

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 168**

51 Int. Cl.:

G02F 1/01 (2006.01)

G02F 1/225 (2006.01)

G02F 1/21 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2013 PCT/GB2013/051112**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.11.2013 WO13164603**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2013 E 13720509 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2845048**

54 Título: **Control de tensiones de polarización para moduladores ópticos**

30 Prioridad:

02.05.2012 EP 12275057
02.05.2012 GB 201207668

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SMITH, ANDREW JAMES;
NAWAZ, MOHAMMED y
GILES, SIMON, CHARLES

74 Agente/Representante:

ELZABURU SLP, .

ES 2 626 168 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

Control de tensiones de polarización para moduladores ópticos

Campo de la invención

La presente invención se refiere al control de tensiones de polarización alimentadas a moduladores ópticos.

5 Antecedentes

El uso de controladores y moduladores (por ejemplo Mach-Zehnder (MZ)) de polarización en sistemas de comunicación ya es conocido. Los controladores y los moduladores pueden utilizarse para modular una señal portadora óptica de entrada con una señal de comunicaciones por radiofrecuencia (RF).

La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un modulador MZ 1.

10 El modulador MZ 1 proporciona un mecanismo por medio del cual puede modularse una señal portadora óptica de entrada con una señal de comunicaciones, por ejemplo con una señal de comunicaciones por radiofrecuencia (RF). En este ejemplo, el modulador es realmente un interferómetro, creado formando un guíaondas óptico en un sustrato adecuado, tal como niobato de litio (LiNbO3) o arseniuro de galio (GaAs) o fosfuro de indio (InP).

15 Un guíaondas 11 del modulador MZ 1 se divide en dos ramas 11a, 11b antes de recombinarse en un acoplador óptico 13. Una señal portadora óptica en forma de un haz de luz entra por un lado del modulador 1 (como se indica mediante una flecha en la parte izquierda de la Figura 1) y sale del modulador 1 por el lado opuesto (es decir en la parte derecha de la Figura 1), habiendo pasado a través de ambas ramas 11a, 11b del guíaondas 11.

20 Una de las ramas 11a del guíaondas incluye una asimetría 15 cuya función es introducir una diferencia de fase entre la luz que se desplaza por las respectivas ramas 11a, 11b del guíaondas 11. La diferencia de fase se elige de modo que sea de aproximadamente 90 grados en la longitud de onda de funcionamiento, que es típicamente de alrededor de 1.300 o 1.550 nanómetros. Esto induce una polarización en cuadratura donde la salida óptica es nominalmente de un 50% de su máximo.

25 El niobato de litio (al igual que otros materiales similares, tales como el GaAs o el InP) es un material vítreo con una estructura cristalina que presenta un efecto electro-óptico por el que el índice de refracción de la estructura cristalina cambia al aplicarle una tensión. En particular, la dirección del campo eléctrico inducido por la tensión aplicada causa un aumento o una disminución del índice de refracción. Un índice de refracción aumentado actúa reduciendo la velocidad de la luz que se desplaza a través del cristal y un índice de refracción disminuido actúa aumentando la velocidad de la luz que se desplaza a través del cristal. En los moduladores MZ, el material niobato de litio está dispuesto normalmente de manera que tenga una orientación cristalina de corte en X, propagación en Y, con respecto a la señal óptica de entrada y, en este contexto, un campo eléctrico aplicado en la dirección X (positiva o negativa) causa un cambio en el índice de refracción del material, que afecta a la velocidad de la luz que pasa a lo largo del eje Y.

35 Como se muestra en la Figura 1, entre las ramas 11a, 11b del guíaondas 11 está previsto un electrodo 7 de modulación. Cuando el electrodo 7 de modulación es excitado por una señal aplicada (por ejemplo una señal de comunicaciones por radiofrecuencia o digital), se establecen unos campos eléctricos positivo y negativo entre el electrodo 7 de modulación y, respectivamente, un primer 3 y un segundo 5 planos de masa. El electrodo 7 de modulación está diseñado como una línea de transmisión, de manera que la señal de modulación se desplaza con la señal portadora óptica a través del modulador MZ 1, permitiendo así alcanzar altas frecuencias de modulación.

40 Los campos eléctricos positivo y negativo hacen que el índice de refracción de las dos ramas 11a, 11b del guíaondas 11 cambie (el campo positivo causa un aumento del índice de refracción para la rama 11a, y el campo negativo causa una disminución del índice de refracción para la rama 11b) y las velocidades de propagación de la señal portadora óptica diferentes resultantes a través de cada rama causan un cambio en la fase en la salida de las señales al combinador óptico 13, cuyo cambio de fase hace que el nivel de salida de la luz del combinador óptico 13 cambie. En realidad, según varían los campos eléctricos experimentados por cada rama con la señal de comunicaciones aplicada al electrodo 7 de modulación, también cambia la diferencia de fase entre la luz que atraviesa las dos ramas y varía por consiguiente el nivel de salida de la salida de señal óptica del combinador 13. 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.

50 La Figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una función de transferencia de modulador. Esta característica de transferencia del modulador MZ 1 es aproximadamente sinusoidal. La modulación más lineal tiende a alcanzarse en el punto de cuadratura (también conocido simplemente como "cuadratura") y alrededor del mismo. El punto de cuadratura es el punto en el que existe una relación de fase de 90 grados entre la luz que se desplaza a través de las respectivas ramas 11a, 11b del guíaondas 11. La función de transferencia es una función de repetición y, como tal, hay muchos puntos de cuadratura en diferentes tensiones de polarización, pero todos con la misma salida de potencia. En la Figura 2 se indica mediante el símbolo de referencia A un primer punto de

cuadratura. En este primer punto A de cuadratura, la potencia de salida aumenta con la tensión de polarización y, por lo tanto, este punto A de cuadratura se denomina punto de polarización en cuadratura de pendiente positiva. En la Figura 2 se indican mediante los símbolos de referencia B y C dos puntos B y C de cuadratura adicionales, en los que la potencia de salida disminuye con la tensión de polarización. Estos puntos B, C de cuadratura se denominan cada uno punto de polarización en cuadratura de pendiente negativa.

En la práctica, el desplazamiento de fase preferido de 90 grados se logra raras veces, si es que se logra. Para compensar esto, es habitual incluir un componente polarizable 9 y aplicar una tensión de polarización de CC al componente polarizable 9, para devolver el modulador MZ 1 a uno de los susodichos puntos de cuadratura o a las proximidades del mismo. En la disposición representada en la Figura 1, el componente polarizable 9 comprende un electrodo de polarización discreto (esto es solamente ilustrativo, dado que los expertos en la técnica conocen varias disposiciones alternativas). Por ejemplo, puede aplicarse directamente al electrodo 7 de modulación una tensión de polarización por medio de una, así llamada, unión en T de polarización. En tal disposición, la polarización de CC está acoplada al electrodo a través de una inductancia, y la señal aplicada (por ejemplo una señal de comunicaciones por RF) está acoplada al electrodo a través de un condensador.

Un problema con esta disposición es que el punto de polarización, es decir la tensión que se ha de aplicar al componente polarizable 9 para devolver el modulador MZ 1 al punto de cuadratura o a las proximidades del mismo, cambia con el tiempo. Por ejemplo, las, así llamadas, cargas atrapadas (por ejemplo que existen en las regiones entre electrodos, por ejemplo en una capa tampón de dióxido de silicio en la superficie del dispositivo) y las variaciones de temperatura pueden hacer en cada caso que el punto de polarización cambie a una tasa que puede ser cualquiera desde unos pocos milivoltios por hora hasta varios voltios por hora. Así, de manera convencional suele no ser posible proporcionar un sistema en el que la tensión de polarización, una vez establecida, no haya de ser cambiada. Como tal, es habitual prever algún tipo de control dinámico de polarización para que sea posible mantener la linealidad del modulador durante un periodo de tiempo prolongado.

En el ámbito analógico, el control dinámico de polarización se ha logrado anteriormente aplicando un tono piloto (por ejemplo un tono de 10 kHz para una señal de comunicaciones multi-GHz de interés) al electrodo de modulación, vigilando la salida del modulador y ajustando la tensión de polarización sobre la base de esa salida. Por ejemplo, dado que el 2º armónico del tono piloto tiende habitualmente a ser mínimo en el punto de cuadratura o alrededor del mismo, un enfoque propuesto anteriormente vigila este segundo armónico y ajusta la tensión de polarización de CC aplicada para minimizar el segundo armónico. Anteriormente se ha propuesto un enfoque similar para el ámbito digital, pero en este caso la señal aplicada es típicamente una señal de ruido blanco de onda cuadrada y la salida se vigila mediante un procesador de señales digitales.

Aunque cada uno de estos enfoques permite prever una forma de control dinámico de polarización, cada uno tiene desventajas concomitantes. Por ejemplo, la aplicación de un tono piloto da lugar necesariamente a productos de modulación (por ejemplo bandas laterales) que limitan el rendimiento del sistema, y para los enlaces ópticos de alta fidelidad esta reducción de rendimiento es inaceptable. En enlaces de muy alta velocidad (por ejemplo enlaces digitales con velocidades de hasta 100 Gbit/s y enlaces analógicos con frecuencias de hasta 60 GHz), la aplicación de un ruido blanco puede afectar negativamente a la tasa de datos y a la longitud de enlace que puede alcanzarse. Otra desventaja particularmente frecuente en casos en los que se requieren múltiples canales, por ejemplo en un sistema de antenas de elementos múltiples en fase, es que, dado que cada modulador es diferente, es necesario duplicar por completo el hardware de control de polarización para todos y cada uno de los moduladores. Esto aumenta el volumen, la complejidad y el coste del sistema.

El documento WO 2008/059198 describe un controlador de polarización para un modulador óptico. El modulador incluye un electrodo de polarización que puede utilizarse, cuando se polariza adecuadamente mediante una tensión de polarización aplicada, para configurar el modulador para que funcione en cuadratura. El controlador de polarización comprende medios para generar señales de potencia indicativas de la potencia óptica de salida del modulador, y un procesador que está conectado de forma operativa a los medios generadores y al electrodo de polarización. El procesador está dispuesto para recibir las señales de potencia desde los medios generadores y para controlar la tensión de polarización aplicada al electrodo de polarización. El procesador está configurado para variar la tensión de polarización aplicada al electrodo de polarización y para determinar (a partir de las señales de potencia recibidas desde los medios generadores) una potencia óptica de salida máxima para el modulador. El procesador está configurado además para determinar, en función de la potencia óptica máxima, una potencia óptica objetivo para la cuadratura con referencia a un almacenamiento de valores predeterminados para la potencia de salida máxima y valores correspondientes respectivos de potencia óptica objetivo para la cuadratura.

El documento EP 0 631 169 A2 describe un procedimiento para controlar dinámicamente una tensión de polarización de un modulador Mach-Zehnder, que implica vigilar la potencia óptica de salida y compararla con un valor de referencia que corresponde a un funcionamiento en cuadratura del modulador Mach-Zehnder, ajustándose dicha tensión de polarización en función de la diferencia detectada entre la potencia óptica de salida vigilada y el valor de referencia. Según el documento EP 0 631 169 A2, la tensión EB de polarización se aplica al modulador Mach-Zehnder de tal manera que una tensión diferencial entre la tensión de punto operativo y una tensión de polarización se mantiene dentro de la diferencia de tensión ΔE . El modulador MZ está diseñado para que tenga una tensión de polarización en cuadratura intrínseca diferente de cero, concretamente +0,15 V. La tensión EB de polarización inicial

5 está establecida de manera que cumpla la ecuación $ECNT + EB \leq \Delta E$, por ejemplo $ECNT = EB = 0,2 \text{ V}$ y $\Delta E = 0,5 \text{ V}$. El circuito de control cambia ahora la polaridad de la tensión EB de polarización sólo cuando se detecta que el punto operativo está por encima de $+ECNT$ o por debajo de $-ECNT$, y de este modo, debido a la deriva de la CC del modulador, la diferencia entre la tensión de punto operativo y la tensión de polarización se mantiene constantemente dentro del valor ΔE tolerable. Así, el control dinámico de la tensión de polarización del documento EP 0 631 169 A2 es tal que la potencia de salida del modulador se halla dentro de un intervalo predeterminado de la potencia de salida objetivo, indicándose este intervalo explícitamente como el intervalo $[-ECNT, +ECNT]$.

