



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 265 885**

51 Int. Cl.:
H04B 10/18 (2006.01)
H04B 10/135 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Número de solicitud europea: **00400668 .0**
86 Fecha de presentación : **10.03.2000**
87 Número de publicación de la solicitud: **1041753**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **04.10.2000**

54 Título: **Dispositivo y método para compensar la dispersión del modo de polarización en función de la dispersión cromática en un sistema de transmisión óptico.**

30 Prioridad: **31.03.1999 FR 99 04058**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2007

73 Titular/es: **ALCATEL**
54, rue La Boétie
75008 Paris, FR

72 Inventor/es: **Penninckx, Denis y**
Roy, Fabien

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 265 885 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 265 885 T3

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y método para compensar la dispersión del modo de polarización en función de la dispersión cromática en un sistema de transmisión óptico.

La invención se sitúa en el ámbito de las transmisiones de señales por medios ópticos y, de modo más particular, de las transmisiones de alta velocidad en enlaces de larga distancia que utilizan fibras ópticas.

La invención se refiere a un dispositivo para compensar, al menos parcialmente, y dinámicamente, la dispersión de polarización que se observa en los sistemas de transmisión por fibra óptica.

Un sistema de transmisión por fibra óptica comprende, típicamente:

- un terminal emisor, que utiliza, al menos, una onda óptica portadora, en el que se modula la potencia y/o la frecuencia óptica en función de la información que hay que transmitir,
- un enlace de transmisión óptica, constituido, al menos, por una sección de fibra monomodo que encamina la señal emitida por el terminal emisor,
- y un terminal receptor, que recibe la señal óptica transmitida por la fibra.

El rendimiento de un sistema de transmisión óptica, especialmente, en términos de calidad de señal y de caudal, está limitado, especialmente, por las propiedades ópticas del enlace, que es asiento de los fenómenos físicos que tienen por efecto degradar las señales ópticas. Entre todos los fenómenos identificados, la atenuación de la potencia óptica y la dispersión cromática son los que aparecen en primer lugar como los más apremiantes y por los cuales se han propuesto medios para poner remedio, al menos parcialmente, a las degradaciones que estos provocan.

La atenuación de las fibras de un tipo dado depende de la longitud de onda de la portadora de la señal. Así, las fibras monomodo instaladas en el transcurso de los diez últimos años, denominadas "fibras estándar", presentan una atenuación mínima para una longitud de onda de alrededor de $1,5 \mu\text{m}$, lo que muestra el interés de elegir este valor para las portadoras.

Además, para aumentar más las distancias de transmisión, la atenuación ha podido ser compensada por medio de amplificadores ópticos dispuestos aguas arriba o aguas abajo a lo largo de todo el enlace.

Igualmente, la dispersión cromática depende de la longitud de onda. En las fibras estándar, la dispersión cromática es nula a $1,3 \mu\text{m}$ y vale, aproximadamente, $1,7 \text{ ps}/(\text{km}\cdot\text{nm})$ a $1,5 \mu\text{m}$. La pequeña atenuación a $1,5 \mu\text{m}$ ha conducido a desarrollar nuevas fibras, denominadas "fibras de dispersión desplazada", en las cuales la dispersión cromática es nula a esta longitud de onda.

Sin embargo, para mejorar el rendimiento de las fibras estándar ya instaladas, se ha buscado, también, corregir los efectos de la dispersión cromática de estas fibras a $1,5 \mu\text{m}$.

Una solución consiste en insertar en el enlace, al menos, una fibra dispersiva de compensación, denominada "fibra con compensación de dispersión" o DCF (del inglés "Dispersion Compensating Fiber"). Así, para compensar exactamente la dispersión cromática, basta que la fibra dispersiva tenga una longitud y unas características de dispersión tales que la dispersión acumulada a lo largo de esta fibra de compensación sea igual y opuesta a la creada a lo largo de la fibra del enlace de transmisión.

Para el conjunto del enlace, incluida la fibra o las fibras de compensación, puede definirse un valor de dispersión acumulada residual DR que es la suma algebraica de las dispersiones acumuladas DL y DC de la fibra o de las fibras dispersivas y de la fibra del enlace de transmisión. Ésta puede expresarse matemáticamente por la fórmula:

$$DR = DC + DL = \int D_1(z_1).dz_1 + \int D_2(z_2).dz_2 \quad (1)$$

donde z_1 y z_2 son las abscisas de puntos desplazados, respectivamente, a lo largo de la fibra dispersiva y a lo largo del enlace asociado, D_1 y D_2 son los parámetros de dispersión cromática, respectivamente, a las abscisas z_1 y z_2 de la fibra dispersiva y de la fibra del enlace de transmisión, calculándose las integrales que expresan las dispersiones acumuladas DC y DL, respectivamente, a lo largo de la fibra dispersiva y a lo largo de la fibra del enlace de transmisión asociada, tomando como sentido positivo el sentido de propagación de las ondas.

