

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 289**

51 Int. Cl.:

G02F 1/01 (2006.01)

G02F 1/21 (2006.01)

G02F 1/225 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2013 PCT/GB2013/051114**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.11.2013 WO13164605**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2013 E 13720511 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2845050**

54 Título: **Control dinámico de tensión de polarización para moduladores ópticos Mach-Zehnder**

30 Prioridad:

02.05.2012 GB 201207670

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.07.2017

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:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 624 289 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 dinámico de tensión de polarización para moduladores ópticos Mach-Zehnder

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un método y a un dispositivo para control dinámico de polarización para una tensión de polarización correspondiente a un punto de cuadratura de un modulador óptico Mach-Zehnder con una entrada de potencia óptica estabilizada.

ANTECEDENTES

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

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

15 El modulador MZ 1 proporciona un mecanismo mediante el cual una señal de portadora óptica de entrada puede ser modulada con una señal de comunicaciones, por ejemplo con una señal de comunicaciones de RF. En este ejemplo, el modulador es realmente un interferómetro, creado formando una guía de ondas óptica en un sustrato adecuado tal como niobato de litio (LiNbO₃) o arseniuro de galio (GaAs) o fosfuro de indio (InP).

20 Una guía de ondas 11 del modulador MZ 1 es dividida en dos ramas 11 a, 11 b, antes de recombinarlas en un acoplador óptico 13. Una señal de portadora óptica en la forma de un haz de luz entra por un lado del modulador 1 (como se indica por una flecha en el lado izquierdo de la figura 1) y sale del modulador 1 por el lado opuesto (es decir, por el lado derecho de la figura 1) habiendo pasado a través de las dos ramas 11 a, 11 b de la guía de ondas 11.

25 Una de las ramas 11a de la guía de ondas incluye una asimetría 15 que actúa introduciendo una diferencia de fase entre la luz que se desplaza avanzando por las respectivas ramas 11 a, 11 b de la guía de ondas 11. La diferencia de fase es escogida con un valor de aproximadamente 90 grados para la longitud de onda de operación, que está típicamente en el intervalo de 1300 a 1550 nanómetros. Esto induce una polarización de cuadratura para la que la salida óptica es nominalmente un 50% de su máximo.

30 El niobato de litio (de modo común con otros materiales similares tales como GaAs o InP) es un material a modo de vidrio con una estructura cristalina que exhibe un efecto electro-óptico por el cual el índice de refracción de la estructura cristalina cambia cuando se le aplica una tensión eléctrica. En particular, la dirección del campo eléctrico inducido por la tensión eléctrica aplicada provoca un aumento o reducción 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 reducido actúa aumentando la velocidad de la luz que se desplaza a través del cristal. En moduladores MZ, el material de niobato de litio está dispuesto habitualmente de modo que tiene 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) provoca 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, un electrodo modulador 7 está dispuesto entre las ramas 11 a, 11 b de la guía de ondas 11. Cuando el electrodo modulador 7 es activado por una señal aplicada (por ejemplo una señal de radiofrecuencia o una señal de comunicaciones digital), campos eléctricos positivos y negativos son establecidos entre el electrodo modulador 7 y, respectivamente, un primer plano de tierra 3 y un segundo plano de tierra 5. El electrodo modulador 7 está diseñado como una línea de transmisión de modo que la señal moduladora se desplaza con la señal de portadora óptica a través del modulador MZ 1, permitiendo conseguir con ello frecuencias de modulación elevadas.

45 Los campos eléctricos positivos y negativos provocan que el índice de refracción de las dos ramas 11 a, 11 b de la guía de ondas 11 cambien (provocando el campo positivo un aumento en el índice de refracción para la rama 11 a, y provocando el campo negativo una reducción en el índice de refracción para la rama 11 b), y las diferentes velocidades de propagación resultantes de la señal de portadora óptica a través de cada rama provocan un cambio en la fase en la salida de señales hacia el combinador óptico 13, cuyo cambio de fase provoca que cambie el nivel de salida de la luz procedente del combinador óptico 13. Efectivamente, cuando los campos eléctricos experimentados por cada rama varían con la señal de comunicaciones aplicada al electrodo modulador 7, cambia la diferencia de fase entre la luz que pasa a través de las dos ramas y varía de acuerdo con ello el nivel de salida de la salida de señal óptica procedente del combinador 13. El efecto neto de esto es que la señal de portadora óptica de entrada es modulada con la señal de comunicaciones aplicada al electrodo modulador 7.

La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una función de transferencia de modulador. Esta curva característica de transferencia del modulador MZ 1 es aproximadamente sinusoidal. La modulación más

lineal tiende a conseguirse en y en torno al punto de cuadratura (también conocido simplemente como “cuadratura”). El punto de cuadratura es el punto en el que hay una relación de fase de 90 grados entre la luz que se desplaza a través de respectivas ramas 11 a, 11 b de la guía de ondas 11. La función de transferencia es una función de repetición, y de este modo hay muchos puntos de cuadratura para diferentes tensiones de polarización pero todos con la misma salida de potencia. En la figura 2, mediante el signo de referencia A está indicado un primer punto de cuadratura. En este primer punto de cuadratura A, la potencia de salida aumenta con la tensión de polarización, y por lo tanto este punto de cuadratura A es denominado punto de polarización de cuadratura de pendiente positiva. En la figura 2, mediante los signos de referencia B y C están indicados dos puntos de cuadratura B y C adicionales en los que la potencia de salida disminuye con la tensión de polarización. Estos puntos de cuadratura B, C son denominados cada uno puntos de polarización de cuadratura de pendiente negativa.

En la práctica, el desplazamiento de fase de 90 grados preferido se consigue raramente o nunca. Para compensar esto, es habitual incluir un componente polarizable 9, y aplicar una tensión de polarización de corriente continua (DC, del inglés “Direct Current”) al componente polarizable 9, para devolver al modulador MZ 1 a o cerca de uno de los puntos de cuadratura anteriormente mencionados. En la disposición representada en la figura 1, el componente polarizable 9 comprende un electrodo de polarización discreto (esto es meramente ilustrativo ya que un número de disposiciones alternativas son conocidas para personas con experiencia en la técnica). Por ejemplo, una tensión de polarización puede ser aplicada directamente al electrodo modulador 7 por medio de una denominada T de polarización. En una disposición así, la polarización DC es acoplada al electrodo a través de un inductor, y la señal aplicada (por ejemplo, una señal de comunicaciones RF) es acoplada al electrodo a través de un condensador.

Un problema con esta disposición es que el punto de polarización, es decir la tensión que hace falta aplicar al componente polarizable 9 para devolver el modulador MZ 1 al o cerca del punto de cuadratura, cambia con el tiempo. Por ejemplo, así denominadas cargas atrapadas (que por ejemplo existen en las regiones entre electrodos, por ejemplo en una capa intermedia de dióxido de silicio en la superficie del dispositivo) y variaciones de temperatura pueden provocar cada una que el punto de polarización cambie a una tasa cualquiera desde unos pocos milivoltios por hora a varios voltios por hora. De este modo, convencionalmente tiende a no ser posible proporcionar un sistema en el que la tensión de polarización, una vez establecida, no tenga que ser cambiada. Como tal es habitual proporcionar algún tipo de control dinámico de polarización para permitir que la linealidad del modulador se mantenga sobre un periodo extendido de tiempo.

En el dominio analógico, se ha conseguido previamente un control dinámico de polarización aplicando un tono piloto (por ejemplo un tono de 10 kHz para una señal de comunicaciones de interés, de varios GHz) al electrodo modulador, monitorizando la salida del modulador y ajustando la tensión de polarización sobre la base de esa salida. Por ejemplo, como el 2º armónico del tono piloto habitualmente tiende a ser mínimo en el punto de cuadratura o en torno a él, una aproximación previamente propuesta monitoriza este segundo armónico y ajusta la tensión de polarización DC aplicada para minimizar el segundo armónico. Una aproximación similar ha sido propuesta previamente para el dominio digital, pero en este caso la señal aplicada es típicamente una señal oscilatoria de onda cuadrada, y la salida es monitorizada por un procesador de señales digitales.

Aunque cada una de estas aproximaciones permiten proporcionar una forma de control dinámico de polarización, cada una tiene desventajas asociadas. Por ejemplo, la aplicación de un tono piloto necesariamente da lugar a productos de modulación (por ejemplo bandas laterales) que limitan el rendimiento del sistema, y para 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 una señal oscilatoria puede afectar adversamente a la velocidad de transmisión de datos alcanzable y a la longitud de enlace que puede alcanzarse. Otra desventaja particularmente prevalente en casos en que son necesarios múltiples canales, por ejemplo en un sistema de antena de matriz de elementos controlados en fase, es que como cada modulador es diferente, el hardware de control de polarización tiene que ser totalmente replicado para todos y cada uno de los moduladores. Esto incrementa el tamaño, complejidad y coste del sistema.

El documento WO 2008/059198 da a conocer un controlador de polarización para un modulador óptico. El modulador incluye un electrodo de polarización que puede operar cuando es polarizado apropiadamente por una tensión de polarización aplicada para configurar el modulador para que opere en cuadratura. El controlador de polarización comprende medios para generar señales de potencia indicativas de la potencia de salida óptica del modulador, y un procesador conectado operativamente a los medios de generación y al electrodo de polarización. El procesador está dispuesto para recibir las señales de potencia procedentes de los medios de generación 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 señales de potencia recibidas de los medios de generación) una potencia de salida óptica máxima para el modulador. El procesador está configurado además para determinar, dependiendo de la potencia óptica máxima, un objetivo de potencia óptica para cuadratura con referencia a un almacenamiento de valores predeterminados para potencia de salida máxima y valores correspondientes respectivos de objetivo de potencia óptica para

El documento EP0631169 da a conocer un método para controlar dinámicamente una tensión de polarización de un modulador Mach-Zehnder que incluye monitorizar la potencia de salida óptica y compararla con un valor de referencia que corresponde al modulador Mach-Zehnder operando en cuadratura, en que dicha tensión de polarización es ajustada en función de la diferencia detectada entre la potencia de salida óptica monitorizada y el valor de referencia. De acuerdo con el documento EP0631169, la tensión de polarización EB es aplicada al modulador Mach-Zehnder de modo que una diferencia de tensión entre la tensión del punto operativo y una tensión de polarización es mantenida dentro de una diferencia de tensión ΔE . El modulador MZ está diseñado de modo que tiene una tensión de polarización de cuadratura intrínseca diferente de cero (los brazos de guía de ondas tienen diferentes anchuras), a saber +0,15 V. La tensión de polarización inicial EB es establecida de modo que cumple la ecuación $ECNT + EB \leq \Delta E$, por ejemplo $ECNT = EB = 0,2$ V y $\Delta E = 0,5$ V. El circuito de control cambia ahora sólo la polaridad de la tensión de polarización EB cuando se detecta que el punto operativo está por encima de +ECNT o por debajo de -ECNT, con lo que, debido a la deriva DC del modulador, la diferencia entre la tensión del punto operativo y la tensión de polarización es mantenida constantemente dentro del valor tolerable ΔE . El control dinámico de la tensión de polarización del documento EP0631169 es por lo tanto tal que la potencia de salida del modulador está dentro de un intervalo predeterminado del objetivo de potencia de salida, en que este intervalo está dado explícitamente como el intervalo $[-ECNT, +ECNT]$.

De modo similar al documento EP0631169, también el documento US4162398 da a conocer un método para controlar dinámicamente una tensión de polarización de un modulador Mach-Zehnder que implica monitorizar la potencia de salida óptica y compararla con un valor de referencia que corresponde al modulador Mach-Zehnder operando en cuadratura, en que dicha tensión de polarización es ajustada en función de la diferencia detectada entre la potencia de salida óptica monitorizada y el valor de referencia.