10 El documento US 4 162 398 A describe un procedimiento para controlar dinámicamente una tensión de polarización de un modulador Mach-Zehnder, que implica vigilar la potencia óptica de salida y compararla con un valor de referencia que corresponde a un funcionamiento en cuadratura del modulador Mach-Zehnder, ajustándose dicha tensión de polarización en función de la diferencia detectada entre la potencia óptica de salida vigilada y el valor de referencia. El documento US 4 162 398 A describe además un control de polarización que mantiene el punto de control de cuadratura aunque se produzcan variaciones de la potencia óptica de entrada.

15 El documento WO 02/063381 A1 describe un procedimiento para ajustar una tensión de funcionamiento o de polarización de un modulador óptico Mach-Zehnder, que incluye un paso de ajustar la tensión de polarización aplicada al modulador MZ a un valor inicial predeterminado, un paso de medir la potencia óptica de salida del modulador MZ, un paso de aumentar y disminuir de manera secuencial y progresiva la tensión de polarización con respecto al valor predeterminado, un paso de determinar valores de tensión respectivos que producen unos valores máximo y mínimo de la potencia óptica de salida, y un paso de ajustar la tensión de polarización a un valor intermedio entre los valores de tensión máximo y mínimo. En el documento US 2003/107791 A1 se describe también un procedimiento de control de polarización similar.

20

25 El documento US 6 700 907 B2 describe un mecanismo de control de ganancia de excitador y de polarización de modulador MZ que establece valores iniciales para la polarización y la ganancia de un modulador MZ para parámetros de predicción prescritos y, después, ajusta la tensión de polarización para la cuadratura con microcontrolador usando una realimentación de potencia de salida.

Compendio de la invención

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para controlar una tensión de polarización alimentada a un modulador óptico Mach-Zehnder según la reivindicación independiente 1 adjunta.

En las reivindicaciones dependientes 2-11 adjuntas se definen realizaciones preferidas de dicho primer aspecto.

30 En otro aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para controlar una unidad de modulación para un sistema de comunicaciones ópticas según la reivindicación 12 adjunta.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un controlador de polarización para un modulador óptico según la reivindicación 13 adjunta.

35 En otro aspecto, la presente invención proporciona una unidad de modulación para un sistema de comunicaciones ópticas según la reivindicación 14 adjunta.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un modulador MZ;

la Figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) de una función de transferencia de modulador;

40 la Figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de una primera red ejemplar en la que está implementada una realización de un controlador de polarización;

la Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) de una segunda red ejemplar en la que está implementado el controlador de polarización;

la Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de una realización de un algoritmo de control;

45 la Figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) de un gráfico que muestra una búsqueda de punto de polarización;

la Figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de seguimiento o rastreo ejemplar;

la Figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) de otro gráfico que muestra una búsqueda de punto de polarización; y

la Figura 9 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de un proceso que puede ser llevado a cabo por el controlador de polarización si un láser es desactivado.

Descripción detallada

5 A continuación se describen realizaciones preferidas de la presente invención haciendo referencia en particular a un controlador de polarización para un modulador. Tales controladores y moduladores se emplean típicamente en sistemas de comunicaciones para modular una señal portadora óptica de entrada con una señal de comunicaciones por radiofrecuencia (RF). Aunque las enseñanzas de la presente invención tienen una gran utilidad en sistemas de comunicaciones ópticas, es decir sistemas de comunicaciones en los que los nodos del sistema están conectados ópticamente, las personas con un nivel normal de conocimientos de la técnica apreciarán inmediatamente que las enseñanzas de la invención pueden aplicarse de otras maneras. Por consiguiente, la siguiente descripción ilustrativa no debería interpretarse como limitada únicamente a sistemas de comunicaciones.

La Figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de una primera red 100 ejemplar en la que está implementada una realización de un controlador 4 de polarización.

15 En la primera red 100, el controlador 4 de polarización está acoplado a un modulador, por ejemplo un modulador MZ del tipo representado en la Figura 1. El modulador de la Figura 3 es accionado por un láser de onda continua que puede hacerse funcionar para proporcionar una señal portadora óptica con la que ha de modularse una señal de comunicaciones (tal como una señal de comunicaciones por RF). En este ejemplo, el modulador incluye un electrodo de polarización separado, pero son posibles otras disposiciones.

20 El controlador 4 de polarización comprende un fotodiodo 6 que está acoplado a la salida del modulador por medio de un acoplador óptico pasivo direccional (*tap*) 5. El acoplador óptico pasivo direccional 5 puede hacerse funcionar para vigilar la salida de señal óptica del modulador y hacer pasar aproximadamente desde un 1 hasta un 5% de dicha salida al fotodiodo 6. El fotodiodo 6 y el acoplador 5 pueden combinarse en una sola unidad (por ejemplo, la unidad puede comprender un espejo parcialmente reflectante y puede estar dispuesta de manera que la luz entre en la unidad a través de una primera fibra y se refleje en su mayor parte (por ejemplo un 95%) a otra fibra; transmittiéndose una parte de esta luz (por ejemplo un 5%) a través del espejo para incidir en el fotodiodo 6). Como alternativa, el fotodiodo 6 puede estar integrado en el modulador, es decir que en otras realizaciones el controlador 4 de polarización no comprende un fotodiodo 6, que en su lugar está integrado con el modulador. Un fotodiodo integrado puede estar dispuesto para captar un campo evanescente procedente del guíaondas de salida o, como alternativa, puede estar dispuesto para estar enfrente del extremo del modulador, de manera que capte la salida de luz desde un puerto de descarga del modulador. El uso de un fotodiodo integrado tiende ventajosamente a minimizar pérdidas de salida. Además, si el fotodiodo integrado está dispuesto para captar la salida de luz desde un puerto de descarga del modulador, el fotodiodo tiende a estar expuesto a una entrada óptica mucho mayor. Así tiende a reducirse o eliminarse la necesidad de una circuitería de detección sensible subsiguiente.

35 El fotodiodo 6 está polarizado inversamente. La luz incidente en el fotodiodo 6 se convierte en corriente, proporcional a la luz incidente. El fotodiodo 6 es un dispositivo de área relativamente grande y ancho de banda bajo, lo que le impide detectar el componente de radiofrecuencia (RF) de la señal modulada. Así, el fotodiodo 6 tiende ventajosamente a devolver sólo el componente de corriente continua (CC) de la señal.

40 La salida del fotodiodo 6 está acoplada a una resistencia 8. La resistencia 8 convierte la corriente (pasada a la resistencia 8 desde el fotodiodo 6) en una tensión. La resistencia 8 tiende a proporcionar ventajosamente un medio relativamente sencillo y barato de convertir corriente en tensión. En otras realizaciones, tal conversión puede efectuarse por medios diferentes, por ejemplo un amplificador de transimpedancia. Esto tendería a proporcionar una mayor sensibilidad que una resistencia, permitiendo así derivar menores cantidades de potencia óptica desde la salida del modulador.

45 La salida de la resistencia 8 está acoplada a un comparador 10 de ventana. En otras palabras, una entrada del comparador 10 de ventana es la tensión alimentada por la resistencia 8. Otra entrada del comparador 10 de ventana es una tensión alimentada por un potenciómetro 12. El potenciómetro 12 alimenta una tensión, para su uso como tensión objetivo, al comparador 10 de ventana. La tensión objetivo alimentada por el potenciómetro es una señal indicativa de una potencia óptica objetivo para el modulador para la cuadratura. En otras realizaciones, la tensión objetivo puede establecerse por un medio diferente. Por ejemplo, la tensión objetivo puede establecerse utilizando un convertidor de digital a analógico (DAC). Esto tendería ventajosamente a permitir un ajuste remoto del punto de polarización del modulador. También por ejemplo, la tensión objetivo podría adoptar un valor fijo, por ejemplo si la resistencia 8 fuese una resistencia variable.

55 El comparador 10 de ventana compara la tensión alimentada por la resistencia 8 con la tensión objetivo alimentada por el potenciómetro 12. Esto se hace para determinar si la tensión de referencia (es decir la tensión alimentada por la resistencia 8) es "demasiado alta", "demasiado baja" o "aceptable" en relación con la tensión objetivo. La terminología "aceptable" puede, por ejemplo, usarse para referirse a tensiones de referencia dentro de un 1% de la tensión objetivo. La terminología "demasiado alta" puede, por ejemplo, usarse para referirse a tensiones de referencia que sean mayores o iguales que la tensión objetivo más un 1%. La terminología "demasiado baja" puede,

por ejemplo, usarse para referirse a tensiones de referencia menores o iguales que la tensión objetivo menos un 1%. El uso de un comparador 10 de ventana en la realización de la susodicha comparación tiende ventajosamente a mitigar los problemas causados por oscilaciones en la tensión de polarización (que por ejemplo pueden producirse cuando la tensión de referencia se ajusta repetidamente demasiado alta, luego demasiado baja, etc.), que podrían resultar si, por ejemplo, se utilizara un comparador de punto único. Sin embargo, en otras realizaciones, puede utilizarse un comparador de punto único u otro tipo de comparador para comparar las tensiones de referencia y objetivo.

La salida del comparador 10 de ventana está acoplada a un procesador 14. Una salida del comparador 10 de ventana puede ser una indicación en cuanto a si la tensión de referencia es demasiado alta, demasiado baja o aceptable en relación con la tensión objetivo. En otras realizaciones, el resultado de la comparación de las tensiones de referencia y objetivo puede serle indicado al procesador 14 de otra manera. Por ejemplo, si la tensión de referencia es bien demasiado alta o bien demasiado baja en relación con la tensión objetivo, el comparador 10 de ventana puede enviar una señal correspondiente al procesador 14, informando al procesador 14 de que la tensión de referencia es bien demasiado alta o bien demasiado baja, mientras que si la tensión de referencia está dentro de un intervalo aceptable de la tensión objetivo no se enviaría tal indicación. Así, el procesador 14 puede determinar, usando la salida del comparador 10 de ventana, si la tensión de referencia es demasiado alta, demasiado baja o adecuada en relación con la tensión objetivo.

En esta realización, el procesador 14 es una Agrupación de Puertas Programable de Campo (*Field Programmable Gate Array* (FPGA)). En otras realizaciones, el procesador 14 es un tipo de procesador diferente, por ejemplo un Dispositivo Lógico Programable Complejo (*Complex Programmable Logic Device* (CPLD)), un Microcontrolador, un Procesador de Señales Digitales (*Digital Signal Processor* (DSP)), etc.

El procesador 14 está configurado para llevar a cabo un algoritmo de control utilizando la salida del comparador 10 de ventana. Posteriormente se describe con mayor detalle, con referencia a la Figura 5, una realización del algoritmo de control utilizado por el procesador 14. El algoritmo de control se lleva a cabo para, utilizando la salida del comparador 10 de ventana, establecer y/o ajustar una tensión de polarización alimentada al modulador hasta que el modulador alcance un punto de cuadratura (u otro punto de polarización). La tensión de polarización es alimentada por el procesador 14 al modulador por medio de un convertidor de digital a analógico (DAC) 16 y un amplificador 18. El DAC 16 puede ser, por ejemplo, un dispositivo asimétrico (sólo salida positiva). El amplificador 18 puede introducir una tensión de desplazamiento para permitir la generación de tensiones de polarización tanto negativas como positivas.

El procesador 14 puede estar conectado adicionalmente a un sistema anfitrión (no mostrado en las Figuras). Esta conexión puede ser tal que sea posible enviar información entre el procesador 14 y el sistema anfitrión. Por ejemplo, el procesador 14 puede informar, al sistema anfitrión, del estado del láser y/o indicar el valor de la tensión de polarización alimentada por el mismo al modulador. También por ejemplo, el sistema anfitrión puede enviar instrucciones al procesador 14, por ejemplo una instrucción de que el procesador 14 debería "reponer" la tensión de polarización a su valor inicial, es decir de partida, por ejemplo 0V. El sistema anfitrión puede, por ejemplo, ser un sistema de vigilancia de la salud o un sistema de control general para un sistema de radar. Como se describe posteriormente con mayor detalle, el sistema anfitrión puede también configurarse para que asuma el control si/cuando se ajusta la tensión de polarización.

La Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) de una segunda red 101 ejemplar en la que está implementado el controlador 4 de polarización.

