

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 386**

51 Int. Cl.:

H04B 10/50 (2013.01)

G02F 1/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2008 E 08855951 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2013 EP 2227715**

54 Título: **Controlador de polarización**

30 Prioridad:

04.12.2007 GB 0723650
04.12.2007 EP 07270069

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2013

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD , GB

72 Inventor/es:

SMITH, ANDREW JAMES y
NAWAZ, MOHAMMED

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 433 386 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).

DESCRIPCIÓN

Controlador de polarización

5 La invención se refiere a controladores de polarización, en particular, pero no exclusivamente, a un controlador de polarización para moduladores electroópticos, por ejemplo para los denominados moduladores Mach-Zehnder. Tales moduladores tienen utilidad, en particular, en el campo de los sistemas de comunicaciones ópticas.

10 Es sabido, en particular para los moduladores Mach-Zehnder, la necesidad que existe en ciertas aplicaciones de hacer ajustes periódicos en la polarización del modulador para asegurar que siga operando en un punto de cuadratura, o cerca del mismo. Existen diversas razones por las que, durante el funcionamiento de un modulador electroóptico Mach-Zehnder, un nivel de voltaje determinado resultará en un nivel de salida óptica ligeramente inconsistente del modulador. Esto es, el punto de polarización – el voltaje que debe aplicarse a un electrodo de polarización, por ejemplo para devolver el modulador a un punto de cuadratura, o cerca del mismo- es propenso a
15 variar. Esto puede deberse a cargas atrapadas en el guionondas del modulador, a variaciones de la temperatura, o a otros efectos.

20 En particular, es probable que las variaciones de temperatura resulten en cambios físicos en la longitud del interferómetro en un modulador Mach-Zehnder, por ejemplo, con las consiguientes variaciones en el punto de polarización. Existen ciertos tipos de modulador óptico basado en Interferómetro Mach-Zehnder (MZI) que tienen un punto de cuadratura que permanece eléctricamente estable a lo largo del tiempo (es decir, sin carga atrapada o efectos de variación similares). Sin embargo, tal modulador todavía es sensible a la temperatura: cualquier variación de temperatura cambia la longitud del interferómetro. Como el interferómetro de un modulador Mach-Zehnder es asimétrico, la longitud de la asimetría también se altera con la variación de la temperatura y por lo tanto el punto de
25 cuadratura varía, requiriendo un ajuste del voltaje de polarización de cc aplicado para corregirlo.

30 El documento EP 1217701 da a conocer una fuente de luz modulada para su uso como una parte de una red de comunicación optoelectrónica. La fuente de luz modulada tiene un láser y un modulador electroóptico externo para modular la intensidad de la luz producida por el láser. Un sensor de temperatura detecta la temperatura del láser y del modulador. Un circuito de control conectado al sensor de temperatura ajusta la polarización sobre el modulador de tal modo que el borde de banda del modulador siga los cambios en la longitud de onda del láser, a medida que el láser se calienta durante el funcionamiento. Esto evita la necesidad de un elemento de refrigeración para mantener constante la temperatura del láser.

35 El documento US 5495359 da a conocer una red de compensación de sensibilidad variable para un modulador óptico Mach-Zehnder que comprende una primera y una segunda fuentes f1 y f2 de señal piloto, un acoplador de señal para combinar las señales piloto con una señal de información de RF para modular un modulador óptico Mach-Zehnder controlado por polarización, un bucle de retroalimentación de sensibilidad variable que comprende un detector óptico para detectar las señales piloto de la salida del modulador, un filtro pasabanda para seleccionar la
40 frecuencia suma f1 y f2, un atenuador de voltaje variable para ajustar la sensibilidad del bucle, un circuito de compresión logarítmica para comprimir el nivel de las señales f1 y f2 del atenuador variable, un medio para medir el nivel de señal, un medio para controlar el atenuador variable y un medio para producir una señal analógica de polarización para controlar el punto operativo del modulador Mach-Zehnder. El medio de medición y de control incluye un microprocesador.

45 En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un método para controlar la polarización de un modulador electroóptico, que comprende las etapas de:

50 (i) recibir una indicación de la temperatura del modulador;

(ii) acceder a una tabla de referencia para determinar un valor de voltaje de polarización que corresponda a la indicación recibida de la temperatura del modulador; y

55 (iii) generar un voltaje de polarización del valor determinado para su aplicación en el modulador; y

(iv) en el caso de que, en la etapa (ii), la tabla de referencia no contenga un valor para el voltaje de polarización para el punto de polarización requerido, el método comprende adicionalmente las etapas de:

60 (v) generar un tono piloto para su introducción en el modulador;

(vi) determinar el contenido de señal de una señal óptica modulada emitida por el modulador para así reconocer el funcionamiento del modulador en el punto de polarización requerido;

65 (vii) si, en la etapa (vi), el modulador no está operando en el punto de polarización requerido, ajustar el valor de un voltaje de polarización para su aplicación en el modulador;

(viii) repetir las etapas (vi) y (vii) hasta que se reconozca el funcionamiento en el punto de polarización requerido;

(ix) almacenar el correspondiente valor del voltaje de polarización y la indicación recibida de la temperatura del modulador en dicha tabla de referencia; y

5 (x) dejar de aplicar el tono piloto.