El documento WO02/063381 da a conocer un método para establecer una tensión operativa o de polarización de un modulador óptico Mach-Zehnder que incluye un paso de establecer la tensión de polarización aplicada al modulador MZ en un valor inicial predeterminado, un paso de medir la potencia de salida óptica del modulador MZ, un paso de aumentar y reducir progresivamente de forma secuencial 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 de salida óptica, y un paso de establecer la tensión de polarización en un valor intermedio entre los valores de tensión máximo y mínimo.

RESUMEN DE LA INVENCION

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta.

La reducción y el aumento (o el aumento y la reducción) alternos de la tensión de polarización de acuerdo con dicho método de la reivindicación 1 tienden a mantener una tensión de polarización nula en media móvil. También tienden a minimizar la perturbación de tensión del modulador, lo que tiende a minimizar la deriva una vez realizada la búsqueda del punto de polarización inicial.

El paso (i) o (ii) de la reivindicación independiente 1 adjunta puede ser realizado explorando la tensión de polarización según un patrón en zigzag.

El patrón en zigzag puede ser un patrón en zigzag asimétrico.

El paso de explorar la tensión de polarización puede ser realizado para encontrar el valor para la tensión de polarización que está más próxima al valor inicial y que polariza el modulador de modo que la potencia de salida del modulador está dentro del intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida.

El método puede comprender además: aplicar, al modulador, una tensión de polarización que tiene el valor identificado, monitorizar la potencia de salida del modulador, y, si se determina que la potencia de salida del modulador está fuera del intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, variar adicionalmente el valor de la tensión de polarización para llevar la potencia de salida del modulador de vuelta al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida.

El paso de variar adicionalmente el valor de la tensión de polarización para llevar la potencia de salida del modulador de vuelta al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida puede comprender: comparar la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida para determinar si la potencia de salida del modulador es o bien superior o bien inferior al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, determinando una dirección de la pendiente de la potencia de salida del modulador relativa a la tensión de polarización aplicada, y, dependiendo de la dirección de pendiente determinada y de si la potencia de salida del modulador es o bien superior o bien inferior al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, o bien aumentar o bien reducir la tensión de polarización en una cantidad predeterminada.

La magnitud de la cantidad predeterminada en la que es o bien aumentada o bien reducida la tensión de polarización puede depender de cuánto tiempo ha estado operando en cuadratura el modulador.

Comparar la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida puede realizarse o bien usando un comparador de ventana o bien usando un convertidor analógico-digital y medios de procesamiento digitales.

El valor inicial puede ser de 0 V.

5 La potencia de salida del modulador puede estar dentro de un intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida si la potencia de salida del modulador es sustancialmente igual al objetivo de potencia de salida.

El objetivo de potencia de salida puede ser proporcionado por medio de un potenciómetro o un convertidor digital-analógico.

El paso de explorar la tensión de polarización puede ser realizado de modo que la tensión de polarización esté limitada a estar dentro de un intervalo predefinido de tensión de polarización.

10 El método puede comprender además, si se determina que una entrada óptica al modulador óptico ha sido desactivada, mantener la tensión de polarización en su nivel actual durante un periodo predeterminado de tiempo, en que el periodo predeterminado de tiempo depende del periodo de tiempo durante el cual ha estado operando en cuadratura el modulador.

15 En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 14 adjunta.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un programa de ordenador o una pluralidad de programas de ordenador previsto(s) de tal modo que cuando es (son) ejecutados por un sistema de ordenador provoca(n) que el sistema de ordenador opere de acuerdo con el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-13 adjuntas.

20 En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa de ordenador o al menos uno de la pluralidad de programas de ordenador de acuerdo con el aspecto anterior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

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

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

la figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de una primera red a modo de ejemplo en la cual es implementada una realización de un controlador de polarización;

la figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) de una segunda red a modo de ejemplo en la cual es implementado el controlador de polarización;

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

la figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) de una gráfica 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 a modo de ejemplo;

35 la figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) de una gráfica adicional 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 realizado por el controlador de polarización si un láser está desactivado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 Serán descritas a continuación realizaciones preferidas de la presente invención con particular referencia a un controlador de polarización para un modulador. Tales controladores y moduladores se emplean típicamente en sistemas de comunicaciones para modular una señal de portador óptica de entrada con una señal de comunicaciones de radiofrecuencia (RF). Aunque las enseñanzas de la presente invención tienen gran utilidad en sistemas ópticos de comunicaciones, es decir sistemas de comunicaciones en los que los nodos del sistema están conectados ópticamente, será apreciado inmediatamente por personas con experiencia ordinaria en la técnica que las enseñanzas de la invención pueden ser aplicadas de otro modo. De acuerdo con ello, la siguiente descripción
45 ilustrativa no debe considerarse limitada únicamente a sistemas de comunicaciones.

La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de una primera red 100 a modo de ejemplo en la cual es implementada una realización de un controlador de polarización 4.

En la primera red 100, el controlador de polarización 4 está acoplado a un modulador, por ejemplo a 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 operar proporcionando una señal de portadora óptica con la que una señal de comunicaciones (tal como una señal de comunicaciones RF) debe ser modulada. En este ejemplo, el modulador incluye un electrodo de polarización separado, pero son posibles otras disposiciones.

El controlador de polarización 4 comprende un fotodiodo 6 que está acoplado a la salida del modulador por medio de un acoplador óptico de toma 5. El acoplador óptico de toma 5 puede operar monitorizando la salida de señal óptica del modulador y pasar aproximadamente un 1 a un 5% de esa salida al fotodiodo 6. El fotodiodo 6 y el acoplador 5 pueden estar combinados en una única unidad (por ejemplo la unidad puede comprender un espejo parcialmente reflectante y puede estar dispuesta de modo que la luz entra en la unidad a través de una primera fibra y la mayor parte (por ejemplo el 95%) es reflejado hacia otra fibra; una proporción de esa luz (por ejemplo el 5%) es transmitida a través del espejo para incidir sobre el fotodiodo 6). Como alternativa, el fotodiodo 6 puede estar integrado en el modulador, es decir, en otras realizaciones, el controlador de polarización 4 no comprende un fotodiodo 6 que por el contrario está integrado con el modulador. Un fotodiodo integrado puede estar dispuesto para captar un campo evanescente procedente de la guía de ondas de salida, o alternativamente puede estar dispuesto encarando el extremo del modulador de modo que capte la salida de luz procedente de un puerto de vertido del modulador. El uso de un fotodiodo integrado tiende ventajosamente a minimizar las pérdidas de salida. Además, si el fotodiodo integrado está dispuesto para captar luz procedente de un puerto de vertido del modulador, el fotodiodo tiende a estar expuesto a una entrada óptica mucho mayor. Así, la necesidad de una circuitería de detección sensible subsiguiente tiende a ser reducida o eliminada.

El fotodiodo 6 está polarizado inversamente. La luz incidente sobre el fotodiodo 6 es convertida en corriente eléctrica, proporcionalmente a la luz incidente. El fotodiodo 6 es un dispositivo de área relativamente grande y anchura de banda baja, lo que evita que detecte el componente de radiofrecuencia (RF) de la señal modulada. De este modo, el fotodiodo 6 tiende ventajosamente a devolver sólo el componente de corriente continua (DC) de la señal.

La salida del fotodiodo 6 está acoplada a una resistencia 8. La resistencia 8 convierte intensidad de corriente (pasada a la resistencia 8 desde el fotodiodo 6) a tensión. La resistencia 8 tiende ventajosamente a proporcionar un medio relativamente simple y barato de convertir intensidad de corriente a tensión. En otras realizaciones, dicha conversión puede ser realizada por medios diferentes, por ejemplo un amplificador de transimpedancia. Esto tendería a proporcionar una sensibilidad mayor que la de una resistencia, permitiendo con ello que sean tomadas de la salida del modulador cantidades menores de potencia óptica.

La salida de la resistencia 8 está acoplada a un comparador de ventana 10. En otras palabras, una entrada del comparador de ventana 10 es la tensión suministrada por la resistencia 8. Otra entrada del comparador de ventana 10 es una tensión suministrada por un potenciómetro 12. El potenciómetro suministra una tensión 12, para uso como objetivo de tensión, al comparador de ventana 10. El objetivo de tensión suministrado por el potenciómetro es una señal que es indicativa de un objetivo de potencia óptica para el modulador para cuadratura. En otras realizaciones, el objetivo de tensión puede ser establecido por un medio diferente. Por ejemplo, el objetivo de tensión puede ser establecido usando un convertidor digital-analógico (DAC, del inglés "Digital-to-Analogue Converter"). Esto tendería a permitir ventajosamente un ajuste remoto del punto de polarización del modulador. También, por ejemplo, el objetivo de tensión podría tomar un valor fijo, por ejemplo si la resistencia 8 fuera una resistencia variable.

El comparador de ventana 10 compara la tensión suministrada por la resistencia 8 con el objetivo de tensión suministrado por el potenciómetro 12. Esto se hace para determinar si la tensión de referencia (es decir, la tensión suministrada por la resistencia 8) es "demasiado alta", "demasiado baja", o "aceptable" con respecto al objetivo de tensión. El término "aceptable" puede usarse, por ejemplo, para referirse a tensiones de referencia en el entorno de un 1% del objetivo de tensión. El término "demasiado alta" puede usarse, por ejemplo, para referirse a tensiones de referencia que son mayores o iguales que el objetivo de tensión más un 1%. El término "demasiado baja" puede usarse, por ejemplo, para referirse a tensiones de referencia que son menores o iguales que el objetivo de tensión menos un 1%. El uso de un comparador de ventana 10 en la realización de la comparación anteriormente mencionada tiende ventajosamente a aliviar problemas causados por oscilaciones en la tensión de polarización (por ejemplo que pueden ocurrir cuando la tensión de referencia es ajustada repetidamente a un valor demasiado alto, luego demasiado bajo, etc.) que pueden ocurrir si, por ejemplo, se usa un comparador de punto único. Sin embargo, en otras realizaciones, puede ser usado un comparador de punto único u otro tipo de comparador para comparar la tensión de referencia y el objetivo de tensión.

La salida del comparador de ventana 10 es acoplada a un procesador 14. Una salida del comparador de ventana 10 puede ser una indicación de si la tensión de referencia es demasiado alta, demasiado baja o aceptable con relación al objetivo de tensión. En otras realizaciones, el resultado de la comparación de la tensión de referencia y el objetivo

de tensión puede ser indicada al procesador 14 de un modo diferente. Por ejemplo, si la tensión de referencia es o bien demasiado alta o bien demasiado baja con relación al objetivo de tensión, el comparador de ventana 10 puede enviar una señal correspondiente al procesador 14 informando al procesador 14 que la tensión de referencia es o bien demasiado alta o bien demasiado baja, mientras que si la tensión de referencia está dentro de un intervalo aceptable del objetivo de tensión, no se enviaría una indicación así. De este modo, el procesador 14 es capaz de asegurar, usando la salida del comparador de ventana 10, si la tensión de referencia es demasiado alta, demasiado baja o adecuada con relación al objetivo de tensión.

En esta realización, el procesador 14 es una matriz de puertas programable in situ (FPGA, del inglés "Field Programmable Gate Array"). En otras realizaciones, el procesador 14 es un tipo diferente de procesador, por ejemplo un dispositivo lógico programable complejo (CPLD, del inglés "Complex Programmable Logic Device"), un microcontrolador, un procesador de señales digitales (DSP, del inglés "Digital Signal Processor"), etc.