En esta otra realización, el láser, el modulador, el controlador 4 de polarización y el acoplador óptico pasivo direccional 5 están dispuestos como se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 1. La segunda red 101 comprende adicionalmente un controlador de láser para controlar el láser. Además de estar acoplado de manera operativa al láser, el controlador de láser está acoplado al procesador 14 de tal manera que es posible enviar desde el controlador de láser hasta el procesador 14 señales indicativas del estado del láser. Utilizando estas señales, el procesador 14 puede, por ejemplo, determinar cuándo se ha activado/desactivado el láser, cuándo se ha estabilizado la potencia del láser, etc. El procesador 14 puede retransmitir información relativa al estado del láser a sistemas o aparatos remotos (por ejemplo el sistema anfitrión).

Pueden preverse aparatos, incluyendo el procesador 14, para implementar cualquiera de las disposiciones anteriores y llevar a cabo los pasos del procedimiento que se describirán posteriormente, configurando o adaptando cualesquiera aparatos adecuados, por ejemplo uno o más ordenadores u otros aparatos de procesamiento o procesadores, y/o previendo módulos adicionales. Los aparatos pueden comprender un ordenador, una red de ordenadores, o uno o más procesadores, para implementar instrucciones y utilizar datos, incluyendo instrucciones y datos en forma de un programa informático o una pluralidad de programas informáticos almacenados en un medio de almacenamiento legible por máquina, tal como una memoria de ordenador, un disco de ordenador, una ROM, una PROM, etc., o cualquier combinación de éstos u otros medios de almacenamiento.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de una realización del algoritmo de control llevado a cabo por el procesador 14 para establecer y/o ajustar la tensión de polarización aplicada al modulador.

En el paso s2, el procesador 14 establece la tensión de polarización del modulador en 0V.

5 En el paso s4, el procesador 14 espera a que el láser se active, es decir que se encienda, y a que el láser se estabilice. Por ejemplo, la espera a que el láser se estabilice puede lograrla el procesador 14 en la primera red 100 esperando una cantidad de tiempo predeterminada. También por ejemplo, en la segunda red 101, pueden enviarse al procesador una o más señales (desde el controlador de láser) que indiquen que se ha activado el láser y/o que se ha estabilizado la potencia del láser.

10 En el paso s6, el procesador 14 busca el punto de polarización del modulador más cercano a 0V. En esta realización, el procesador 14 lleva a cabo esta operación barriendo en zigzag la tensión de polarización del modulador, comenzando en 0V con una amplitud gradualmente creciente.

15 En esta realización, la tensión de polarización del modulador se barre en zigzag con una amplitud gradualmente creciente. En ejemplos comparativos no correspondientes a la invención, esta búsqueda de un punto de polarización puede llevarse a cabo de una manera diferente, por ejemplo aumentando y disminuyendo (o disminuyendo y aumentando) alternativamente la función de polarización, por ejemplo aumentando la amplitud, en un patrón diferente (es decir un patrón que no sea en zigzag). Por ejemplo, en un ejemplo comparativo de este tipo, la tensión de polarización puede barrerse en el patrón de una función sinusoidal que tenga una amplitud creciente en el tiempo.

20 La Figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) de un gráfico 102 que muestra la tensión 20 de polarización alimentada por el procesador 14. La tensión 20 de polarización se barre en zigzag, comenzando en 0V y con una amplitud gradualmente creciente. En esta realización, la tensión 20 de polarización del modulador se barre en zigzag hasta que la salida del comparador 10 de ventana cambie de estado, es decir hasta que el comparador 10 de ventana pase de indicar al procesador 14 que la tensión de salida del modulador es demasiado baja (en relación con la tensión objetivo) a indicar al procesador 14 que la tensión de salida del modulador es demasiado alta (en relación con la tensión objetivo). Este cambio de estado de la salida del comparador 10 de ventana se produce al superar la tensión de salida del modulador la tensión objetivo alimentada al comparador 10 de ventana por el potenciómetro 12. Así se localiza un punto de polarización o punto de cuadratura del modulador.

30 En el paso s8, el procesador 14 determina la dirección/pendiente (es decir positiva o negativa) de la salida del modulador en el punto de polarización. En esta realización, ésta se determina determinando si la salida del comparador 10 de ventana cambia desde demasiado alta a demasiado baja (en cuyo caso la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa) o desde demasiado baja a demasiado alta (en cuyo caso la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es positiva). La determinación de la dirección de la pendiente de la salida del modulador en el punto de polarización tiende ventajosamente a facilitar el seguimiento del punto de polarización por parte del procesador 14.

35 El punto de polarización del modulador tenderá inicialmente a experimentar una deriva, por ejemplo debido a cambios en la tensión de polarización aplicada en promedio a corto plazo. Para tener en cuenta esta deriva (relativamente rápida) del punto de polarización, en el paso s10 el procesador 14 lleva a cabo un, así llamado, proceso de "rastreo". El procesador 14 lleva a cabo este proceso de rastreo durante un periodo de tiempo predefinido (por ejemplo un periodo de tiempo que se ha determinado empíricamente, por ejemplo 20 segundos).

40 Posteriormente se proporciona, con referencia a la Figura 7, información adicional relativa al proceso de rastreo. El proceso descrito con referencia a la Figura 7 puede utilizarse también para llevar a cabo el proceso de "seguimiento rápido" (que se lleva a cabo en el paso s18) descrito posteriormente y el proceso de "seguimiento lento" (que se lleva a cabo en el paso s20) descrito posteriormente. Básicamente, en esta realización el proceso de rastreo comprende ajustar continuamente (es decir aumentar o disminuir) la tensión de polarización en pasos relativamente grandes durante un periodo de tiempo (por ejemplo un periodo de tiempo determinado empíricamente, por ejemplo 45 20 segundos). Los pasos mediante los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes en relación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización en otros procesos de seguimiento del punto de polarización, por ejemplo el proceso de seguimiento rápido llevado a cabo en el paso s18 y el proceso de seguimiento lento llevado a cabo en el paso s20 (cuyos procesos se describen posteriormente con mayor detalle). Además, el proceso de rastreo comprende ajustar la tensión de polarización en función de la salida del comparador 10 de ventana. Por ejemplo, si el comparador 10 de ventana indica que la tensión de salida del modulador es demasiado alta y el procesador 14 determina que la pendiente del gráfico 102 es actualmente positiva, el procesador 14 reduce la tensión de polarización alimentada al modulador en una cantidad relativamente grande. Asimismo, si el comparador 10 de ventana indica que la tensión de salida del modulador es demasiado baja y el procesador 14 determina que la pendiente del gráfico 102 es actualmente positiva, entonces el procesador 14 aumenta la tensión de polarización alimentada al modulador en una cantidad relativamente grande. Estos tamaños de paso relativamente grandes, mediante los cuales se ajusta la tensión de polarización durante la fase de rastreo, y la duración de la fase de rastreo pueden determinarse empíricamente. Por ejemplo, para el

proceso de rastreo puede determinarse un tamaño de paso que sea de aproximadamente 125 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso utilizados durante la fase de rastreo y/o la duración de la fase de rastreo tiende ventajosamente a facilitar que el proceso de la Figura 5 pueda implementarse utilizando cualesquiera componentes adecuados, por ejemplo utilizando un modulador de un fabricante o de una pluralidad de fabricantes diferentes.

5 La salida del modulador puede ir retrasada de la entrada de polarización en un periodo de tiempo significativo pero variable (por ejemplo 100-500 ms). Así, tiende a ser posible que el procesador 14 calcule mal la pendiente de polarización (es decir que el procesador 14 puede determinar que la pendiente de la salida del modulador en el punto de polarización es positiva cuando en realidad es negativa, y viceversa). Como resultado de esto, durante el proceso de rastreo, el procesador 14 puede "rastrear" el punto de polarización en la dirección incorrecta. Esto puede suceder, por ejemplo, si el punto de polarización del modulador está inmediatamente antes de un vértice de la parte de zigzag de la tensión 20 de polarización.

10 Este problema puede resolverse llevando a cabo los pasos s12 a s16, como se describe posteriormente. Como alternativa, este problema puede resolverse por ejemplo manteniendo, cuando se barre la tensión de polarización del modulador (como se lleva a cabo en el paso s6), una tensión de polarización sustancialmente constante durante cierto periodo de tiempo entre el aumento de la tensión de polarización y la disminución de la tensión de polarización, y entre la disminución de la tensión de polarización y el aumento de la tensión de polarización. En otras palabras, cuando la tensión de polarización se barre en zigzag, en cada vértice del zigzag, la tensión de polarización puede mantenerse durante cierta cantidad de tiempo. Sin embargo, esto tiende a aumentar el tiempo necesario para encontrar un punto de polarización.

15 En el paso s12, el procesador 14 determina si, durante el proceso de rastreo, la salida del comparador 10 de ventana cambia o no cambia continuamente entre ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado alta y ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado baja.

20 Si, en el paso s12, se determina que la salida del comparador 10 de ventana cambia continuamente entre ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado alta y ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado baja, se determina que la pendiente del gráfico 102 (determinada en el paso s8) es correcta. En este caso, el proceso de la Figura 5 continúa con el paso s18, que se describirá posteriormente con mayor detalle, después de la descripción de los pasos s14 y s16.

25 Sin embargo, si, en el paso s12, se determina que la salida del comparador 10 de ventana no cambia continuamente entre ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado alta y ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es demasiado baja (es decir que el comparador 10 de ventana indica que la tensión de salida del modulador es demasiado baja o demasiado alta durante todo el proceso de rastreo), se determina que la pendiente del gráfico 102 (determinada en el paso s8) es incorrecta. En este caso, el proceso de la Figura 5 continúa con el paso s14.

30 En el paso s14, la tensión de polarización del procesador 14 es devuelta al nivel que tenía al principio del proceso de rastreo, es decir que el procesador 14 establece una tensión de polarización igual a la tensión de polarización existente al principio del proceso de rastreo. En otras palabras, si durante el proceso de rastreo la tensión de polarización se ha aumentado, el procesador 14 disminuye la tensión de polarización en la cantidad en que había sido aumentada durante el proceso de rastreo. Asimismo, si durante el proceso de rastreo la tensión de polarización se ha disminuido, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización en la cantidad en que había sido disminuida durante el proceso de rastreo. Esta reversión de la tensión de polarización a su nivel original puede llevarse a cabo durante un periodo de tiempo para evitar la aplicación de un cambio escalonado de tensión al modulador.

35 En el paso s16 se lleva a cabo de nuevo el proceso de rastreo del paso s10 utilizando la pendiente correcta de la salida del modulador en el punto de polarización, es decir utilizando la pendiente opuesta a la determinada en el paso s8.

40 Así, después del paso s16, se ha efectuado un seguimiento del punto de polarización del modulador como si el procesador 14 hubiese determinado la pendiente correcta en el paso s8. Después del paso s16, el procedimiento continúa con el paso s18.

45 En el paso s18, después de que el proceso de rastreo se haya llevado a cabo durante un periodo de tiempo predeterminado, el procesador 14 lleva a cabo un, así llamado, proceso de "seguimiento rápido". En esta realización, el proceso de seguimiento rápido es igual que el proceso de rastreo, excepto por el hecho de que los pasos mediante los cuales el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento rápido son relativamente pequeños en comparación con los utilizados durante el proceso de rastreo. Por ejemplo, para el proceso de seguimiento rápido puede determinarse empíricamente un tamaño de paso que sea, por ejemplo, de aproximadamente 4 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso utilizados durante la fase del proceso de seguimiento rápido y/o la duración de la fase del proceso de seguimiento rápido tiende ventajosamente a facilitar que el proceso de la Figura 5 pueda implementarse utilizando cualesquiera componentes adecuados, por ejemplo utilizando elementos de varios fabricantes diferentes.

Posteriormente se proporciona, con referencia a la Figura 7, información adicional relativa al proceso de seguimiento rápido. El proceso descrito con referencia a la Figura 7 puede utilizarse también para el proceso de rastreo (llevado a cabo en el paso s10) y el proceso de seguimiento lento (llevado a cabo en el paso s20) descrito posteriormente.

5 Básicamente, en esta realización, el proceso de seguimiento rápido comprende ajustar (es decir aumentar o disminuir) continuamente la tensión de polarización en pasos relativamente pequeños durante un periodo de tiempo (por ejemplo un periodo de tiempo determinado empíricamente, por ejemplo 2 minutos) y en función de la salida del comparador 10 de ventana. El periodo de tiempo durante el cual se lleva a cabo el proceso de seguimiento rápido puede ser igual que el periodo de tiempo durante el cual se lleva a cabo el proceso de rastreo o diferente del mismo.