Se recuerda que el parámetro de dispersión D está asociado a la constante de propagación P por la relación:

$$D^2\beta/d\omega^2 = -(2\pi c/\omega^2)D,$$

donde ω es la pulsación de la onda y c la velocidad de la luz en el vacío.

ES 2 265 885 T3

Así pues, la condición de compensación exacta de la dispersión cromática es $DR = DC + DL = 0$.

En realidad, una compensación exacta de la dispersión cromática no es siempre óptima porque la calidad de la señal compensada recibida depende, también, de otros parámetros de la transmisión y, en particular, del tipo de modulación de la señal transmitida. Este es el caso, en particular, si la señal emitida presenta un “chirp”, es decir, una modulación de frecuencia óptica que acompaña a cualquier modulación de amplitud.

De hecho, una compensación de este tipo se impone solamente en caso de necesidad, es decir, en condiciones de transmisión (tipo de fibra, tipo de modulación, distancia de transmisión y caudales) que, sin compensación, provocaran tasas de error que sobrepasan un valor límite aceptable comercialmente, típicamente de 10^{-15} . Además, por razones de coste mínimo de la fibra de compensación de dispersión, se elige normalmente un valor de compensación mínimo compatible con la tasa de error requerida. Así, para enlaces suficientemente cortos, no se buscará compensar ni siquiera la dispersión cromática.

Hasta ahora, las compensaciones citadas anteriormente eran tratadas de modo independiente y haciendo abstracción de otro fenómeno desfavorable denominado “dispersión modal de polarización”. En efecto, en las condiciones de explotación actuales de las transmisiones ópticas, este fenómeno ha sido considerado durante mucho tiempo como despreciable con respecto a la dispersión cromática. Esto ya no es así desde el momento en que se busca aumentar cada vez más las longitudes de los enlaces y sobre todo el caudal.

Incluso en ausencia de dispersión cromática en el sentido habitual y aunque la onda portadora facilitada por un diodo láser a nivel del emisor sea totalmente polarizada, las fibras son asiento de una dispersión de polarización que tiene por efecto, por ejemplo, que un impulso emitido por el terminal emisor sea recibido deformado después de su propagación en una fibra y presente una duración superior a su duración original.

Esta deformación es debida a la birrefringencia de las fibras, que tiene por efecto que la señal óptica se despolarice durante la transmisión. En primera aproximación, la señal recibida en la extremidad de la fibra de enlace puede ser considerada como constituida por dos componentes ortogonales, una correspondiente a un estado de polarización para el cual la velocidad de propagación es máxima (estado principal de polarización más rápida) y la otra correspondiente a un estado de polarización para el cual la velocidad de propagación es mínima (estado principal de polarización más lenta). Dicho de otro modo, una señal de impulsos recibida en la extremidad de la fibra de enlace puede ser considerada como estando compuesta por una primera señal de impulsos polarizada según un estado de polarización privilegiado y que llega en primer lugar, y una segunda señal de impulsos que se propaga según un estado de propagación retardado y que llega con un retardo denominado “retardo de grupo diferencial” o DGD (del inglés “Differential Group Delay”), que depende, especialmente, de la longitud de la fibra de enlace. Así pues, estos dos estados principales de polarización o PSP (del inglés “Principal Status of Polarisation”) caracterizan el enlace.

Por consiguiente, si el terminal emisor emite una señal óptica constituida por un impulso muy breve, la señal óptica recibida por el terminal receptor está constituida por dos impulsos sucesivos polarizados ortogonalmente y que tienen un desfase temporal igual a DGD. Como la detección por el terminal consiste en facilitar en forma eléctrica una medición de la potencia óptica total recibida, el impulso detectado tendrá una anchura temporal aumentada en función del valor del DGD.

Este retardo puede ser del orden de 50 picosegundos para una fibra estándar de 100 kilómetros de longitud. La deformación de los impulsos recibidos por el terminal receptor puede causar errores de descodificación de los datos transmitidos, por consiguiente la dispersión de polarización constituye un factor que limita el rendimiento de los enlaces ópticos, tanto analógicos, como numéricos.