El procesador 14 está configurado para ejecutar un algoritmo de control usando la salida del comparador de ventana 10. Una realización del algoritmo de control usada por el procesador 14 está descrita en más detalle posteriormente con referencia a la figura 5. El algoritmo de control es ejecutado para, usando la salida del comparador de ventana 10, establecer y/o ajustar una tensión de polarización suministrada al modulador hasta que el modulador alcanza un punto de cuadratura (u otro punto de polarización). La tensión de polarización es suministrada al modulador por el procesador 14 por medio de un convertidor digital-analógico (DAC) 16 y un amplificador 18. El convertidor DAC 16 puede ser, por ejemplo, un dispositivo de terminación única (sólo salida positiva). El amplificador 18 puede introducir una tensión de compensación para permitir la generación tanto de tensiones negativas como positivas.

El procesador 14 puede estar conectado adicionalmente a un sistema principal (no mostrado en las figuras). Esta conexión puede ser tal que la información pueda ser enviada entre el procesador 14 y el sistema principal. Por ejemplo, el procesador 14 puede informar, al sistema principal, acerca del estado del láser y/o indicar el valor de la tensión de polarización suministrada por él al modulador. También por ejemplo, el sistema principal puede enviar instrucciones al procesador 14, por ejemplo una instrucción de que el procesador 14 debe "restablecer" la tensión de polarización a su valor inicial, es decir de partida, por ejemplo 0 V. El sistema principal puede ser, por ejemplo, un sistema de monitorización de salud, o un sistema de control general para un sistema de radar. También, como se describe en más detalle posteriormente, el sistema principal puede estar configurado para tomar el control de sí/cuándo es ajustada la tensión de polarización.

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

En esta realización adicional, el láser, el modulador, el controlador de polarización 4 y el acoplador óptico de toma 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 operativamente al láser, el controlador de láser está acoplado al procesador 14 de modo que puedan ser enviadas señales indicativas del estado del láser desde el controlador de láser al procesador 14. Usando estas señales, el procesador 14 puede, por ejemplo, determinar cuándo el láser ha sido activado/desactivado, cuándo se ha estabilizado la potencia de láser, etc. El procesador 14 puede retransmitir información relativa al estado del láser a sistemas o dispositivos remotos (por ejemplo el sistema principal).

El dispositivo, incluyendo el procesador 14, para implementar cualquiera de las disposiciones anteriores, y llevar a cabo los pasos del método a describir más adelante, puede ser proporcionado configurando o adaptando cualquier dispositivo adecuado, por ejemplo uno o varios ordenadores u otros dispositivos de procesamiento o procesadores, y/o proporcionando módulos adicionales. El dispositivo puede comprender un ordenador, una red de ordenadores, o uno o varios procesadores, para implementar instrucciones y usar datos, incluyendo instrucciones y datos en la forma de un programa de ordenador o pluralidad de programas de ordenador almacenados en o sobre un medio de almacenamiento legible por máquina tal como una memoria de ordenador, un disco de ordenador, una memoria ROM (del inglés "Read-Only Memory", memoria de sólo lectura), una memoria PROM (del inglés "Programmable Read-Only Memory", memoria de sólo lectura programable), etc., o cualquier combinación de estos 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 ejecutado por el procesador 14 para establecer y/o ajustar la tensión de polarización aplicada al modulador.

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

En el paso s4, el procesador 14 espera a que el láser sea activado, es decir encendido, y a que el láser se estabilice. Por ejemplo, esperar a que el láser se estabilice puede ser conseguido por el procesador 14 en la primera red 100 esperando un periodo de tiempo predeterminado. También por ejemplo, en la segunda red 101, pueden ser enviadas al procesador una o varias señales (desde el controlador de láser) indicando que el láser ha sido activado y/o que la potencia del láser se ha estabilizado.

En el paso s6, el procesador 14 busca el punto de polarización del modulador que está más próximo a 0 V. En esta realización, esto es realizado por el procesador 14 que explora la tensión de polarización del modulador en zigzag, empezando en 0 V y con una amplitud gradualmente creciente.

5 En esta realización, la tensión de polarización del modulador es explorada en zigzag con una amplitud gradualmente creciente. En otras realizaciones, esta búsqueda de un punto de polarización puede ser realizada de un modo diferente, por ejemplo aumentando y reduciendo (o reduciendo y aumentando) de forma alterna la función de polarización, por ejemplo con amplitud creciente, según un patrón diferente (es decir un patrón distinto al zigzag). Por ejemplo, la tensión de polarización puede ser explorada siguiendo el patrón de una función seno con una amplitud creciente en el tiempo.

10 La figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) de un gráfico 102 que muestra la tensión de polarización 20 suministrada por el procesador 14. La tensión de polarización 20 es explorada en zigzag, empezando en 0 V y con una amplitud gradualmente creciente. En esta realización, la tensión de polarización 20 del modulador es explorada según este modo en zigzag hasta que la salida del comparador de ventana 10 cambia de estado, es decir hasta que el comparador de ventana 10 cambia de indicar al procesador 14 que la tensión de salida del modulador es demasiado baja (con relación al objetivo de tensión) a indicar al procesador 14 que la tensión de salida del modulador es demasiado alta (con relación al objetivo de tensión). Este cambio de estado del comparador de ventana 10 se produce cuando la tensión de salida del modulador supera el objetivo de tensión suministrado al comparador de ventana 10 por el potenciómetro 12. De este modo es localizado un punto de polarización o punto de cuadratura del modulador.

20 En el paso s8, la dirección/pendiente (es decir positiva o negativa) de la salida del modulador en el punto de cuadratura es determinada por el procesador 14. En esta realización, esto se determina determinando si la salida del comparador de ventana 10 cambia de demasiado alta a demasiado baja (en cuyo caso la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa) o de 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 el procesador 14.

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

30 Información adicional relativa al proceso de rastreo es proporcionada posteriormente con referencia a la figura 7. El proceso descrito con referencia a la figura 7 puede ser usado también para llevar a cabo el proceso de "seguimiento rápido" descrito posteriormente (llevado a cabo en el paso s18) y el proceso de "seguimiento lento" descrito posteriormente (llevado a cabo en el paso s20). Básicamente, en esta realización el proceso de rastreo comprende ajustar continuamente (es decir aumentar o reducir) la tensión de polarización en pasos relativamente grandes sobre un periodo de tiempo (por ejemplo un periodo de tiempo determinado empíricamente, por ejemplo 20 segundos). Los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes con relación a 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 son descritos en más detalle posteriormente). También, el proceso de rastreo comprende ajustar la tensión de polarización dependiendo de la salida del comparador de ventana 10. Por ejemplo, si el comparador de ventana 10 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, entonces el procesador 14 reduce la tensión de polarización suministrada al modulador en una cantidad relativamente grande. Igualmente, si el comparador de ventana 10 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 suministrada al modulador en una cantidad relativamente grande. Los tamaños de paso relativamente grandes de los pasos en los que es ajustada la tensión de polarización durante la fase de rastreo, y la duración de la fase de rastreo pueden ser determinadas empíricamente. Por ejemplo, puede determinarse que un tamaño de paso para el proceso de rastreo sea de aproximadamente 125 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso usados durante la fase de rastreo, y/o de la duración de la fase de rastreo tiende ventajosamente a permitir que el proceso de la figura 5 pueda ser implementado usando cualquier componente apropiado, por ejemplo usando un modulador procedente de un fabricante o de una pluralidad de fabricantes diferentes.

La salida del modulador puede estar retrasada respecto a la entrada de polarización en un periodo de tiempo significativo pero variable (por ejemplo 100-500 ms). De este modo, tiende a ser posible que el procesador 14 calcule erróneamente la pendiente de polarización (es decir que el procesador 14 pueda determinar que la pendiente de la salida del modulador en el punto de polarización es positiva cuando realmente 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 errónea. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si el punto de polarización del modulador está inmediatamente antes de una esquina de la parte en zigzag de la tensión de polarización 20.

Este problema puede resolverse llevando a cabo los pasos s12 a s16, como se describe posteriormente.

- 5 Alternativamente, este problema puede resolverse por ejemplo, mientras se realiza la exploración de la tensión de polarización del modulador (llevada a cabo en el paso s6), mediante el recurso de mantener una tensión de polarización sustancialmente constante durante un cierto periodo de tiempo entre el aumento de la tensión de polarización y la reducción de la tensión de polarización, y entre la reducción de la tensión de polarización y el aumento de la tensión de polarización. En otras palabras, cuando la tensión de polarización es explorada en zigzag, 10 en cada esquina del patrón en zigzag, la tensión de polarización puede ser mantenida durante un cierto periodo de tiempo. Sin embargo, esto tiende a aumentar el tiempo que hace falta para encontrar un punto de polarización.

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

- 15 Si, en el paso s12, se determina que la salida del comparador de ventana 10 cambia continuamente entre indicar que la tensión de salida del modulador es demasiado alta e indicar que la tensión de salida del modulador es demasiado baja, se determina que la pendiente de la gráfica 102 (determinada en el paso s8) es correcta. En este caso, el proceso de la figura 5 pasa al paso s18 que será descrito en más detalle posteriormente tras la descripción de los pasos s14 y s16.

- 20 Sin embargo, si, en el paso s12, se determina que la salida del comparador de ventana 10 no cambia continuamente entre indicar que la tensión de salida del modulador es demasiado alta e indicar que la tensión de salida del modulador es demasiado baja (es decir que el comparador de ventana 10 indica que la tensión de salida del modulador es demasiado baja o demasiado alta a través de todo el proceso de rastreo), se determina que la pendiente de la gráfica 102 (determinada en el paso s8) es incorrecta. En este caso, el proceso de la figura 5 pasa al 25 paso s14.

En el paso s14, el procesador 14 revierte la tensión de polarización al nivel que tenía al comienzo del proceso de rastreo, es decir que el procesador 14 establece que la tensión de polarización sea igual a la tensión de polarización al comienzo del proceso de rastreo. En otras palabras, si, durante el proceso de rastreo, la tensión de polarización ha sido aumentada, el procesador 14 reduce la tensión de polarización en la cantidad en la que había sido 30 aumentada durante el proceso de rastreo. Igualmente, si, durante el proceso de rastreo, la tensión de polarización ha sido reducida, el procesador 14 aumenta la tensión de polarización en la cantidad en la que había sido reducida durante el proceso de rastreo. Esta reversión de la tensión de polarización a su nivel original puede ser llevada a cabo sobre un periodo de tiempo para evitar la aplicación de un cambio de paso en tensión al modulador.

- 35 En el paso s16, el proceso de rastreo del paso s10 se vuelve a llevar a cabo usando la pendiente corregida de la salida del modulador en el punto de polarización, es decir usando la pendiente opuesta a la determinada en el paso s8.

De este modo, tras el paso s16, el punto de polarización del modulador ha sido seguido tal como lo habría sido si la pendiente correcta hubiera sido determinada por el procesador 14 en el paso s8. Tras el paso s16, el método pasa al paso s18.

- 40 En el paso s18, una vez llevado a cabo el proceso de rastreo durante un periodo predeterminado de tiempo, el procesador 14 lleva a cabo un así denominado proceso de “seguimiento rápido”. En esta realización, el proceso de seguimiento rápido es el mismo que el proceso de rastreo excepto que los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento rápido son relativamente pequeños en comparación con los usados durante el proceso de rastreo. Por ejemplo, puede determinarse empíricamente que un tamaño de 45 paso para el proceso de seguimiento rápido es de, por ejemplo, aproximadamente 4 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso usados durante la fase del proceso de seguimiento rápido, y/o de la duración de la fase del proceso de seguimiento rápido, tiende ventajosamente a permitir que el proceso de la figura 5 sea implementado usando cualquier componente apropiado, por ejemplo usando partes procedentes de una variedad de diferentes fabricantes.

- 50 Se proporciona información adicional relativa al proceso de seguimiento rápido posteriormente con referencia a la figura 7. El proceso descrito con referencia a la figura 7 puede usarse también para el proceso de rastreo (llevado a cabo en el paso s10) y el proceso de seguimiento lento posteriormente descrito (llevado a cabo en el paso s20).

