

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②①

N° 81 22164

⑤④ Procédé de détection cohérente et de démodulation d'une onde porteuse modulée à état de polarisation variable et dispositif de mise en œuvre.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. ³). G 02 F 2/00; H 03 D 9/00; H 04 B 9/00.

②② Date de dépôt..... 26 novembre 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 21 du 27-5-1983.

⑦① Déposant : MONERIE Michel et LECLERT Alain. — FR.

⑦② Invention de : Michel Monené et Alain Leclert.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention a pour objet un procédé de détection cohérente et de démodulation d'une onde porteuse modulée à état de polarisation variable et un dispositif de mise en oeuvre. Elle trouve une application dans la transmission optique d'informations, notamment par fibres optiques.

Un système de transmission optique est généralement constitué par un émetteur, dans lequel une onde optique est modulée par un signal contenant l'information à transmettre, une ligne de transmission (généralement une fibre optique monomode), un récepteur dans lequel l'onde transmise est démodulée. L'opération de détection peut être de type cohérent en ce sens qu'elle utilise une onde optique cohérente que l'on fait battre avec l'onde porteuse modulée, et engendrée à partir d'un oscillateur local convenablement asservi.

Cette technique, dite de détection cohérente, est décrite dans de nombreux articles et ouvrages. On peut citer, par exemple, l'article de F. FAVRE et al intitulé "Progress Towards Heterodyne-Type Single-Mode Fiber Communication Systems" publié dans "Journal of Quantum Electronics", vol QE-17, N° 6, Juin 1981, pages 897 à 905.

La détection cohérente nécessite que l'état de polarisation de l'onde à démoduler soit stable. Or ce n'est généralement pas le cas du fait des perturbations apportées à l'onde durant sa propagation dans la fibre. Il est alors nécessaire de prévoir des moyens aptes à corriger cette instabilité. Plusieurs solutions ont été utilisées dans le passé :

- utilisation d'une fibre à maintien de polarisation, (linéaire ou circulaire), comme décrit dans l'article de L. JEUNHOMME et al intitulé : "Polarisation-

maintaining single-mode fibre cable design" publié dans "Electronics Letters" 20 Novembre, 1980, vol. 16 n° 24, pages 921-922,

- 5 - stabilisation de la polarisation par contre-réaction, comme décrit dans l'article de ROD C. ALFERNES intitulé "Electrooptic Guided-Wave Device for General Polarization Transformations" publié dans IEEE Journal of Quantum Electronics" vol. QE-17, N° 6, Juin 1981, pages 965-969 et dans l'article de
10 R. ULRICH intitulé "Polarization stabilization on single-mode fiber" publié dans "Applied Physics Letters" 35(11), 1er Décembre 1979, pages 840-842.

Ces deux types de solutions présentent des inconvénients : pertes additionnelles dues à la structure particulière de la fibre à maintien de polarisation et éventuellement problèmes de vieillissement, ou pertes d'insertions importantes dans le cas du contrôle actif de polarisation. Dans les deux cas, on peut
15 estimer l'augmentation des pertes à au moins 10 dB dans le meilleur des cas.
20

De plus, la solution de la fibre à maintien de polarisation pose des problèmes au niveau des connexions entre fibres, comme décrit dans l'article de M. MONNERIE, intitulé "Polarization-maintaining single-mode fiber cables : influence of joins" publié
25 dans "Applied Optics" vol. 20, N° 14, 15 juillet 1981.

Le but de la présente invention est d'éviter ces inconvénients en s'affranchissant de la nécessité de disposer d'un état de polarisation stable et bien défini de l'onde à démoduler. Il est alors possible
30 d'utiliser des fibres monomodes classiques, en particulier celles qui sont connues pour donner le minimum d'atténuation à la longueur d'onde de travail, et de ne pas avoir recours à un contrôle actif de polarisation pénalisant le bilan de la liaison.
35

La mise en oeuvre de l'invention permet donc de réaliser un système à détection cohérente, avec un bilan de liaison supérieur à ceux des dispositifs proposés.

