

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 692**

21 Número de solicitud: 201631207

51 Int. Cl.:

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/25 (2013.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

16.09.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.03.2018

71 Solicitantes:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

(100.0%)

Jordi Girona, 31

08034 Barcelona ES

72 Inventor/es:

PRAT GOMÀ, Josep y

CANO VALADEZ, Ivan

54 Título: **Método de modulación directa de la fase óptica de un láser por medio de una señal de pulsaciones codificadas y ciclo de trabajo variable.**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a un método de modulación directa de la fase óptica de un láser por medio de una señal de pulsaciones codificadas y ciclo de trabajo variable de máximo un bit de duración. La técnica consiste en generar una señal de tres o más niveles que indiquen los cambios de fase mediante pulsos positivos o negativos y se mantenga en nivel lógico "0" cuando la fase es constante. Esto se consigue por medio de un codificador. La señal eléctrica de pulsos se amplifica para obtener los cambios de fase deseados en la señal óptica y modula directamente un láser. La señal óptica tendrá la información en la fase de la misma señalando los cambios de fase que pueden de dos o más valores y que será detectado mediante un receptor preferentemente coherente con un decodificador diferencial.

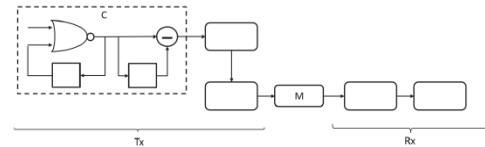


Figura 8

DESCRIPCIÓN

MÉTODO DE MODULACIÓN DIRECTA DE LA FASE ÓPTICA DE UN LÁSER POR MEDIO DE UNA SEÑAL DE PULSACIONES CODIFICADAS Y CICLO DE TRABAJO

5

VARIABLE

SECTOR DE LA TÉCNICA

Comunicaciones ópticas con énfasis en redes de acceso local

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las redes por multiplexación ultra densa de longitudes de onda han sido estudiadas por varios años como una alternativa para mejorar el desempeño de las redes ópticas de acceso. Aunque existen aplicaciones de multiplexación de longitudes de onda en las comunicaciones ópticas metropolitanas y de larga distancia (>100km), su empleo en redes de acceso ha sido limitado por el coste de los dispositivos [1]. En particular, el transmisor generalmente modula la fase óptica y requiere de un modulador externo que encarece las terminales de los usuarios. Por su parte, el receptor es normalmente de tipo coherente en este tipo de redes, ya sea homodino u heterodino. Estos receptores se caracterizan por emplear un láser como oscilador local óptico que se mezcla con la señal de datos.

Debido a que la señal óptica se genera con un láser y se detecta con otro, existen fluctuaciones en las fases relativas de los mismos. Esto provoca un ruido de fase eléctrico que está relacionado con el ancho de línea espectral de los láseres. Por ello se requieren láseres de alta calidad [2]. Con el fin de reducir el efecto de este ruido, la información se envía en la diferencia de fases en símbolos consecutivos en lugar de en la fase absoluta directamente. Se parte de la premisa realista que la velocidad de los símbolos es mayor que las variaciones de las fases. El requerimiento adicional para realizar esto es un codificador en el transmisor y un decodificador en el receptor [2].

Con el fin de simplificar el transmisor, se han propuesto los láseres con chirp

manejado (CML) basados en interferómetros o filtros de retroalimentación distribuida [1, 3]. Se han demostrado señales de 3 y 4 niveles que no requieren de codificación diferencial. Sin embargo, el CML requiere de un configurador de espectro óptico acoplado al láser [1, 3, 4]. También se ha demostrado
5 recientemente la transmisión de una señal diferencial bipolar modulando directamente un láser cuya respuesta en fase fue previamente ecualizada [5].

