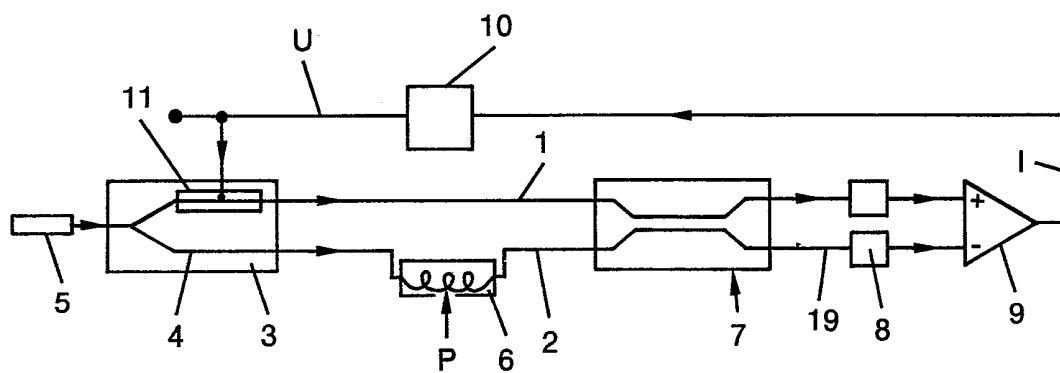
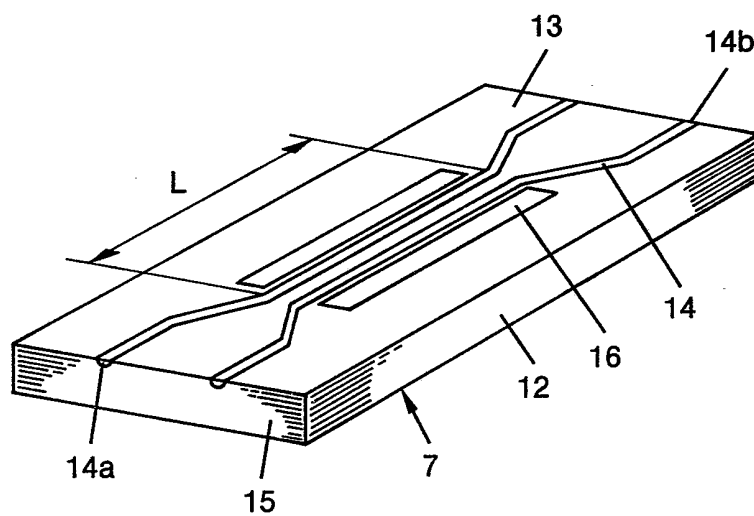
$$U_2 = \frac{A^2 + B^2}{2} - A B \sin(\varphi - \varphi_0)$$

dans lesquelles A et B sont les amplitudes des ondes lumineuses aux entrées (14a, 18a), φ est leur différence de phase mutuelle, φ_0 est la différence de phase donnée et U_1 et U_2 sont les intensités des ondes lumineuses sur les sorties (14b, 18b), ce qui fait que la différence entre ces intensités est fondamentalement indépendante d'une variation des intensités lumineuses dans les fibres (1, 2) lorsque la différence de phase (φ) est compensée en étant ramenée à la valeur donnée (φ_0).

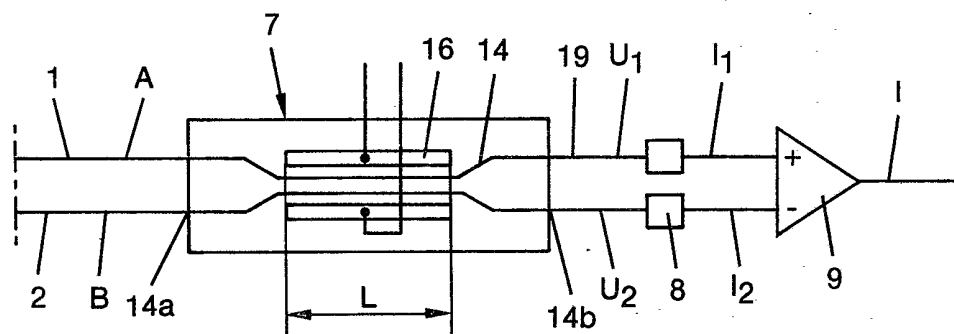
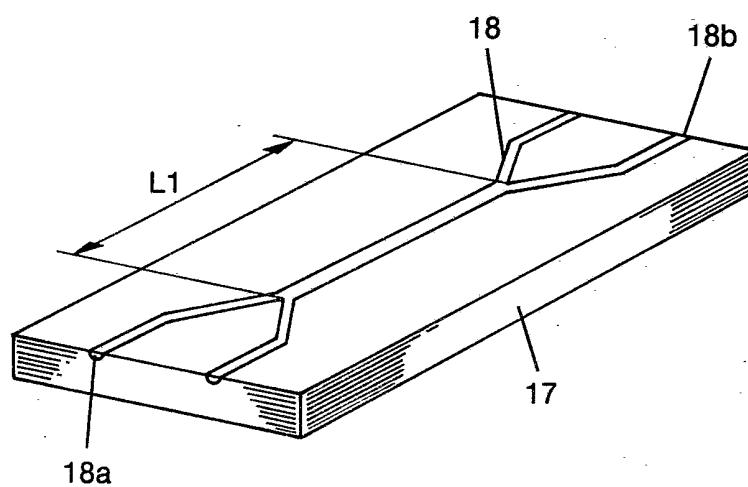
2. Interféromètre à fibres optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que les entrées (14a) et les sorties (14b) du dispositif de couplage (7) sont connectées par l'intermédiaire de deux guides d'ondes lumineuses mutuellement espacés dans la zone d'interaction (L).

3. Interféromètre à fibres optiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que les entrées (18a) et les sorties (18b) du dispositif de couplage (17) sont connectées par l'intermédiaire d'un guide d'ondes lumineuses commun dans la zone d'interaction (L_1).

1/3

**Fig.1****Fig.2**

2/3

**Fig.3****Fig.4**