Actualmente, se sabe fabricar fibras dispersivas monomodo de baja dispersión de polarización (aproximadamente 0,05 ps/km). Sin embargo, el problema subsiste en las “fibras estándar” instaladas y que presentan dispersiones de polarización muy elevadas que constituyen un obstáculo técnico importante para el aumento de los caudales transmitidos. Por otra parte, este problema reaparecerá también en las fibras de baja dispersión de polarización cuando se quiera aumentar todavía más el caudal.

Por otra parte, se sabe realizar fibras de gran dispersión de polarización, denominadas, también, fibras de mantenimiento de polarización o PMF (del inglés “Polarisation Maintaining Fiber”), que permiten, utilizando tramos de pequeña longitud, proporcionar un retardo diferencial fijo con estados principales de polarización invariables. Disponiendo adecuadamente de un componente de este tipo (o de cualquier dispositivo generador de retardo diferencial entre dos modos de polarización ortogonales) en serie con un enlace de transmisión que presenta una dispersión de polarización, puede realizarse una compensación óptica de la dispersión de polarización. Esto puede realizarse utilizando una fibra de mantenimiento de polarización de igual retardo diferencial que el enlace, pero intercambiando los estados principales de polarización lenta y rápida, o haciendo coincidir un estado principal de polarización del conjunto constituido por el enlace y la fibra de mantenimiento de polarización, con el estado de polarización de la fuente en la emisión. Para hacer esto, se utiliza un controlador de polarización que se coloca entre el enlace y la fibra de mantenimiento de polarización.

Un aspecto importante del fenómeno de dispersión modal de polarización es que el valor del retardo diferencial DGD y los estados principales de polarización de un enlace varían en el tiempo en función de numerosos factores, tales

ES 2 265 885 T3

como las vibraciones y la temperatura. Así, al contrario que en la dispersión cromática, la dispersión de polarización debe ser considerada como un fenómeno aleatorio. En particular, la dispersión de polarización de un enlace se caracterizará por un valor denominado "PMD" (del inglés "Polarisation Mode Dispersion Delay") definido como el valor medio del DGD medido. De modo más preciso, se muestra que la dispersión de polarización puede estar representada por un vector de rotación aleatorio Ω en el espacio de los vectores de Stokes en el que se representan habitualmente los estados de polarización por medio de la esfera de Poincaré.

Otra consecuencia de este carácter aleatorio es que un dispositivo de compensación debe ser adaptativo y el retardo diferencial de la fibra de mantenimiento de polarización, elegido de modo que sea, al menos, igual a los valores de retardo diferencial que se quiera compensar. Un dispositivo de compensación de este tipo está descrito en la solicitud de patente europea EP-A-853 395 registrada el 30 de diciembre de 1997 y publicada el 15 de julio de 1998.

Un problema que ha aparecido durante los estudios sobre la compensación de la PMD es el de las influencias combinadas de la dispersión de polarización y de la dispersión cromática. Se ha visto que, en realidad, la compensación de la PMD era muy sensible al valor de dispersión cromática residual del enlace en su conjunto y, por tanto, a la existencia y al valor elegido de compensación de dispersión cromática.

Un dispositivo que pretende la compensación simultánea de la dispersión cromática y de la dispersión de polarización está descrito en el documento XP002126317.

En particular, se ha observado la necesidad de introducir una compensación precisa de dispersión cromática incluso en enlaces en los cuales una compensación de este tipo no habría sido necesaria en ausencia de PMD.

Se ha visto, igualmente, que el valor óptimo de compensación de dispersión cromática que hay que aplicar en presencia de PMD no corresponde siempre al valor óptimo de compensación que se aplicaría en ausencia de PMD.

Así, la invención tiene por objeto mejorar la eficacia de la compensación de la dispersión de polarización teniendo en cuenta las observaciones precedentes.

Con este fin, la invención tiene por objeto un dispositivo de compensación para sistemas de transmisión óptica que comprenden, un terminal emisor que emite una señal óptica polarizada, una fibra óptica de transmisión, eventualmente, amplificadores ópticos, y un terminal receptor, comprendiendo este dispositivo primeros medios de compensación de la dispersión de polarización que comprenden:

- al menos, un controlador de polarización,
- medios para generar un retardo diferencial entre dos modos de polarización ortogonales, estando este controlador y estos medios intercalados entre la fibra de transmisión y el terminal receptor, en este orden,
- y medios de regulación del controlador de polarización.

caracterizado porque comprende, además, segundos medios de compensación de dispersión cromática intercalados entre los citados terminales emisor y receptor, aplicando los citados segundos medios de compensación una compensación de valor fijo que tiende a minimizar la tasa de error que afecta a las señales recibidas por el terminal receptor.

