



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt : **93402985.1**

⑤① Int. Cl.⁵ : **G06E 3/00**

⑳ Date de dépôt : **10.12.93**

③① Priorité : **15.12.92 FR 9215085**

④③ Date de publication de la demande :
22.06.94 Bulletin 94/25

⑧④ Etats contractants désignés :
DE GB IT

⑦① Demandeur : **THOMSON-CSF**
173, Boulevard Haussmann
F-75008 Paris (FR)

⑦② Inventeur : **Dolfi, Daniel**
THOMSON-CSF,
SCPI,
B.P. 329
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

Inventeur : **Huignard, Jean-Pierre**
THOMSON-CSF,
SCPI,
B.P. 329
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

Inventeur : **Chazelas, Jean**
THOMSON-CSF,
SCPI,
B.P. 329
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)
Inventeur : **Souchay, Philippe**
THOMSON-CSF,
SCPI,
B.P. 329
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

⑦④ Mandataire : **Guérin, Michel et al**
THOMSON-CSF
SCPI
B.P. 329
50, rue Jean-Pierre Timbaud
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

⑤④ **Dispositif de traitement optique de signaux électriques.**

- ⑤⑦ Dispositif de traitement optique de signaux électriques comportant :
- une source optique (L) émettant un faisceau (B1) multilongueur d'ondes ;
 - un modulateur (MOD) modulant ce faisceau ;
 - une fibre optique (F) recevant le faisceau modulé (B2) et retardant différemment les composantes correspondant aux différentes longueurs d'ondes ;
 - un réseau dispersif (H) dispersant dans des directions différentes des longueurs d'ondes contenues dans le faisceau modulé (B3) ;
 - un modulateur spatial de lumière (SLM) commandant le niveau d'intensité optique de différentes directions du faisceau dispersé (B4) ;
 - un système de détection optique (PD) recevant le faisceau (B5) traité par le modulateur spatial de lumière (SLM).
- Application : Filtre transverse - Corrélateur de signaux hyperfréquences.

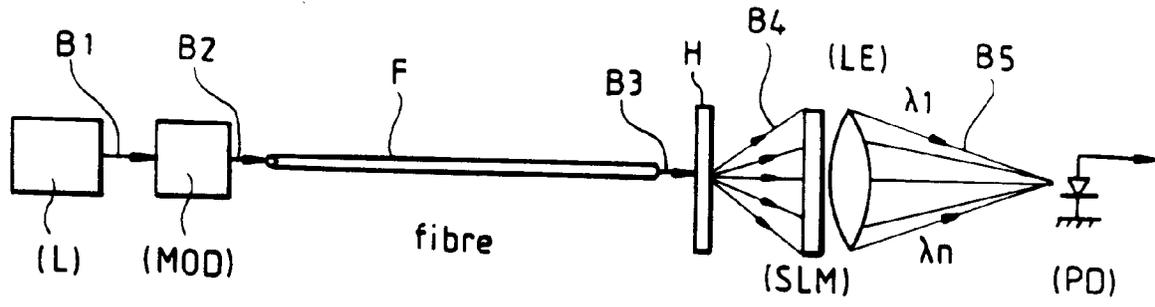


FIG.2

L'invention concerne un dispositif de traitement optique de signaux électriques et notamment un dispositif applicable en filtre transverse ou en corrélateur de signaux hyperfréquences.

Plus particulièrement, l'invention concerne un ensemble de dispositifs à fibre optique permettant le traitement de signaux hyperfréquences à très large bande et notamment réalisant les fonctions de filtre adapté et de corrélateur. Ces dispositifs exploitent les propriétés de dispersion chromatique des fibres optiques mais également la possibilité d'y induire de manière permanente des réseaux de Bragg.

Comme cela est connu dans la technique, un filtre transverse réalise la sommation d'échantillons d'un signal, prélevé à des instants différents, avec une loi de pondération caractéristique du signal à filtrer. A l'aide d'un tel filtre, on cherche à déterminer, par exemple, la date d'apparition d'un signal $p(t)$, connu a priori. Ce signal $p(t)$ transitoire de durée finie T est mélangé à un bruit $b(t)$ indépendant de $p(t)$. C'est donc le signal $x(t) = p(t)+b(t)$ qu'il est nécessaire de filtrer. Un tel filtre, s'il maximise le rapport signal à bruit à l'instant T , est dit adapté. Dans le cas d'un bruit blanc idéal, la réponse impulsionnelle $h(t)$ du filtre adapté est $h(t)=p(-t)$: lorsque le bruit n'est pas blanc, ce filtre n'est plus optimal mais permet cependant de déterminer la date d'apparition de $p(t)$ dans la plupart des cas.

La méthode de pondération décrite par exemple dans le document J. MAX "Méthodes et techniques du traitement du signal et applications aux mesures physiques", Masson, 1987 est un exemple de réalisation d'un tel filtre. Comme cela est représenté sur la figure 1, le signal $x(t)$ alimente une ligne à retards constituée de N éléments, chacun fournissant un retard T . On dispose en outre d'un échantillonnage sur $N+1$ points du signal $p(t) : p(0), p(\tau), \dots p(N\tau)$. Le signal issu de chaque élément constituant la ligne à retards est pondérée par un coefficient λ_k tel que:

$$\lambda_k = p((N - k)\tau) / |p_{\max}|$$

où $|p_{\max}|$ est la valeur maximale du module de $p(t)$. A l'instant t_0 , la somme $y(t_0)$ des $N+1$ sorties pondérées vaut :

$$y(t_0) = \sum_{k=0}^N x(t_0 - k\tau) p((N - k)\tau)$$

avec $N\tau = T$

$$y(t_0) = \sum_{k=0}^N x(t_k) p(t_k - (t_0 - \tau))$$

avec $t_k = t_0 - k\tau$

Ceci est bien le résultat du filtrage adapté à l'instant t_0-T . Cette fonction est aujourd'hui réalisée à partir de dispositifs électroniques numériques mais est alors limitée en fréquence et ne permet pas de traiter directement des signaux à des fréquences de l'ordre de 20 GHz. D'autres solutions, analogiques cette fois, à base de guides hyperfréquence ou de fibres optiques telles que décrites dans K.P Jackson J.J Schaw "Fiber optics delay-line signal processors" in "Optical Signal Processing" J.L Horner Ed., Academic press permettent d'envisager d'atteindre ce domaine de fréquence mais elles se heurtent à la difficulté de réalisation d'un grand nombre de points de couplage.

L'invention concerne un dispositif permettant d'obtenir un grand nombre d'échantillons sur des signaux à très haute fréquence, typiquement $n \sim 1024$ de 0 à 20 GHz.

De plus il est souvent nécessaire en traitement du signal de calculer le produit de corrélation :

$$C(t_0) = \frac{1}{b} \int_T R(t - t_0) S(t) dt$$

où

$R(t-t_0)$ est un signal de référence convenablement retardé

$S(t)$ est le signal à corrélérer

T est le temps d'intégration

b est la densité de puissance de bruit par Hz.

L'objet de ce calcul est de déterminer la valeur de t_0 qui assure le maximum de la fonction de corrélation $C(t_0)$. Il faut ainsi disposer d'un grand nombre d'échantillons du signal de référence retardés de différentes valeurs de t_0 afin d'assurer avec précision la détermination du t_0 qui maximise $C(t_0)$. Une telle fonction peut

être réalisée en électronique mais elle est limitée à des signaux dont la fréquence et la bande passante n'ex-cèdent pas quelques 100 MHz. Cette limitation est due aux échantillons trop lents et aux capacités de mémoire trop faibles.