La presente innovación utiliza una señal multinivel que consiste en pulsaciones con ciclo de trabajo de máximo un tiempo de bit para modular directamente un
10 láser y generar una señal óptica modulada en fase sin requerir un modulador de fase externo al láser como es habitual. Haciendo uso de la codificación diferencial se reduce el efecto del ruido de fase y las señales de pulsos se obtienen a partir de otro codificador. La señal eléctrica de pulsos es acondicionada para obtener los niveles deseados en la fase óptica y es
15 detectada preferentemente con un receptor coherente y un decodificador diferencial. Al contrario de las modulaciones CPFSK y MSK, en esta innovación la corriente continua es nula, los pulsos pueden tener ciclos de trabajo variables hasta un tiempo de bit y es posible conseguir señales de más de dos niveles.

20

Bibliografía

- [1] W. Jia, et al., "Generation and transmission of 10-Gbaud optical $\frac{3}{4}$ -RZ-DQPSK signals using a chirp-managed DBR laser," en *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 30, no. 21, pp. 3299-3304, Noviembre 2012.
- 25 [2] K.P. Ho, *Phase modulated optical communication systems*, New York: Springer, 2005.
- [3] F. Fan Zhencan, D. Mahgerefteh, "Chirp managed lasers: a new technology for 10 Gbps optical transmitters," *Telekom Photonics Optik & Photonik*, no. 4, pp. 39-41, Diciembre 2007.
- 30 [4] Y. Matsui, et al., "Chirp-managed directly modulated laser (CML)," en *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, no. 2, pp. 385-387, Enero 2006.
- [5] I.N.Cano, et al., "Direct phase modulation DFB for cost-effective ONU transmitter in udWDM-PONs," en *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 26, no. 10, pp. 973-975, Mayo 2014.

[6] J. Proakis, *Digital communication systems*, 2a ed., New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

5 EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un método para generar una señal óptica modulada en fase a partir de la modulación directa de un láser por medio de una señal de datos eléctrica que consiste en pulsaciones de tres o más niveles y con ciclo de trabajo de máximo un tiempo de bit. En el transmisor la señal de datos primero se codificará diferencialmente (Fig. 1) y después pasará por otro codificador (Fig. 2) que producirá la señal de pulsos multinivel (Fig. 3), donde los pulsos distintos del valor central representarán cambios en la fase óptica. En particular, para el caso de tres niveles ilustrados en la Fig. 3, los valores positivos (mayores del valor central) producirán cambios de fase óptica de $+\theta$ al cabo del tiempo T; los valores negativos (menores del valor central), cambios de fase óptica de $-\theta$, y los valores centrales ("0" lógico) no producirán cambios en la fase óptica. Esta señal de pulsaciones multinivel se amplificará para que, al modular directamente un láser, produzca los cambios deseados en la fase óptica gracias al fenómeno de "chirp" del láser semiconductor. Estos niveles ópticos serán detectados en un receptor preferentemente de tipo coherente con un decodificador diferencial.

El objeto de la invención es un sistema de comunicación óptico (Fig. 4). En éste, la señal de datos es codificada diferencialmente (401) y en pulsos (402) y después acondicionada (403) para modular la luz producida por un láser (404) directamente. La señal óptica entonces se envía por medio de fibra óptica o algún otro medio al receptor (405) basado en detección óptica coherente o de detección directa y la transforma en eléctrica. La señal eléctrica entonces se decodifica en (406) para recuperar la señal original. En resumen, el sistema de comunicación óptico consiste en:

- a) Un transmisor basado en un láser cuya fase es modulada directamente (Fig. 5). El transmisor incluye un pre-codificador (501) que transforma la

señal de datos original en una señal de pulsos multinivel codificada diferencialmente. Esta señal es acondicionada (502) y posteriormente modula la fase de un láser (503). Un filtro óptico (504) puede ser utilizado para limitar el ancho de banda de la señal.

5

b) Un enlace de transmisión óptico

c) Un receptor que puede ser basado en detección directa o preferentemente en detección coherente con un demodulador o decodificador diferencial (Fig. 6) y compensador de la dispersión (cuando se requiera). La señal eléctrica, después de haber sido detectada por fotodiodos, pasa por un decodificador (602) y un ecualizador (603). También puede incluir una etapa de radiofrecuencia para bajar la señal a banda base y una o varias etapas de ecualización y filtrado para reducir el ruido de la señal.