10 Estas etapas adicionales (v) a (ix) permiten llenar la tabla de referencia con nueva información durante la operación del controlador de polarización, por ejemplo si se encuentra un valor de temperatura del modulador para el que no haya un valor correspondiente del voltaje de polarización almacenado en la tabla de referencia, o cuando la tabla de referencia esté inicialmente vacía. Preferiblemente, una vez almacenado un nuevo valor para el voltaje de polarización, se finaliza el tono piloto.

15 Preferiblemente, en la etapa (vi), para reconocer el funcionamiento del modulador en determinados puntos de polarización, determinar el contenido de la señal comprende monitorizar la amplitud de señales en la salida de señales ópticas moduladas, en particular con la ayuda de la detección de una amplitud sustancial mínima o sustancial máxima en tales señales, a una o más frecuencias. Estas frecuencias pueden incluir, en particular, la frecuencia fundamental del tono piloto y la frecuencia del segundo armónico del tono piloto. Preferiblemente, se utiliza un tono piloto de frecuencia en el rango de 10 a 100 kHz, por ejemplo 20 kHz.

20 Si se requiere el funcionamiento del modulador con una polarización en cuadratura, entonces en la etapa (vi) el punto de polarización en cuadratura del modulador es reconocible por una amplitud de señal sustancialmente máxima a la frecuencia fundamental del tono piloto, y por una amplitud de señal sustancialmente mínima a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto.

25 Si se requiere el funcionamiento del modulador en un punto de polarización máximo o mínimo, entonces en la etapa (vi) un punto de polarización máximo o mínimo del modulador es reconocible por una amplitud de señal sustancialmente mínima a la frecuencia fundamental del tono piloto, y por una amplitud de señal sustancialmente máxima a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto. Los puntos de polarización máximo y mínimo pueden distinguirse adicionalmente monitorizando el contenido en CC de la potencia de la señal emitida por el modulador.

30 Ahora se describirán realizaciones preferidas de la presente invención en más detalle, y a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

35 la figura 1 es una representación ilustrativa esquemática de un típico modulador basado en interferómetro Mach-Zehnder (MZI);

40 la figura 2 es un gráfico que muestra una porción de una típica característica de transferencia para el modulador MZI mostrado en la figura 1;

la figura 3 es una representación esquemática ilustrativa de un controlador de polarización, de acuerdo con realizaciones preferidas de la presente invención, enlazado con un modulador electroóptico; y

45 la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de funcionamiento de un algoritmo de control de polarización preferido para su ejecución en un controlador de polarización de acuerdo con las realizaciones preferidas de la presente invención.

50 Ahora se describirá una realización preferida de la presente invención en el contexto de un modulador basado en interferómetro Mach-Zehnder (MZI) para el que se asume que el punto de polarización es eléctricamente estable a lo largo del tiempo, y que la única causa significativa de una variación del punto de polarización durante el funcionamiento del modulador son los efectos debidos a la variación de la temperatura. En primer lugar se proporcionará un resumen de la estructura y los principios del funcionamiento de un modulador MZI con referencia a la figura 1 y la figura 2.

55 Con referencia en primer lugar a la figura 1, se proporciona una representación esquemática ilustrativa de un modulador MZI 1 del tipo que a menudo se emplea en sistemas ópticos de comunicaciones.

60 Los moduladores MZI proporcionan un mecanismo por el cual puede modularse una señal óptica portadora de entrada con una señal de comunicaciones, por ejemplo con una señal de comunicaciones de RF. En este ejemplo el modulador comprende un interferómetro, creado mediante la formación de un guíaondas óptico en un sustrato adecuado tal como Niobato de Litio (LiNbO_3) o Arseniuro de Galio (GaAs) o Fosfato de Indio (InP). El guíaondas 11 del modulador representado en la figura 1 está dividido en dos ramas 11a, 11b, una de las cuales (en este ejemplo la 11a) incluye una pequeña asimetría 15 que sirve para introducir una diferencia de fase entre la luz que desciende por las correspondientes ramas 11a, 11b del guíaondas 11, normalmente 90° a la longitud de onda de operación. La luz que pasa a través de cada guíaondas 11a, 11b se recombina en un acoplador óptico 13. Una longitud de onda operativa normal para la luz está en la zona de 1300 ó 1550 nanómetros.

Una señal portadora óptica, preferiblemente en la forma de un haz de luz procedente de un láser, entra en el guíaondas 11 del modulador desde la izquierda de la figura 1 y sale del modulador por el acoplador 13 a la derecha de la figura 1, habiendo pasado a través de ambas ramas del guíaondas. El modulador MZI 1 puede proporcionar ya sea una única salida óptica desde el acoplador 13, o puede proporcionar dos salidas ópticas, de las cuales una de las señales de salida óptica está desfasada 180° con la señal de salida óptica de la otra salida. La presente invención está ideada para operar tanto con la forma de salida individual como con la de salida dual del modulador MZI.