Des dispositifs à base de fibres optiques réalisant la corrélation de deux signaux transportés optiquement ont déjà été proposés (voir par exemple les Demandes de Brevets français n° 87 10120 et n° 91 112040).

Le corrélateur faisant l'objet de l'invention présente l'avantage de ne pas nécessiter de retournement temporel d'un des deux signaux et utilise un photodétecteur à bande passante réduite.

L'invention concerne donc un dispositif de traitement optique de signaux électriques, caractérisé en ce qu'il comporte :

- 10 - une source optique émettant un faisceau optique multilongueur d'ondes ;
- au moins un modulateur électrooptique recevant le faisceau et le modulant à l'aide d'un signal électrique à traiter ;
- une fibre optique dispersive recevant le faisceau modulé et transmettant un faisceau dans lequel les composantes correspondant aux différentes longueurs d'ondes sont retardées les unes par rapport aux autres dans la fibre ;
- 15 - un réseau dispersif séparant les différentes longueurs d'ondes contenues dans le faisceau reçu de la fibre optique et fournissant un faisceau dispersé dans lequel chaque longueur d'onde est déviée selon une direction qui lui est caractéristique ;
- un modulateur spatial de lumière comportant une pluralité d'éléments de modulation recevant le faisceau dispersé et commandant le niveau d'intensité optique de différentes directions du faisceau dispersé ;
- 20 - un système de détection optique (PB) recevant le faisceau traité par le modulateur spatial de lumière.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description qui va suivre et dans les figures annexées qui représentent :

- 25 - la figure 1, un schéma théorique général d'un filtre transverse ;
- la figure 2, un exemple de réalisation d'un filtre transverse selon l'invention ;
- la figure 3, des courbes de dispersion chromatique de fibres optiques ;
- la figure 4, une variante de réalisation d'un filtre transverse selon l'invention ;
- la figure 5, un exemple de réalisation d'un corrélateur de signaux hyperfréquences selon l'invention ;
- 30 - la figure 6, un autre exemple de réalisation d'un corrélateur de signaux hyperfréquences de l'invention ;
- la figure 7, une variante de réalisation du corrélateur de la figure 6 ;
- la figure 8, une variante de réalisation applicable aux différents dispositifs des figures 2 à 7.

En se reportant à la figure 2, on va décrire un exemple de réalisation du dispositif de l'invention.

Ce dispositif comporte en série un laser L, un modulateur électrooptique MOD, une fibre optique F, un réseau dispersif H ou dispositif dispersif de longueurs d'ondes, un modulateur spatial de lumière SLM, une lentille (LE), un photodétecteur PD.

Le laser L fournit un faisceau B1 multilongueurs d'onde $\lambda_1, \dots, \lambda_N$. C'est par exemple, un laser état solide pompé diode délivrant un spectre continu large bande ou un ensemble important de modes longitudinaux. Ce faisceau est couplé dans le modulateur MOD. Celui-ci est par exemple, un modulateur intégré sur LiNbO₃ ou sur semiconducteur. Il possède une bande passante s'étendant entre deux fréquences F_1 et F_2 (exemple: $F_1 = 0$ $F_2 = 20$ GHz) et est excité par un signal $x(t)$ à traiter.

On dispose ainsi dans le faisceau B2 d'une porteuse optique multilongueurs d'onde du signal à traiter. En fait, chaque longueur d'onde λ_1 à λ_N peut être considérée comme une porteuse indépendante du signal $x(t)$.

Le faisceau B2 issu du modulateur MOD est couplé dans la fibre optique monomode F, utilisée dans un domaine spectral où elle est dispersive c'est-à-dire où l'indice de réfraction n de la fibre dépend de la longueur d'onde. Le faisceau B3 issu de la fibre optique F comporte les différentes longueurs d'ondes délivrées par la source L toutes modulées par le modulateur MOD, mais ces différentes longueurs d'ondes subissent des retards différents lors de la traversée la fibre en raison de l'indice de réfraction n différent pour chaque longueur d'onde.

Le faisceau B3 rencontre ensuite le réseau dispersif H, fonctionnant par exemple en transmission. Ce dernier sépare spatialement les différentes composantes de longueurs d'ondes de la porteuse optique. Chaque composante passe alors au travers d'un élément du modulateur spatial de lumière SLM. La transmission de chaque élément du modulateur est variable en fonction de la tension qui lui est appliquée et permet ainsi d'appliquer à chaque composante la pondération désirée. Un système optique LE effectue ensuite la sommation de toutes les composantes, sur un photodétecteur unique PD.

A l'instant t_0 , l'intensité de la porteuse optique, sur chaque canal, avant la traversée du modulateur SLM est de la forme :

$$I_k(t_0) = S_0 + S_1 \cdot x(t_0 - l \frac{n_k}{c})$$

où :

- C est la célébrité de la lumière
- S_0 et S_1 sont des valeurs d'intensités lumineuses telles que $S_0 > S_1 |x_{\max}|$
- n_k est l'indice de réfraction de la fibre à la longueur d'onde λ_k .

A la traversée de SLM, chaque canal est affecté d'un coefficient α_k caractéristique d'un signal à détecter dans $x(t)$ et devient :

$$I'_k(t_0) = S_0 \cdot \alpha_k + S_1 \cdot \alpha_k \cdot x(t_0 - \frac{l n_k}{c})$$

La sommation optique étant incohérente, la photodiode PD délivre un photocourant proportionnel à la somme :

$$y(t_0) = \sum_{k=1}^N s_0 \cdot \alpha_k + \sum_{k=1}^N s_1 \cdot \alpha_k \cdot x\left(t_0 - \frac{l n_k}{c}\right) = y_0 + y_1(t_0)$$

Le premier terme Y_0 est un biais constant alors que le second $Y_1(t_0)$ est le résultat du filtrage adapté de $x(t)$.

On donne maintenant un exemple de réalisation du système et de ses performances :

- Laser L : laser état solide pompé diode émettant sur $\Delta\lambda \sim 100\text{nm}$ entre 800 et 900nm, une puissance $P_0 \sim 20\text{mW}$.
- Modulateur MOD : modulateur optique intégré sur LiNbO_3
large bande passante $0 \rightarrow 20\text{ GHz}$
profondeur de modulation 80 à 100 %
pertes d'insertion : 6 dB
- Fibre : monomode, en silice dont un exemple de courbes de dispersions est donné en figure 3. Il apparaît sur ces courbes qu'une fibre en silice pure est moins dispersive qu'une fibre de silice comportant un autre constituant. Ainsi il est possible d'adapter la dispersion de la fibre aux valeurs de retard désirées.
- Réseau dispersif H : ce réseau autorise couramment une résolution de 0,1nm.
- Modulateur spatial de lumière SLM : modulateur spatial à une dimension de 10^3 pixels ; cellule à cristal liquide présentant une dynamique de 20 à 30 dB. Transmission $\sim 50\%$.
- Détecteur optique PD : photodiode rapide dont la puissance minimale détectable est typiquement de l'ordre de $P_1 \approx 10^{-13} \sqrt{B}$ où B est sa bande passante de fonctionnement ; pour une bande passante Δf , l'incrément de retard T doit être au plus de :

$$\tau = 1/2 \cdot \Delta F$$

Ainsi, la longueur de fibre l permettant de réaliser un dispositif à N canaux est déterminée par :

$$N \cdot \tau = \frac{l}{c} (n_{\lambda N} - n_{\lambda 1}) = \frac{l}{c} \Delta n$$

45

$$\text{d'où } l = \frac{c}{\Delta n} \cdot \frac{N}{2 \cdot \Delta f}$$

Pour une fibre en silice, utilisée entre 800 et 900nm on a $\Delta n \sim 2.10^{-3}$ d'où si $N = 10^3$, $\Delta F = 20\text{ GHz}$

$$l = 3,8\text{ km}$$

50

Une telle longueur de fibre, à ces longueurs d'onde, introduit des pertes de transmission optique de l'ordre de 8dB (2dB/km).