Sin embargo, la determinación del valor de compensación de dispersión cromática que minimiza la tasa de error no es fácilmente realizable directamente. En efecto, a causa del carácter aleatorio de la PMD, un método de este tipo necesita mucho tiempo, tanto por experimentación, como por simulación.

En la práctica, este valor puede definirse de modo indirecto por medio de una curva de penalización de potencia establecida en función de la compensación de dispersión cromática aplicada en un enlace de iguales propiedades ópticas pero que no presenta dispersión de polarización. La penalización de potencia para un valor dado de compensación de dispersión cromática se mide, entonces, por la relación (expresada en dB) de las potencias medias mínimas que debe tener la señal recibida para conservar una misma tasa de error a nivel del receptor con este valor dado de compensación y con la compensación que necesita la potencia media mínima más baja.

También, de acuerdo con un aspecto particular de la invención, el dispositivo de compensación está caracterizado porque el citado valor fijo es igual a la media de los valores mínimo y máximo de compensación de dispersión cromática para los cuales la penalización de potencia establecida en función de la compensación de dispersión cromática es del orden de 1 dB.

Así, la búsqueda del valor de compensación que hay que aplicar se efectúa fuera del contexto aleatorio inherente a la PDM, pero la solución propuesta tiene en cuenta este aspecto aleatorio mejorando la tolerancia del sistema a la dispersión cromática.

La invención tiene por objeto, igualmente, un procedimiento de compensación correspondiente al dispositivo definido anteriormente. Este procedimiento realiza una primera compensación de la dispersión de polarización y está caracterizado porque comprende una segunda compensación de dispersión cromática que utiliza medios de compen-

ES 2 265 885 T3

sación de dispersión cromática intercalados entre los citados terminales emisor y receptor, teniendo la citada segunda compensación un valor fijo que tiende a minimizar la tasa de error que afecta a las señales recibidas por el terminal receptor.

5 La invención tiene por objeto, también, un sistema de transmisión óptica que incorpora el dispositivo de compensación definido anteriormente. El sistema puede ser monocanal, es decir, previsto para transportar una señal llevada por una sola longitud de onda o de multiplexado en longitud de onda ("WDM"), es decir, para transportar una señal compuesta de varios canales llevados por longitudes de onda diferentes. En este último caso, conviene aplicar para cada uno de los canales una compensación específica. Para esto, el dispositivo de acuerdo con la invención comprende
10 medios para extraer, al menos, uno de los canales y, al menos, un dispositivo de compensación asociado a este canal.

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto en la descripción que sigue, refiriéndose a las figuras.

15 - la figura 1 representa esquemáticamente un sistema de transmisión óptica que comprende el dispositivo de compensación de acuerdo con la invención,

- la figura 2 es una curva de penalización de potencia en función de la compensación de dispersión cromática aplicada en un enlace que no presenta dispersión de polarización,

20 - las figuras 3 a 6 representan curvas experimentales de mediciones de tasa de error que permiten apreciar la eficacia de la compensación de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente, y a título de ejemplo, un sistema de transmisión óptica provisto del dispositivo de compensación de acuerdo con la invención.

25 El ejemplo representado es un sistema de multiplexado en longitud de onda previsto para transportar varios canales $S\lambda$, $S\lambda'$, $S\lambda''$ llevados, respectivamente, por las longitudes de onda λ , λ' , λ'' . Cada canal, por ejemplo $S\lambda$, proviene de un terminal emisor TX que emite una señal óptica que tiene la forma de una modulación de amplitud (y/o de frecuencia óptica) de una onda portadora polarizada. Los canales se combinan en un multiplexor 1 cuya salida está acoplada a un enlace óptico de transmisión. Este enlace está constituido, típicamente, por una fibra óptica LF y puede comprender amplificadores ópticos (no representados) dispuestos aguas arriba y/o aguas abajo de la fibra. El enlace puede estar compuesto, también, por varias secciones de fibra entre las cuales están colocados amplificadores ópticos.

35 La extremidad del enlace se une, al menos, a un terminal receptor, por ejemplo RX, por intermedio de un desmultiplexor 2 que tiene la función de extraer el canal destinado al receptor RX.