5 On observera que le problème de la stabilité de l'état de polarisation de l'onde à détecter ne se pose pas lorsque la transmission a lieu en espace libre (par exemple à l'aide d'un rayonnement à 10,6 m) car le milieu de transmission est alors non ou très peu dépolarisant. L'invention trouve donc surtout un
10 intérêt dans la transmission par fibres optiques, mais naturellement les transmissions en espace libre, avec des ondes autres qu'optiques ne sont pas pour autant exclues du champ de l'invention.

15 L'idée essentielle de l'invention est de reporter sur les circuits électroniques de démodulation les opérations permettant de tenir compte des variations de polarisation de l'onde incidente. Cette transposition est possible étant donné que les bandes
20 caractéristiques des perturbations (thermique et vibrationnelle) se situent bien au-dessous du mégahertz et donc bien au-dessous de la fréquence de l'information.

De façon précise, l'invention a pour objet
25 un procédé de détection cohérente et de démodulation d'une onde porteuse modulée à état de polarisation variable, ce procédé consistant à mélanger l'onde à détecter avec une onde auxiliaire émise par un oscillateur local asservi, et à détecter dans l'onde résultant du mélange l'information qui y est contenue, ce
30 procédé étant caractérisé en ce que :

- on sépare l'onde à démoduler en deux composantes d'états de polarisation orthogonaux,
- on divise l'onde émise par l'oscillateur local en
35 deux ondes partielles locales d'états de polarisation orthogonaux respectivement identiques aux états de polarisation des deux composantes de l'onde à démoduler,

- on mélange chaque composante de l'onde à démoduler avec l'onde partielle locale qui a le même état de polarisation,
- 5 - on effectue une détection-démodulation sur chaque onde résultant du mélange, ce qui fournit des signaux électriques de détection-démodulation,
- on combine les signaux électriques de façon à restituer l'information indépendamment de l'état de polarisation de l'onde porteuse modulée.

10 Par états de polarisation orthogonaux on entend des états quelconques (polarisations rectilignes de directions orthogonales, ou polarisations circulaires droite et gauche etc...) la notion d'orthogonalité devant être prise dans un sens très général où
15 l'intégrale de recouvrement de deux fonctions est nulle.

L'invention a également pour objet un dispositif de mise en oeuvre du procédé qui vient d'être défini. Ce dispositif comprend les moyens aptes à réaliser les opérations énoncées plus haut.
20

De toute façon, les caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux après la description qui suit, d'un exemple de réalisation donné à titre non limitatif. Cette description se réfère à un dessin annexé unique, qui représente un dispositif conforme à
25 l'invention fonctionnant en démodulation différentielle avec une onde porteuse modulée à deux états de phase.

Tel que représenté sur cette figure, le dispositif comprend :
30

- un séparateur 10 recevant l'onde incidente 12 qu'il s'agit de démoduler ; cette onde possède une pulsation ω_s et sa polarisation est dans un état quelconque ; le séparateur 10 délivre deux ondes 14 et 16,
35 de polarisations rectilignes, rectangulaires entre elles : la polarisation de l'onde 14 est dans le plan de la figure (ce qui est schématisé par une flèche) et celle de l'onde 16 perpendiculaire à ce

plan (ce qui est schématisé par un cercle pointé) ; ces ondes seront désignées par la suite respectivement par $E_{S//}$ et $E_{S\perp}$; le séparateur 10 est par exemple un prisme biréfringent ;