Par ailleurs, la bande passante de la photodiode doit être de l'ordre de $\Delta F/N$. Si P_1 est la puissance minimum détectable par cette photodiode, elle doit satisfaire :

55

$$P_1 \leq P_0 \cdot T \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{D}$$

où T est la transmission optique totale du dispositif et D la dynamique permise par SLM. Dans l'exemple donné :

$$\Delta F/N \sim 20\text{ MHz}$$

d'où $P_1 \sim 10^{-13} \sqrt{\Delta f / N} = 4.10^{-10} \text{Wet} P_o \cong 20 \text{mW}$

Le dispositif ainsi décrit trouve une application préférentielle comme filtre transverse et procure les avantages suivants :

- 5 - Ce système permet de réaliser le filtrage adapté, sans transposition de fréquence, de signaux à très haute fréquence et à large bande passante. En effet, l'incrément de retard peut être aussi faible que désiré : il suffit pour cela d'utiliser la fibre optique sur un domaine spectral où sa dispersion chromatique est faible ou d'adapter la nature de la fibre à l'incrément désiré.
- 10 - Le contrôle de pondération α_k est assuré en parallèle au moyen d'un dispositif unique SLM. Celui-ci est commandé par des tensions faibles et assure à chaque instant la reconfigurabilité du système.
- Le contrôle indépendant sur chaque canal de la transmission du modulateur spatial SLM permet de compenser les non-uniformités du spectre émis par le laser ainsi que celles dues à la transmission de la fibre.
- Le volume du dispositif devrait être faible et ne pas excéder le litre. De plus sa consommation restera réduit, compte tenu des rendements des sources actuelles.

15 En se reportant à la figure 4, on va maintenant décrire une variante du dispositif de la figure 2.

Dans cette variante, la fibre optique n'est plus utilisée en tant que milieu dispersif. Elle est au contraire utilisée à une longueur d'onde pour laquelle la dispersion est minimale.

20 Des réseaux de Bragg, accordés aux longueurs d'onde $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_N$, travaillant en réflexion sont photoinduits dans la fibre. L'accord de Bragg aux différentes longueurs d'onde est obtenu par variation de la période du réseau photoinduit. La méthode d'inscription est analogue à celle décrite par exemple dans le document G. Meltz, W.W Morey, W.H Glenn "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method" Opt. Lett., 14, 823 (1989) et utilise un laser UV, garantissant la permanence des réseaux.

25 La source laser L émet un spectre étendu $\Delta\lambda$, contenant des longueurs d'onde $\lambda_1 \dots \lambda_N$. De plus, le faisceau B1 qui en est issu est polarisé linéairement. Il est ensuite couplé dans le modulateur MOD identique à celui précédemment décrit, excité par le signal hyper $x(t)$ à filtrer. Cette porteuse optique multifréquences est alors couplée dans la fibre à réseaux, où chaque composante va subir une réflexion à une abscisse différente. Cette fibre est à maintien de polarisation afin de pouvoir aisément séparer les faisceaux incidents et réfléchis.

30 La lame quart d'onde $\lambda/4$ achromatique et le séparateur de polarisation PBS (cube séparateur de polarisateur) permettent de collecter la lumière réfléchi par la fibre F. Le système de dispersion-pondération-sommation reste identique à celui précédemment décrit. Ainsi donc, l'intensité de la porteuse optique, sur chaque canal, après traversée du modulateur SLM, est de la forme :

$$35 \quad I_k(t_0) = S_0 \cdot \alpha_k + S_1 \cdot \alpha_k \cdot x \left(t_0 - \frac{2n}{c} l_k \right)$$

où:

- 40 - n est l'indice de réfraction de la fibre ;
- l_k la position, dans la fibre, du réseau accordé à λ_k . De manière identique à ce qui précède, la sommation cohérente sur la photodiode fournit un photocourant qui rend compte du filtrage adapté de $x(t)$. Afin de définir de façon précise l'échantillon temporel prélevé, il est nécessaire que l'épaisseur de chaque réseau soit petite devant la longueur d'onde du signal à traiter.

45 Si Δf est la bande passante à traiter et 1 la longueur totale de fibre :

$$\tau = 1/2\Delta f$$

$$2(l_{k+1} - l_k) = \frac{c}{n} \tau$$

$$l = N \cdot \frac{c}{2n} \cdot \frac{1}{2\Delta f}$$

50 Ainsi donc, pour l'application décrite précédemment, on aura par exemple :

$$l_{k+1} - l_k = 2,5 \text{ mm}$$

$$l = 2,5 \text{ m}$$

coefficient des réseaux = 250 μm

épaisseur de réflexion de chaque réseau = 10 %

55 Le dimensionnement précédent du dispositif reste valable puisqu'on substitue aux pertes par transmission dans la fibre, l'efficacité en réflexion des réseaux.

La figure 8 représente une autre variante de réalisation dans laquelle, orsque la divergence du faisceau

multifréquence B4 est trop importante par rapport à la taille des pixels du modulateur SLM ou lorsqu'on désire un système très compact, il est avantageux de mettre en oeuvre le système symétrique de la figure 8.

5 L_c et L'_c sont les lentilles symétriques, par exemple de même focale. Dans ce cas H et H' sont des réseaux semblables. Toutes les longueurs d'onde sont ainsi recombinaées sur une direction unique avant être sommées au moyen de la lentille de sortie. Les pixels de SLM ont les dimensions des lignes lumineuses formées par L_c .

10 Selon une autre variante, la lentille sphérique de sortie et le détecteur unique de la figure 8 sont remplacés respectivement par une lentille cylindrique, parallèle à L_c , et par une barrette de photodiodes. De plus SLM devient un modulateur spatial de lumière à deux dimensions ($N \times p$ pixels). Chaque ligne du SLM comporte q pixels adressables indépendamment. A chaque pixel est associé un élément de la barrette de photodiodes. Le système permet ainsi en parallèle d'effectuer le filtrage adapté à q signaux différents pouvant être contenus dans le signal $x(t)$.

Le dispositif de l'invention est également applicable à un corrélateur de signaux électriques (hyperfréquences notamment).

15 La figure 5 représente un exemple d'un tel corrélateur selon l'invention. Ce corrélateur comporte en série :

- une source optique (laser) L
- un premier modulateur électrooptique MOD1
- une fibre optique dispersive F
- un deuxième modulateur électrooptique MOD2
- 20 - un réseau dispersif H
- un modulateur spatial de lumière SLM
- un dispositif de détection optique CCD.