- Básicamente, en esta realización, el proceso de seguimiento rápido comprende ajustar continuamente (es decir, 55 aumentar o reducir) la tensión de polarización en pasos relativamente pequeños sobre un periodo de tiempo (por ejemplo, un periodo de tiempo determinado empíricamente, por ejemplo de 2 minutos) y dependiendo de la salida

del comparador de ventana 10. El periodo de tiempo durante el cual es llevado a cabo el proceso de seguimiento rápido puede ser igual o distinto al periodo de tiempo durante el cual es llevado a cabo el proceso de rastreo.

5 En el paso s20, una vez llevado a cabo el proceso de seguimiento rápido durante un periodo predeterminado de tiempo, el procesador 14 lleva a cabo un así denominado proceso de "seguimiento lento". En esta realización, el proceso de seguimiento lento es igual que los procesos de seguimiento rápido y de rastreo excepto que los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son relativamente pequeños en comparación con los usados durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo. Por ejemplo, puede determinarse empíricamente que un tamaño de paso para el proceso de seguimiento lento es de, por ejemplo, aproximadamente 2 mV. La determinación empírica de los tamaños de paso usados durante la fase del proceso de seguimiento lento tiende ventajosamente a permitir que el proceso de la figura 5 sea implementado usando cualquier componente apropiado, por ejemplo usando partes procedentes de una variedad de diferentes fabricantes. El proceso de seguimiento lento puede ser llevado a cabo durante el tiempo que se desee, por ejemplo mientras el sistema se mantiene operativo.

10 Se proporciona información adicional relativa al proceso de seguimiento lento posteriormente con referencia a la figura 7. El proceso descrito con referencia a la figura 7 puede usarse 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).

15 Básicamente, en esta realización, el proceso de seguimiento lento comprende ajustar continuamente (es decir, aumentar o reducir) la tensión de polarización en pasos relativamente pequeños sobre un periodo de tiempo (por ejemplo, mientras que el láser está activado o encendido) y dependiendo de la salida del comparador de ventana 10. Durante el proceso de seguimiento lento, el comparador de ventana 10 tiende a informar sólo ocasionalmente de que la condición de polarización del modulador es demasiado alta o demasiado baja, si es que lo hace. En otras palabras, durante el proceso de seguimiento lento y para la mayor parte del proceso de seguimiento lento, la salida del comparador de ventana 10 tiende a indicar que la tensión de salida del modulador es adecuada.

20 De este modo, se proporciona una realización del algoritmo de control ejecutado por el procesador 14 para establecer y/o ajustar la tensión de polarización aplicada al modulador.

La figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un proceso de seguimiento o de rastreo a modo de ejemplo. El proceso de la figura 7 puede ser usado 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)

30 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 de ventana 10. La salida recibida del comparador de ventana 10 es una indicación de si la tensión de salida del modulador es demasiado alta, demasiado baja, o aceptable con relación al objetivo de tensión.

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

Si, en el paso s24, la tensión de salida del modulador es demasiado alta, el método pasa al paso s26.

Si, en el paso s24, la tensión de salida del modulador es demasiado alta, el método pasa al paso s28.

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

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

45 Si, en el paso s26, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es positiva, el método pasa al paso s30.

Si, en el paso s26, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa, el método pasa al paso s32.

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

50 Si, en el paso s28, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es negativa, el método pasa al paso s30.

Si, en el paso s28, se determina que la pendiente del gráfico 102 en el punto de polarización es positiva, el método pasa al paso s32.

En el paso s30, el procesador 14 reduce la tensión de polarización suministrada al modulador.

5 Para el proceso de rastreo del paso s8 de la figura 5, el procesador 14 reduce la tensión de polarización en una cantidad relativamente grande, es decir que la tensión de polarización es reducida en un paso relativamente grande. Los pasos en los que el procesador 14 reduce la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes con relación a los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de seguimiento lento.

10 Para el proceso de seguimiento rápido del paso s18 de la figura 5, el procesador 14 reduce la tensión de polarización en una cantidad que es relativamente pequeña en comparación con los pasos en los que 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.

15 Para el proceso de seguimiento lento del paso s20 de la figura 5, el procesador 14 reduce la tensión de polarización en una cantidad relativamente pequeña, es decir que la tensión de polarización es reducida en un paso relativamente pequeño. Los pasos en los que el procesador 14 reduce la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son pequeños con relación a los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo.

Tras el paso s30, el método de la figura 7 pasa al paso s34.

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

20 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 es aumentada en un paso relativamente grande. Los pasos en los que el procesador 14 aumenta la tensión de polarización durante el proceso de rastreo son grandes con relación a los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de seguimiento lento.

25 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 en los que 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.

30 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 es reducida en un paso relativamente pequeño. Los pasos en los que el procesador 14 aumenta la tensión de polarización durante el proceso de seguimiento lento son pequeños con relación a los pasos en los que el procesador 14 ajusta la tensión de polarización durante los procesos de seguimiento rápido y de rastreo.

35 Tras el paso s32, el método de la figura 7 pasa al paso s34.

En el paso s34, el procesador 14 espera durante un periodo predeterminado de tiempo (que por ejemplo puede ser determinado empíricamente) para permitir que el modulador se ajuste a la tensión de polarización aumentada/reducida.

40 En el paso s36, se determina si el periodo de tiempo durante el cual debe ser llevado a cabo el proceso de seguimiento o rastreo de la figura 7 ha terminado o no. En otras palabras, se determina si el proceso de la figura 7 debe finalizar.

Si, en el paso s36, se determina que el periodo de tiempo durante el cual debe ser llevado a cabo el proceso de seguimiento o rastreo de la figura 7 ha terminado, el método finaliza.

45 Sin embargo, si, en el paso s36, se determina que el periodo de tiempo durante el cual debe ser llevado a cabo el proceso de seguimiento o rastreo de la figura 7 no ha terminado, el método vuelve al paso s22, en cuyo punto una nueva salida es recibida por el procesador 14 desde el comparador de ventana 10.

En otras realizaciones, el proceso de seguimiento o rastreo de la figura 7 puede ser llevado a cabo continuamente, y el tamaño del paso para el punto de polarización puede ser ajustado por ejemplo en un temporizador.

50 De este modo, se proporciona un proceso de seguimiento o rastreo a modo de ejemplo que puede ser llevado a cabo en cualquiera de o en todos los pasos s10, s18 y s20 de la figura 5.

Debe observarse que ciertos de los pasos de proceso representados en los diagramas de flujo de las figuras 5 y 7 y descritos anteriormente pueden ser omitidos, o que dichos pasos de proceso pueden ser llevados a cabo en un orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en las figuras 5 y 7. Además, aunque todos los pasos de proceso, por conveniencia y facilidad de comprensión, han sido representados como pasos discretos temporalmente

5 secuenciales, algunos de los pasos de proceso pueden ser llevados a cabo sin embargo de hecho simultáneamente o al menos de forma solapada en el tiempo en alguna medida.

En las anteriores realizaciones, en el paso s6, el procesador busca el punto de polarización más cercano a 0 V explorando la tensión de polarización del modulador en zigzag, empezando en 0 V y con una amplitud gradualmente creciente. En las anteriores realizaciones, se usa una exploración en zigzag simétrico (tal como el mostrado en la figura 6). Por ejemplo, las esquinas de una exploración 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 cercano a 0 V usando un patrón de búsqueda diferente. Por ejemplo, el procesador puede buscar el punto de polarización más cercano a 0 V usando una exploración en zigzag asimétrico.

10

La figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) de un gráfico 104 adicional que muestra la tensión de polarización 20 que puede ser suministrada por el procesador 14 cuando busca el punto de polarización más cercano a 0 V usando una exploración en zigzag asimétrico. Por ejemplo, las esquinas de una exploración en zigzag asimétrico pueden ser: -1 V, +1,5 V, -2 V, +2,5 V, -3 V, +3,5 V, etc. Preferiblemente, se usa un incremento de magnitud de +0,5 V por esquina de la exploración en zigzag asimétrico. Sin embargo, puede usarse cualquier incremento apropiado. Una exploración en zigzag asimétrico tiende a ser más eficiente que una exploración en zigzag simétrico. El número de esquinas que comprende una exploración en zigzag puede ser seleccionado ventajosamente para proporcionar un balance deseado entre la velocidad con la que es encontrado un punto de polarización y la localización del punto de polarización más cercano a 0 V.

15
20

En las realizaciones anteriores, la tensión de polarización es aplicada al modulador por el procesador a través del convertidor DAC y del amplificador. Adicionalmente, el convertidor DAC puede usarse para controlar el intervalo de polarización (es decir, el intervalo de tensión de la tensión de polarización). El amplificador puede actuar de modo que incremente la amplitud general de la tensión de salida desde el convertidor DAC. El amplificador puede actuar también de modo que compense la salida del convertidor DAC de modo que el centro de la escala del convertidor DAC esté en aproximadamente 0 V. Por ejemplo, el convertidor DAC puede tener un intervalo de salida de 0 a 0,5 V. Con un convertidor DAC así, una ganancia de amplificador de x8 y una compensación de entrada de -0,25 V puede obtenerse un intervalo de salida de aproximadamente -4 V a +4 V.

25
30

Opcionalmente, si la salida de la tensión de polarización desde el procesador está situada fuera del intervalo de polarización definido por el convertidor DAC, el controlador de polarización puede realizar una o varias acciones apropiadas.

Por ejemplo, si el intervalo de polarización (definido por el convertidor DAC) es excedido (o un extremo del intervalo de polarización es alcanzado) durante el proceso de búsqueda del punto de polarización más cercano a 0 V, la tensión de polarización puede ser restablecida a 0 V y el proceso de búsqueda puede ser reiniciado.

35

También por ejemplo, si el intervalo de polarización (definido por el convertidor DAC) es excedido (o un extremo del intervalo de polarización es alcanzado) durante el proceso de seguimiento rápido, la tensión de polarización puede ser restablecida a 0 V y el algoritmo de control puede ser reiniciado.

También por ejemplo, si el intervalo de polarización (definido por el convertidor DAC) es excedido (o un extremo del intervalo de polarización es alcanzado) durante el proceso de seguimiento lento, un sistema principal (por ejemplo tal como el que puede ser conectado al procesador como se ha descrito anteriormente) puede recibir una notificación de la situación, y el controlador de polarización puede mantener la tensión de polarización en el extremo del intervalo de polarización. Esta tensión de polarización extrema puede ser mantenida, por ejemplo, hasta que o bien: (i) el sistema principal instruye al controlador de polarización para que restablezca la tensión de polarización a su valor inicial (por ejemplo a 0 V); o bien (ii) el punto de polarización experimenta una deriva de vuelta al intervalo de polarización; o bien (iii) se termina un periodo predefinido de tiempo, en cuyo punto el controlador de polarización restablece 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 sobre un periodo extendido de operación, y así permanecer en un extremo de punto de polarización puede ser una opción aceptable.

40
45
50

En otras palabras, durante el proceso de buscar, o seguir, un punto de polarización, la tensión de polarización puede estar limitada a estar dentro del intervalo de polarización.

Opcionalmente, el controlador de polarización puede avisar al sistema principal cuando la tensión de polarización está cerca de sus límites (es decir, cerca de salirse del intervalo de polarización). Esto tendería ventajosamente a permitir que el sistema principal programe un restablecimiento de la tensión de polarización a su valor inicial, antes de que un restablecimiento así se convierta en esencial.

55

Una tensión de polarización puede ser generada usando un contador o acumulador digital. Tales dispositivos son capaces de seguir una evolución circular, por ejemplo $4095+1=0$ y $0-1=4095$. Esto puede resultar en oscilación entre dos extremos de tensión de polarización. Este problema tiende a ser resuelto ventajosamente limitando el intervalo de polarización como se ha descrito anteriormente.