El Niobato de Litio (en común con otros potenciales materiales para guíaondas ópticos, tales como GaAs o InP) es un material de tipo vidrio con una estructura cristalina que presenta un efecto electroóptico por el cual el índice refractivo de la estructura cristalina cambia a medida que se aplica un voltaje sobre la misma. En particular, la dirección del campo eléctrico inducido por el voltaje aplicado causa un aumento o descenso en el índice refractivo – un índice refractivo aumentado que actúa para retrasar la luz que se desplaza a través del cristal, y un índice refractivo disminuido que actúa para aumentar la velocidad de la luz que se desplaza a través del cristal. En los moduladores MZI, el material de Niobato de Litio normalmente está dispuesto para tener una orientación cristalina que interrumpe en el plano X y propaga en el plano Y con respecto a la señal de entrada óptica, y en este contexto un campo eléctrico aplicado en la dirección X (positiva o negativa) genera un cambio en el índice refractivo del material que afecta a la velocidad de la luz que pasa a lo largo del eje Y.

Tal como se muestra en la figura 1, un electrodo 7 de modulación está situado entre las ramas 11a, 11b del guíaondas, y cuando este electrodo es energizado por una señal aplicada (por ejemplo por una señal de radiofrecuencia o de comunicación digital), se establecen unos campos eléctricos positivo y negativo entre el electrodo 7 de modulación y un primer y un segundo planos 3 y 5 de tierra, respectivamente. El electrodo de modulación está diseñado como una línea de transmisión de tal modo que la señal de modulación se desplace con la señal portadora óptica a través del modulador, permitiendo así conseguir unas frecuencias de modulación elevadas.

Los campos eléctricos positivo y negativo hacen que cambie el índice refractivo de las dos ramas 11a, 11b del guíaondas 11 (causando el campo positivo un aumento del índice refractivo para la rama 11a, y causando el campo negativo un descenso del índice refractivo para la rama 11b), y las consiguientes velocidades diferentes de propagación de la señal portadora óptica a través de cada rama causan un cambio de fase en las señales enviadas al combinador óptico 13, haciendo dicho cambio de fase que cambie el nivel de salida de la luz procedente del combinador óptico 13. En efecto, a medida que los campos eléctricos experimentados por cada rama varían con la señal de comunicaciones aplicada al electrodo de modulación, la diferencia de fase entre la luz que pasa a través de las dos ramas, y el nivel de salida de la señal óptica procedente del combinador 13, varían consecuentemente. El efecto neto de esto es que la señal portadora óptica de entrada se modula con la señal de comunicaciones aplicada al electrodo 7 de modulación.

Con referencia a la figura 2 de los dibujos adjuntos, se muestra que la característica de transferencia general del modulador es aproximadamente sinusoidal de acuerdo con el voltaje aplicado, consiguiéndose la modulación más lineal en un punto de cuadratura (también denominado simplemente “cuadratura”, utilizándose ambos términos de manera intercambiable en el presente documento), y alrededor del mismo, a saber un punto en el que hay una relación de fase de 90° entre la luz que se desplaza a través de las respectivas ramas 11a, 11b del guíaondas, y la potencia de salida óptica es aproximadamente la mitad de la potencia máxima de salida. La función de transferencia es una función de repetición, y como tal existen muchos puntos de cuadratura a diferentes voltajes aplicados pero todos con la misma potencia nominal de salida. En la figura 2 se indica un primer punto A de cuadratura. Un modulador MZI normalmente se fabrica de tal modo que cuando el voltaje aplicado sea cero, el modulador esté cercano a la cuadratura. En el punto A de cuadratura, cuando la potencia de salida está aumentando con el voltaje aplicado, este punto de cuadratura se denomina punto de cuadratura de pendiente positiva. También se indican dos puntos adicionales B y C de cuadratura en los que la potencia de salida está descendiendo con el voltaje aplicado, y cada uno de estos puntos de cuadratura se denomina punto de cuadratura de pendiente negativa.

En la práctica, tal como se ha mencionado anteriormente, el valor del voltaje aplicado correspondiente a un punto de cuadratura dado tiende a variar durante el funcionamiento del modulador, debido a diversos efectos. Para el fin de la presente invención, la causa principal de la variación de posición de los puntos de cuadratura es la variación de la temperatura del modulador. Para mantener niveles predecibles de potencia de salida para un voltaje aplicado determinado, en particular en el electrodo 7 de modulación, deben hacerse ajustes en el voltaje general que se está aplicando al modulador para compensar la variación de posición de los puntos de cuadratura. Este ajuste del voltaje se conoce como voltaje “de polarización” y puede aplicarse de dos maneras principales: como un ajuste de voltaje de la CC que puede combinarse con un voltaje de modulación que se está aplicando al electrodo 7 de modulación utilizando una T de polarización; o como un voltaje de polarización de CC independiente aplicado a un electrodo 9 de polarización dedicado, tal como será aparente para un experto en este campo.

Las realizaciones preferidas de la presente invención están dirigidas a una determinación de lo que el voltaje de polarización deberá ser en cualquier momento particular durante el funcionamiento del modulador. En particular, asumiendo que la razón principal para necesitar variar el voltaje de polarización es un cambio en la temperatura del

modulador y los efectos que se producen como consecuencia, una realización preferida de la presente invención está dirigida a un controlador de polarización para determinar el voltaje de polarización a aplicar para una temperatura dada del modulador. A continuación se describirá este controlador de polarización con referencia a la figura 3 y la figura 4.