10

15

El transmisor es el principal objeto de la presente invención. Para las redes de acceso óptico, los transmisores basados en la modulación directa de los láseres son populares por su bajo coste. Generalmente son modulados en intensidad óptica produciendo una señal de datos y una portadora óptica. Sin embargo, también pueden ser modulados en frecuencia y, como consecuencia, con el procesado propuesto, en fase. Con el fin de modular directamente la fase óptica del láser de manera confiable, la presente invención genera una señal de pulsos multinivel que indican cambios en la fase óptica cuando los valores son distintos del valor central; en caso de que sea el valor central la fase se mantiene. Los cambios en la fase óptica de la señal modulada dependen del nivel eléctrico de la señal de pulsos, por ello es acondicionada dependiendo del tipo de modulación. La presente invención propone un precodificador (Fig. 7) para producir una señal de pulsos codificada diferencialmente que consiste en:

20

25

30

1. Un codificador diferencial (Fig. 1) que está formado por una puerta lógica XNOR (101), o equivalente, cuyas entradas son la señal original de datos y la señal de salida retroalimentada con un retardo de un bit (102).

2. Un codificador que produce la señal multinivel de pulsos y que consiste en una diferencia entre el bit actual y el bit anterior retardado (Fig. 2). El retardo define el ciclo de trabajo del pulso, que será como máximo de un tiempo de bit (201).

5

Es importante resaltar que se ha explicado una señal de tres niveles por su simplicidad. Ésta corresponde al mínimo número de niveles de fase binaria (BPSK por sus siglas en inglés). La técnica se puede extender a más de tres niveles. En particular, para una señal con 5 niveles se generaría una señal modulada en fase cuaternaria (QPSK) y, en general para 2^m+1 niveles una señal en fase m -PSK, donde m es un valor par mayor a 4. También, se puede utilizar también la codificación duobinaria que utiliza un filtro paso-bajas. Además, con el fin de reducir el ancho de banda total de la señal, se puede conformar el espectro de la señal mediante ecualizadores y filtros.

10

El receptor, por su parte, será basado principalmente en detección coherente de fase óptica con un decodificador diferencial.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

20

Fig. 1 muestra un diagrama de bloques del codificador diferencial.

Fig. 2 muestra el diagrama de bloques del codificador para generar la señal de pulsos multinivel.

25

Fig. 3 ilustra una señal de pulsos de tres niveles con ciclo de trabajo de un tiempo de bit.

Fig. 4 muestra el diagrama de bloques de un sistema de comunicación óptico.

Fig. 5 presenta un esquema de un transmisor óptico modulado directamente.

Fig. 6 presenta un esquema de bloques de un sistema de recepción óptica.

5

Fig. 7 representa el codificador completo del transmisor y que consiste en un codificador diferencial (701) y un codificador de pulsos (702).

Fig. 8 representa un diagrama del sistema óptico con el codificador (C) en el transmisor (Tx), el medio (M) y el receptor (Rx).

10

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

La implementación preferida consiste en un codificador en el transmisor que genere una señal de pulsos multinivel que modula directamente un láser para obtener una señal óptica modulada en fase. El receptor será preferentemente coherente y podrá tener un decodificador para detectar correctamente la señal. No es necesario hacer modificaciones en la planta de distribución de fibra óptica o algún otro medio.

20

El codificador puede ser digital o analógico, y antecederá la modulación de la fase óptica. Está compuesto de los siguientes elementos:

- Un codificador diferencial que está formado por una compuerta lógica XNOR cuyas entradas serán:
 - La señal de datos sin regreso a cero
 - La señal retroalimentada de la salida de la XNOR retardada un tiempo de bit.
- Un codificador de pulsos que generará una señal multinivel de pulsaciones donde éstas últimas tendrán un ciclo de trabajo de máximo un tiempo de bit. Este codificador es un restador con las siguientes entradas:
 - La señal de datos sin regreso a cero (puede o no estar codificada diferencialmente)
 - La señal de datos sin regreso a cero (puede o no estar codificada

25

30

diferencialmente) con un retardo que puede ser variable y que será como máximo de un tiempo de bit y que definirá el ciclo de trabajo de los pulsos.