El sistema comprende medios de compensación de la dispersión de polarización CM dispuestos entre el desmultiplexor 2 y que comprenden:

- 40
- al menos, un controlador de polarización PC,
 - medios DDG para generar un retardo diferencial entre dos modos de polarización ortogonales, estando este controlador y estos medios intercalados entre la fibra de transmisión y el terminal receptor, en este orden,
 - 45 - y medios de regulación CU del controlador de polarización PC.

La constitución detallada del compensador CM y las explicaciones correspondientes están indicadas en la solicitud de patente europea EP-A-853 395 antes citada. Se recuerda que los medios de regulación CU están previstos, por ejemplo, para optimizar el grado de polarización de la señal procedente del dispositivo de retardo diferencial DDG, el cual está constituido, típicamente, por una fibra de mantenimiento de polarización PMF. Pueden emplearse otros métodos de regulación que tiendan a minimizar la tasa de error, como, por ejemplo, una regulación concebida para minimizar la anchura espectral de la modulación de la señal eléctrica obtenida por detección de la señal óptica procedente del dispositivo de retardo diferencial DDG.

55 De acuerdo con la invención, el dispositivo de compensación se completa por medios de compensación de dispersión cromática DCM. Estos medios están constituidos aquí por una primera fibra dispersiva DCF0 colocada aguas arriba del desmultiplexor 2 y en serie con la fibra de transmisión (LF) y una segunda fibra dispersiva DCF1 colocada entre el desmultiplexor 2 y el receptor RX. Esta disposición permite aplicar para el conjunto de los canales una compensación común gracias a DCF0 y una compensación específica para cada uno de los canales gracias a DCF1.

60 Finalmente, las fibras dispersivas DCF0 y DCF1 se eligen de modo que apliquen una compensación de valor fijo DCx que tienda a minimizar la tasa de error que afecta a las señales recibidas por el terminal receptor RX.

65 El caso de un sistema monocanal se distingue del caso precedente por la ausencia del multiplexor 1 y del desmultiplexor 2.

ES 2 265 885 T3

Si se tienen en cuenta otros fenómenos, tales como los efectos no lineales, puede observarse que el emplazamiento de la fibra o de las fibras dispersivas que constituyen los medios de compensación de dispersión cromática DCM no es determinante, porque solo el valor de dispersión cromática residual del enlace en su conjunto es importante. Sin embargo, por razones prácticas, puede ser preferible colocar la fibra o las fibras dispersivas en la proximidad del receptor.

Como ya se ha señalado anteriormente, la determinación del valor de compensación de dispersión cromática que minimiza la tasa de error no es muy fácil de realizar por mediciones directas de la tasa de error que llevan las señales transmitidas por un enlace que es asiento de PMD. El carácter aleatorio de la PMD necesita métodos estadísticos muy costosos en tiempo, tanto por experimentación, como por simulación.

Para salvar esta dificultad, se propone determinar el valor de compensación de dispersión cromática por medio de una curva de penalización de potencia establecida en función de la compensación de dispersión cromática aplicada en un enlace de iguales propiedades ópticas, pero que no presenta dispersión de polarización. Así pues, una solución de este tipo tiene por efecto eliminar el aspecto aleatorio debido a la PMD.

En este contexto, la penalización de potencia para un valor dado de compensación de dispersión cromática está definido para enlace sin PMD como la relación (expresada en dB) de las potencias medias mínimas que debe tener la señal recibida para conservar una misma tasa de error a nivel del receptor con esta valor dado de compensación y con la compensación que necesita la potencia media mínima más baja.

Esta curva puede obtenerse por simulación o experimentalmente por medio de una fibra de muy baja dispersión de polarización, pero, por otra parte, equivalente al enlace real que hay que compensar.

A título de ilustración, la figura 2 muestra una curva de penalización de potencia de este tipo para el caso particular de una transmisión de una señal NRZ con un "chirp" negativo, a un caudal de 10 Gbits/s por una fibra estándar [D = 17 ps/(nm.km)] de 100 km.

La penalización PP se expresa en decibelios y la compensación de dispersión cromática DC se expresa en picosegundos por nanometro.

Se puede observar, en primer lugar, que una penalización de, aproximadamente, 1 dB se obtiene para dos valores DC1 = -2210 ps/nm y DC2 = -170 ps/nm. Habida cuenta de la gran pendiente de la curva respectivamente antes y después de DC1 y DC2, estos valores constituyen los límites entre los cuales se situarían los valores aceptables de la compensación en ausencia de PMD.