5 Con referencia en primer lugar a la figura 3, se proporciona un diagrama esquemático ilustrativo de un controlador de polarización para controlar el voltaje de polarización a aplicar en un modulador electroóptico 300 tal como un modulador MZI anteriormente descrito. El modulador 300 tiene una entrada óptica 305 para recibir una señal portadora óptica desde un láser 310, una entrada 315 de señal para recibir una señal eléctrica de modulación, por ejemplo una señal de radio frecuencia (RF), y una salida óptica 320 para emitir la señal portadora óptica modulada. El modulador 300 está provisto de una entrada 325 de voltaje de polarización para recibir un voltaje de polarización para permitir alcanzar y mantener un punto de polarización predeterminado.

15 Para que el aparato de esta realización preferida determine el nivel de voltaje de polarización requerido, el modulador 300 está provisto de un sensor 330 de temperatura que puede comprender un termopar, un termistor, un transistor conectado a un diodo o un diodo, y puede estar sujeto a la carcasa del modulador 300 con el fin de estimar la temperatura del propio modulador 300 o, preferiblemente, puede estar integrado dentro del propio sustrato del modulador para ofrecer una lectura más precisa de la temperatura. El sensor 330 de temperatura está enlazado con un correspondiente circuito de interconexión, por ejemplo un termómetro 335 de circuito integrado (CI) para convertir una salida del sensor 330 de temperatura en una señal digital para entrada a un procesador 340. El procesador 340 también está enlazado a una memoria para almacenar una tabla de referencia 345 que contiene información que relaciona la temperatura del modulador con el voltaje de polarización. El procesador 340 está dispuesto para ejecutar un algoritmo de control de polarización, tal como se describirá a continuación en una realización preferida. El procesador 340 puede comprender un microcontrolador, un chip de procesador de señales digitales (DSP) o un antenaje de puerta de campo programable (FPGA), por ejemplo.

30 La tabla de referencia 345 puede pre-llenarse con datos para cada modulador 300 en el que vaya a conectarse el controlador de polarización, o la tabla 340 puede llenarse con datos automáticamente mediante el algoritmo de control de polarización que se describirá a continuación. En ambos casos, la tabla de referencia 345 está ideada para almacenar, para cada punto de temperatura resoluble, por ejemplo para cada 1/8 de grado Celsius en un termómetro de CI normal, el voltaje de polarización correcto a aplicar en el modulador 300. Una salida del procesador 340 está enlazada con un conversor 350 de digital a analógico (D-A) para convertir una representación digital de un voltaje de polarización, determinado por referencia con la tabla de referencia 345, a una señal de voltaje de CC. Si es necesario, se amplifica la señal de voltaje de CC en un amplificador separador 355 y se emite a través de un filtro 360 de paso bajo hasta la entrada 325 de voltaje de polarización del modulador 300.

40 El algoritmo de control de polarización, al ejecutarse en el procesador 340, está ajustado para efectuar mediciones periódicas de la temperatura del modulador y para determinar una salida de un correspondiente voltaje de polarización al modulador 300 para asegurar que el modulador 300 continúe funcionando en la zona requerida de su característica de transferencia, por ejemplo en cuadratura. Asumiendo que la tabla de referencia 345 contenga los valores requeridos para el voltaje de polarización en cada punto de temperatura, entonces el controlador de polarización puede funcionar sin interrupción. Sin embargo, cuando la tabla de referencia 345 está vacía o no está completamente rellena con información, entonces el algoritmo de control de polarización debe determinar el voltaje de polarización requerido para una temperatura dada del modulador y para rellenar automáticamente la tabla de referencia 345 con la información que falta, tal como se describirá adicionalmente a continuación con referencia a la figura 4.

50 Con referencia adicional a la figura 4, se proporciona un diagrama de flujo para mostrar las etapas preferidas de funcionamiento de un algoritmo de control de polarización preferido para su ejecución en el procesador 340, en particular con el fin de rellenar automáticamente la tabla de referencia 345. En la ETAPA 400, el procesador 340 efectúa una medición periódica de la temperatura del modulador 300 al leer la salida del termómetro 335 con CI, tal como se ha descrito anteriormente. En la ETAPA 405, el procesador 340 determina si, para la actual temperatura medida, existe un valor almacenado en la tabla de referencia 345 para el correspondiente voltaje de polarización. Si existe, entonces en la ETAPA 410 el procesador 340 está ajustado para leer el valor del voltaje de polarización en la tabla de referencia 345, y para generar una señal de voltaje de polarización para aplicar a la entrada 325 de voltaje de polarización del modulador 300, tal como se ha descrito anteriormente.