10 En el paso s20, después de que se haya llevado a cabo el proceso de seguimiento rápido durante un periodo de tiempo predeterminado, el procesador 14 lleva a cabo un, así llamado, proceso de "seguimiento lento". En esta realización, el proceso de seguimiento lento es igual que los procesos de seguimiento rápido y de rastreo, excepto por el hecho de que los pasos mediante los cuales el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son relativamente pequeños en comparación con los utilizados durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo. Por ejemplo, para el proceso de seguimiento lento puede determinarse empíricamente un tamaño de paso que sea, por ejemplo, de aproximadamente 2 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso utilizados durante la fase del proceso de seguimiento lento tiende ventajosamente a facilitar que el proceso de la Figura 5 pueda implementarse utilizando cualesquiera componentes adecuados, por ejemplo utilizando elementos de varios fabricantes diferentes. El proceso de seguimiento lento puede llevarse a cabo durante tanto tiempo como se desee, por ejemplo mientras el sistema siga en funcionamiento.

20 Posteriormente se proporciona, con referencia a la Figura 7, información adicional relativa al seguimiento lento. El proceso descrito con referencia a la Figura 7 puede utilizarse también para el proceso de rastreo (llevado a cabo en el paso s10) y el proceso de seguimiento rápido (llevado a cabo en el paso s18).

25 Básicamente, en esta realización, el proceso de seguimiento lento comprende ajustar (es decir aumentar o disminuir) continuamente la tensión de polarización en pasos relativamente pequeños durante un periodo de tiempo (por ejemplo mientras el láser esté activado o encendido) y en función de la salida del comparador 10 de ventana. Durante el proceso de seguimiento lento, el comparador 10 de ventana tiende a informar sólo ocasionalmente de que el estado de polarización del modulador es demasiado alto o demasiado bajo, si es que se da el caso. En otras palabras, durante el proceso de seguimiento lento y durante la mayor parte del proceso de seguimiento lento, la salida del comparador 10 de ventana tiende a ser indicativa de que la tensión de salida del modulador es adecuada.

30 Así se proporciona una realización del algoritmo de control llevado a cabo por el procesador 14 para establecer y/o ajustar la tensión de polarización aplicada al modulador.

35 La Figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de seguimiento o rastreo ejemplar. El proceso de la Figura 7 puede utilizarse para llevar a cabo el proceso de rastreo (llevado a cabo en el paso s10 de la Figura 5), el proceso de seguimiento rápido (llevado a cabo en el paso s18 de la Figura 5) y/o el proceso de seguimiento lento (llevado a cabo en el paso s20 de la Figura 5).

En esta realización, el proceso de la Figura 7 es llevado a cabo por el procesador 14.

En el paso s22, el procesador 14 recibe la salida más reciente del comparador 10 de ventana. La salida del comparador 10 de ventana recibida es una indicación en cuanto a si la tensión de salida del modulador es demasiado alta, demasiado baja o aceptable en relación con la tensión objetivo.

40 En el paso s24, el procesador 14 determina si la tensión de salida del modulador es demasiado alta, demasiado baja o aceptable en relación con la tensión objetivo.

Si, en el paso s24, la tensión de salida del modulador es demasiado alta, el procedimiento continúa con el paso s26.

Si, en el paso s24, la tensión de salida del modulador es demasiado alta, el procedimiento continúa con el paso s28.

45 En esta realización, si, en el paso s24, la tensión de salida del modulador no es ni demasiado alta ni demasiado baja (es decir que la tensión de salida del modulador es aceptable en relación con la tensión objetivo), no se toma ninguna medida y el procesador 14 espera a recibir la siguiente salida del comparador 10 de ventana (es decir que en realidad el procedimiento vuelve al paso s22).

En el paso s26 se determina si la dirección/pendiente del gráfico 102 de la tensión 20 de polarización en el punto de polarización (determinada antes en el paso s8) es positiva o negativa.

50 Si, en el paso s26, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es positiva, el procedimiento continúa con el paso s30.

Si, en el paso s26, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa, el procedimiento continúa con el paso s32.

En el paso s28 se determina si la dirección/pendiente del gráfico 102 de la tensión 20 de polarización en el punto de polarización (determinada antes en el paso s8) es positiva o negativa.

Si, en el paso s28, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa, el procedimiento continúa con el paso s30.

- 5 Si, en el paso s28, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es positiva, el procedimiento continúa con el paso s32.

En el paso s30, el procesador 14 disminuye la tensión de polarización alimentada al modulador.

- 10 Para el proceso de rastreo del paso s8 de la Figura 5, el procesador 14 disminuye la tensión de polarización en una cantidad relativamente grande, es decir que la tensión de polarización se disminuye mediante un paso relativamente grande. Los pasos mediante los cuales el procesador 14 disminuye la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes en relación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de seguimiento lento.

- 15 Para el proceso de seguimiento rápido del paso s18 de la Figura 5, el procesador 14 disminuye la tensión de polarización en una cantidad que es relativamente pequeña en comparación con los pasos mediante los cuales el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo y que es relativamente grande en comparación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento.

- 20 Para el proceso de seguimiento lento del paso s20 de la Figura 5, el procesador 14 disminuye la tensión de polarización en una cantidad relativamente pequeña, es decir que la tensión de polarización se disminuye en un paso relativamente pequeño. Los pasos mediante los cuales el procesador 14 disminuye la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son pequeños en relación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo.

Después del paso s30, el procedimiento de la Figura 7 continúa con el paso s34.

En el paso s32, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización alimentada al modulador.

- 25 Si se está llevando a cabo el proceso de rastreo del paso s8 de la Figura 5, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización en una cantidad relativamente grande, es decir que la tensión de polarización se aumenta en un paso relativamente grande. Los pasos mediante los cuales el procesador 14 aumenta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes en relación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de seguimiento lento.

- 30 Si se está llevando a cabo el proceso de seguimiento rápido del paso s18 de la Figura 5, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización en una cantidad que es relativamente pequeña en comparación con los pasos mediante los cuales el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo y que es relativamente grande en comparación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento.

- 35 Si se está llevando a cabo el proceso de seguimiento lento del paso s20 de la Figura 5, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización en una cantidad relativamente pequeña, es decir que la tensión de polarización se disminuye en un paso relativamente pequeño. Los pasos mediante los cuales el procesador 14 aumenta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son pequeños en relación con los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo.

- 40 Después del paso s32, el procedimiento de la Figura 7 continúa con el paso s34.

En el paso s34, el procesador 14 espera una cantidad de tiempo predeterminada (que por ejemplo puede determinarse empíricamente) para permitir al modulador ajustarse a la tensión de polarización aumentada/disminuida.

- 45 En el paso s36 se determina si el periodo de tiempo durante el cual se lleva a cabo el proceso de seguimiento o de rastreo de la Figura 7 ha transcurrido o no. En otras palabras, se determina si el proceso de la Figura 7 debería terminar.

Si, en el paso s36, se determina que el periodo de tiempo durante el cual se ha de llevar a cabo el proceso de seguimiento o de rastreo de la Figura 7 ha transcurrido, el procedimiento termina.

- 50 Sin embargo, si, en el paso s36, se determina que el periodo de tiempo durante el cual se ha de llevar a cabo el proceso de seguimiento o de rastreo de la figura 7 no ha transcurrido, el procedimiento vuelve al paso s22, momento en el cual el procesador 14 recibe una nueva salida del comparador 10 de ventana.

En otras realizaciones, el proceso de seguimiento o de rastreo de la Figura 7 puede llevarse a cabo de manera continua y el tamaño de paso del punto de polarización puede ajustarse, por ejemplo, en un temporizador.

Así se proporciona un proceso de seguimiento o de rastreo ejemplar que puede ser llevado a cabo en cualquiera de los pasos s10, s18 y s20 de la Figura 5 o en todos ellos.

5 Debería señalarse que algunos de los pasos de proceso representados en los diagramas de flujo de las Figuras 5 y 7 y antes descritos pueden omitirse o que tales pasos de proceso pueden llevarse a cabo en un orden diferente del antes presentado y mostrado en las Figuras 5 y 7. Además, aunque todos los pasos de proceso se han representado, para una mayor comodidad y facilidad de comprensión, como pasos discretos secuenciales en el tiempo, algunos de los pasos de proceso pueden no obstante llevarse a cabo de hecho simultáneamente o al menos superpuestos en cierta medida temporalmente.

10 En las realizaciones anteriores, en el paso s6, el procesador busca el punto de polarización más próximo a 0V barriendo la tensión de polarización del modulador en zigzag, comenzando en 0V y con una amplitud gradualmente creciente. En las realizaciones anteriores se utiliza un barrido en zigzag simétrico (tal como el mostrado en la Figura 6). Por ejemplo, los vértices de un barrido en zigzag simétrico pueden ser: -1 V, +1 V, -1,5 V, +1,5 V, -2 V, +2 V, etc. Sin embargo, en otras realizaciones el procesador busca el punto de polarización más próximo a 0V utilizando un patrón de búsqueda diferente. Por ejemplo, el procesador puede buscar el punto de polarización más próximo a 0V utilizando un barrido en zigzag asimétrico.

15 La Figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) de otro gráfico 104 que muestra la tensión 20 de polarización que puede alimentar el procesador 14 cuando busca el punto de polarización más próximo a 0V utilizando un barrido en zigzag asimétrico. Por ejemplo, los vértices de un barrido en zigzag asimétrico pueden ser: -1 V, +1,5 V, -2 V, +2,5 V, -3 V, +3,5 V, etc. Preferiblemente se utiliza un incremento de magnitud de +0,5 V por vértice del barrido en zigzag asimétrico. Sin embargo, puede utilizarse cualquier incremento adecuado. Un barrido en zigzag asimétrico tiende a ser más eficaz que un barrido en zigzag simétrico. El número de vértices que un barrido en zigzag comprende puede seleccionarse ventajosamente para que proporcione un equilibrio deseado entre la velocidad a la que se encuentra un punto de polarización y la ubicación del punto de polarización más próximo a 0V.

20 En las realizaciones anteriores, la tensión de polarización es aplicada al modulador por el procesador a través del DAC y del amplificador. Adicionalmente, el DAC puede utilizarse para controlar el intervalo de polarización (es decir la gama de tensiones de la tensión de polarización). El amplificador puede actuar aumentando la amplitud total de la salida de tensión del DAC. El amplificador puede actuar también desplazando la salida del DAC, de manera que el centro de la escala del DAC esté en aproximadamente 0V. Por ejemplo, el DAC puede tener un intervalo de salida de 0 a 0,5 V. Con un DAC de este tipo, una ganancia de amplificador de x8 y un desplazamiento de entrada de -0,25 V pueden producir un intervalo de salida de aproximadamente -4 V a +4 V.

25 Opcionalmente, si la salida de tensión de polarización del procesador queda fuera del intervalo de polarización definido por el DAC, el controlador de polarización puede realizar una o más acciones adecuadas.

30 Por ejemplo, si se sobrepasa el intervalo de polarización (definido por el DAC) (o se alcanza un extremo del intervalo de polarización) durante el proceso de búsqueda del punto de polarización más próximo a 0V, se puede reponer la tensión de polarización a 0V y reiniciar el proceso de búsqueda.

35 También por ejemplo, si se sobrepasa el intervalo de polarización (definido por el DAC) (o se alcanza un extremo del intervalo de polarización) durante el proceso de seguimiento rápido, se puede reponer la tensión de polarización a 0V y reiniciar el algoritmo de control.

40 También por ejemplo, si se sobrepasa el intervalo de polarización (definido por el DAC) (o se alcanza un extremo del intervalo de polarización) durante el proceso de seguimiento lento, se puede notificar la situación a un sistema anfitrión (por ejemplo tal como el que puede conectarse al procesador como se ha descrito antes), y el controlador de polarización puede mantener la tensión de polarización en el extremo del intervalo de polarización. Esta tensión de polarización extrema puede mantenerse, por ejemplo, hasta que: (i) el sistema anfitrión ordene al controlador de polarización que reponga la tensión de polarización a su valor inicial (por ejemplo a 0V); (ii) el punto de polarización experimente una deriva de vuelta al intervalo de polarización; o bien (iii) transcurra un periodo de tiempo predefinido, momento en el cual el controlador de polarización reponga la tensión de polarización a su valor inicial. En este caso, la tensión de polarización extrema tendería a resultar de la deriva del punto de polarización durante un periodo de funcionamiento prolongado y, por lo tanto, detenerse en un extremo de punto de polarización puede ser una opción aceptable.