25 Les différents éléments de ce corrélateur ont des caractéristiques similaires à celles du dispositif décrit précédemment. On précise que le dispositif de détection optique CCD peut comporter autant de détecteurs élémentaires qu'il y a d'éléments images et que ces détecteurs sont couplés à un dispositif à transfert de charges.

Ce dispositif a pour rôle de corrélérer deux signaux électriques $S(t)$ et $R(t)$. Le premier modulateur électrooptique MOD1 utilise le signal $S(t)$ pour moduler le faisceau B1. Le deuxième modulateur électrooptique MOD2 utilise le signal $R(t)$ pour moduler le faisceau B3 issu de la fibre F.

30 Le faisceau B3 est comme on l'a vu précédemment constitué d'une pluralité de faisceaux élémentaires de longueurs d'onde optique différente et ayant subi des retards différents dans la fibre optique F. Le modulateur MOD2 applique donc une modulation à chacun de ces faisceaux élémentaires. Cela revient donc à ce que chacun de ces faisceaux élémentaires ait une amplitude proportionnelle au produit des modulations $S(t)$ et $R(t)$, réalisé à des instants différents pour chacun de ces faisceaux élémentaires.

35 Le réseau dispersif H réparti spatialement les composants du faisceau B'3 correspondant chacune à une longueur d'onde (ou une gamme étroite de longueurs d'ondes). Les différents faisceaux élémentaires du faisceau B4 sont modulés par le modulateur spatial de lumière SLM puis transmis aux photodétecteurs CCD. Le rôle du modulateur SLM est de corriger les dispersions de la source L ainsi que du système de transmission (fibres notamment). Cependant selon une variante de réalisation le modulateur SLM peut ne pas exister et cette correction peut se faire au niveau de la détection sur le détecteur CCD ou au niveau du traitement du signal détecté par le CCD.

40 A l'instant t , sur chaque élément photodétecteur du CCD, l'amplitude du faisceau optique incident à la longueur d'onde λ_k est proportionnel à :

45

$$I_k(t) = I_{0,k} \left(1 + m_1 \cdot m_2 \cdot S\left(t - \frac{l_{rk}}{c}\right) R(t) \right)$$

50 où

- $I_{0,k}$ est l'intensité du faisceau à λ_k reçue par l'élément photodétecteur en l'absence de modulation ;
- m_1 et m_2 les profondeurs de modulation du signal optique obtenues sur mod_1 et mod_2 .

55 On rappelle que la bande passante totale du système est ΔF et que le nombre d'échantillons du signal de corrélation est N . Dans ce cas la bande passante de chaque élément du CCD est de l'ordre de $\Delta f/N$. Ainsi le temps d'intégration sur chaque élément du CCD vaut: $T = N/2\Delta F$

Ainsi le photocourant délivré par chaque élément k du CCD est proportionnel :

$$i_k(t) : < I_k(t) > T$$

$$= I_{k,o} \times T + m_1 \cdot m_2 I_{k,o} \int_T S(t - \frac{ln_k}{c}) R(t) dt$$

et rend bien compte, dans sa partie modulée, du produit de corrélation $S(t)*R(t)$.

De même que pour le filtre transverse, si $\Delta F = 20$ GHz et $N = 10^3$ on a :

5 $1 \sim 4$ km

et $P_o \cong P_1 \frac{1}{T} \cdot N \cdot D$ où P_1 vaut ici typiquement 10^{-10} W (détektivité du CCD de l'ordre de $3 \cdot 10^{-2}$ pW/H2^{1/2}).

$D \sim 40$ dB

10 et donc $P_o > 60$ mW

Ce dispositif procure les mêmes avantages que les dispositifs 2 et 4 et permet une détection optiquement incohérente sur chaque élément du CCD.

La figure 6 représente une variante de réalisation du corrélateur de l'invention.

Le laser L, émettant sur un large spectre $\Delta\lambda$, est couplé à deux modulateurs MOD1 et MOD2 tels que ceux décrits précédemment ($\Delta F \sim 20$ GHz). Ils sont respectivement excités par les signaux $S(t)$ et $R(t)$. Les faisceaux issus de ces modulateurs sont polarisés linéairement et passent au travers des séparateurs de polarisation ou cube séparateurs de polarisations PBS₁ et PBS₂. Ils sont ensuite couplés dans deux fibres optiques F1, F2 à maintien de polarisation de même longueur 1 où ont été photoinduits des réseaux identiques à ceux précédemment décrits. Dans la fibre F1 les réseaux sont disposés de manière à réfléchir successivement λ_1 puis $\lambda_2, \dots, \lambda_N$. L'ordre en est inversé dans la fibre F2. Après réflexion, les différentes composantes des porteuses optiques $S(t)$ et $R(t)$ repassent au travers des lames $\lambda/4$ et sont parfaitement réfléchies par PBS₁ et PBS₂. Le faisceau réfléchi par la fibre F1 subit une rotation de polarisation de 90° et passe au travers de PBS₂. Ainsi, les porteuses des signaux $R(t)$ et $S(t)$ sont superposées à l'issue de PBS₂ et leurs polarisations sont croisées. Ce faisceau doublé passe ensuite au travers d'un réseau dispersif H où les différentes longueurs d'ondes sont dispersées spatialement. Chacune d'elle passe au travers d'un premier modulateur spatial de lumière SLM₁. Ce dernier est, par exemple, une cellule à cristal liquide opérant en biréfringence contrôlée électriquement. La polarisation coïncide par exemple avec l'axe optique des molécules de cristal liquide. Ainsi l'indice de réfraction vu par cette polarisation varie, suivant la tension appliquée sur le pixel, entre n_o et n_e (indices ordinaires et extraordinaires du cristal liquide). Au contraire la polarisation voit un indice de réfraction constant n_0 . SLM₁ permet donc de contrôler le déphasage relatif φ des porteuses de $S(t)$ et $R(t)$. Un polarisateur P, orienté à 45° des directions de polarisation orthogonales permet la recombinaison de ces deux polarisations. Un second modulateur spatial SLM₂ accolé au premier et comptant le même nombre de pixels, permet de contrôler les poids a_k affectés à chaque canal de composante de longueur d'onde. En sortie de ce dispositif, un système optique permet de focaliser chaque canal sur un des éléments d'un photodétecteur multiple PDA, par exemple de type CCD. Ainsi après intégration, chaque pixel du CCD délivre un signal proportionnel au produit de corrélation $S(t)*R(t)$.

En effet :

- à l'entrée de ces fibres les champs électriques associés aux deux ondes issues de mod₁ et mod₂ sont de la forme :

40
$$E_z(Z,t) = E_{10} \sqrt{S(t)} \exp(j\omega t)$$

$$E_z(Z,t) = E_{20} \sqrt{R(t)} \exp(j\omega t)$$

- sur l'élément l du photodétecteur multiple, les champs électriques incidents sont devenus :

45

$$E_1^i(t) = \alpha_i E_{10}^i \sqrt{S\left(t - \frac{2l_i}{v}\right)} \exp\left(j\omega_i \left(t - \frac{2l_i}{v}\right) + \varphi_i\right)$$

50

$$E_2^i(t) = \alpha_i E_{20}^i \sqrt{R\left[t - 2\left(\frac{L - l_i}{v}\right)\right]} \exp\left(j \cdot \omega_i \cdot \left(t - 2\left(\frac{L - l_i}{v}\right)\right)\right)$$

55

où :

v : est la célérité de la lumière dans la fibre ($\Delta\lambda$ est choisie au voisinage d'un minimum de dis-

persion de la fibre et donc $v_1 = C/n_1 = v = \text{cst}$)

L : la longueur totale des deux fibres

l_F : la position du réseau réfléchissant λ_i dans la fibre 2

ω_i : la pulsation associée à la longueur λ_i

5 φ_i : le déphasage relatif introduit par SLM₁ entre les deux composantes à λ_i qui interfèrent sur le photodétecteur i .

