

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 175**

51 Int. Cl.:

G02B 6/00 (2006.01)

G02F 1/225 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2016 E 20199613 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024 EP 3796056**

54 Título: **Controlador automático de polarización sin fin para una plataforma de silicio sobre aislante**

30 Prioridad:

31.03.2016 US 201615087449

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.11.2024

73 Titular/es:

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)
Huawei Administration Building, Bantian,
Longgang District
Shenzhen, Guangdong 518129, CN**

72 Inventor/es:

**ZHANG, CHUNSHU;
JIANG, JIA;
GOODWILL, DOMINIC JOHN y
DUMAIS, PATRICK**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 989 175 T3

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

DESCRIPCIÓN

Controlador automático de polarización sin fin para una plataforma de silicio sobre aislante

5 Campo técnico

La presente descripción se refiere de forma general a controladores de polarización para circuitos integrados fotónicos y, más especialmente, a controladores de polarización sin fin para plataformas de silicio sobre aislante (Silicon-On-Insulator - SOI).

10

Antecedentes

Los controladores de polarización óptica son dispositivos para la transformación dinámica del estado de polarización de la luz entrante. Los controladores de polarización se requieren con frecuencia para circuitos integrados fotónicos (Photonic Integrated Circuits - PIC) que funcionan en un solo estado de polarización. Pueden utilizarse componentes de polarización externos para construir un controlador de polarización para un PIC. Sin embargo, la alineación y el ensamblado de múltiples componentes ópticos fuera del chip con respecto a los PIC a menudo requieren mucho tiempo y son costosos.

15

20

Por lo tanto, existe la necesidad de un controlador de polarización económico adecuado para su uso con PIC.

Del documento JP 2011064657 A se conoce un circuito óptico útil en monitores de grado de polarización y que comprende divisores de haz y mezcladores. Del documento US 2009/257706 A1 se conocen circuitos fotónicos integrados que comprenden un procesador de componentes de polarización con acopladores ópticos. Del documento US 2008/031566 A1 se conocen dispositivos de circuitos ópticos con etapas en cascada. Del documento EP 1517462 A2 se conocen dispositivos ópticos que comprenden un compensador de dispersión ajustable. De la contribución "Planar lightwave circuit dispersion equalizer module with polarization insensitive properties" (K. Takiguchi y col.; Electronics Letters, IEE STEVENAGE, GB, vol. 31, n.º 1, 5 de enero de 1995, páginas 57-58) se conoce un módulo ecualizador de dispersión de circuito de onda luminosa plano. Del documento WO 01/67644 A1 se conocen métodos para compensar la dispersión en modo de polarización. Del documento WO 03/036841 A1 se conocen métodos para el ajuste de filtros.

25

30

Resumen

A continuación se presenta un resumen simplificado de algunos aspectos o realizaciones de la invención para proporcionar una comprensión básica de la invención. Este resumen no es una visión general extensa de la invención. No se pretende identificar los elementos clave o críticos de la invención ni delinear el ámbito de la invención. Su único propósito es presentar algunas realizaciones de la invención de forma simplificada como preludeo a la descripción más detallada que se presenta más adelante.

35

40

La presente especificación describe un controlador automático de polarización sin fin para una plataforma fotónica, por ejemplo, una plataforma de silicio sobre aislante. El controlador de polarización proporciona una salida de polarización prevista controlada, por ejemplo, una salida de polarización eléctrica transversal (Transverse Electric - TE), desde una entrada óptica. También se describe un método para proporcionar una salida de polarización prevista controlada, por ejemplo, una salida de polarización eléctrica transversal, desde una entrada óptica en una plataforma fotónica. La presente invención se define en el conjunto adjunto de las reivindicaciones.