- 5 En algunas realizaciones, si el láser está desactivado (es decir, está apagado), el controlador de polarización lleva a cabo una acción que depende de historial de estabilidad del modulador. Por ejemplo, si el láser está desactivado, puede ser llevado a cabo el proceso de la figura 9.

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 4 si el láser está desactivado, es decir durante la operación normal.

- 10 En el paso s40, se determina durante cuánto tiempo ha operado el modulador en (o cerca de) su punto de polarización entre que el láser es activado y el láser es desactivado. En otras palabras, se determina durante cuánto tiempo ha sido mantenido el punto de polarización del modulador. Esto puede ser llevado a cabo, por ejemplo, por el procesador 14 del controlador de polarización 4.

- 15 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha operado en (o cerca de) su punto de polarización durante una hora o más, el punto de polarización del modulador puede ser denominado "punto de polarización establecido" para el modulador, y el método pasa al paso s42. En otras realizaciones, puede usarse un intervalo diferente de tiempo (por ejemplo diferente al intervalo de una hora o más) en vez del intervalo de tiempo de una hora o más.

- 20 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha operado en (o cerca de) su punto de polarización durante un tiempo entre 10 minutos y una hora, el punto de polarización del modulador puede ser denominado "punto de polarización recientemente obtenido" para el modulador, y el método pasa al paso s44. En otras realizaciones, puede usarse un intervalo diferente de tiempo (por ejemplo diferente al intervalo entre 10 minutos y una hora) en vez del intervalo de tiempo entre 10 minutos y una hora.

- 25 Si, en el paso s40, se determina que el modulador ha operado en (o cerca de) su punto de polarización durante 10 minutos o menos, el punto de polarización del modulador puede ser denominado "punto de polarización que acaba de ser obtenido" para el modulador, y el método pasa al paso s46. En otras realizaciones, puede usarse un intervalo diferente de tiempo (por ejemplo diferente al intervalo de 10 minutos o menos) en vez del intervalo de tiempo de 10 minutos o menos.

- 30 En el paso s42, el controlador de polarización 4 opera de modo que mantiene la tensión de polarización suministrada al modulador durante un periodo de tiempo relativamente largo. El periodo de tiempo es largo con relación al periodo de tiempo durante el cual sería mantenida 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 es reactivado dentro de este periodo de tiempo largo, el controlador de polarización 4 opera de modo que restablece la tensión de polarización suministrada al modulador (es decir, devuelve la tensión de polarización a 0 V).

- 35 En este caso, el modulador ha estado operando en un punto de polarización establecido durante un periodo de tiempo relativamente largo (es decir una hora o más). Cuando el láser es desactivado, la tensión de polarización para el láser es mantenida durante un periodo de tiempo relativamente largo (es decir 10 minutos). Si el láser es reactivado subsiguientemente en este periodo de 10 minutos, tiende a ser probable que el punto de polarización para el modulador esté en o cerca de la posición del punto de polarización cuando el láser estaba desactivado. De este modo, mantener la tensión de polarización para el modulador durante un periodo de tiempo relativamente largo tiende a resultar en una disponibilidad más rápida de la salida del modulador, y en una menor perturbación del modulador. Esto tiende a minimizar o reducir una deriva futura del punto de polarización del modulador.

- 45 En el paso s44, el controlador de polarización 4 opera de modo que mantiene la tensión de polarización suministrada al modulador durante un periodo de tiempo relativamente corto. El periodo de tiempo es corto con relación al periodo de tiempo durante el cual sería mantenida la tensión de polarización en el paso s42. En esta realización, este 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 es reactivado dentro de este periodo de tiempo corto, el controlador de polarización 4 opera de modo que restablece la tensión de polarización suministrada al modulador (es decir, devuelve la tensión de polarización a 0 V). En otras realizaciones, la tensión de polarización puede ser restablecida a un valor diferente.

- 55 En este caso, el modulador ha estado operando en un punto de polarización recientemente obtenido durante un periodo de tiempo relativamente corto (por ejemplo entre 10 minutos y una hora). Este punto de polarización tiende a no ser tan estable como lo sería si el modulador hubiera estado operando en ese punto de polarización durante más de una hora. Cuando el láser es desactivado, la tensión de polarización para el láser es mantenida durante un periodo de tiempo relativamente corto (por ejemplo 10 segundos). Si el láser es reactivado subsiguientemente en este periodo de 10 segundos, tiende a ser probable que el punto de polarización para el modulador esté en o cerca

de la posición del punto de polarización cuando el láser estaba desactivado. De este modo, mantener la tensión de polarización para el modulador durante un periodo de tiempo relativamente corto tiende a resultar en una disponibilidad más rápida de la salida del modulador, y en una menor perturbación del modulador. Esto tiende a minimizar o reducir una deriva futura del punto de polarización del modulador.

- 5 En el paso s46, el controlador de polarización 4 opera de modo que restablece la tensión de polarización suministrada al modulador (es decir, devuelve la tensión de polarización a 0 V). En otras realizaciones, la tensión de polarización puede ser restablecida a un valor diferente.

10 En este caso, el modulador ha estado operando en un punto de polarización que acaba de ser obtenido durante un periodo de tiempo corto (es decir 10 minutos o menos). Este punto de polarización tiende a no ser particularmente estable, y entonces la tensión de polarización no es mantenida.

15 De este modo, 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 de polarización 4 realiza una acción dependiendo del historial de estabilidad del modulador. El tiempo de mantenimiento para la tensión de polarización (es decir, si la tensión de polarización es mantenida durante un tiempo relativamente largo, un tiempo relativamente corto, o es restablecida) depende del periodo de tiempo durante el cual el modulador ha operado en un punto de polarización. Sin embargo, en otras realizaciones, el tiempo de mantenimiento para la tensión de polarización depende de uno o varios criterios en vez de o adicionalmente a depender del periodo de tiempo durante el cual el modulador ha operado en un punto de polarización. Por ejemplo, el tiempo de mantenimiento podría ser seleccionado también dependiendo de una tasa de cambio reciente de la tensión de polarización. Igualmente, el tiempo de mantenimiento puede ser seleccionado dependiendo de cambios recientes en la temperatura del modulador.

20 En las realizaciones anteriores, una vez ha sido seguido el punto de polarización (por ejemplo usando el proceso de seguimiento lento anteriormente descrito con referencia al paso s20 de la figura 5) durante un periodo extendido de tiempo, este punto de polarización tiende a ser estable. Así, pueden producirse cambios en la tensión de polarización suministrada durante el proceso de seguimiento lento. Sin embargo, en otras realizaciones, una vez que un punto de polarización es estable, la tensión de polarización es ajustada sólo cuando el controlador de polarización es instruido para hacer esto, por ejemplo por el sistema principal.

25 En las realizaciones anteriores, cuando el láser es inicialmente activado (es decir encendido), la potencia de salida puede variar inicialmente (por ejemplo durante unos pocos segundos después de que el láser ha sido activado). Como resultado, la salida del modulador puede variar. El controlador de polarización puede intentar seguir esta variación en la salida del modulador. Sin embargo, en otras realizaciones, no se permiten cambios a la tensión de polarización durante los primeros pocos segundos de operación del láser (por ejemplo si un punto de polarización previo ya está siendo mantenido). Esto puede conseguirse, por ejemplo, en la segunda realización anteriormente descrita mediante el recurso de que el procesador monitoriza las señales procedentes del controlador del láser que indican el estado del láser (es decir que indican si el láser está activado o desactivado). En otras realizaciones, la potencia del láser puede ser monitorizada en la entrada al modulador (por ejemplo por medio de un convertidor analógico-digital o de un circuito diferenciador), y sólo se permite un ajuste del punto de polarización cuando se determina que la potencia del láser es estable.

30 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 la necesidad de ajustar continuamente la tensión de polarización del modulador. Un ajuste continuo así de la tensión de polarización suministrada al modulador puede afectar de forma perjudicial al rendimiento del sistema. La configuración del comparador de ventana para permitir pequeños errores en el establecimiento del punto de polarización puede realizarse usando un circuito amplificador operativo estándar (“opamp”, del inglés “operational amplifier”) en el cual un umbral para el caso en que la salida del modulador es “demasiado alta” (con relación al objetivo de tensión) es establecido una pequeña distancia por encima del caso en que la salida del modulador es “demasiado baja”. En otras palabras, puede haber una “ventana” entre umbrales para los casos en que la salida del modulador es “demasiado alta” y “demasiado baja”. Esta distancia, o ventana, relativamente pequeña puede ser de aproximadamente un 2% de la potencia de salida esperada en cuadratura. Esto tiende ventajosamente a permitir el seguimiento efectivo de un punto de polarización, por ejemplo cuando la salida del modulador es una señal de movimiento rápido. En otras realizaciones, la ventana entre los umbrales para los casos en que la salida del modulador es “demasiado alta” o “demasiado baja” puede ser de diferente tamaño. El tamaño de esta ventana puede ser seleccionado ventajosamente para conseguir un equilibrio entre un nivel de error del 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 ser establecido empíricamente, por ejemplo para intentar optimizar el rendimiento del sistema. En otras realizaciones, el comparador de ventana puede ser reemplazado por un convertidor analógico-digital (ADC, del inglés “Analogue-to-Digital Converter”). La determinación de si la salida del modulador es “demasiado alta” o “demasiado baja” con relación al objetivo de tensión puede ser realizada usando software. El uso de un convertidor ADC así tiende a ser particularmente beneficioso en realizaciones en las que el procesador es un microcontrolador, debido a que los microcontroladores tienen

típicamente convertidores ADC integrados. La digitalización de la determinación de si la salida del modulador es “demasiado alta” o “demasiado baja” con relación al objetivo de tensión tiende ventajosamente a permitir que sean realizados un rastreo y un seguimiento más sofisticados de un punto de polarización usando un algoritmo de control convencional, por ejemplo un controlador proporcional + de integral + de derivada (PID, del inglés “Proportional + Integral + Derivative”).

Una ventaja proporcionada por el sistema y los métodos anteriormente descritos es que la estabilidad del punto de polarización del modulador tiende a ser mejorada. La ventaja tiende a ser proporcionada manteniendo el punto de polarización tan cercano a 0 V como sea posible. Igualmente, la ventaja tiende a ser proporcionada minimizando o reduciendo sustancialmente la cantidad de cambio de tensión a la cual está expuesto el modulador.

10 Los sistemas y métodos anteriormente proporcionados no implementan un tono piloto o una frecuencia de oscilación y por lo tanto no tienden a sufrir de las desventajas anteriormente mencionadas asociadas a dichas características.

El punto de polarización del modulador puede tender a experimentar una deriva con el tiempo. Esto puede deberse a un combinación de factores. Por ejemplo, cambios en temperatura pueden provocar que el punto de polarización experimente una deriva. Igualmente, por ejemplo, efectos electromecánicos (por ejemplo esfuerzos mecánicos aplicados al chip de modulador introducidos por la aplicación de tensión eléctrica a su sustrato piezoeléctrico) pueden provocar que el punto de polarización experimente una deriva. Igualmente, por ejemplo, las tensiones de polarización pueden experimentar una deriva apartándose de 0 V con el tiempo debido a dominios de carga atrapada sobre la superficie del modulador. Igualmente, por ejemplo, debido a un realineamiento de las cargas atrapadas, cualquier cambio escalonado en la tensión de polarización puede resultar en un periodo de deriva del punto de polarización.