- 5 - un oscillateur local 20, délivrant une onde locale 22 de pulsation ω_L , qui, dans l'exemple illustré est polarisée rectilignement dans le plan de la figure ;
- une lame semi-transparente 24 disposée sur le trajet de l'onde 22 et donnant naissance à deux ondes locales partielles 26 et 28 ;
- 10 - une lame demi-onde 30, qui reçoit l'onde locale partielle 28, dont la polarisation est dans le plan de la figure et qui la transforme en une onde 32, dont la polarisation est perpendiculaire à ce plan, c'est-à-dire parallèle à celle d'onde 16 ;
- 15 - deux voies comprenant chacune, d'une part, un dispositif mélangeur $36_1/36_2$ recevant l'une des composantes de l'onde à démoduler 14/16 et l'onde locale partielle de même direction de polarisation 26/32 et délivrant une onde mélange $38_1/38_2$ et, d'autre part, un détecteur-démodulateur $40_1/40_2$ recevant l'onde-mélange $38_1/38_2$ et délivrant un signal électrique S_1/S_2 véhiculé par une connexion $42_1/42_2$; ces détecteurs assurent en même temps l'asservissement de
- 20 l'oscillateur local 20 en délivrant un signal électrique à la pulsation différence $2\omega_{SL} = 2(\omega_S - \omega_L)$, comme on le verra par la suite et qui constitue un signal d'erreur pour l'oscillateur 20 ;
- 25 - un additionneur 44 à deux entrées reliées respectivement aux deux connexions 42_1 et 42_2 et qui délivre, sur une sortie 46, une information (I) indépendante de l'état de polarisation de l'onde incidente 12.

35 Ce dispositif fonctionne de la manière sui-

vante :

En démodulation différentielle, les détecteurs 40₁/40₂ mélangent l'onde incidente avec une onde retardée d'une période et détectent non pas la phase α mais le saut de phase $\Delta\alpha$ d'une période à la suivante.

Les deux composantes de l'onde à démoduler sont de la forme :

$$E_{S1} = s \cos \Psi \cdot \exp i(\omega_s t + \varphi_s + \alpha)$$

$$E_{S2} = s \sin \Psi e^{i\varphi_s} \cdot \exp i(\omega_s t + \varphi_s + \alpha)$$

expressions dans lesquelles :

Ψ est un angle qui dépend de l'orientation de la polarisation de l'onde incidente ($\Psi = 0$ si cette direction est perpendiculaire au plan de la figure),

s est l'amplitude de l'onde incidente,

φ_s est un angle représentant un bruit de phase provenant de la source utilisée dans l'émetteur et de la propagation,

α est l'information transmise, qui est égale à 0 ou π dans le cas de la modulation de phase à deux états,

i est le symbole des imaginaires

t est le temps.

Chaque onde locale partielle a pour expression :

$$l \exp i(\omega_L t + \varphi_L)$$

où l est une amplitude et φ_L une phase représentant le bruit de phase de l'oscillateur local.

Chaque onde locale est mélangée avec E_{S1} ou E_{S2} . Après détection différentielle, c'est-à-dire combinaison de l'onde mélange incidente avec l'onde mélange retardée d'une période T , on obtient un signal de la forme :

$$s^2 l^2 u^2 v^2 \cos \Psi(t) \cdot \cos \Psi(t+T) \cos [\omega_{SL} t + \varphi_{SL}(t) + \alpha(t)] \cdot \cos [\omega_{SL}(t+T) + \varphi_{SL}(t+T) + \alpha(t+T)]$$

où

$$\omega_{SL} = \omega_s - \omega_L$$

$$\varphi_{SL} = \varphi_s - \varphi_L$$

u est le coefficient de réflexion du mélangeur 36₁
 v est le coefficient de transmission de ce mélangeur.

En supposant les divers bruits négligeables, par rapport à l'onde principale, ce signal précédent peut s'écrire :

$$s^2 l^2 u^2 v^2 \cos^2 \Psi \cdot [\cos(\omega_{SL} T + \Delta\alpha) + \cos[\omega_{SL}(2t+T) + 2\varphi_{SL} + \Delta\alpha]]$$

en désignant par $\Delta\alpha$ la variation de α d'une période à l'autre. Par filtrage on obtient tout d'abord une composante à $2\omega_{SL}$, qui sert à la récupération de la fréquence intermédiaire et qui permet d'asservir l'oscillateur local 20. En prenant ensuite $\omega_{SL} T = 2k\pi$, conformément au principe de la démodulation différentielle, on obtient une composante continue, qui est délivrée par le circuit 40₂ sur la connexion 42₂ et qui est de la forme :

$$s^2 l^2 u^2 v^2 \cos^2 \Psi \cos \Delta\alpha$$

Ce signal contient l'information transmise par l'intermédiaire de $\Delta\alpha$ mais il dépend de l'orientation de la polarisation de l'onde incidente par le terme $\cos^2 \Psi$.