45

Un aspecto de la descripción es un controlador de polarización basado en una plataforma fotónica para proporcionar una polarización prevista fija de un haz óptico de entrada que tiene un primer y un segundo componentes de polarización ortogonal. El controlador de polarización incluye un divisor rotador de polarización (Polarization Rotator Splitter - PRS) para dividir el haz óptico de entrada en una primera y una segunda alimentaciones correspondientes al primero y segundo componentes de polarización ortogonal, respectivamente, en donde la primera y la segunda alimentaciones tienen un mismo estado fijo de polarización. El controlador de polarización incluye también un primer cambiador de fase acoplado al PRS para proporcionar un primer retardo de fase óptico entre la primera y la segunda alimentaciones basándose en una primera señal de control, y un primer acoplador óptico 2x2 acoplado al primer cambiador de fase para mezclar la primera y segunda alimentaciones que tienen el primer retardo de fase óptico entre ellas, para proporcionar una tercera y una cuarta alimentaciones. La polarización incluye además un segundo cambiador de fase acoplado al primer acoplador óptico 2x2 para proporcionar un segundo retardo de fase óptico entre la tercera y la cuarta alimentaciones basándose en una segunda señal de control, y un segundo acoplador óptico 2x2 acoplado al segundo cambiador de fase para mezclar la tercera y cuarta alimentaciones que tienen el segundo retardo de fase óptica entre ellas, para proporcionar la quinta y la sexta alimentaciones. El controlador de polarización incluye además un tercer cambiador de fase acoplado al segundo acoplador óptico 2x2 para proporcionar un tercer retardo de fase óptico entre la quinta y la sexta alimentaciones basándose en una tercera señal de control, y un acoplador óptico de salida acoplado al tercer cambiador de fase para mezclar la quinta y sexta alimentaciones que tienen el tercer retardo de fase óptica entre ellas, para proporcionar un haz óptico de salida que tiene la polarización prevista

50

55

60

65

fija. El controlador de polarización también incluye una toma óptica acoplada ópticamente al acoplador óptico de salida para dividir una parte del haz óptico de salida.

Breve descripción de los dibujos

5 Estas y otras características de la descripción resultarán más evidentes a partir de la descripción en la que se hace referencia a los siguientes dibujos adjuntos.

10 La Figura 1 representa un controlador de polarización basado en una plataforma fotónica según al menos algunas realizaciones de la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama de flujo que presenta un resumen general de un método de control.

15 La Figura 3 es un diagrama de flujo que presenta un método de barrido adecuado para el ajuste inicial cuando el sistema está activado.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que muestra etapas adicionales del método de la Figura 3.

20 La Figura 5 representa un diagrama de flujo de un método de escalada con evitación de punto final para mantener un buen rendimiento después del método de barrido inicial de la Figura 3.

La Figura 6 representa un diagrama de flujo que presenta otro método de barrido adecuado para el ajuste inicial cuando el sistema está activado.

25 La Figura 7 es una visualización de un modelo matemático que representa el barrido de la Figura 6.

La Figura 8 es otra visualización del modelo matemático que representa el barrido de la Figura 6.

Descripción detallada de las realizaciones

30 La siguiente descripción detallada contiene, con fines explicativos, numerosas realizaciones, aplicaciones, ejemplos y detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la invención. Sin embargo, es evidente que las realizaciones pueden ponerse en práctica sin estos detalles específicos o con una disposición equivalente. En otros casos, algunas estructuras y dispositivos bien conocidos se muestran en forma de diagrama de bloques para evitar oscurecer innecesariamente las realizaciones de la invención. La descripción no debe limitarse en modo alguno a las ejecuciones ilustrativas, dibujos y técnicas ilustrados a continuación, incluidos los diseños y ejecuciones ilustrados y descritos en la presente memoria, pero puede modificarse dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