5 Así se producirá una señal de pulsos tres niveles que indicará cambios en la fase óptica de la señal. El nivel central de esta señal de pulsos indicará que no hay cambio en la fase óptica, mientras que los valores positivos y negativos (tomando como referencia el valor central) producirán cambios positivos y negativos respectivamente en la fase óptica de la señal modulada. La señal de
10 pulsos será acondicionada, es decir, será amplificada y podrá ser ecualizada para ajustar su ancho de banda. Los valores de cambio de fase producidos en la señal óptica dependerán de los niveles positivos y negativos de la señal de pulsos amplificada. La señal de pulsos modulará, en preferencia, directamente un láser produciendo una señal óptica modulada en fase.

15

Cabe señalar que la descripción del párrafo anterior se refiere a una señal de tres niveles que corresponde a una modulación de fase binaria, BPSK. Se ha descrito esta modulación por ser la más sencilla. Sin embargo, se puede extender el método para generar señales de más niveles, en particular con 5
20 niveles se obtendría una señal modulada en fase cuaternaria (QPSK) y para 2^m+1 niveles una señal m -PSK, donde m es un valor par mayor a 4. Otra modulación que se puede utilizar es la de tipo duobinario que utiliza otro codificador y un filtro paso-bajas. Finalmente, con el fin de reducir el ancho de banda total de la señal se pueden utilizar ecualizadores y filtros para conformar
25 el espectro de la señal.

El receptor será preferentemente de tipo coherente y podrá llevar un decodificador diferencial en caso de que se haya hecho la codificación en el transmisor. Este decodificador podrá ser digital o analógico y se encargará de
30 comparar la diferencia en las fases de dos símbolos consecutivos y determinar el bit correspondiente. El receptor puede incluir otros elementos como ecualizadores y filtros que reduzcan los efectos del canal en la señal recibida.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de modulación directa de la fase óptica de un láser por medio de una señal de pulsaciones codificadas y ciclo de trabajo variable **caracterizada por** un transmisor basado en la modulación directa de un láser por medio de una señal eléctrica digital que consiste en pulsaciones de tres o más niveles y con ciclo de trabajo de máximo un período de bit en los niveles distintos de “0” (valor central) y que produce una señal óptica 10 cuya fase óptica está modulada de tal manera que el estado “0” representa que no hay cambio en la fase óptica mientras que el resto de niveles indica cambios positivos o negativos en la fase óptica a valores que dependen de la amplitud de la pulsación.
- 15 2. El método de la reivindicación 1 donde la señal de pulsación de datos puede tener tres niveles para BPSK, cinco para QPSK y al menos siete niveles para m-PSK.
3. El método de la reivindicación 1 donde la señal de pulsaciones puede ser de tipo duobinario.
4. El método de la reivindicación 1 donde la señal puede estar codificada 20 diferencialmente en el transceptor.
5. El método de la reivindicación 1 donde los pulsos en el transceptor pueden ser generados de forma analógica o digital.
6. El método de la reivindicación 1 donde la forma de los pulsos en el transceptor puede ser conformada mediante ecualizadores analógicos o 25 digitales.
7. El método de la reivindicación 1 caracterizado por que el transmisor del transceptor puede incluir un filtro óptico.
8. El método de la reivindicación 1 caracterizado por que el receptor del transceptor está basado preferentemente en detección coherente.
- 30 9. El método de la reivindicación 1 que puede incluir un transceptor caracterizado por que el receptor también puede ser de tipo de detección directa.
10. El método de la reivindicación 1 caracterizado por que el receptor del transceptor incluye un decodificador diferencial.

11.El método de la reivindicación 1 caracterizado por que el receptor del transceptor incluye funciones de ecualización y filtrado.