Sur l'autre voie, on obtient de la même manière, à la sortie du circuit 40₁, un signal :

$$s^2 l^2 u^2 v^2 \sin^2 \Psi \cos \Delta\alpha.$$

L'addition de ces deux signaux dans le circuit 44 donne un signal égal à :

$$s^2 l^2 u^2 v^2 \cos \Delta\alpha$$

qui ne dépend plus de l'état de polarisation de l'onde incidente, ce qui est bien le résultat annoncé.

REVENDECATIONS

1. Procédé de détection cohérente et de démodulation d'une onde porteuse modulée à état de polarisation variable, ce procédé consistant à mélanger l'onde à détecter avec une onde auxiliaire émise par un oscillateur local asservi, et à détecter dans l'onde résultant du mélange l'information qui y est contenue, caractérisé en ce que :
- 5 - on sépare l'onde à démoduler en deux composantes d'états de polarisation orthogonaux,
 - 10 - on divise l'onde émise par l'oscillateur local en deux ondes partielles locales d'états de polarisations orthogonaux respectivement identiques aux états de polarisation des deux composantes de l'onde à démoduler,
 - 15 - on mélange chaque composante de l'onde à démoduler avec l'onde partielle locale qui a le même état de polarisation,
 - on effectue une détection-démodulation sur chaque onde résultant du mélange, ce qui fournit des signaux électriques de détection-démodulation,
 - 20 - on combine les signaux électriques de manière à restituer l'information indépendamment de l'état de polarisation de l'onde porteuse modulée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la démodulation est une démodulation différentielle ou cohérente et en ce qu'on ajoute les signaux correspondants de chaque détecteur démodulateur.
- 25

3. Dispositif de détection cohérente et de démodulation d'une onde porteuse modulée à état de polarisation variable, pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, ce dispositif comprenant un
- 30