40 En la realización ilustrada en la Figura 1, un controlador 1000 de polarización basado en una plataforma fotónica proporciona una polarización prevista fija de un haz óptico 1005 que tiene un primer y un segundo componentes de polarización ortogonal. El controlador 1000 de polarización incluye un divisor rotador 1100 de polarización (PRS) para dividir el haz óptico 1005 en una primera y una segunda alimentaciones 1010, 1020 correspondientes al primer y segundo componentes de polarización ortogonal, respectivamente. La primera y la segunda alimentaciones 1010, 1020 tienen un mismo estado fijo de polarización. El controlador 1000 de polarización incluye una primera etapa 1200 del interferómetro de Mach-Zehnder (Mach-Zehnder Interferometer - MZI) acoplado al PRS 1100 y que comprende un primer cambiador de fase (PS1) 1210 para proporcionar un primer retardo de fase óptico entre la primera y la segunda alimentaciones 1010, 1020 basándose en una primera señal de control CS1, y un primer mezclador 1220, por ejemplo, un acoplador de interferencia multimodo (Multi-Mode Interference - MMI) 2x2, para mezclar la primera y segunda alimentaciones 1010, 1020 con el primer retardo de fase óptica entre ellas, para proporcionar la tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240. El controlador 1000 de polarización también incluye una segunda etapa 1300 de MZI acoplada a la primera etapa 1200 de MZI y que comprende un segundo cambiador de fase (PS2) 1310 para proporcionar un segundo retardo de fase óptico entre la tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240 basándose en una segunda señal de control (CS2), y un segundo mezclador 1320 para mezclar la tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240 con el segundo retardo de fase óptica entre ellas, para proporcionar la quinta y la sexta alimentaciones 1330, 1340. El controlador 1000 de polarización también incluye una tercera etapa 1400 de MZI acoplada a la segunda etapa 1300 de MZI y que comprende un tercer cambiador de fase (PS3) 1410 para proporcionar un tercer retardo de fase óptica entre la quinta y sexta alimentaciones 1330, 1340 basándose en una tercera señal de control (CS3), y un tercer mezclador 1420 para mezclar la quinta y sexta alimentaciones 1330, 1340 que tienen el tercer retraso de fase óptico entre ellas, para proporcionar el haz óptico 1005 que tiene la polarización prevista fija. El controlador 1000 de polarización también incluye una toma óptica 1510 acoplada ópticamente al tercer mezclador 1420 para dividir una parte del haz óptico 1005. Debe tenerse en cuenta que el haz óptico 1005 puede ser guiado o de espacio libre.

65 En este documento y en el resto de la especificación, el término “basado en plataforma fotónica” significa ejecutado en una plataforma fotónica como la plataforma de silicio, la plataforma SOI, la plataforma InP, etc. La plataforma fotónica puede incluir guías de onda y acopladores del PRS 1100, las etapas 1200, 1300 y 1400 de MZI y la toma óptica 1510. De forma ventajosa, el controlador 1000 de polarización puede construirse en una misma plataforma

fotónica que los dispositivos fotónicos que requieren una entrada polarizada, aliviando la necesidad de una alineación óptica precisa de los componentes ópticos externos. Además, debido a la compacidad de un controlador de polarización individual, los conjuntos de controladores 1000 de polarización pueden fabricarse en una misma plataforma fotónica, facilitando de este modo la integración óptica. Para los propósitos de la presente especificación, se utiliza la expresión “etapa de MZI” en vez del término “MZI” porque la etapa de MZI toma prestado (es decir, utiliza) el divisor de entrada del PRS 1100 o de una etapa de MZI anterior.

En la realización representada en la Figura 1, el primer y segundo mezcladores 1220, 1320 pueden ser acopladores de interferencia multimodo (MMI) 2x2. De forma alternativa, el primer y segundo mezcladores 1220, 1320 pueden ser acopladores evanescentes 2x2 o cualquier otro acoplador adecuado. El tercer mezclador 1420 puede ser cualquier acoplador 2x2 o 2x1 adecuado, tal como el acoplador MMI ilustrado a modo de ejemplo en esta figura.