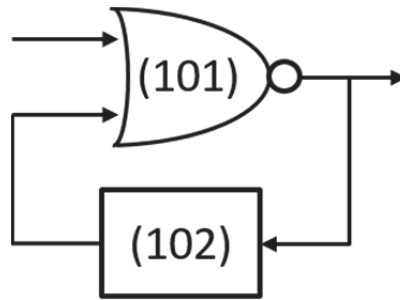


Figura 1

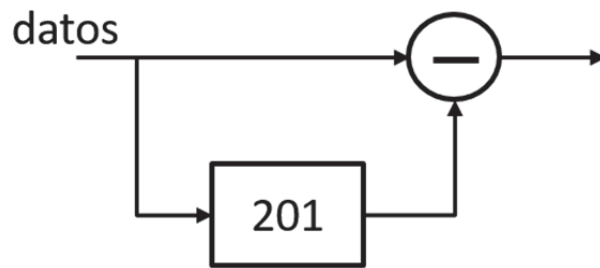


Figura 2

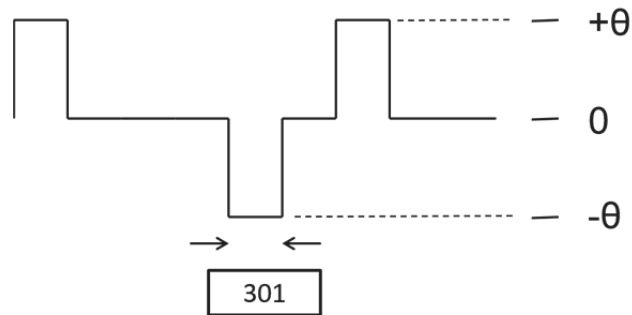


Figura 3

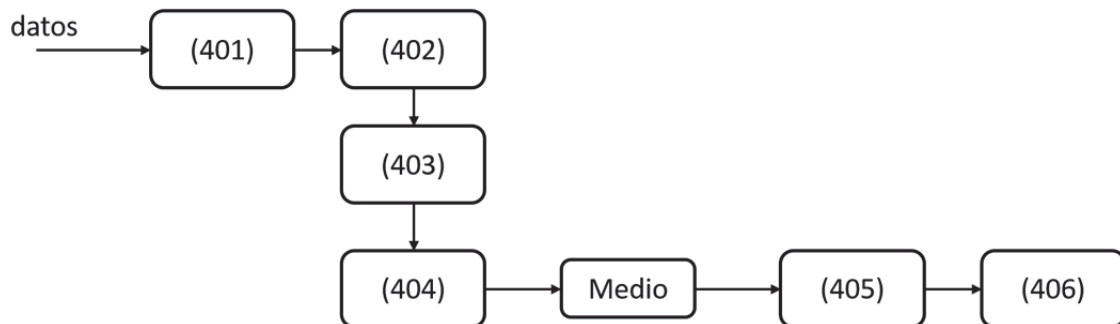


Figura 4

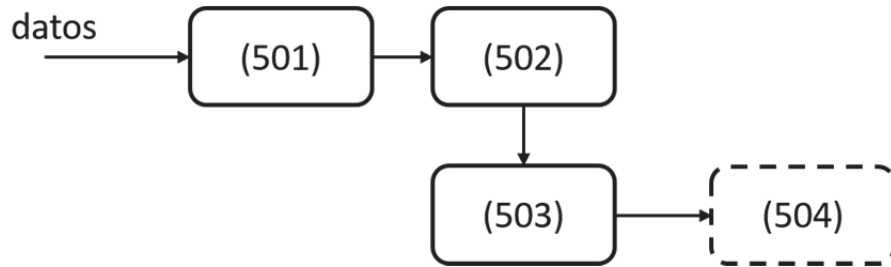


Figura 5



Figura 6

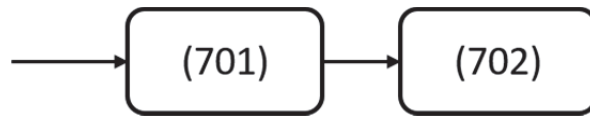


Figura 7

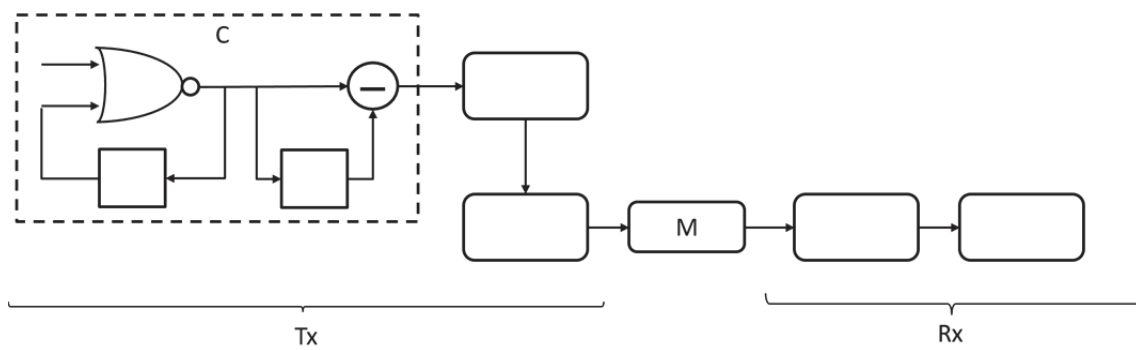


Figura 8



- ②① N.º solicitud: 201631207
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 16.09.2016
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H04J14/02** (2006.01)
H04B10/25 (2013.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	VODHANEL R S et al. PERFORMANCE OF DIRECTLY MODULATED DFB LASERS IN 10-GB / S ASK, FSK, AND DPSK LIGHTWAVE SYSTEMS. 01/09/1990, Vol. 8, Páginas 1379 - 1386, XP000174427 ISSN 0733-8724, <DOI: doi:10.1109/50.59168>	1, 3-11
A	Tao Li et al. ADVANCED MODULATION FORMATS FOR SHORT REACH OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS. 01/11/2013, Vol. 27, Páginas 6 - 13, XP011533277 ISSN 0890-8044, <DOI: doi:10.1109/MNET.2013.6678921>	1-11

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 29.03.2017	Examinador J. Botella Maldonado	Página 1/4
---	---	----------------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04J, H04B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 29.03.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 2	SI
	Reivindicaciones 1, 3-11.	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 2	SI