60 Si en la ETAPA 405 no existe un valor correspondiente para la temperatura medida actual en la tabla de referencia 345, entonces, en la ETAPA 415, el procesador 340 está ajustado para iniciar un proceso para determinar automáticamente el correspondiente voltaje de polarización. En primer lugar, en la ETAPA 415, el procesador 340 está ajustado para generar una representación digital de un tono piloto que, al ser enviado al conversor D-A 350, es convertido en un tono piloto analógico de frecuencia f_0 , preferiblemente en el rango de 10 a 100kHz. Se amplifica (355) el tono piloto y se filtra en el filtro 360 de paso bajo para asegurar que el tono piloto tenga una pureza espectral elevada. Se aplica el tono piloto a la entrada 325 de voltaje de polarización del modulador 300 y puede combinarse con una señal de voltaje de CC de polarización que se esté suministrando al mismo tiempo al modulador 300. Alternativamente, el procesador 340 puede estar ajustado para activar una fuente analógica independiente de un

tono piloto de alta calidad de frecuencia f_0 . El tono piloto puede introducirse más directamente en el modulador 300, ya sea por la entrada 325 de voltaje de polarización o por la entrada 315 de señal de polarización, en ese último caso mezclado con cualquier señal modulada que se esté aplicando al mismo tiempo.

5 En la ETAPA 420, el procesador 340 está ajustado para efectuar ajustes en el voltaje de polarización que se está aplicando al modulador 300 y para monitorizar los efectos de aquellos ajustes en el contenido en armónicos de la señal portadora óptica modulada que el modulador 300 está emitiendo por la salida óptica 320. Para conseguir esto, un acoplador óptico 365 de derivación puede estar situado en la salida óptica 320 del modulador para derivar entre el 1% y el 5% de la potencia de una señal óptica de salida. La señal óptica derivada se suministra a un fotodiodo 370
10 de ancho de banda bajo para su conversión a una señal eléctrica. Se utiliza un fotodiodo de ancho de banda bajo para que sea sensible a los cambios en la intensidad de la luz a la frecuencia del tono piloto y sus armónicos de orden más bajo, pero relativamente insensible a los cambios debidos a la modulación de radiofrecuencia (RF). Esto tiene la ventaja de que se evita cualquier filtrado que de otra manera sería necesario para aislar las frecuencias de interés del tono piloto, respecto a la modulación de RF, si se usara un fotodiodo con un ancho de banda alto.

15 Como alternativa a un acoplador óptico 365 de derivación, puede integrarse un fotodiodo 370 en el propio modulador 300, acoplado por ejemplo dentro del campo evanescente situado por encima del guíaondas 11 del modulador, o puede utilizarse con el modulador 300 un fotodiodo monitor integrado con una derivación reflectiva para conseguir el mismo propósito.

20 Un filtro pasabanda 375 filtra la señal eléctrica emitida por el fotodiodo 370, centrándose en la frecuencia fundamental f_0 del tono piloto, y también un filtro pasabanda 380 que se centra en la frecuencia f_1 del segundo armónico del tono piloto. Luego pueden monitorizarse las amplitudes de las señales emitidas por cada filtro 375, 380, permitiendo que el controlador de polarización determine cuando el modulador 300 está funcionando en un punto de polarización requerido. Cuando el modulador 300 está funcionando en un punto de cuadratura, la amplitud de la señal a la frecuencia fundamental (f_0) del tono piloto estará sustancialmente al máximo y la amplitud de la señal a la frecuencia (f_1) del segundo armónico estará sustancialmente en un mínimo. Si el modulador 300 está funcionando en un punto de polarización mínimo o máximo en la característica de transferencia, entonces la amplitud de señal en la frecuencia fundamental (f_0) del tono piloto estará sustancialmente en un mínimo y la amplitud de la señal en la frecuencia (f_1) del segundo armónico estará sustancialmente en un máximo. Para distinguir entre el funcionamiento en el punto de polarización máximo o mínimo, se requiere información sobre el contenido en CC de la potencia de la señal de salida. Esto puede determinarse mediante el procesador 340, analizando la salida del fotodiodo 370 tras la digitalización en un conversor 395 de analógico a digital (A-D). Si el contenido en CC de la potencia de la señal es elevado, entonces el modulador 300 está funcionando en un punto de polarización máximo; si no existe contenido en CC, entonces el modulador 300 está funcionando en un punto de polarización mínimo.

35 Para ayudar a detectar las amplitudes de señal extremas –máximas o mínimas– de las señales filtradas, se proporcionan unos detectores 385, 390 del nivel de cresta, ajustados para monitorizar la amplitud de cada señal filtrada. La salida de cada detector 385, 390 del nivel de cresta es digitalizada por el conversor A-D 395 y suministrada al procesador 340 para un análisis adicional para determinar cuando el modulador 300 está funcionando en un punto de polarización requerido.

40 Al detectar una indicación correspondiente de que el modulador 300 está operando en el punto de polarización requerido, el procesador 340 escribe en la tabla de referencia 345 la temperatura del modulador recibida actual y el voltaje de polarización aplicado actual con respecto a ese punto de polarización. Luego se apaga el tono piloto. Luego puede repetirse el proceso cuando se detecte un nuevo punto de temperatura para el que no haya un correspondiente valor de voltaje de polarización almacenado en la tabla de referencia 345. Si se requiere, este proceso puede ejecutarse durante periodos planeados o específicos cuando no se esté utilizando el modulador 300 para modulación. Este proceso tiene la ventaja de que puede ejecutarse muy rápidamente, con una mínima
50 interrupción en el funcionamiento del modulador 300. Adicionalmente, debido a que el tono piloto puede aplicarse breve y predeciblemente, la amplitud de señal del tono piloto puede ser mucho mayor de la que normalmente se emplearía, permitiendo una minimización más precisa del segundo armónico, un punto que de otra manera podría resultar difícil de detectar con precisión por encima del umbral de ruido mínimo de la señal de salida. Esto, a su vez, generará un aumento en la linealidad del modulador cuando se utilice en polarización de cuadratura.