45 En otras palabras, durante el proceso de búsqueda o de seguimiento de un punto de polarización, la tensión de polarización puede limitarse para que se halle dentro del intervalo de polarización.

50 Opcionalmente, el controlador de polarización puede avisar al sistema anfitrión cuando la tensión de polarización esté cerca de sus límites (es decir cerca de salir del intervalo de polarización). Esto tenderá ventajosamente a

permitir al sistema anfitrión programar una reposición de la tensión de polarización a su valor inicial, antes de que tal reposición se haga imprescindible.

5 Una tensión de polarización puede generarse utilizando un acumulador o un contador digital. Tales dispositivos pueden “darse la vuelta”, por ejemplo $4.095+1=0$ y $0-1=4.095$. Esto puede tener como resultado una oscilación entre dos extremos de tensión de polarización. Este problema suele resolverse ventajosamente limitando el intervalo de polarización como se ha descrito antes.

En algunas realizaciones, si el láser es desactivado (es decir es apagado), el controlador de polarización realiza una acción que depende del historial de estabilidad del modulador. Por ejemplo, si el láser es desactivado, puede llevarse a cabo el proceso de la Figura 9.

10 La Figura 9 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de un proceso que puede ser llevado a cabo por el controlador 4 de polarización si el láser es desactivado, por ejemplo durante el funcionamiento normal.

15 En el paso s40 se determina durante cuánto tiempo ha funcionado el modulador en (o cerca de) su punto de polarización entre el estado activado del láser y el estado desactivado del láser. En otras palabras, se determina durante cuánto tiempo se ha mantenido el punto de polarización del modulador. Esta operación puede ser llevada a cabo, por ejemplo, por el procesador 14 del controlador de polarización 4.

20 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha funcionado en (o cerca de) su punto de polarización durante una hora o más, el punto de polarización del modulador puede calificarse de “punto de polarización establecido” para el modulador, y el procedimiento continúa con el paso s42. En otras realizaciones puede utilizarse un intervalo de tiempo diferente (es decir diferente del intervalo de una hora o más), en lugar del intervalo de tiempo de una hora o más.

25 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha funcionado en (o cerca de) su punto de polarización durante un tiempo que esté entre 10 minutos y una hora, el punto de polarización del modulador puede calificarse de “punto de polarización adquirido recientemente” para el modulador, y el procedimiento continúa con el paso s44. En otras realizaciones puede utilizarse un intervalo de tiempo diferente (es decir diferente del intervalo entre 10 minutos y una hora), en lugar del intervalo de tiempo entre 10 minutos y una hora.

30 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha funcionado en (o cerca de) su punto de polarización durante 10 minutos o menos, el punto de polarización del modulador puede calificarse de “punto de polarización que se acaba de adquirir” para el modulador, y el procedimiento continúa con el paso s46. En otras realizaciones puede utilizarse un intervalo de tiempo diferente (es decir diferente del intervalo de 10 minutos o menos), en lugar del intervalo de tiempo de 10 minutos o menos.

35 En el paso s42, el controlador 4 de polarización funciona de manera que la tensión de polarización alimentada al modulador se mantenga durante un periodo de tiempo relativamente largo. El periodo de tiempo es largo en relación con el periodo de tiempo durante el cual se mantendría la tensión de polarización en el paso s44. En esta realización, este periodo de tiempo relativamente largo es de 10 minutos. Sin embargo, en otras realizaciones este periodo de tiempo largo es un periodo de tiempo diferente. Si el láser no se activa de nuevo dentro de este periodo de tiempo largo, el controlador 4 de polarización funciona de manera que se reponga la tensión de polarización alimentada al modulador (es decir que la tensión de polarización vuelva a 0V).

40 En este caso, el modulador ha estado funcionando durante un periodo de tiempo relativamente largo (es decir una hora o más) en un punto de polarización establecido. Cuando se desactiva el láser, la tensión de polarización para el láser se mantiene durante un periodo de tiempo relativamente largo (es decir 10 minutos). Si el láser se activa de nuevo posteriormente en este periodo de 10 minutos, tiende a ser probable que el punto de polarización para el modulador esté en la posición del punto de polarización cuando se desactivó el láser o cerca del mismo. Así, mantener la tensión de polarización para el modulador durante un periodo de tiempo relativamente largo suele dar como resultado una disponibilidad más rápida de la salida del modulador y una menor perturbación del modulador.
45 Esto tiende a minimizar o reducir la futura deriva del punto de polarización del modulador.

50 En el paso s44, el controlador 4 de polarización funciona de manera que la tensión de polarización alimentada al modulador se mantenga durante un periodo de tiempo relativamente corto. El periodo de tiempo es corto en relación con el periodo de tiempo durante el cual se mantendría la tensión de polarización en el paso s42. En esta realización, el periodo de tiempo relativamente corto es de 10 segundos. Sin embargo, en otras realizaciones este periodo de tiempo corto es un periodo de tiempo diferente. Si el láser no se activa de nuevo dentro de este periodo de tiempo corto, el controlador 4 de polarización funciona de manera que se reponga la tensión de polarización alimentada al modulador (es decir que la tensión de polarización vuelva a 0V). En otras realizaciones, la tensión de polarización puede reponerse a un valor diferente.

55 En este caso, el modulador ha estado funcionando durante un periodo de tiempo relativamente corto (por ejemplo entre 10 minutos y una hora) en un punto de polarización adquirido recientemente. Este punto de polarización tiende a no ser tan estable como lo sería si el modulador hubiese estado funcionando en este punto de polarización durante más de una hora. Cuando se desactiva el láser, la tensión de polarización para el láser se mantiene durante un

periodo de tiempo relativamente corto (por ejemplo 10 segundos). Si el láser se activa de nuevo posteriormente a este periodo de 10 segundos, tiende a ser probable que el punto de polarización para el modulador esté en la posición del punto de polarización en la que se desactivó el láser o cerca de la misma. Así, mantener la tensión de polarización para el modulador durante un periodo de tiempo relativamente corto suele dar como resultado una disponibilidad más rápida de la salida del modulador y una menor perturbación del modulador. Esto tiende a minimizar o reducir la futura deriva del punto de polarización del modulador.

En el paso s46, el controlador 4 de polarización funciona de manera que se reponga la tensión de polarización alimentada al modulador (es decir que la tensión de polarización vuelva a 0V). En otras realizaciones, la tensión de polarización puede reponerse a un valor diferente.

En este caso, el modulador ha estado funcionando durante un periodo de tiempo corto (es decir 10 minutos o menos) en un punto de polarización que se acaba de adquirir. Este punto de polarización tiende a no ser particularmente estable y por lo tanto la tensión de polarización no se mantiene.

Así se proporciona un proceso que puede ser llevado a cabo por el controlador de polarización si el láser es desactivado. En esta realización, el controlador 4 de polarización realiza una acción que depende del historial de estabilidad del modulador. El tiempo de retención para la tensión de polarización (es decir si la tensión de polarización se mantiene durante un tiempo relativamente largo, se mantiene durante un tiempo relativamente corto o se repone) depende del tiempo durante el cual el modulador había funcionado en un punto de polarización. Sin embargo, en otras realizaciones, el tiempo de retención para la tensión de polarización depende de uno o más criterios diferentes, en lugar de, o además de, depender del tiempo durante el cual el modulador había funcionado en un punto de polarización. Por ejemplo, el tiempo de retención podría también seleccionarse en función de una tasa reciente de cambio de la tensión de polarización. El tiempo de retención también puede seleccionarse en función de cambios recientes en la temperatura del modulador.

En las realizaciones anteriores, una vez que se ha efectuado el seguimiento del punto de polarización (por ejemplo utilizando el proceso de seguimiento lento antes descrito con referencia al paso s20 de la Figura 5) durante un periodo de tiempo prolongado, el punto de polarización tiende a ser estable. Así, durante el proceso de seguimiento lento pueden darse cambios en la tensión de polarización alimentada. Sin embargo, en otras realizaciones, una vez que un punto de polarización está estable, la tensión de polarización se ajusta sólo cuando el controlador de polarización recibe la orden de hacerlo, por ejemplo por parte del sistema anfitrión.

En las realizaciones anteriores, cuando el láser es activado (es decir es encendido) inicialmente, la potencia de salida del láser puede variar inicialmente (por ejemplo durante unos pocos segundos después de que el láser haya sido activado). Como resultado de ello, la salida del modulador puede variar. El controlador de polarización puede intentar efectuar un seguimiento de esta variación en la salida del modulador. Sin embargo, en otras realizaciones no se permiten cambios en la tensión de polarización durante los primeros segundos de funcionamiento del láser (por ejemplo si ya se ha retenido un punto de polarización previo). Esto puede lograrse, por ejemplo, en la segunda realización antes descrita mediante una vigilancia por parte del procesador de las señales procedentes del controlador de láser que son indicativas del estado del láser (es decir que son indicativas de si el láser es activado o desactivado). En otras realizaciones, la potencia del láser puede vigilarse en la entrada al modulador (por ejemplo bien por medio de un convertidor de analógico a digital o bien mediante un circuito diferenciador), y el ajuste del punto de polarización se permite sólo cuando se determina que la potencia del láser está estable.

En las realizaciones anteriores, el comparador de ventana está configurado para permitir pequeños errores en el establecimiento del punto de polarización del modulador. Esto tiende ventajosamente a reducir o eliminar una necesidad de ajustar continuamente la tensión de polarización del modulador. Tal ajuste continuo de la tensión de polarización alimentada al modulador puede afectar negativamente al rendimiento del sistema. La configuración del comparador de ventana para permitir pequeños errores en el establecimiento del punto de polarización puede realizarse utilizando un circuito amplificador operacional ("*op-amp*") estándar, en el que un umbral para la salida del modulador "demasiado alta" (en relación con la tensión objetivo) se establece a una distancia relativamente pequeña por encima del umbral para la salida del modulador "demasiado baja". En otras palabras, puede existir una "ventana" entre umbrales para la salida del modulador "demasiado alta" y "demasiado baja". Esta distancia, o ventana, relativamente pequeña puede, por ejemplo, ser de aproximadamente un 2% de la potencia de salida prevista en cuadratura. Esto tiende ventajosamente a facilitar el seguimiento eficaz de un punto de polarización, por ejemplo cuando la salida del modulador es una señal que se mueve rápidamente. En otras realizaciones, la ventana entre los umbrales para la salida del modulador "demasiado alta" y "demasiado baja" puede ser de un tamaño diferente. El tamaño de esta ventana puede seleccionarse ventajosamente para lograr un equilibrio entre un nivel de error de punto de polarización y el impacto en el rendimiento de un ajuste innecesario de la tensión de polarización. El tamaño de esta ventana puede ser fijo o variable. Además, el tamaño de esta ventana puede establecerse empíricamente, por ejemplo para intentar optimizar el rendimiento del sistema. En otras realizaciones, el comparador de ventana puede sustituirse por un convertidor de analógico a digital (ADC). La determinación de si la salida del modulador es "demasiado alta" o "demasiado baja" en relación con la tensión objetivo puede llevarse a cabo utilizando software. El uso de tal ADC tiende a ser particularmente beneficioso en realizaciones en las que el procesador es un microcontrolador, porque los microcontroladores tienen típicamente ADC integrados. La digitalización de la determinación de si la salida del modulador es "demasiado alta" o "demasiado baja" en relación

con la tensión objetivo tiende ventajosamente a permitir la realización de un rastreo y un seguimiento de un punto de polarización más sofisticados utilizando un algoritmo de control convencional, por ejemplo un controlador de acción proporcional+integral+derivada (PID).

5 Una ventana proporcionada por el sistema y los procedimientos antes descritos es que tiende a mejorarse la estabilidad del punto de polarización del modulador. La ventaja tiende a ser proporcionada manteniendo el punto de polarización lo más cerca posible de 0V. Además, la ventaja tiende a ser proporcionada reduciendo o minimizando sustancialmente la magnitud de cambio de tensión a que está expuesto el modulador.