Así, una aproximación clásica para determinar la compensación que hay que aplicar consistiría en elegir por razones económicas el valor más pequeño que corresponde a una penalización requerida. Ahora bien, este criterio no es, generalmente aceptable si se tiene en cuenta la PMD. Por el contrario, es necesario que la compensación de dispersión cromática tome un valor bien preciso que asegure una tolerancia máxima frente al comportamiento aleatorio de la PMD.

Esto puede explicarse por el hecho de que el retardo diferencial, así como los estados principales de polarización del enlace, dependen de la frecuencia óptica (efectos de órdenes superiores). Así pues, en primera aproximación, el comportamiento aleatorio de la PMD tiene por efecto que la curva de penalización del enlace real sufra translaciones aleatorias alrededor de un punto medio de compensación.

La solución propuesta pretende, en la práctica, evaluar este punto medio, eligiendo como valor de compensación el DCx que es igual a la media de los valores mínimo DC1 y máximo DC2 de compensación de dispersión cromática para los cuales la penalización de potencia es del orden de 1 dB. En el ejemplo representado, se tiene DCx = -1190 ps/nm.

Por otra parte, puede observarse que la curva no es, generalmente, simétrica a una y otra parte de la vertical que pasa por el punto de penalización mínimo correspondiente al valor de compensación DC0 = -850 ps/nm. Esto implica que las compensaciones óptimas para enlaces con y sin PMD sean, generalmente, diferentes.

Las curvas experimentales representadas en las figuras 3 a 6 permiten verificar la eficacia de la solución. Cada una de estas figuras representa constelaciones de puntos correspondientes, cada uno, a un valor medido de tasa de error binario BER en función del grado de polarización DOP de la señal procedente del dispositivo de retardo DDG. Éstas se refieren, cada una, al ejemplo de transmisión precedente en el que se ha añadido a la señal un ruido de un nivel constante a fin de limitar la duración de las mediciones.

La figura 3 corresponde al caso en que no se compensa, ni la PMD, ni la dispersión cromática.

La figura 4 corresponde al caso en que solamente se compensa la PMD.

La figura 5 corresponde al caso en que solamente se compensa la dispersión cromática.

ES 2 265 885 T3

La figura 6 corresponde al caso en que, de acuerdo con la invención, se compensan, a la vez, la PMD y la dispersión cromática.

Esta última figura muestra la mejora neta estadística de la tasa de error obtenida.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo de compensación para sistema de transmisión óptica que comprende un terminal emisor (TX) que emite una señal óptica polarizada (S), una fibra óptica de transmisión (LF), eventualmente, amplificadores ópticos, y un terminal receptor (RX), comprendiendo este dispositivo primeros medios de compensación de la dispersión de polarización que comprenden:

- al menos, un controlador de polarización (PC),

10 - medios (DDG) para generar un retardo diferencial entre dos modos de polarización ortogonales, estando este controlador y estos medios intercalados entre la fibra de transmisión y el terminal receptor, en este orden,

- y medios de regulación (CU) del controlador de polarización (PC),

15 **caracterizado** porque comprende, además, segundos medios de compensación de dispersión cromática (DCM, DCF0) intercalados entre los citados terminales emisor y receptor (TX, RX), aplicando los citados segundos medios (DCM, DCF0) una compensación de valor fijo (DCx) que tiende a minimizar la tasa de error que afecta a las señales recibidas por el terminal receptor (RX).

20 2. Dispositivo de compensación de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el citado valor fijo (DCx) es igual a la media de los valores mínimo (DC1) y máximo (DC2) de compensación de dispersión cromática para los cuales la penalización de potencia establecida en función de la compensación de dispersión cromática aplicada es del orden de 1 dB para un enlace de iguales propiedades ópticas pero que no presenta dispersión de polarización.

25 3. Procedimiento de compensación para sistema de transmisión óptica que comprende un terminal emisor (TX) que emite una señal óptica polarizada (S), una fibra óptica de transmisión (LF), eventualmente, amplificadores ópticos, y un terminal receptor (RX), realizando este procedimiento una primera compensación de la dispersión de polarización, **caracterizado** porque comprende una segunda compensación de dispersión cromática (DC) que utiliza medios de compensación de dispersión cromática (DCM, DCF0) intercalados entre los citados terminales emisor y receptor (TX, RX), teniendo la citada segunda compensación un valor fijo (DCx) que tiende a minimizar la tasa de error que afecta a las señales recibidas por el terminal receptor (RX).

30 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque el citado valor fijo (DCx) es igual a la media de los valores mínimo (DC1) y máximo (DC2) de compensación de dispersión cromática para los cuales la penalización de potencia establecida en función de la compensación de dispersión cromática aplicada es del orden de 1 dB para un mismo enlace de iguales propiedades ópticas pero que no presenta dispersión de polarización.