	Reivindicaciones 1, 3-11	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	VODHANEL R S et al.. PERFORMANCE OF DIRECTLY MODULATED DFB LASERS IN 10-GB / S ASK, FSK, AND DPSK LIGHTWAVE SYSTEMS. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 19900901 IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US. Vol. 8, Nº 9, Páginas 1379 - 1386, XP000174427 ISSN 0733-8724, <DOI: doi:10.1109/50.59168>	01.09.1990
D02	Tao Li et al.. ADVANCED MODULATION FORMATS FOR SHORT REACH OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS. Vol. 27, Páginas 6 - 13, XP011533277 ISSN 0890-8044, <DOI: doi:10.1109/MNET.2013.6678921>	01.11.2013

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01 coteja las cualidades técnicas en sistemas ópticos 10 GB / s ASK, FSK y DPSK próximos a los 1550 nm con láseres DFB en fibras optimizadas 1310 nm. El sistema DPSK se simula para el caso de modulación directa del DFB inyectando pulsos que cambien la frecuencia instantánea produciendo cambios de +/- 180º en la fase de la señal óptica con codificación diferencial (fig. 3 y 4). En recepción se estudian los sistemas heterodinos y de detección directa, en este último incorpora demodulación óptica para convertir la modulación de fase en modulación de intensidad.

El documento D02 presenta un estudio de los sistemas PAM, CAP y de detección directa en OFDM/DMT para enlaces ópticos de corto alcance a 100 GB / s en los que puede utilizarse la detección directa.

Consideramos que las reivindicaciones 1ª y de la 3ª a la 11ª derivan directamente y sin ningún equívoco del documento D01 y de opciones normales de diseño.

Por consiguiente las reivindicaciones 1ª y de la 3ª a la 11ª, a la vista del estado de la técnica conocido, no poseen novedad ni actividad inventiva.