En la realización representada en la Figura 1, el controlador 1000 de polarización incluye además un módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida que incluye un fotodetector acoplado ópticamente a la toma óptica 1510 para proporcionar una señal de fotodetector basada en la parte del haz óptico 1005. En la realización representada en la Figura 1, el controlador 1000 de polarización incluye además un módulo 1600 de determinación de señales de control acoplado al fotodetector y al primer a tercer cambiadores 1210, 1310, 1410 de fase y configurado para proporcionar la primera a tercera señales de control al primer a tercer cambiadores 1210, 1310, 1410 de fase, respectivamente, para aumentar la potencia óptica del haz óptico 1005 basándose en la señal del fotodetector. El módulo 1600 de determinación de señales de control puede configurarse para disminuir gradualmente una señal de control seleccionada de la primera a la tercera señales de control cuando la señal de control seleccionada alcanza un umbral predefinido, al tiempo que ajusta al menos otra de la primera a tercera señales de control para mantener la polarización fija y el nivel de potencia óptica del haz óptico 1005 proporcionado por el tercer mezclador 1420. Esta técnica proporciona un control de polarización sin fin.

En la realización ilustrada de la Figura 1, la primera, segunda y tercera etapas 1200, 1300, 1400 de MZI constituyen un MZI en cascada de tres etapas. En esta realización, el controlador 1000 de polarización tiene solo tres etapas, es decir, carece de una cuarta etapa de MZI en cascada. El diseño que tiene solo tres etapas proporciona un diseño más simple y, al mismo tiempo, proporciona un control de polarización sin fin.

En la realización de la Figura 1, la polarización de salida fija (estática) es la misma polarización que la producida por el divisor 1100 rotador de polarización. Corriente abajo del divisor 1100 rotador de polarización no hay más modificaciones en el estado de polarización de la luz. Después del divisor 1100 rotador de polarización, solo se modifican la fase y la intensidad de la luz.

Se ha observado que la polarización esperada de una salida óptica de un dispositivo de polarización está muy correlacionada con la potencia óptica medible de la salida óptica, donde la potencia óptica máxima medible coincide con la polarización esperada de la salida. Esta correlación se aprovecha, al menos en algunas realizaciones, para obtener a partir de una entrada óptica de polarización desconocida, dos alimentaciones polarizadas correspondientes al primer y segundo componentes de polarización ortogonal que tienen modos espaciales distintos en guías de onda separadas. Los retardos de fase se introducen mediante cambiadores de fase que tienen intervalos de ajuste de, por ejemplo, 0 y 6π , o 0 y 4π , o 0 y 2π . El primer, segundo y tercer cambiadores 1210, 1310, 1410 de fase responden a la primera, segunda y tercera señales CS1, CS2, CS3 de control respectivas (p. ej., corriente o voltaje de accionamiento) para llevar a cabo los cambios de fase respectivos. Si bien un intervalo de ajuste de 2π es el intervalo mínimo que funciona, el uso de un intervalo de 0 a 4π o de 0 a 6π proporciona un intervalo de ajuste mayor. El controlador 1000 de polarización también mide la potencia de salida, como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 1, utilizando el módulo 1500 de medición de potencia de salida sin interrupciones indebidas, por ejemplo, utilizando una toma de acoplamiento direccional óptico como la toma óptica 1510 para extraer una parte del haz óptico 1005, p. ej., una pequeña fracción tal como 1 % o, por ejemplo, menos de 5 %, de la potencia óptica y la dirige hacia un fotodetector en el módulo 1500 de medición de potencia de salida. El módulo 1500 de medición de potencia de salida óptica mide la potencia óptica de la primera salida polarizada TE (p. ej., utilizando un fotodetector). El módulo 1600 de determinación de señales de control determina los valores de la primera, segunda y tercera señales CS1, CS2, CS3 de control, p. ej., valores de voltaje, para obtener la máxima potencia óptica variando secuencialmente cada una de las CS1, CS2 y CS3, p. ej., con un incremento de voltaje ($\Delta V1$), que puede ser positivo o negativo, mientras se mide la potencia óptica de salida utilizando el módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida. En la realización de la Figura 1, la primera, la segunda y la tercera señales CS1, CS2, C3 de control, que son tensiones de corriente continua variables en esta realización, se aplican a los cambiadores de fase para maximizar la potencia de salida y controlar la polarización de la salida óptica. Las señales de control pueden ser cualquier señal de accionamiento, corriente de accionamiento o voltajes de control adecuados. En otras palabras, puede utilizarse otra forma de señal de accionamiento en vez de voltajes, por ejemplo, corriente o potencia, tal como un nivel de corriente continua o un formato de modulación de anchura de impulso. Se ha observado que utilizar uno o dos cambiadores de fase a lo largo de su intervalo respectivo puede no proporcionar constantemente un control adecuado de la polarización de salida, porque en sistemas menos sofisticados se requieren saltos discontinuos en los valores de voltaje para compensar cambios grandes en el estado de polarización de entrada, y estos saltos provocan un fallo o interrupción en la luz de salida. Las realizaciones de la presente invención utilizan tres cambiadores de fase en una alimentación de polarización variable, es decir, una entrada polarizada aleatoriamente. Si bien no parece aumentar la eficacia, podrían