35 5. Sistema de transmisión óptica, **caracterizado** porque comprende un dispositivo de compensación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2.

40 6. Sistema de transmisión óptica para señal con varios canales multiplexados en longitudes de onda ($S_\lambda, S_{\lambda'}, S_{\lambda''}$), **caracterizado** porque comprende medios (2) para extraer, al menos, uno de los citados canales (S_λ) y, al menos, un dispositivo de compensación (CM, DCF0) asociado al citado canal extraído de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2.

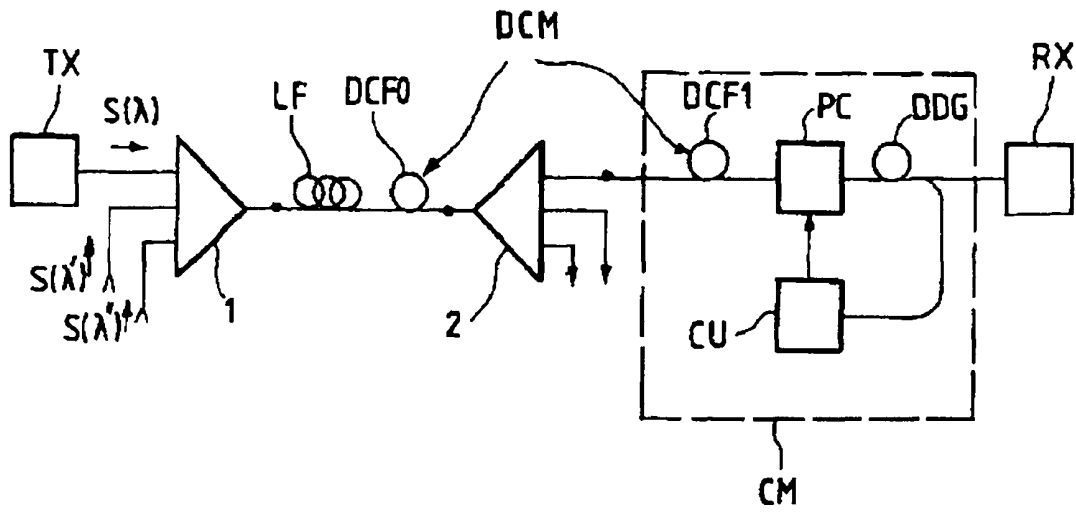
45 7. Sistema de transmisión óptica de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** porque los citados medios de compensación de dispersión cromática (DCM, DCF0) comprenden una primera fibra dispersiva (DCF0) colocada aguas arriba de los citados medios de extracción (2) y en serie con la citada fibra óptica de transmisión (LF), y una segunda fibra dispersiva (DCF1) colocada entre los citados medios de extracción (2) y el citado terminal receptor (RX).