Como los moduladores tienden a responder de forma relativamente lenta, el algoritmo de control anteriormente descrito tiende a no tener que ser ejecutado de forma relativamente rápida. Por ejemplo, el algoritmo de control puede ser ejecutado a una velocidad de 8 actualizaciones por segundo. De este modo, ventajosamente, no tiende a haber una necesidad ni de un reloj de alta velocidad ni de uno de alta calidad para ejecutar el algoritmo de control anteriormente descrito. De este modo, tiende a ser posible implementar el algoritmo de control usando, por ejemplo, osciladores incluidos en chip de microcontroladores de bajo coste o un oscilador programable con resistencia que funciona a, por ejemplo, 50 kHz. Ventajosamente, esto tiende a resultar en un consumo de energía relativamente bajo y en un ruido digital reducido.

Ventajosamente, tiende a ser posible reducir o minimizar un riesgo de corrupción de firma o señal ejecutando el circuito anteriormente descrito a una velocidad de reloj muy baja. Además, el riesgo de corrupción de firma o señal también puede ser reducido o minimizado estableciendo comunicación con el convertidor DAC sólo cuando un nuevo valor de salida (es decir una tensión de polarización) debe ser suministrado al modulador.

La carga de procesamiento del algoritmo de control tiende a ser baja. De este modo, tiende a ser posible para múltiples moduladores compartir el mismo procesador. Esto tiende ventajosamente a reducir los requisitos de hardware de un sistema multi-canal.

Ventajosamente, tiende a ser posible fijar temporalmente (es decir bloquear o mantener) la tensión de polarización (es decir mantener la tensión de polarización en un cierto valor). Esto puede ser llevado a cabo por el procesador, por ejemplo en respuesta a una instrucción procedente del sistema principal. Esta característica tiende a ser útil durante procesos de auto-calibración ya que tiende a evitar la adición de errores de fase/amplitud en la salida del modulador.

El sistema y el método anteriormente descritos tienden ventajosamente a evitar la necesidad de una tabla de consulta, o una búsqueda de una salida de modulador máxima. El hardware de control relativamente sencillo establece el punto de polarización con un potenciómetro y monitoriza el punto de polarización con un detector de ventana. Además, el hardware simplificado tiende ventajosamente a hacer que la obtención del punto de polarización operativo sea sustancialmente más rápida de lo que es convencionalmente posible. Por ejemplo, un punto de polarización operativo puede ser encontrado en aproximadamente 2-10 segundos usando el sistema y los métodos anteriormente descritos, en oposición al tiempo desde 30 s a varios minutos que tienden a necesitar dispositivos y procesos convencionales.

En el sistema y dispositivo anteriormente proporcionados, la potencia de salida del modulador puede ser medida desde el puerto de vertido del modulador (es decir un segundo brazo del acoplador de salida). Esto tiende ventajosamente a maximizar la potencia de salida del modulador que está disponible para el sistema principal. Adicionalmente, el fotodiodo de monitorización puede estar integrado en el paquete de modulador en vez de usar una toma óptica externa.

El sistema y los métodos anteriormente descritos tienden ventajosamente a permitir la obtención más rápida del punto de polarización. Igualmente, el sistema y los métodos anteriormente descritos tienden ventajosamente a permitir la reducción o minimización de la deriva del punto de polarización. Igualmente, el sistema y los métodos

anteriormente descritos tienden ventajosamente a permitir la degradación gradual (es decir controlada) de rendimiento cuando se alcanza el extremo del intervalo de control de polarización. Tiende a ser posible evitar esta degradación totalmente por ejemplo avisando al sistema principal cuando se está produciendo un acercamiento al extremo del intervalo de control de polarización de modo que el sistema principal pueda programar un restablecimiento del modulador.

5

Los métodos anteriormente descritos son ventajosamente sencillos. En primer lugar, se establece un objetivo de potencia de salida, correspondiente a polarización de cuadratura. En segundo lugar, cuando el láser está encendido y su salida es estable, comienza la búsqueda de un punto de polarización. Un punto de polarización es encontrado casando la salida del modulador con el objetivo de potencia de salida establecido mediante ajuste de la tensión de polarización. El punto de polarización más cercano a 0 V es localizado. Este punto de polarización tiende a tener el potencial mínimo para experimentar una deriva. Este punto de polarización es encontrando explorando la tensión de polarización en un zigzag gradualmente creciente centrado en torno a 0 V hasta que se alcanza el objetivo de potencia. El punto de polarización encontrado es entonces seguido. Si la tensión de polarización se aproximara al límite de un intervalo de control mientras está siendo seguida, el sistema puede ser restablecido, es decir la tensión de polarización puede ser devuelta a cero y la búsqueda de un punto de polarización puede ser reiniciada. El sistema principal puede recibir un aviso, y se le puede permitir seleccionar cuándo se produce realmente el restablecimiento (para evitar una pérdida de servicio durante operaciones críticas). Si la tensión de polarización alcanzara el límite del intervalo de control, la tensión de polarización puede ser retenida (es decir fijada o mantenida en el valor extremo), permitiendo con ello que el rendimiento RF del sistema se degrade gradualmente. El sistema principal puede recibir la notificación de que el límite de tensión de polarización ha sido alcanzado. Puede permitirse al sistema principal escoger cuándo se produce un restablecimiento. Si el láser fuera desactivado, la tensión de polarización puede ser retenida en su valor actual durante un periodo definido de tiempo. Este periodo definido de tiempo puede depender de cuánto tiempo ha sido mantenido el punto de polarización del modulador (es decir en qué medida es estable el punto de polarización).

10

15

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de control dinámico de polarización para una tensión de polarización (20) correspondiente a un punto de cuadratura de un modulador óptico Mach-Zehnder (MZ) con una entrada de potencia óptica estabilizada y en que el punto de cuadratura puede cambiar con el tiempo, en que el modulador es configurable para ser polarizado por aplicación de la tensión de polarización (20) de tal modo que el modulador opere en cuadratura, en que el método comprende:
- proporcionar un objetivo para la potencia de salida del modulador, en que el objetivo para la potencia de salida del modulador es una potencia de salida correspondiente al modulador operando en cuadratura;
- 10 aplicar, al modulador, una tensión de polarización (20) que tiene un valor inicial;
- tras ello, ajustar la tensión de polarización (20) de tal modo que la potencia de salida del modulador esté dentro de un intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, comparando en un comparador la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida del modulador y o bien:
- 15 (i) empezar en el valor inicial, aumentando y reduciendo de forma alterna la tensión de polarización (20) con una amplitud gradualmente creciente hasta que el comparador cambie de estado; o bien
- (ii) empezar en el valor inicial, reduciendo y aumentando de forma alterna la tensión de polarización (20) con una amplitud gradualmente creciente hasta que el comparador cambie de estado; e
- 20 identificar la tensión de polarización (20) para la que el comparador cambia de estado como una tensión de polarización correspondiente a un punto de cuadratura del modulador óptico.
2. Método según la reivindicación 1, en que el paso (i) o (ii) es realizado explorando la tensión de polarización (20) según un patrón en zigzag.
3. Método según la reivindicación 2, en que el patrón en zigzag es un patrón en zigzag asimétrico.
- 25 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, en que el paso de explorar la tensión de polarización (20) es realizado para identificar el valor para la tensión de polarización (20) que está más cercano al valor inicial y que polariza el modulador de modo que la potencia de salida del modulador esté dentro del intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en que el método comprende además:
- aplicar, al modulador, una tensión de polarización (20) con el valor identificado;
- 30 monitorizar la potencia de salida del modulador; y
- si se determina que la potencia de salida del modulador está fuera del intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, variar adicionalmente el valor de la tensión de polarización (20) para llevar la potencia de salida del modulador de vuelta al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida.
- 35 6. Método según la reivindicación 5, en que el paso de variar adicionalmente el valor de la tensión de polarización (20) para llevar la potencia de salida del modulador de vuelta al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida comprende:
- comparar la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida para determinar si la potencia de salida del modulador es o bien superior o bien inferior al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida;
- 40 determinar una dirección de la pendiente de la potencia de salida del modulador relativa a la tensión de polarización (20) aplicada; y
- dependiendo de la dirección de pendiente determinada y de si la potencia de salida del modulador es o bien superior o bien inferior al intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida, o bien aumentar o bien reducir la tensión de polarización (20) en una cantidad predeterminada.
- 45 7. Método según la reivindicación 6, en que la magnitud de la cantidad predeterminada en la que la tensión de polarización (20) es o bien aumentada o bien reducida depende de cuánto tiempo ha estado operando en cuadratura el modulador.

8. Método según las reivindicaciones 6 ó 7, en que la comparación de la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida es realizada o bien:

usando un comparador de ventana (10); o bien

usando un convertidor analógico-digital y medios de procesamiento digitales.

5 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en que el valor inicial es 0 V.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en que la potencia de salida del modulador está dentro de un intervalo predefinido del objetivo de potencia de salida si la potencia de salida del modulador es sustancialmente igual al objetivo de potencia de salida.

10 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en que el objetivo de potencia de salida es proporcionado por medio de un potenciómetro (12) o un convertidor digital-analógico.

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en que el paso de explorar la tensión de polarización (20) es realizado de modo que la tensión de polarización (20) está limitada a estar dentro del intervalo predefinido de tensión de polarización.

15 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en que el método comprende además, si se determina que una entrada óptica al modulador óptico ha sido desactivada, mantener la tensión de polarización (20) en su nivel actual durante un periodo predeterminado de tiempo, en que el periodo predeterminado de tiempo depende del periodo de tiempo durante el cual ha estado operando en cuadratura el modulador.

20 14. Dispositivo para control dinámico de polarización para una tensión de polarización (20) correspondiente a un punto de cuadratura de un modulador óptico Mach-Zehnder (MZ) con una entrada de potencia óptica estabilizada y en que el punto de cuadratura puede cambiar con el tiempo, en que el modulador es configurable para ser polarizado por aplicación de la tensión de polarización (20) de tal modo que el modulador opera en cuadratura, en que el dispositivo comprende uno o varios procesadores (14) dispuestos para:

aplicar, al modulador, una tensión de polarización (20) que tiene un valor inicial;

25 tras ello, ajustar la tensión de polarización (20) de tal modo que la potencia de salida del modulador esté dentro de un intervalo predefinido de un objetivo para la potencia de salida del modulador, comparando en un comparador la potencia de salida del modulador con el objetivo de potencia de salida del modulador, en que el objetivo de potencia de salida del modulador es una potencia de salida correspondiente al modulador operando en cuadratura; e

30 identificar la tensión de polarización (20) para la que el comparador cambia de estado como una tensión de polarización correspondiente a un punto de cuadratura del modulador óptico; en que

el paso de ajustar comprende o bien

(i) empezar en el valor inicial, aumentando y reduciendo de forma alterna la tensión de polarización (20) con una amplitud gradualmente creciente hasta que el comparador cambie de estado; o bien

35 (ii) empezar en el valor inicial, reduciendo y aumentando de forma alterna la tensión de polarización (20) con una amplitud gradualmente creciente hasta que el comparador cambie de estado.

15. Programa de ordenador o pluralidad de programas de ordenador previsto(s) de tal modo que cuando es (son) ejecutado(s) por un sistema de ordenador provoca(n) que el sistema de ordenador opere de acuerdo con el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

40 16. Medio de almacenamiento legible por máquina que almacena el programa de ordenador o la pluralidad de programas de ordenador según la reivindicación 15.