55 Se ha descrito con referencia a la figura 4 un proceso automático, para rellenar con datos la tabla de referencia 345, que es adecuado para su uso durante el funcionamiento del modulador 300. Sin embargo, puede implementarse un proceso alternativo para rellenar con datos la tabla de referencia 345 o para determinar la información requerida durante una fase de preinstalación o de presuministro, por ejemplo durante la fabricación. Este proceso puede ser un proceso manual o semiautomático. En tal proceso, se coloca el modulador 300 en un horno y se varía la temperatura lentamente. Se enlaza el modulador 300 con una fuente de portadora óptica y se aplica un tono piloto al modulador 300. En cada punto de temperatura requerido se monitoriza el contenido en armónicos de la salida óptica resultante, al tiempo que se aplica un voltaje de polarización variable sobre el modulador 300. El voltaje de polarización que resulta en una potencia mínima de la señal de salida a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto, y la temperatura medida del modulador, se escriben en una memoria para el subsiguiente llenado de datos en la tabla de referencia 345. En este ejemplo, dichos voltajes serán los voltajes para mantener la cuadratura. Sin
60
65

embargo, tal como se ha analizado anteriormente, pueden utilizarse condiciones de señal diferentes a otras frecuencias, por ejemplo a la frecuencia fundamental del tono piloto, para determinar el voltaje de polarización requerido para otros puntos de polarización del modulador, en cada punto de temperatura. Las variaciones de este proceso resultarán aparentes para un experto en este campo.

- 5 Preferiblemente, para tener en cuenta la degradación a largo plazo del modulador 300, el controlador de polarización de la presente invención puede ajustarse periódicamente para que rellene con datos la tabla de referencia 345 por completo.
- 10 Un controlador de polarización de acuerdo con las realizaciones preferidas de la presente invención es en gran medida una implementación digital, lo que permite escalarlo fácilmente, reutilizando gran parte del hardware del aparato para controlar la polarización de varios moduladores. Por ejemplo, el diseño del controlador de polarización puede extenderse para controlar múltiples moduladores utilizando conversores A-D (395) de entradas múltiples y D-A (350) de salidas múltiples, un procesador 340 individual y una tabla de referencia 345 mayor. Si existe una buena
- 15 coincidencia de temperatura entre varios moduladores de un sistema (es decir, están colocados y existe un bajo coeficiente de cambios de temperatura), entonces el controlador de polarización de acuerdo con la presente invención puede operarse para controlar la polarización de todos los moduladores utilizando un único dispositivo de medición de temperatura.
- 20 Con un mínimo ajuste de los contenidos de la tabla de referencia 345 y del proceso para determinar automáticamente los voltajes de polarización, el controlador de polarización puede configurar uno o más moduladores 300 para que funcionen en un punto de polarización en cuadratura, mínimo, máximo, o cualquier otro punto de polarización arbitrario, tal como resultará aparente para los expertos en este campo, en base a la información proporcionada anteriormente.
- 25 Las realizaciones preferidas de la presente invención pueden aplicarse en enlaces digitales de muy alta velocidad, en los que la eliminación de un tono de acción vibratoria de un controlador de polarización convencional puede aumentar la tasa de datos máxima posible y/o la longitud del enlace.
- 30 Para protegerse contra la deriva a largo plazo, un sistema que incluya un controlador de polarización de acuerdo con la presente invención puede comprobar periódicamente la información de la tabla de referencia 345, mediante la aplicación del tono piloto cuando se solicite, o (por ejemplo) poco después del arranque. Si se detecta un error significativo en un punto de polarización requerido, entonces puede llevarse a cabo, o solicitarse, un recalibrado.