Dans ce cas, pour un temps d'intégration T , le photocourant délivré par le photodétecteur i est proportionnel à :

10

$$i_i(t) \propto \int_0^T |E_1^i(t) + E_2^i(t)|^2 dt$$

15

$$= |E_{10}^i|^2 \alpha_i^2 \int_0^T S\left(t - \frac{2l_i}{v}\right) dt + |E_{20}^i|^2 \alpha_i^2 \int_0^T R\left(t - 2\left(\frac{L - l_i}{v}\right)\right) dt$$

20

$$+ 2E_{10}^i E_{20}^i \alpha_i \cos\left(\omega_i \cdot 2\left(\frac{L - 2l_i}{v}\right) - \varphi_i\right) \int_0^T \sqrt{S\left(t - \frac{2l_i}{v}\right) R\left(t - 2\frac{L - l_i}{v}\right)} dt$$

Sur chaque canal, le déphasage (φ_i est ajusté de manière à ce que :

25

$$2\omega_i \frac{L - 2l_i}{v} - \varphi_i = 2K\pi \quad (K \in \mathbb{N})$$

Ainsi les fluctuations de chemin optique sont compensées au moyen de SLM₁. On retrouve donc dans l'expression $i_i(t)$ deux premiers termes qui constituent un biais et un troisième terme qui rend compte du produit de corrélation $S(t) * R(t)$.

30

On donne dans la suite un exemple de réalisation du système et ses dimensions escomptées. La bande passante totale du système est Δf . Le nombre de canaux ou d'échantillons du signal de corrélation est N .

Dans ce cas, le temps d'intégration vaut au moins :

$$T = \frac{1}{2\Delta f} \cdot N$$

35

De même que pour le filtre transverse :

$$l_{i+1} - l_i = \frac{C}{2n} \cdot \frac{T}{N}$$

$$L = N \cdot \frac{C}{2n} \cdot \frac{1}{2\Delta f}$$

40

Ainsi donc si

$$\Delta f = 20 \text{ GHz et } N = 10^3$$

$$T = 25 \text{ ns}$$

$$l_{i+1} - l_i = 2,5 \text{ mm}$$

$$L = 2,5 \text{ m.}$$

45

Si p_o est la puissance optique disponible en sortie de la source laser, la puissance totale optique maximum reçue sur un canal est de l'ordre :

$$P_o \cdot T_{\text{mod}} \cdot \eta_i \cdot \eta_h \cdot T_{\text{SLM1}} \cdot T_{\text{SLM2}} \cdot \frac{1}{N}$$

où:

50

T_{mod1} : perte d'insertion des modulateurs ($\sim 6\text{dB}$)

η_i : coefficient de réflexion à λ_i du réseau photoinduit ($\sim 10\%$)

η_h : efficacité de diffraction du réseau dispersif

T_{slmk} : coefficient de transmission des modulateurs spatiaux ($T_{\text{SLM1}} \sim 90\%$, $T_{\text{SLM2}} \sim 50\%$)

55

Par ailleurs, un pixel de CCD pour un temps d'intégration de 1 ms, permet la détection de 1pW, soit une détectivité de l'ordre de $3 \cdot 10^{-2} \text{ pW/Hz}^{1/2}$. Pour un temps d'intégration T le NEP (noise equivalent power) qui correspond à la plus petite puissance détectable, devient donc :

$$\text{NEP} = 3.10^{-14} \sqrt{1/2 T W}$$

5

$$= 1,4.10^{-10} W$$

= puissance minimum détectable par canal

10 (La durée de l'intégration n'est pas dans ce cas optimum puisque bien inférieure à la durée de la lecture de la barrette CCD (fréquence de lecture ~ 20 MHz pour 10³ pixels)).

Pour que la dynamique du système soit D il est alors nécessaire d'avoir :

$$P_o T_{\text{mod}} \eta_i \eta_H T_{\text{SLM1}} T_{\text{SLM2}} \frac{1}{N} \cong D. \text{NEP}$$

15

D'où ici P_o > 140 mW (pour D = 40dB) puissance compatible avec les sources laser état solide pompé diode actuelles. Il faut cependant remarquer qu'il est nécessaire, pour chaque λ_i de disposer d'une longueur de cohérence supérieure à 2L afin d'obtenir le produit de corrélation. Ainsi dans le cas précédemment décrit (L = 2,5 m) chaque W_i est définie à mieux que 60 MHz. Il semble donc plus réaliste pour cette application d'utiliser un ensemble de sources lasers multidiodes.

20

Ce corrélateur selon l'invention présente les mêmes avantages que ceux indiqués précédemment pour le dispositif de filtrage. En effet :

- la corrélation ne nécessite aucune transposition de fréquences des signaux S(t), R(t) ;
- les contrôles de pondération des différentes composantes du faisceau B5 est reconfigurable à chaque instant ;

25

- la non-uniformité du spectre de la source L et de la transmission du système (de la ou des fibres notamment) peut être corrigée par le modulateur spatial SLM.

La figure 7 représente une variante de réalisation de la figure 6. Selon cette variante, la fibre F1 présente une dispersion chromatique sur un domaine de longueur d'onde optique Δλ. Sur le même domaine, la fibre F2 est quasiment exempte de dispersion.

30

Le dispositif PBS1 situé en sortie de la fibre F1 est en fait un dispositif de réflexion. Le dispositif PBS2 situé en sortie de la fibre F2 permet de combiner les faisceaux issus des fibres F1 et F2. A titre d'exemple sur la figure 7, le dispositif SP situé en entrées des fibres F1, F2 est un séparateur de polarisation. Cependant les faisceaux transmis aux fibres F1, F2 pourraient également être de même direction de polarisation et le dispositif SP pourrait être un séparateur de lumière.

35

Comme précédemment, les faisceaux superposés issus des fibres F1, F2 sont transmis par le réseau dispersif H et les modulateurs spatiaux de lumière SLM1 et SLM2 au dispositif de détection optique CCD.

Sur chaque élément détecteur de CCD on dispose ainsi du produit :

40

$$\int_T \sqrt{S\left(t - \frac{Ln}{C}\right) R\left(t - \frac{Ln}{C}\right)} dt$$

c'est-à-dire

45

$$\int_T \sqrt{S(t') R\left(t' - \frac{L}{C} (n - \eta)\right)} dt'$$

50

On va maintenant décrire des variations de réalisation applicables de façon générale aux différents dispositifs décrits précédemment.

Selon une première variante, la source laser unique L est remplacée après un ensemble de p sources émettant chacun un spectre Δλ/p. Dans ce cas on utilise un coupleur px1 pour combiner les p sources dans une seule fibre amorce connectée au modulateur mod. On pourra ainsi par exemple, pour N = 1024 utiliser 64 lasers semiconducteurs de quelques mW, émettant chacun 16 modes longitudinaux distants de 0,1 nm.