Fig. 1

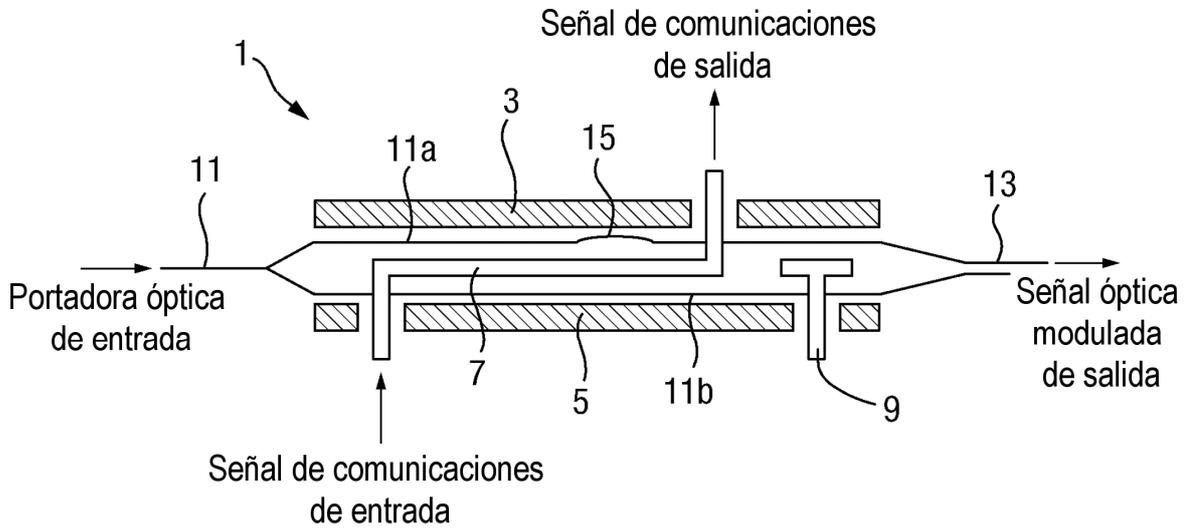


Fig. 2

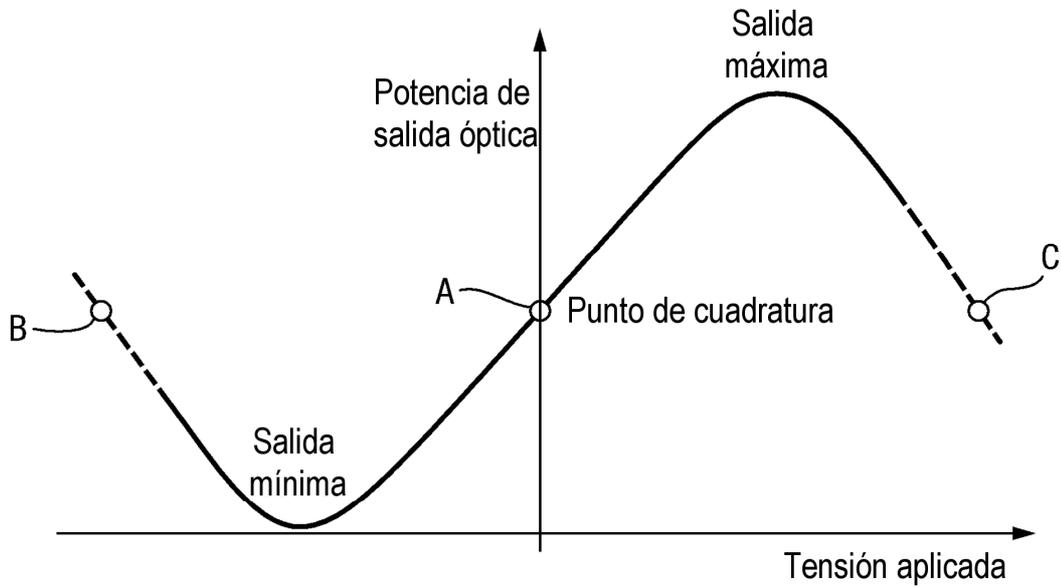


Fig. 3

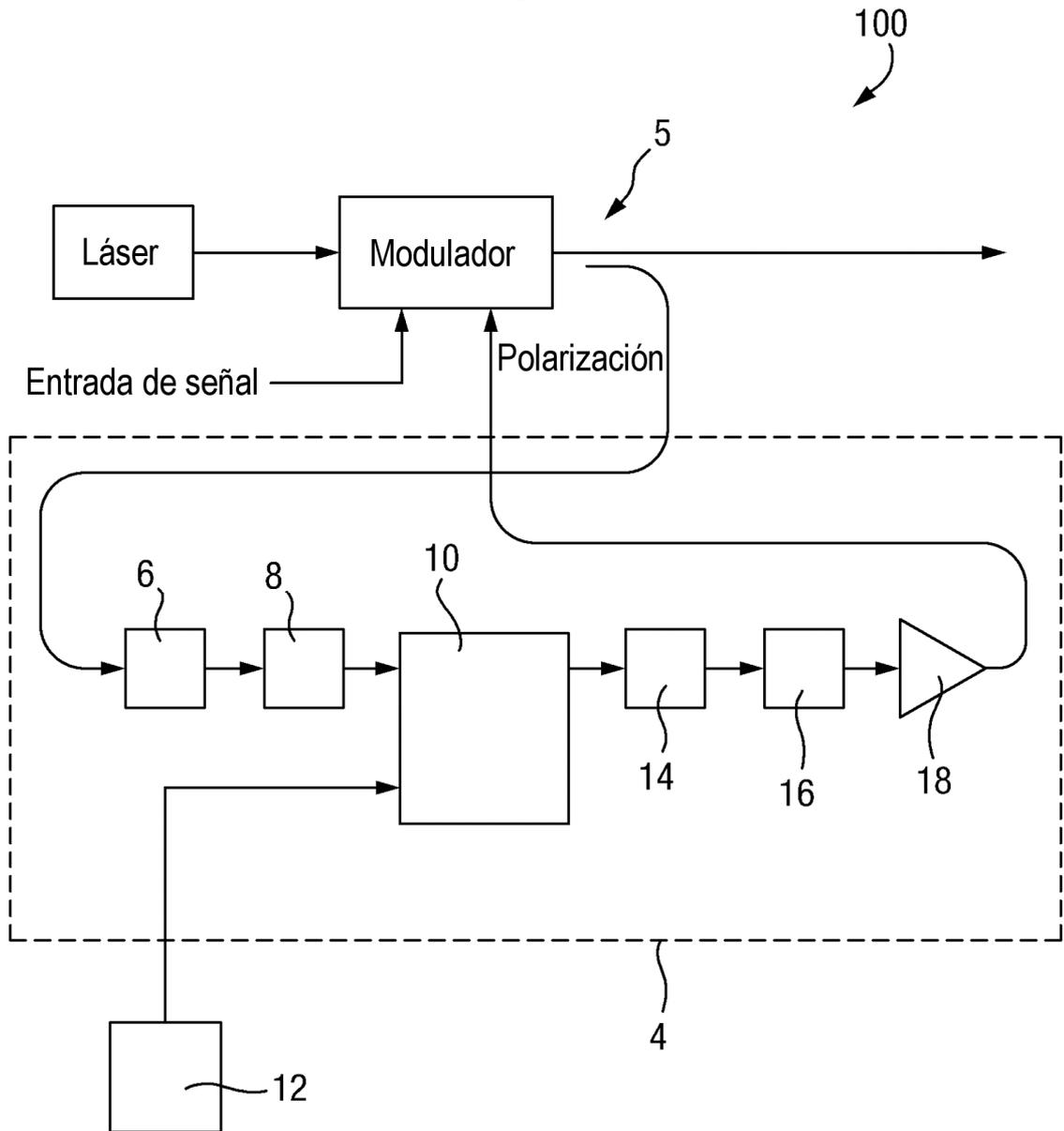


Fig. 4

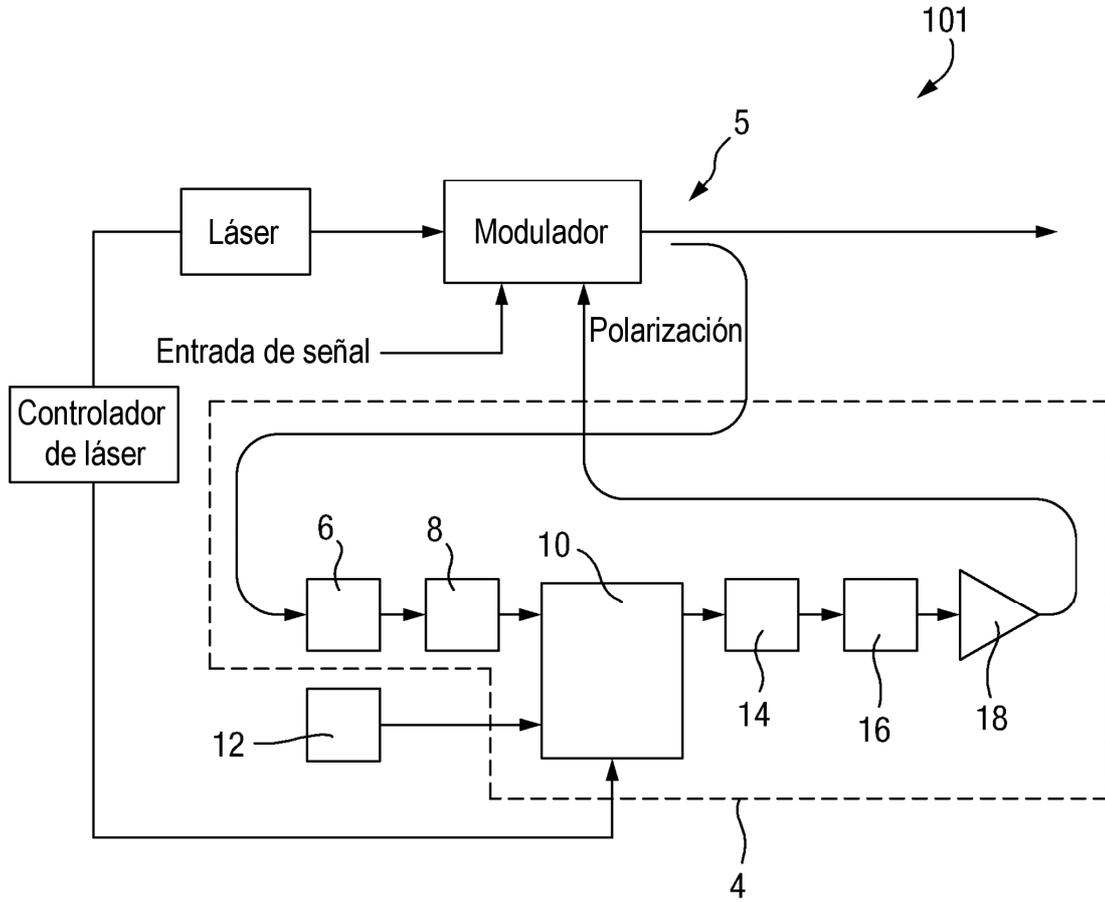