REVINDICACIONES

1. Un método para controlar la polarización de un modulador electroóptico (300), que comprende las etapas de:
- 5 (i) recibir una indicación de la temperatura del modulador (300);
- (ii) acceder a una tabla de referencia (345) para determinar un valor de voltaje de polarización que corresponda a la indicación recibida de la temperatura del modulador, para un punto de polarización requerido;
- 10 (iii) generar un voltaje de polarización de dicho valor determinado para su aplicación sobre el modulador (300); y
- caracterizado porque:
- (iv) en el caso de que, en la etapa (ii), la tabla de referencia (345) no contenga un valor de voltaje de polarización para el punto de polarización requerido, el método comprende adicionalmente las etapas de:
- 15 (v) generar un tono piloto para introducir en el modulador (300);
- (vi) determinar el contenido de señal de una señal óptica modulada emitida por el modulador (300) para así reconocer el funcionamiento del modulador (300) en el punto de polarización requerido;
- 20 (vii) si, en la etapa (vi), el modulador (300) no está operando en el punto de polarización requerido, ajustar el valor de un voltaje de polarización para su aplicación sobre el modulador (300);
- 25 (viii) repetir las etapas (vi) y (vii) hasta que se reconozca el funcionamiento en el punto de polarización requerido;
- (ix) almacenar en dicha tabla de referencia (345) el correspondiente valor del voltaje de polarización y la indicación recibida de la temperatura del modulador; y
- 30 (x) dejar de aplicar el tono piloto.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en la etapa (vi), determinar el contenido de la señal comprende monitorizar la amplitud de señales en la señal óptica modulada a la frecuencia del tono piloto y a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto.
- 35
3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que, en la etapa (vi), el punto de polarización requerido es un punto (A) de polarización en cuadratura del modulador (300), reconocible por una amplitud de señal sustancialmente máxima a la frecuencia fundamental del tono piloto, y una amplitud de señal sustancialmente mínima a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto.
- 40
4. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que, en la etapa (vi), el punto de polarización requerido es un punto de polarización mínimo o máximo del modulador (300), reconocible por una amplitud de señal sustancialmente mínima a la frecuencia fundamental del tono piloto, y una amplitud de señal sustancialmente máxima a la frecuencia del segundo armónico del tono piloto.
- 45
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente la etapa de:
- (ix) al recibir una indicación de una temperatura diferente del modulador, repetir las etapas (ii) a (viii) con respecto a
- 50 dicha temperatura diferente del modulador.

Fig. 1

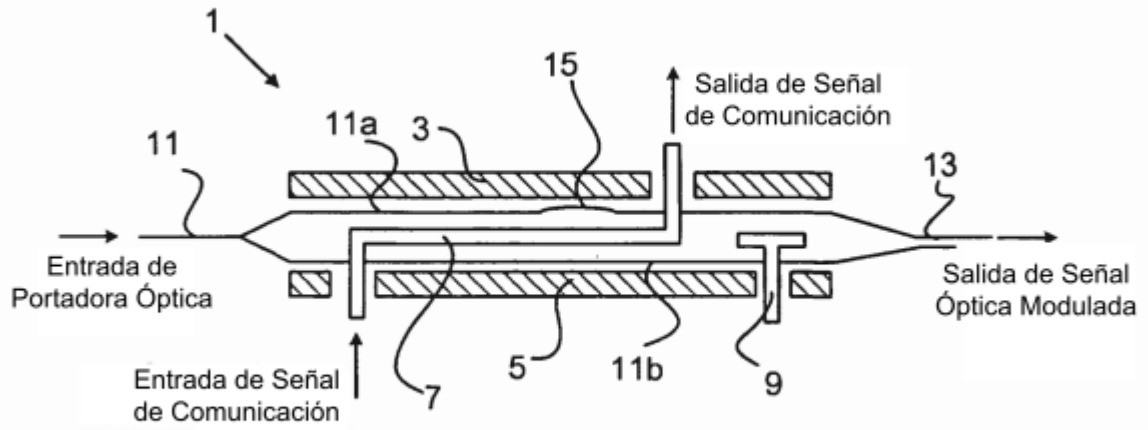
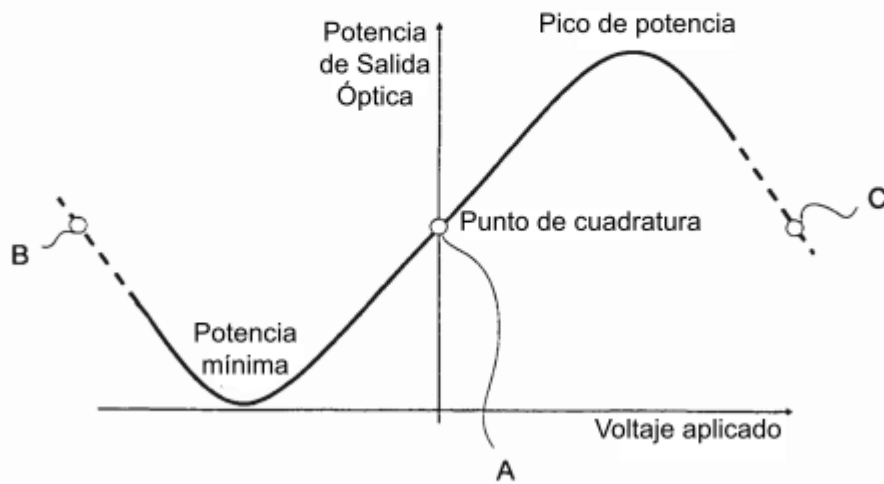