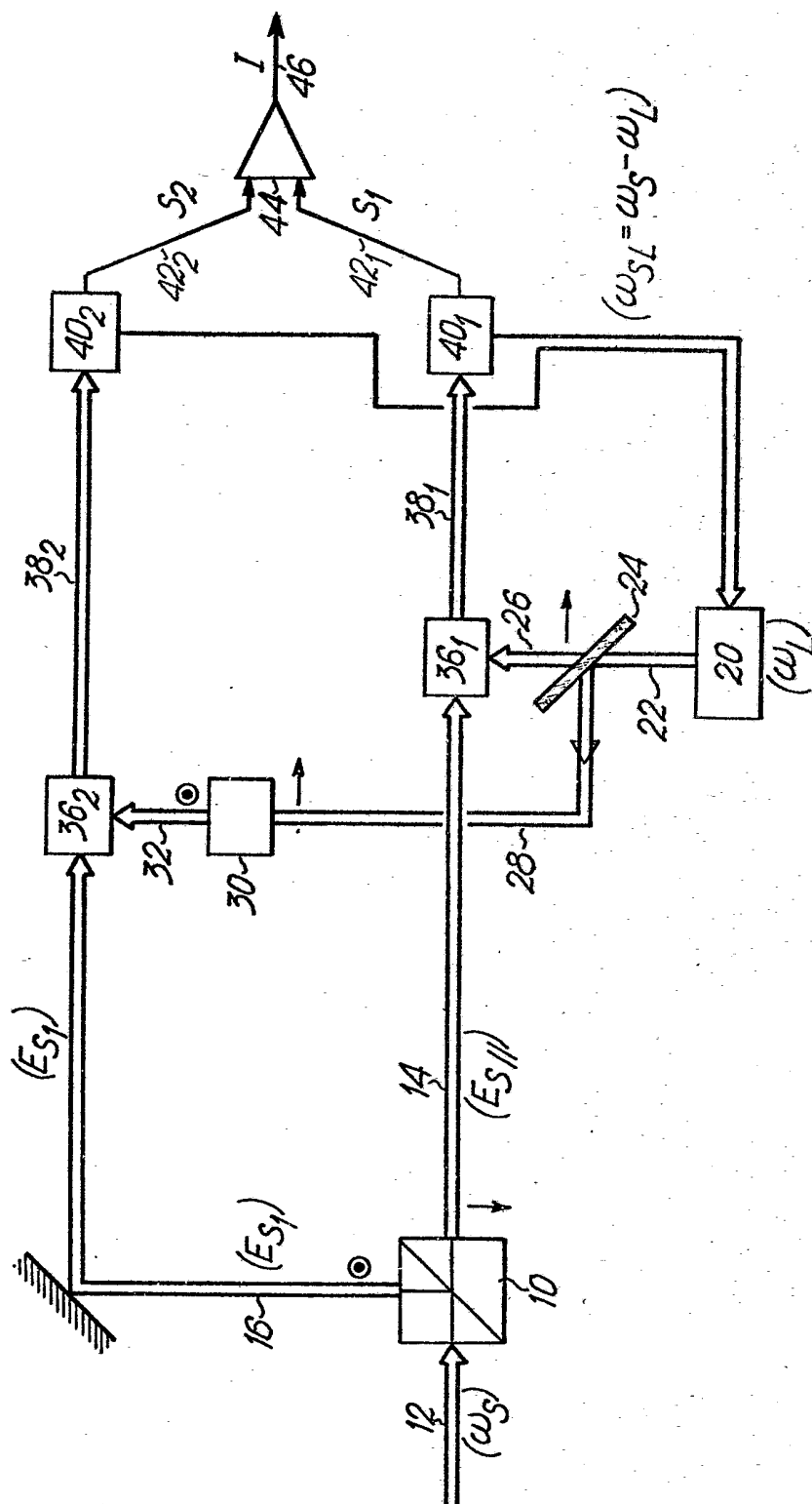
oscillateur local asservi émettant une onde locale, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 - un séparateur de faisceau (10) recevant l'onde porteuse (12) et la séparant en deux composantes (14, 16) d'états de polarisation orthogonaux,
- 10 - un moyen (24, 30) recevant l'onde locale (22) provenant de l'oscillateur local (20) et la séparant en deux ondes locales partielles (26, 32) d'états de polarisation orthogonaux, respectivement identiques aux états de polarisation des deux composantes délivrées par le séparateur (10),
- 15 - une première voie de détection-démodulation comprenant un premier mélangeur (36_1) recevant une des composantes de l'onde à démoduler (14) et celle des ondes locales partielles (26) ayant même direction de polarisation, ce premier mélangeur (36_1) délivrant une première onde-mélange (38_1), un premier détecteur-démodulateur (40_1) recevant cette première onde-mélange (38_1) et délivrant un premier ensemble de signaux électriques S_1 ,
- 20 - une seconde voie de détection-démodulation comprenant un second mélangeur (36_2) recevant l'autre composante (16) de l'onde à démoduler et l'autre onde locale partielle (32) ayant même état de polarisation, ce second mélangeur (36_2) délivrant une seconde onde-mélange (38_2), un second détecteur-démodulateur (40_2) recevant cette seconde onde-mélange (38_2) et délivrant un second ensemble de signaux électriques (S_2),
- 25 - un circuit de combinaison (44) des premier et second ensembles de signaux électriques (S_1 et S_2).

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les premier et second détecteurs-démodulateurs ($40_1/40_2$) effectuent une démodulation
35 différentielle ou cohérente et en ce que le circuit de

combinaison (44) est un ensemble d'additionneurs à deux entrées reliées chacune à l'un des détecteurs-démodulateurs.

1/1



$$(\omega_S = \omega_S - \omega_L)$$

$$(\omega_L)$$