55

Revendications

1. Dispositif de traitement optique de signaux électriques, caractérisé en ce qu'il comporte :
 - une source optique (L) émettant un faisceau optique (B1) multilongueur d'ondes ;
 - au moins un premier modulateur électrooptique (MOD) recevant le faisceau optique (B1) et le modulant à l'aide d'un premier signal électrique à traiter pour fournir un premier faisceau modulé ;
 - au moins une première fibre optique (F) recevant le faisceau module (B2) et incorporant des moyens de séparation spatiale permettant de transmettre un faisceau (B3) dans lequel les composantes correspondant aux différentes longueurs d'ondes sont retardées les unes par rapport aux autres dans la fibre (F) ;
 - un réseau dispersif (H) séparant les différentes longueurs d'ondes contenues dans le faisceau (B3) reçu de la fibre optique (F) et fournissant un faisceau dispersé (B4) dans lequel chaque longueur d'onde est déviée selon une direction qui lui est caractéristique ;
 - un modulateur spatial de lumière reconfigurable (SLM) comportant une pluralité d'éléments de modulation recevant le faisceau dispersé (B4) et commandant le niveau d'intensité optique de différentes directions du faisceau dispersé (B4) ;
 - un système de détection optique (PD) recevant le faisceau (B5) traité par le modulateur spatial de lumière (SLM).
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de focalisation entre le modulateur spatial de lumière (SLM) et le système de détection optique (PD) pour focaliser le faisceau (B5) traité par le modulateur (SLM), sur le système de détection optique (PD).
3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fibre optique (F) est une fibre optique dispersive.
4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de séparation spatiale comportent des réseaux de Bragg inscrits dans la fibre optique (F) chaque réseau de Bragg ayant un pas déterminé de façon à réfléchir la lumière d'une longueur d'onde déterminée; et en ce que le dispositif comporte en outre, entre le modulateur (MOD) et la fibre optique (F), un séparateur de faisceau (PBS) permettant de transmettre la lumière réfléchie par les réseaux de Bragg vers le réseau dispersif (H).
5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que la lumière transmise par le modulateur (MOD) est polarisée selon une direction et en ce que le dispositif comporte, entre le séparateur de faisceau (PBS) et la fibre optique (F), une lame quart d'onde, le séparateur de faisceau étant alors un séparateur de polarisations.
6. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système de détection optique (PD) est un photodétecteur optique et en ce que le dispositif comporte un dispositif de focalisation situé entre le modulateur spatial de lumière (SLM) et le système de détection optique.
7. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une première lentille cylindrique (L_c) entre le réseau dispersif (H) et le modulateur spatial de lumière (SLM) ainsi qu'une lentille cylindrique (L'_c) symétrique de la première lentille cylindrique par rapport à un modulateur spatial (SLM) et un deuxième réseau dispersif (H') symétrique du premier réseau dispersif par rapport au modulateur spatial (SLM).
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que le système de détection optique (PD) est une ligne de photodétecteurs et en ce que le dispositif comporte une lentille cylindrique comprise entre le modulateur spatial de lumière et le système de détection optique (PD).
9. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième modulateur électrooptique (MOD2) recevant également le faisceau optique multilongueur d'ondes et le modulant à l'aide d'un deuxième signal électrique à traiter pour fournir un deuxième faisceau modulé, ce deuxième faisceau modulé étant superposé au premier faisceau modulé avant transmission au réseau dispersif.
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le deuxième modulateur électrooptique (MOD2) est situé entre la fibre optique (F) et le réseau dispersif (H).
11. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le deuxième modulateur électrooptique (MOD2)

reçoit en parallèle avec le premier modulateur électrooptique (MOD1) le faisceau optique multilongueur d'onde et qu'il le retransmet à une deuxième fibre optique comportant également des moyens permettant de retarder de manière différente les différentes longueurs d'ondes ; les faisceaux issus des deux fibres optiques étant transmis à un système de couplage (FBS1, PBS2) qui les combine et les retransmet au réseau dispersif.

5

12. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que les deux fibres optiques comportent des réseaux de Bragg, chaque réseau de Bragg ayant un pas déterminé de façon à réfléchir la lumière d'une longueur d'onde déterminée; et en ce que le dispositif comporte en outre les modulateurs (MOD1, MOD2) et les fibres optiques (F1, F2), des séparateurs de faisceaux (PBS1, PBS2) permettant de transmettre la lumière réfléchie par les réseaux de Bragg vers le réseau dispersif.

10

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que la lumière transmise par les modulateurs (MOD1, MOD2) est polarisée selon une direction et en ce que le dispositif comporte une lame quart d'onde située entre les séparateurs de faisceaux (PBS1, PBS2) et les fibres (F1, F2), les séparateurs de faisceaux (PBS1, PBS2) étant alors des séparateurs de polarisations.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