Los sistemas y procedimientos antes proporcionados no implementan un tono piloto ni una frecuencia de ruido blanco y, por lo tanto, no adolecen de las desventajas antes mencionadas asociadas a tales características.

10 El punto de polarización del modulador puede tender a experimentar una deriva con el tiempo. Esto puede ser debido a una combinación de factores. Por ejemplo, los cambios de temperatura pueden causar una deriva del punto de polarización. También por ejemplo, los efectos electromecánicos (por ejemplo esfuerzos mecánicos en el chip del modulador introducidos por la aplicación de tensión a su sustrato piezoeléctrico) pueden causar una deriva del punto de polarización. También por ejemplo, las tensiones de polarización pueden experimentar una deriva fuera de los 0V a lo largo del tiempo debido a ámbitos de carga atrapada en la superficie del modulador. También por ejemplo, debido a un reajuste de cargas atrapadas, todo cambio escalonado de la tensión de polarización puede tener como resultado un período de deriva del punto de polarización.

20 Dado que los moduladores tienden a tener una respuesta relativamente lenta, los algoritmos de control antes descritos tienden a no tener que ejecutarse de una manera particularmente rápida. Por ejemplo, el algoritmo de control puede ejecutarse a una velocidad de 8 actualizaciones por segundo. Así, ventajosamente, no tiende a haber necesidad de un reloj bien de alta velocidad o bien de alta calidad para ejecutar el algoritmo de control antes descrito. Así tiende a ser posible implementar el algoritmo de control utilizando, por ejemplo, osciladores en chip de microcontroladores de bajo coste o un oscilador programable por resistencia que funcione, por ejemplo, a 50 KHz. Esto tiende ventajosamente a tener como resultado un consumo de potencia relativamente bajo y un ruido digital reducido.

Ventajosamente, tiende a ser posible reducir o minimizar un riesgo de corrupción de señal o de firma haciendo funcionar el circuito antes descrito a una frecuencia de reloj muy baja. Además, el riesgo de corrupción de señal o de firma puede también reducirse o minimizarse estableciendo una comunicación con el DAC sólo cuando haya de alimentarse al modulador un nuevo valor de salida (es decir tensión de polarización).

30 La carga de procesamiento del algoritmo de control tiende a ser baja. Así, suele ser posible que múltiples moduladores compartan el mismo procesador. Esto tiende ventajosamente a reducir los requisitos de hardware de un sistema multicanal.

35 Ventajosamente, tiende a ser posible fijar (es decir bloquear o retener) temporalmente la tensión de polarización (es decir mantener la tensión de polarización en un determinado valor). Esta operación puede ser llevada a cabo por el procesador, por ejemplo en respuesta a una instrucción procedente del sistema anfitrión. Esta característica tiende a ser útil durante los procesos de autocalibrado, dado que tiende a impedir la adición de errores de fase/amplitud en la salida del modulador.

40 El sistema y el procedimiento antes descritos tienden ventajosamente a evitar la necesidad de una tabla de consulta o de una búsqueda de una salida máxima del modulador. El hardware de control, relativamente sencillo, establece el punto de polarización con un potenciómetro y vigila el punto de polarización con un detector de ventana. Además, el hardware simplificado tiende ventajosamente a hacer la adquisición del punto de polarización de funcionamiento sustancialmente más rápida de lo que convencionalmente es posible. Por ejemplo, un punto de polarización de funcionamiento puede encontrarse en aproximadamente 2-10 segundos utilizando el sistema y los procedimientos antes descritos, a diferencia de los 30 s a varios minutos que tienden a necesitar los aparatos y procesos convencionales.

En el sistema y el aparato antes proporcionados, la potencia de salida del modulador puede medirse desde el puerto de descarga del modulador (es decir un segundo ramal del acoplador de salida). Esto tiende ventajosamente a maximizar la potencia de salida del modulador disponible para el sistema anfitrión. Además, el fotodiodo de vigilancia puede integrarse en el paquete del modulador en lugar de utilizar una toma óptica externa.

50 El sistema y los procedimientos antes descritos tienden ventajosamente a facilitar una adquisición más rápida del punto de polarización. Además, el sistema y los procedimientos antes descritos tienden ventajosamente a facilitar una reducción o minimización de la deriva del punto de polarización. Además, el sistema y los procedimientos antes descritos tienden ventajosamente a facilitar una degradación reducida (es decir controlada) del rendimiento cuando se alcanza el extremo del intervalo de control de polarización. Tiende a ser posible evitar por completo esta degradación, por ejemplo avisando al sistema anfitrión cuando se está cerca del extremo del intervalo de control de polarización, de manera que el sistema anfitrión puede programar una reposición del modulador.

55

Los procedimientos antes descritos son ventajosamente sencillos. En primer lugar se establece una potencia de salida objetivo, que corresponde a la polarización en cuadratura. En segundo lugar, cuando el láser es encendido y su salida está estable, comienza la búsqueda de un punto de polarización. Un punto de polarización se encuentra igualando, mediante un ajuste de la tensión de polarización, la salida del modulador a la potencia de salida objetivo establecida. Se localiza el punto de polarización más próximo a 0V. Este punto de polarización tiende a tener el mínimo potencial para una deriva. Este punto de polarización se halla barriendo la tensión de polarización en un zigzag gradualmente creciente centrado alrededor de los 0V hasta alcanzar la potencia objetivo. A continuación se efectúa un seguimiento del punto de polarización hallado. Si la tensión de polarización se aproximase al límite de un intervalo de control mientras se está efectuando el seguimiento de la misma, puede reponerse el sistema, es decir que puede hacerse volver a cero la tensión de polarización y puede reiniciarse la búsqueda de un punto de polarización. Se puede avisar al sistema anfitrión y permitir a éste que seleccione cuándo tiene lugar realmente la reposición (para impedir la pérdida de servicio durante operaciones críticas). Si la tensión de polarización alcanzase el límite del intervalo de control, puede retenerse (es decir fijarse o mantenerse en el valor extremo) la tensión de polarización, permitiendo así que el rendimiento de RF del sistema se degrade gradualmente. Puede notificarse al sistema anfitrión que se ha alcanzado el límite de tensión de polarización. Puede permitirse al sistema anfitrión elegir cuándo tiene lugar una reposición. Si se apagase el láser, la tensión de polarización puede retenerse en su valor actual durante un periodo de tiempo definido. Este periodo de tiempo definido puede depender de cuánto tiempo se había mantenido el punto de polarización del modulador (es decir en qué medida es estable el punto de polarización).

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar una tensión de polarización alimentada a un modulador óptico Mach-Zehnder para hacer funcionar el modulador Mach-Zehnder en cuadratura, comprendiendo el procedimiento:
- proporcionar una potencia óptica de entrada estable al modulador o determinar que ésta está presente,
- 5 proporcionar un destino para la potencia óptica de salida del modulador, siendo el destino para la potencia óptica de salida del modulador la potencia óptica de salida correspondiente a un funcionamiento en cuadratura del modulador con la potencia óptica de entrada estable dada, y predefinir un intervalo de potencias ópticas de salida aceptable que incluye dicho destino proporcionado;
- aplicar, al modulador, una tensión (20) de polarización que tiene un valor inicial de 0V; y
- 10 después, vigilar la potencia óptica de salida mientras se varía la tensión (20) de polarización hasta que el valor de la tensión (20) de polarización sea el valor que está más próximo al valor inicial y que polariza el modulador de manera que la potencia óptica de salida del modulador esté dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo,
- en donde el paso de variar la tensión (20) de polarización comprende, comenzando en el valor inicial de cero voltios,
- 15 barrer la tensión de polarización en un patrón en zigzag con una amplitud gradualmente creciente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde,
- si se determina que la potencia óptica de salida del modulador está fuera del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo,
- dicho procedimiento comprende el paso de
- 20 variar más el valor de la tensión (20) de polarización de manera que se devuelva la potencia óptica de salida del modulador a un valor dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en donde el paso de variar más el valor de la tensión (20) de polarización para devolver la potencia óptica de salida del modulador a un valor dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo comprende:
- 25 comparar la potencia óptica de salida del modulador con la potencia óptica de salida objetivo para determinar si la potencia óptica de salida del modulador es bien mayor o bien menor que el intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo;
- determinar la dirección de la pendiente de la potencia óptica de salida del modulador en relación con la tensión (20) de polarización aplicada; y,
- 30 dependiendo de la dirección de la pendiente determinada y de si la potencia óptica de salida del modulador es bien mayor o bien menor que el intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo, o bien aumentar o bien disminuir la tensión (20) de polarización en una cantidad predeterminada.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en donde la cantidad predeterminada en la que o bien se aumenta o bien se disminuye la tensión (20) de polarización depende de cuánto tiempo haya estado el modulador funcionando en cuadratura.
- 35 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el paso de variar la tensión (20) de polarización comprende comparar la potencia óptica de salida del modulador con la potencia óptica de salida objetivo para detectar si la potencia óptica de salida del modulador está dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo.
- 40 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en donde la comparación de la potencia óptica de salida del modulador con la potencia óptica de salida objetivo se lleva a cabo:
- bien utilizando un comparador (10) de ventana; o
- bien utilizando un convertidor de analógico a digital y medios de procesamiento digital.
- 45 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el patrón en zigzag es un patrón en zigzag asimétrico.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la potencia óptica de salida del modulador está dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo si la potencia óptica de salida del modulador es sustancialmente igual a la potencia óptica de salida objetivo.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la potencia óptica de salida objetivo es proporcionada por medio de un potenciómetro (12) o de un convertidor de digital a analógico.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el paso de variar la tensión (20) de polarización se lleva a cabo de tal manera que la tensión (20) de polarización se limita para que se halle dentro de un intervalo predefinido de tensiones de polarización.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo el procedimiento además el paso de mantener la tensión (20) de polarización en su nivel actual durante un tiempo predeterminado después de que se haya desactivado la potencia óptica de entrada al modulador óptico, dependiendo el tiempo predeterminado del tiempo que el modulador haya estado funcionando en cuadratura.
12. Procedimiento para controlar una unidad de modulación para un sistema de comunicaciones ópticas, comprendiendo la unidad de modulación un láser para generar una señal portadora óptica, un modulador óptico Mach-Zehnder para modular la señal portadora óptica, pudiendo el modulador óptico Mach-Zehnder configurarse para ser polarizado mediante la aplicación de una tensión de polarización de tal manera que el modulador óptico Mach-Zehnder funcione en cuadratura, comprendiendo el procedimiento controlar la tensión de polarización alimentada al modulador óptico Mach-Zehnder utilizando un procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, representando la señal portadora óptica dicha potencia óptica de entrada estable de cualquiera de las reivindicaciones 1-11.
13. Controlador (4) de polarización para un modulador óptico Mach-Zehnder, pudiendo el modulador configurarse para ser polarizado mediante la aplicación de una tensión (20) de polarización de tal manera que el modulador funcione en cuadratura, comprendiendo el controlador de polarización uno o varios procesadores (14) configurados para:
- determinar que hay una potencia óptica de entrada estable al modulador,
- determinar un destino para la potencia óptica de salida del modulador, siendo el destino la potencia óptica de salida correspondiente a un funcionamiento del modulador en cuadratura con una potencia óptica de entrada estable dada, y predefinir un intervalo de potencias ópticas de salida aceptable que incluye dicho destino determinado;
- proporcionar, para la aplicación al modulador, la tensión (20) de polarización, teniendo la tensión (20) de polarización un valor inicial de 0V; y
- vigilar la potencia óptica de salida del modulador y variar la tensión (20) de polarización hasta que el valor de la tensión (20) de polarización sea el valor que está más próximo al valor inicial y que polariza el modulador de manera que la potencia óptica de salida del modulador esté dentro del intervalo predefinido de la potencia óptica de salida objetivo,
- en donde
- el paso de variar la tensión (20) de polarización comprende, comenzando en el valor inicial de cero voltios, barrer la tensión de polarización en un patrón en zigzag con una amplitud gradualmente creciente.
14. Unidad de modulación para un sistema de comunicaciones ópticas, comprendiendo la unidad un láser para generar una señal portadora óptica, un modulador óptico Mach-Zehnder para modular la señal portadora óptica, y un controlador (4) de polarización según la reivindicación 13 y dispuesto para controlar el modulador óptico Mach-Zehnder, representando la señal portadora óptica dicha potencia óptica de entrada estable, cuya presencia ha de ser determinada por el controlador de polarización de la reivindicación 13.