Fig. 2



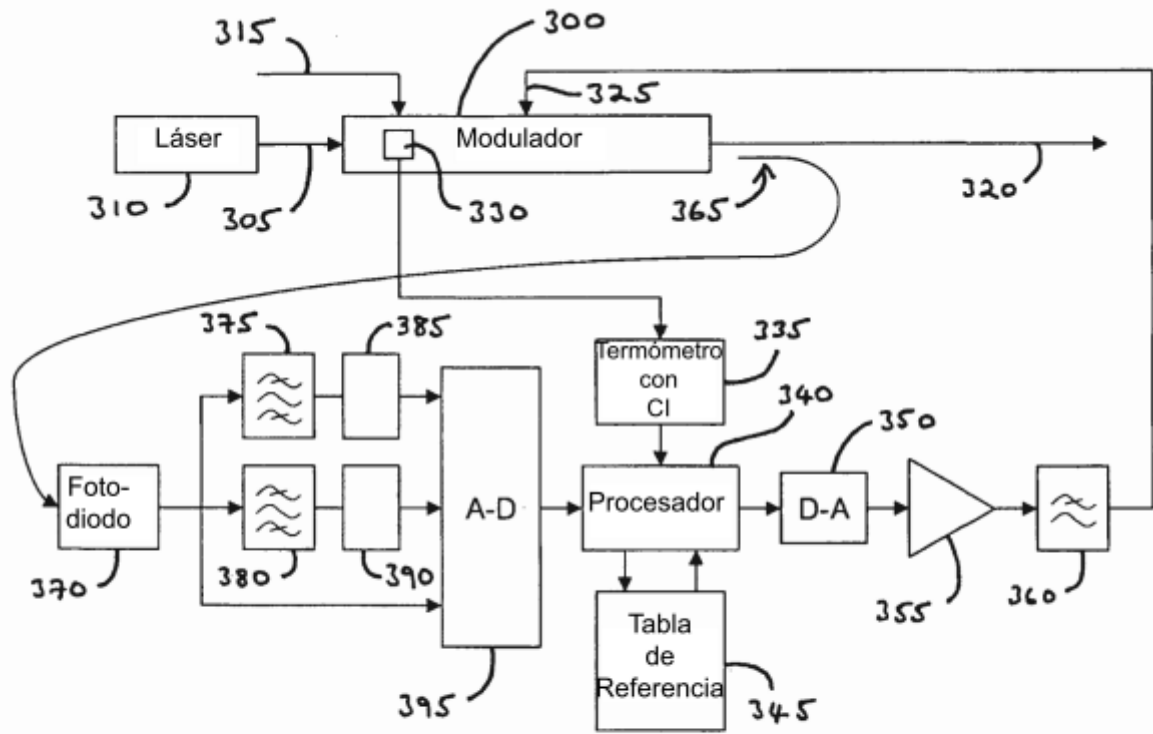


Figura 3

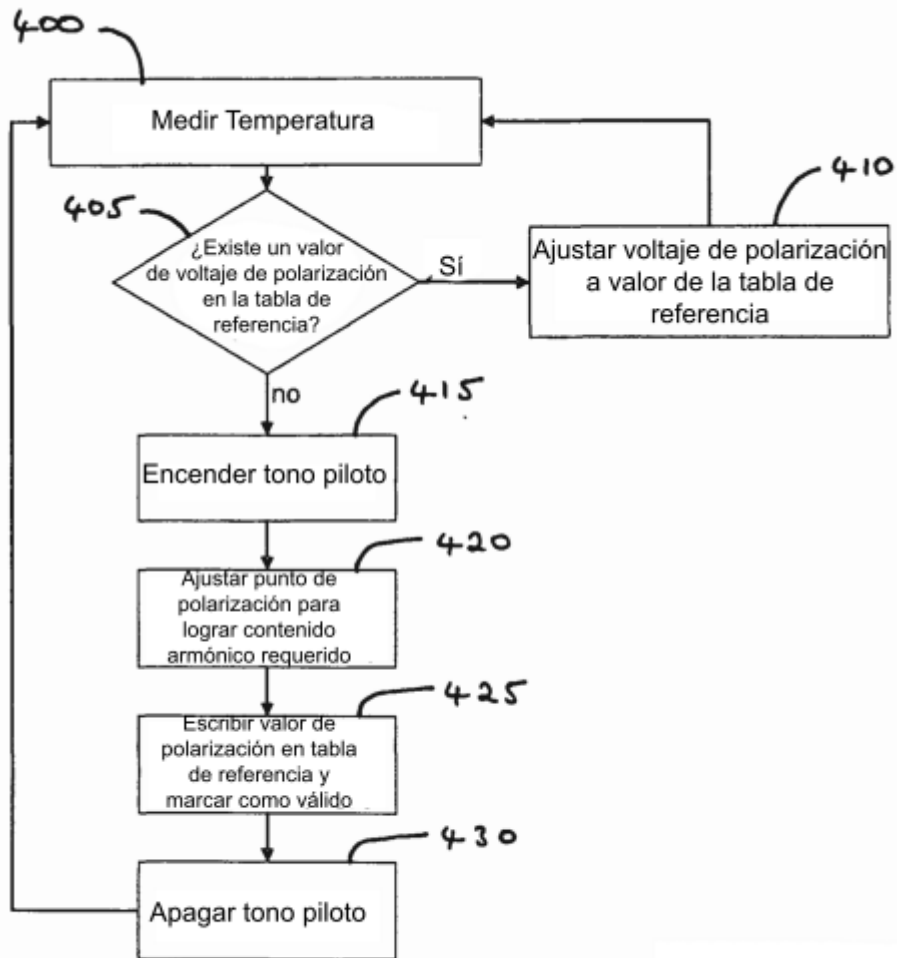


Figura 4