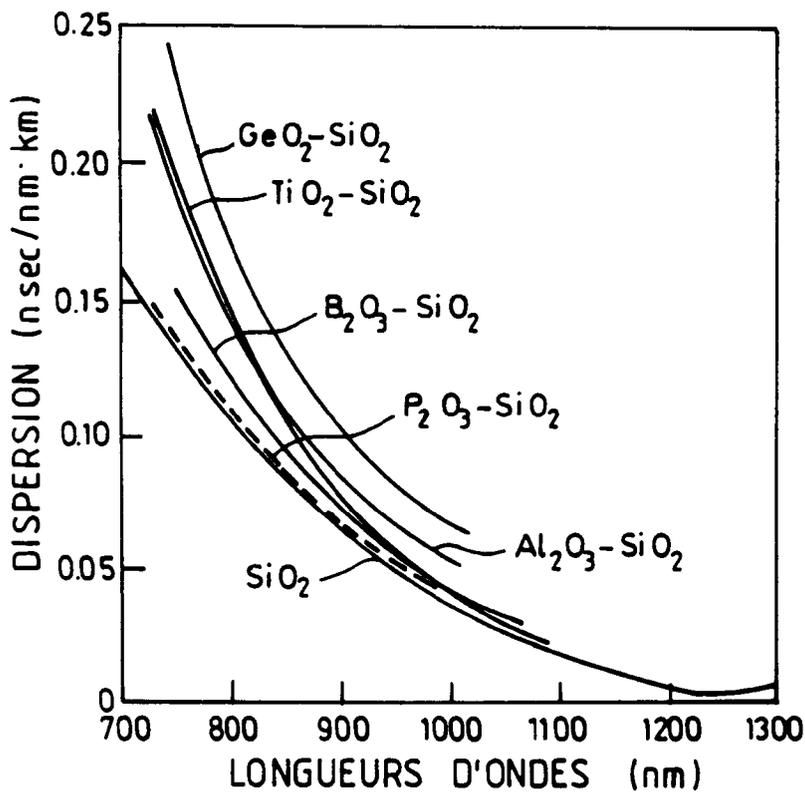
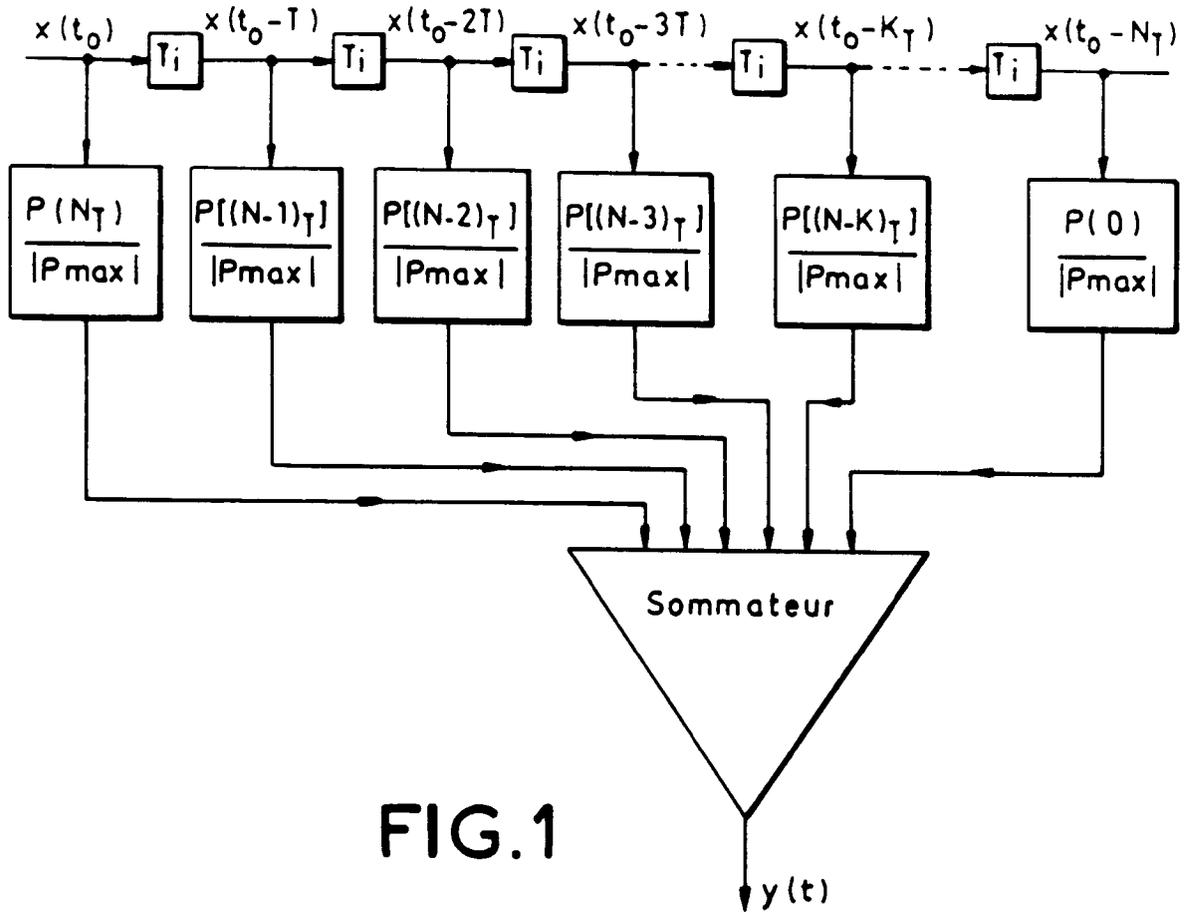