55

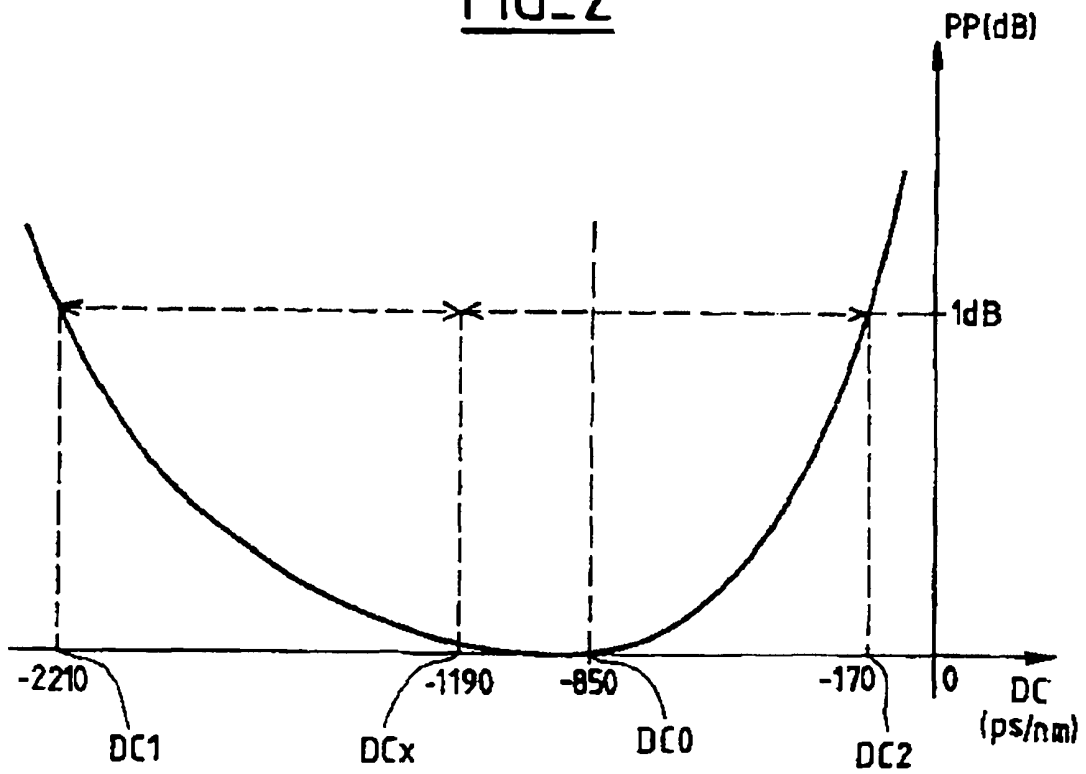
60

65

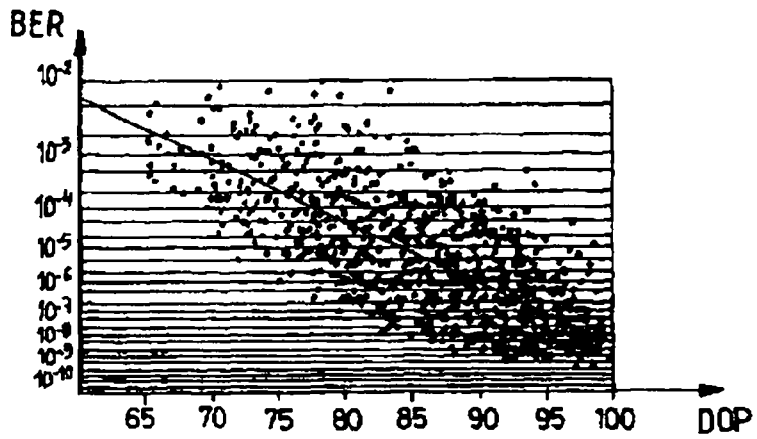
FIG_1



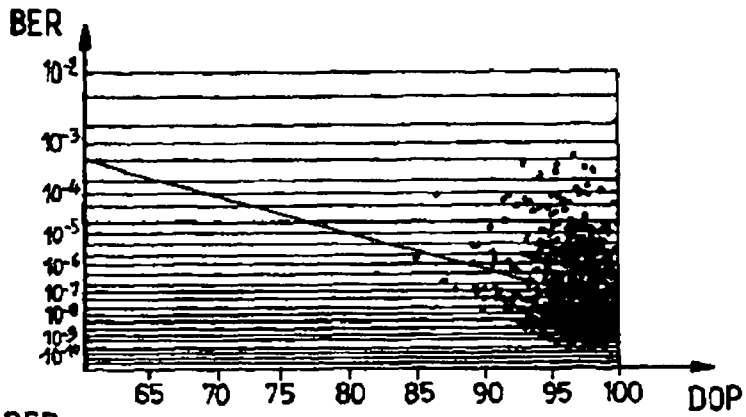
FIG_2



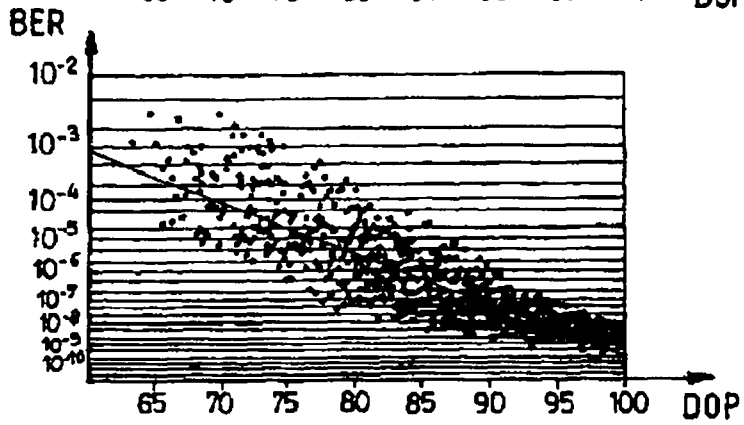
FIG_3



FIG_4



FIG_5



FIG_6