Fig. 1

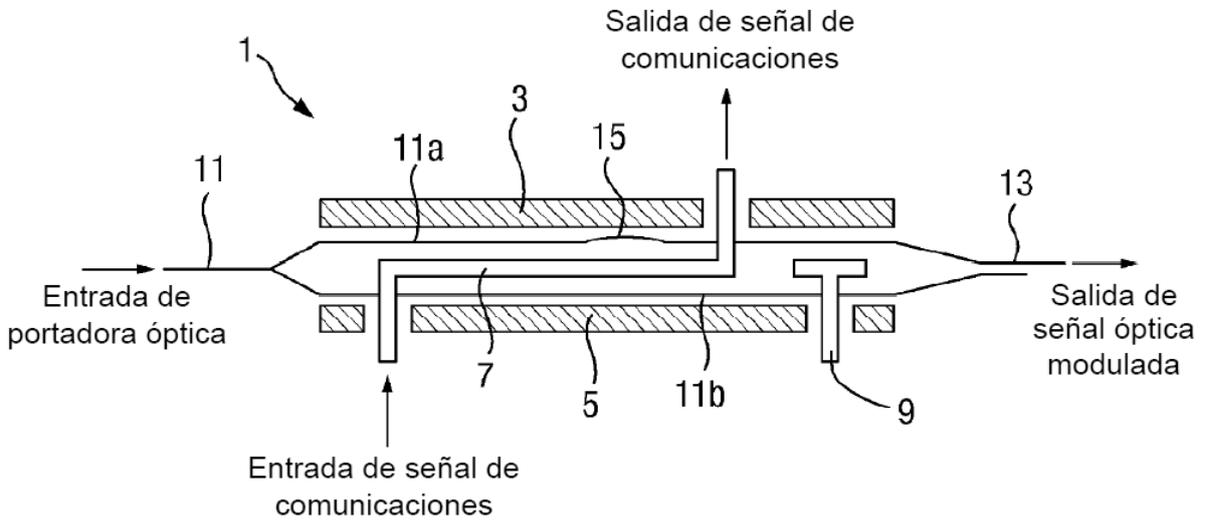


Fig. 2

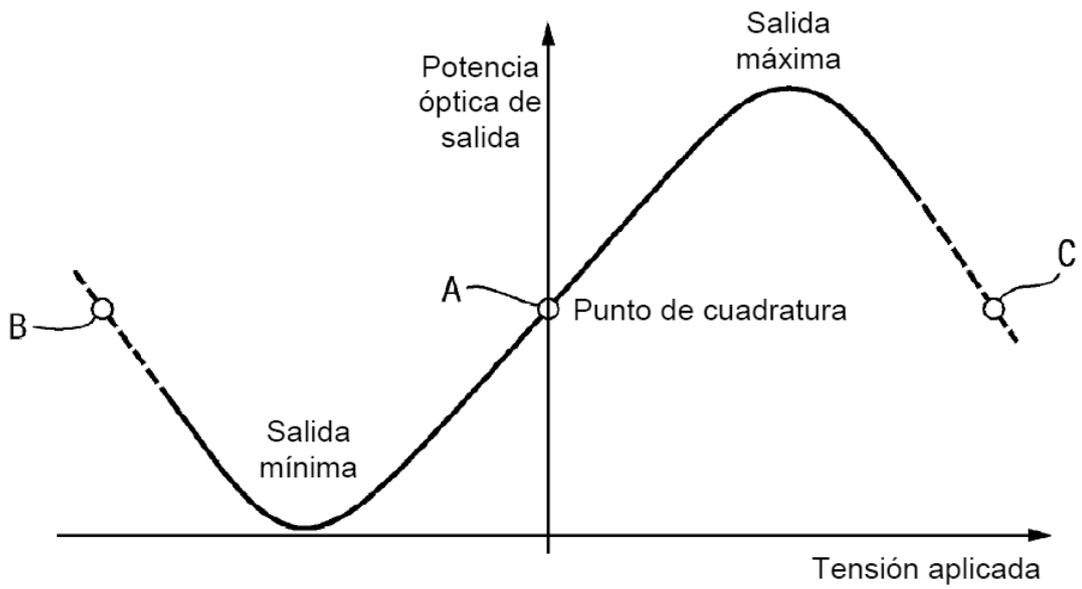


Fig. 3

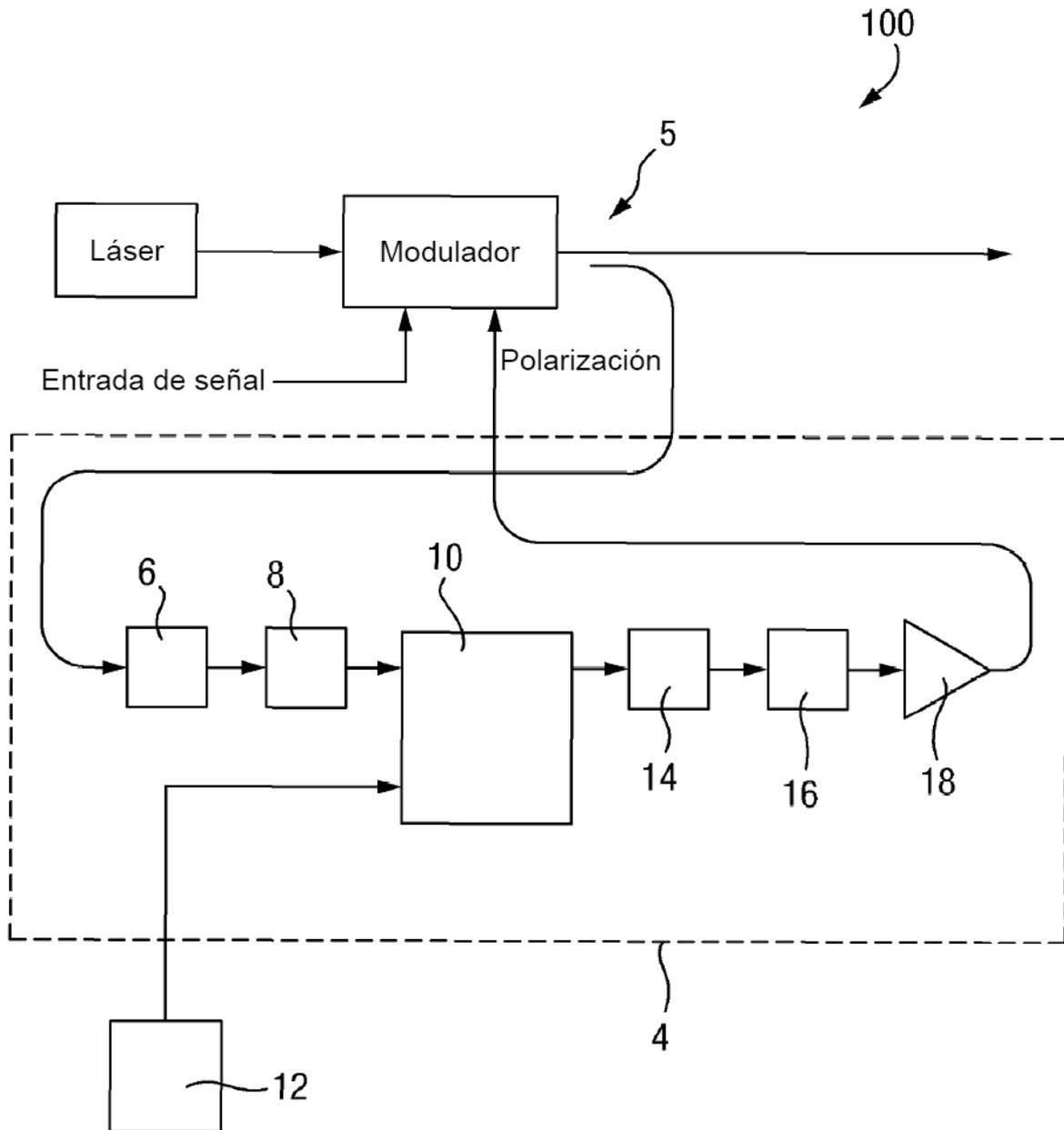


Fig. 4

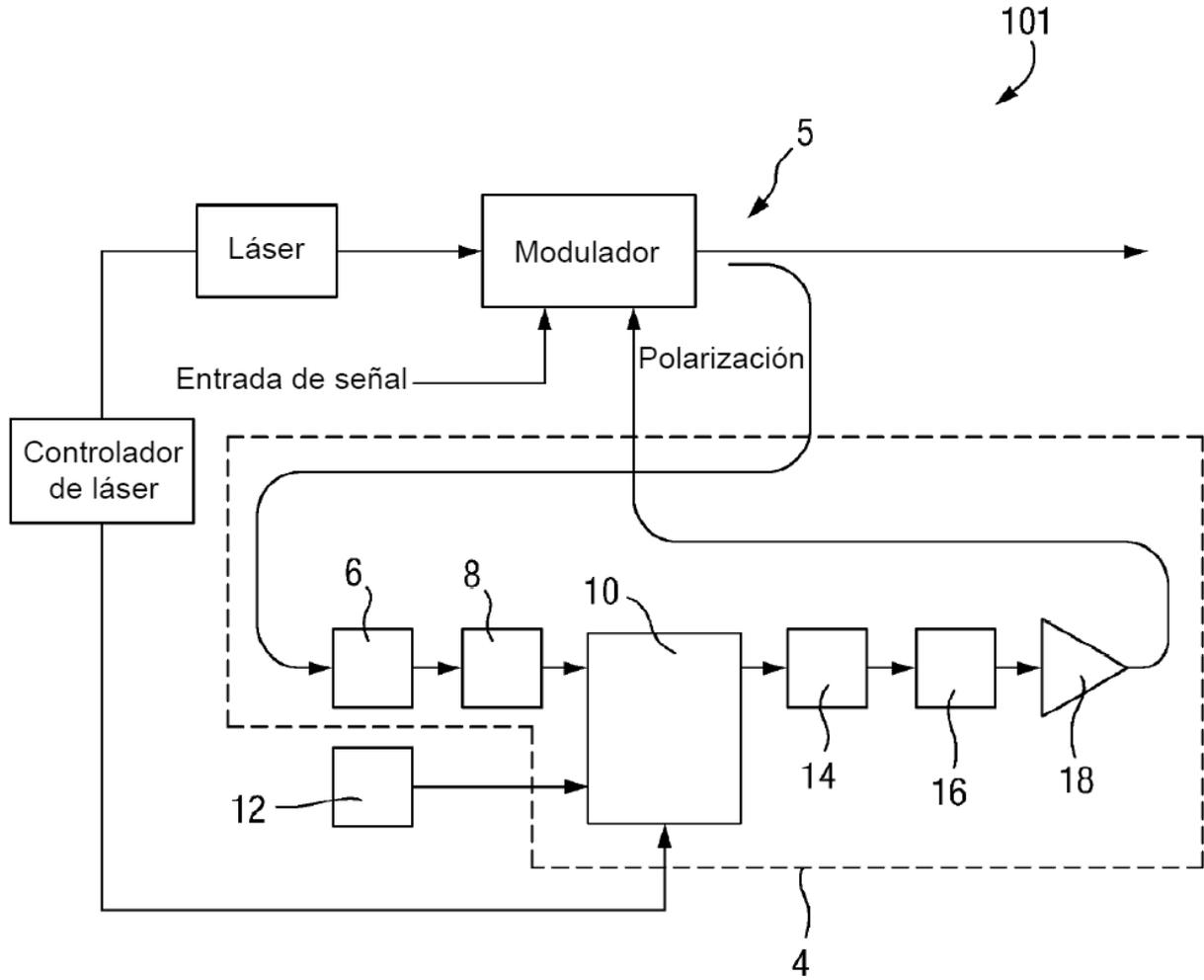