FIG. 3

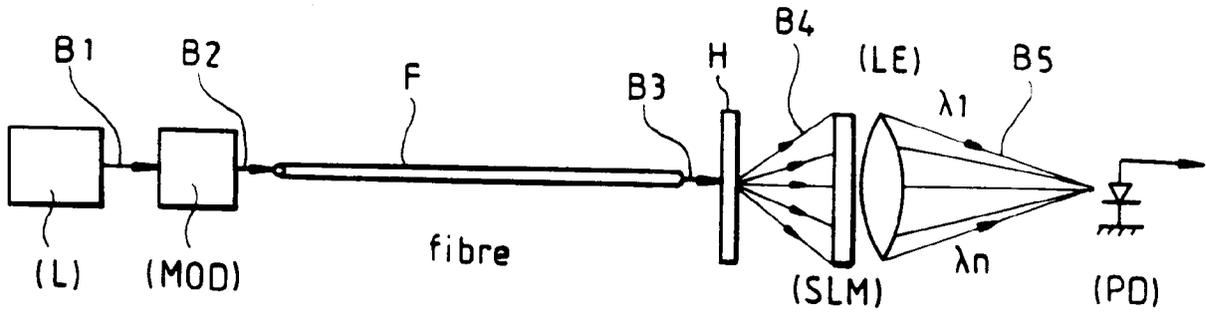


FIG.2

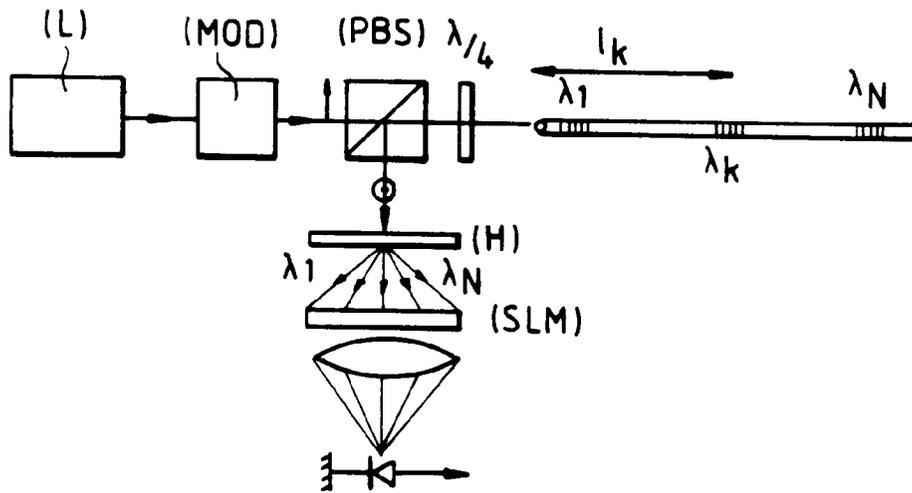


FIG.4

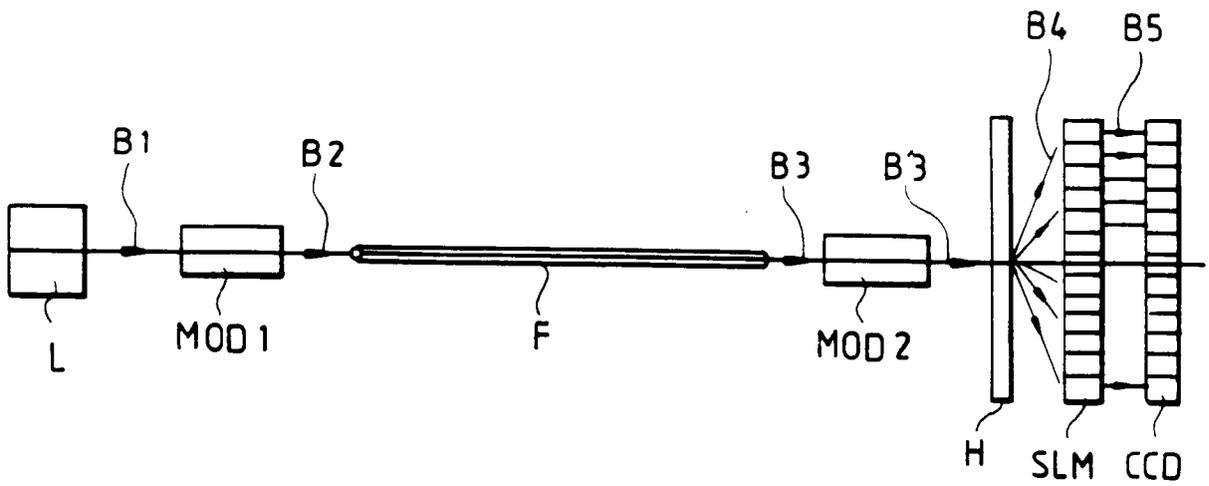


FIG.5

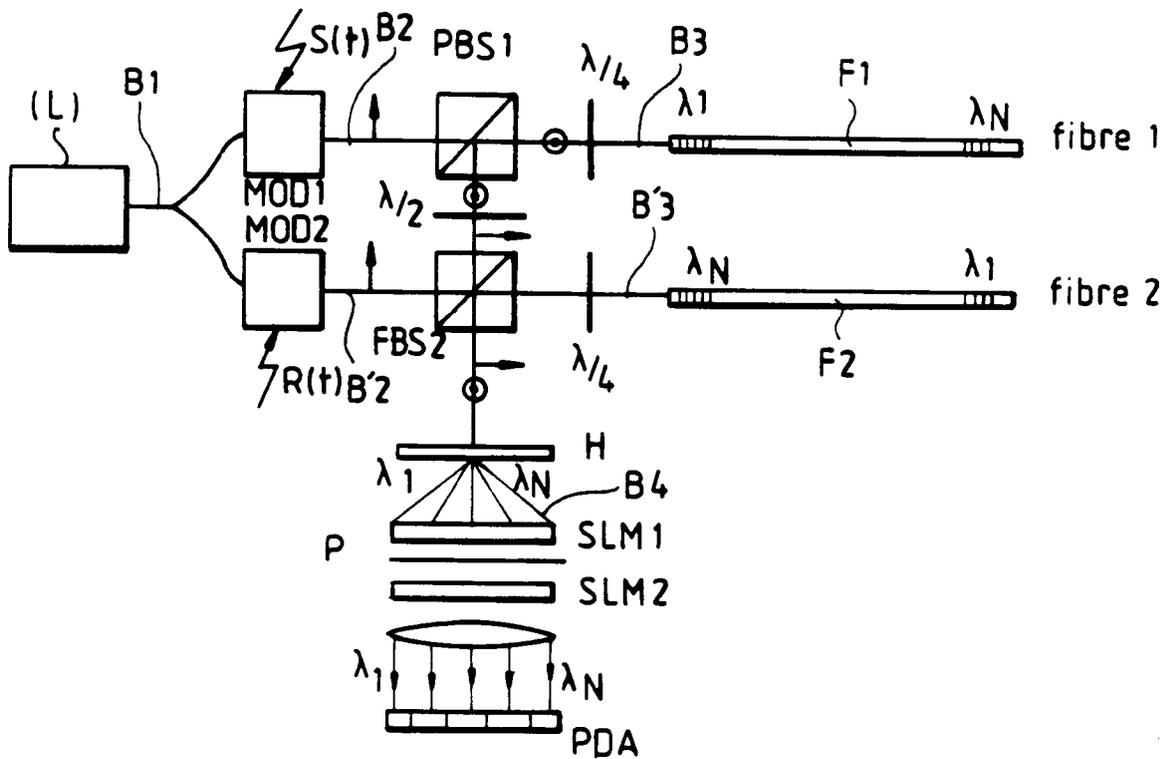


FIG.6

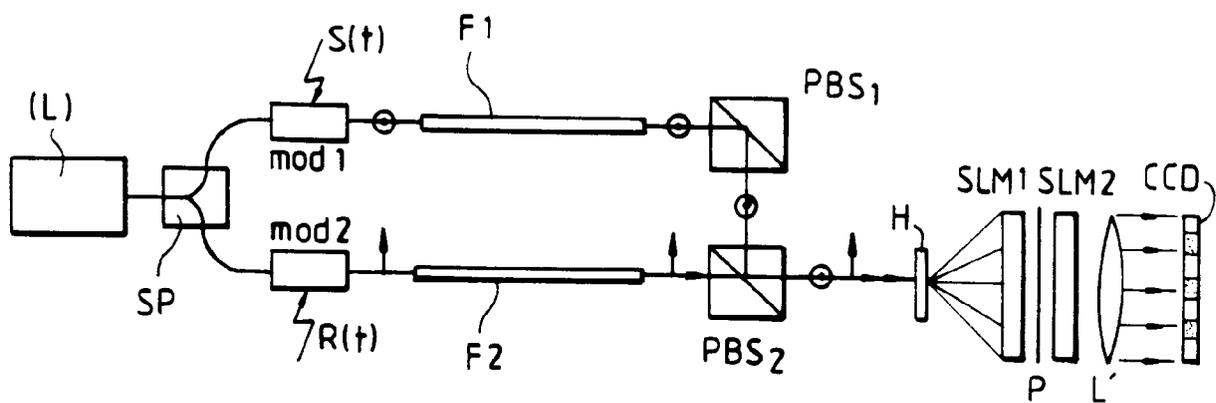


FIG.7

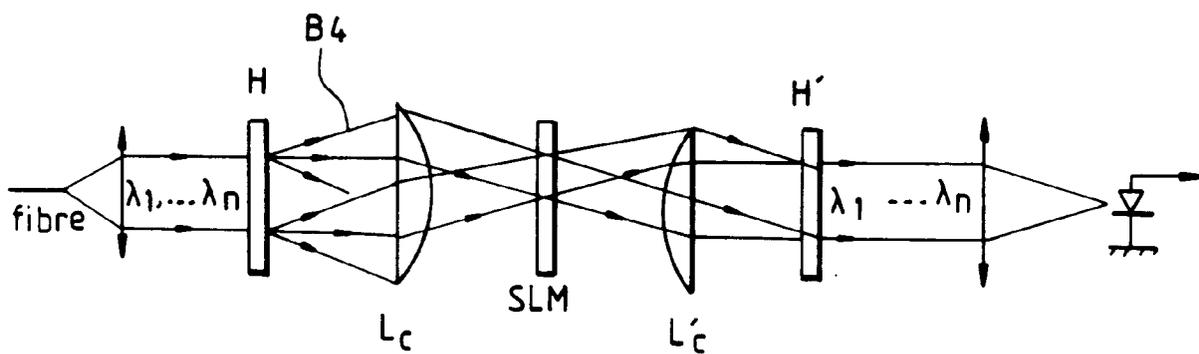


FIG.8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 93 40 2985

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.5)
Y	GB-A-2 189 028 (MARCONI) * page 1, ligne 101 - page 2, ligne 24 * * figures 2,3 * ---	1-3,6-8	G06E3/00
Y	EP-A-0 473 121 (MATSUSHITA) * colonne 9, ligne 52 - colonne 11, ligne 21; figure 6 * ---	1-3,6-8	
A	US-A-5 007 705 (MOREY ET AL) * abrégé; figure 2 * ---	3,4,12	
A	GB-A-2 176 281 (MARCONI) * abrégé; figure 1 * -----	1,2,6,8	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5) G06E G06K G02F G02B
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 30 Mars 1994	Examinateur Jonsson, P.O.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C02)