Fig. 5

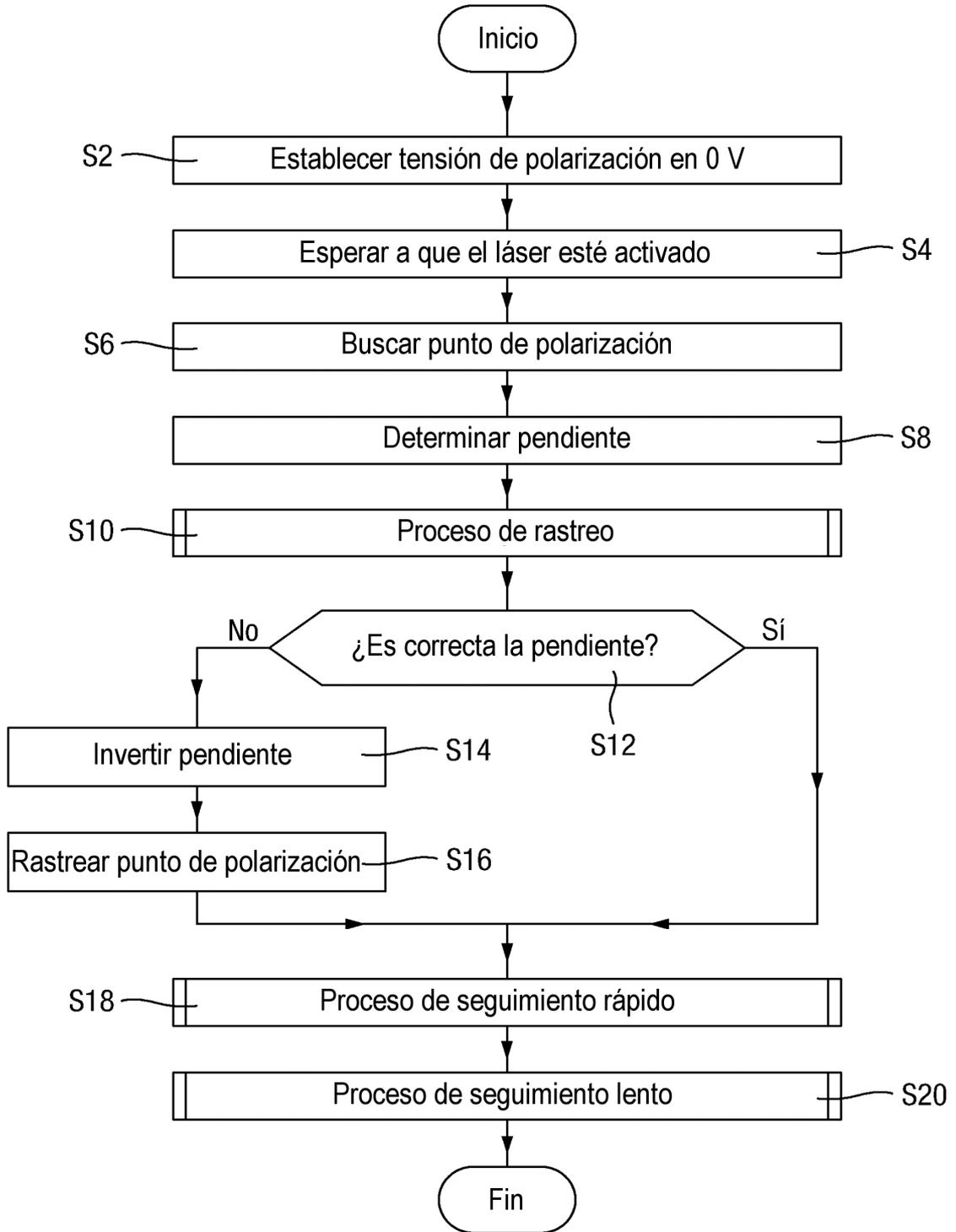


Fig. 6

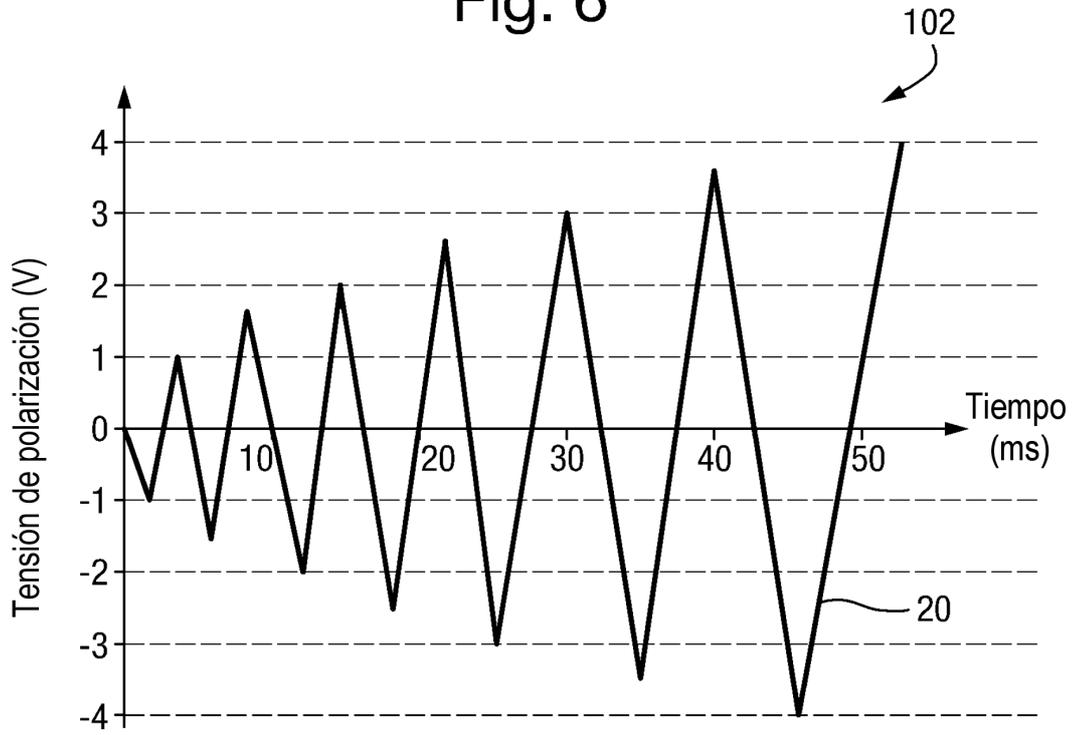


Fig. 8

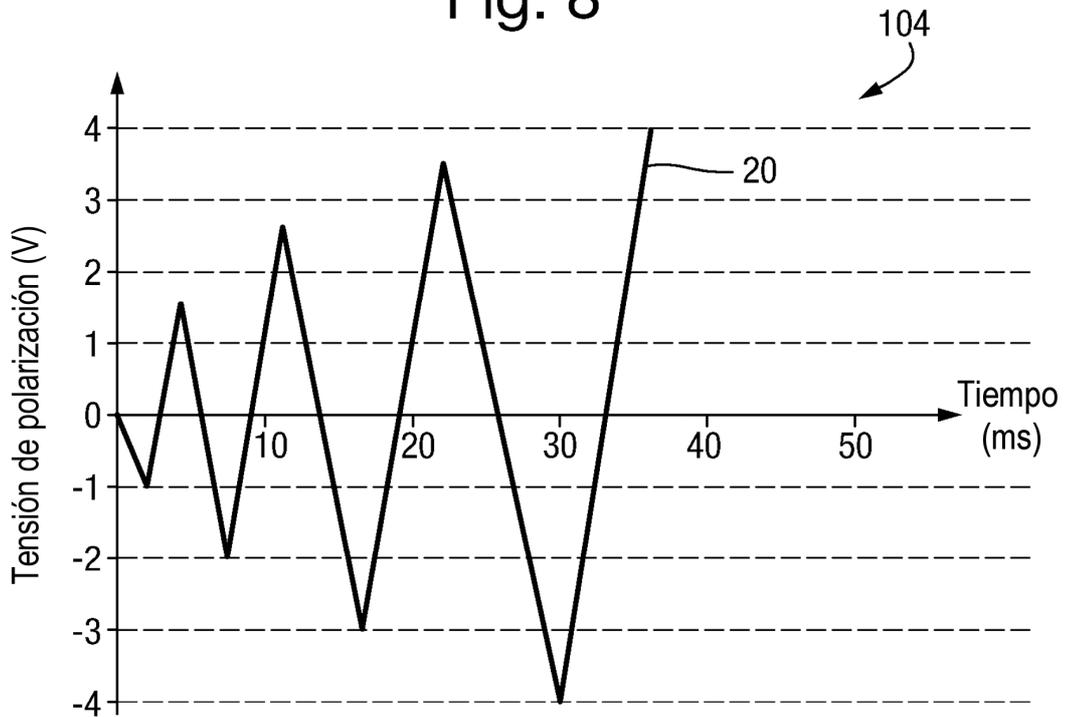


Fig. 7

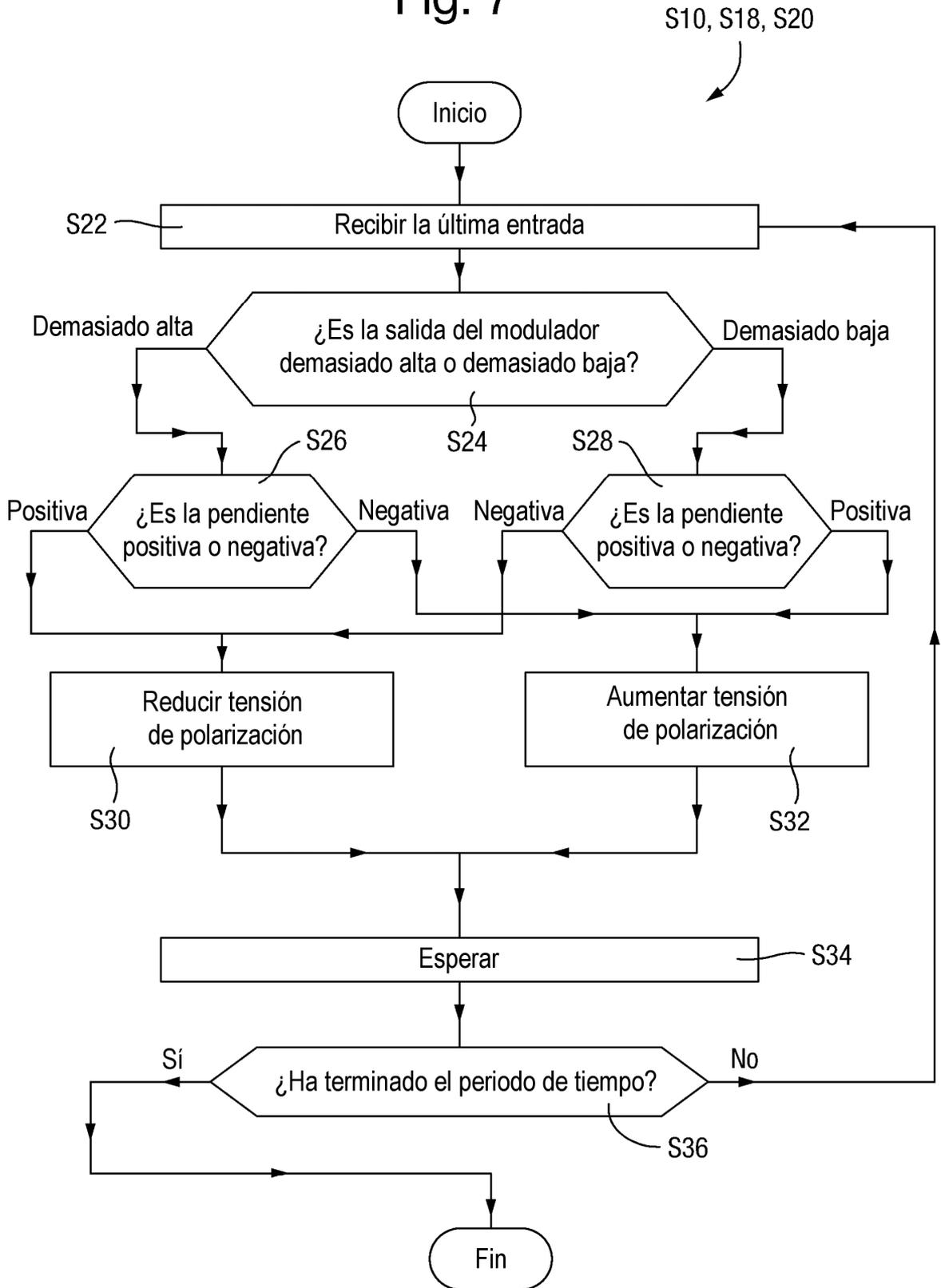


Fig. 9