Fig. 5

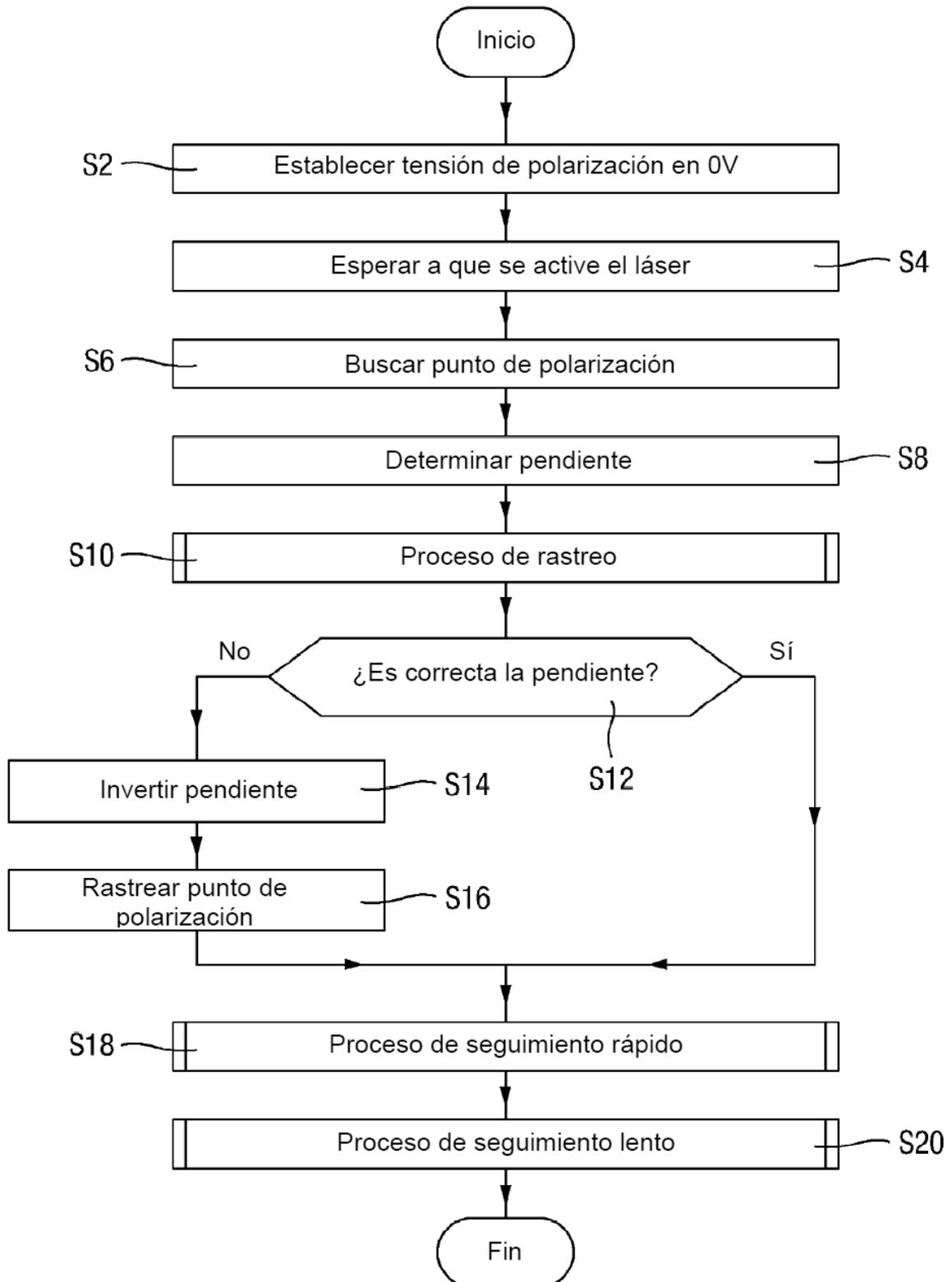


Fig. 6

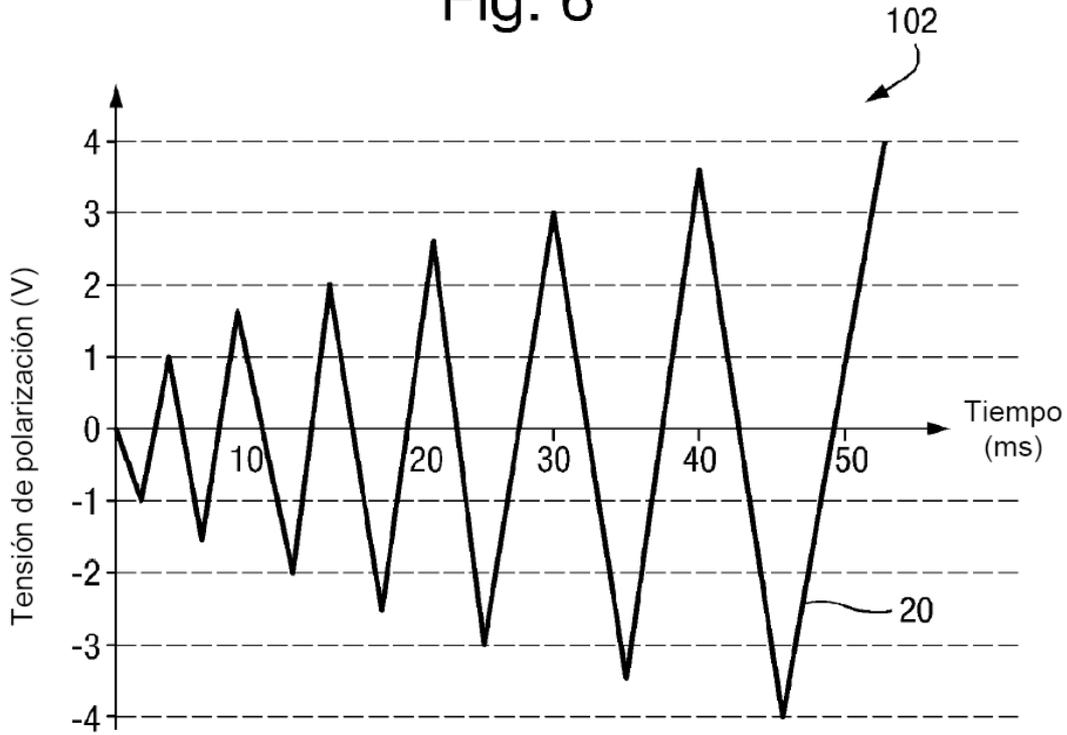


Fig. 8

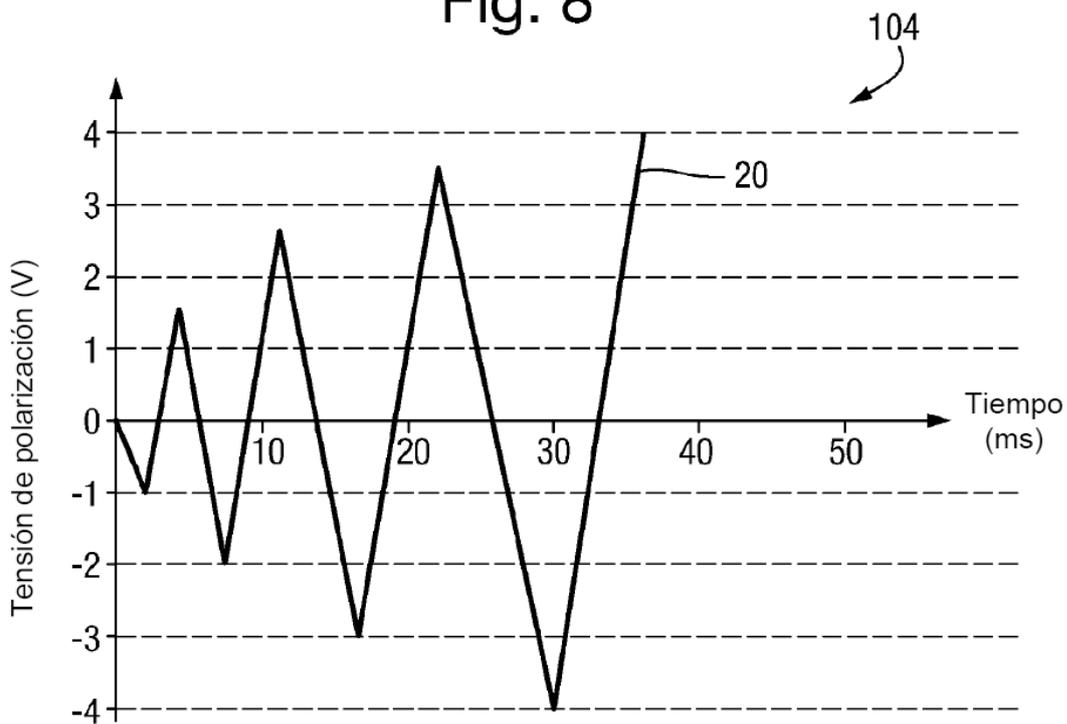


Fig. 7

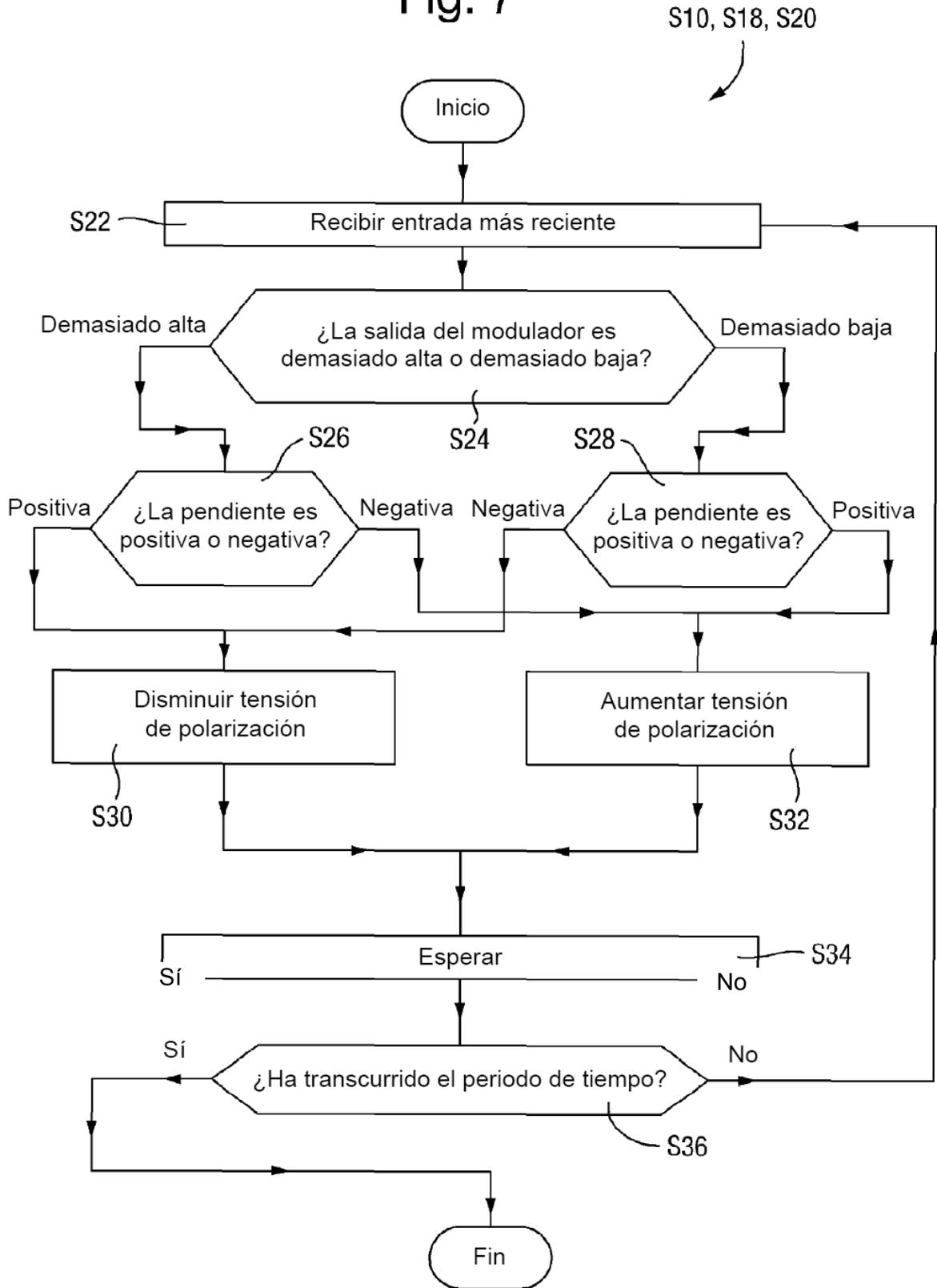


Fig. 9