utilizarse potencialmente también cambiadores de fase adicionales en la misma alimentación de polarización variable. Vale la pena insistir en que la polarización de entrada puede ser aleatoria y variable en el tiempo, y en que la variación puede implicar una gran cantidad de bucles alrededor de la esfera de Poincaré. En otras palabras, la polarización de entrada puede producirse en cualquier punto de la esfera de Poincaré. El controlador 1000 de polarización y el método de control convierten un punto aleatorio y variable en el tiempo en la esfera de Poincaré en un punto predeterminado y estático (fijo o de destino) en la esfera de Poincaré, por ejemplo, el punto que corresponde a una polarización de salida TE. Además, independientemente del lugar que trace la polarización de entrada en la esfera a lo largo del tiempo, esta condición siempre puede cumplirse con una precisión predeterminada. El controlador 1000 de polarización puede ejecutarse en una plataforma fotónica, tal como en una plataforma fotónica de silicio sobre aislante (SOI). Por lo tanto, el divisor rotador 1100 de polarización (PRS), las tres etapas 1200, 1300 y 1400 del interferómetro de Mach-Zehnder (MZI), el módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida y el módulo 1600 de determinación de señales de control pueden integrarse en la plataforma SOI para proporcionar un controlador 1000 de polarización basado en una plataforma fotónica. El controlador 1000 de polarización también puede comprender un selector 1700 de salida opcional cuya función se describirá a continuación.

En la realización representada en la Figura 1, los cambiadores PS 1', PS2' y PS3' de fase del brazo inferior del controlador 1000 de polarización se muestran en líneas discontinuas como opcionales, pero no obstante son útiles para duplicar el intervalo de sintonización o para equilibrar la pérdida de inserción. En las realizaciones del controlador 1000 de polarización que incluyen los cambiadores PS1', PS2' y PS3' de fase del brazo inferior, estos están dispuestos dentro de la primera, segunda y tercera etapas 1200, 1300, 1400 de MZI, como se muestra.

El módulo 1600 de determinación de señales de control puede luego proporcionar además las señales CS 1', CS2' y CS3' de control (por ejemplo, valores de voltaje) para maximizar la potencia óptica de salida. Las señales CS1', CS2' y CS3' de control (por ejemplo, valores de voltaje) pueden determinarse utilizando un incremento de voltaje $\Delta V2$, que puede ser o no igual a $\Delta V1$. El selector 1700 de salida opcional puede proporcionar ambas o solo una de la primera y segunda salidas polarizadas TE, de modo que el módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida pueda medir la potencia óptica de uno o ambos brazos del controlador 1000 de polarización. En algunas realizaciones, en las que las señales de control son voltajes aplicados, puede utilizarse un segundo incremento de voltaje ($\Delta V1'$ y/o $\Delta V2'$) para refinar la determinación de los valores de voltaje, como será evidente con referencia particular a las Figuras 2 a 5.

El controlador 1000 automático de polarización sin fin ilustrado a modo de ejemplo en la Figura 1 es compacto, consume poca energía y presenta una baja pérdida de inserción. Además, el controlador 1000 automático de polarización sin fin proporciona una salida polarizada TE fija para cualquier estado de polarización de entrada (State Of Polarization - SOP). Además, el rápido tiempo de respuesta de los cambiadores de fase termoópticos permite un ajuste rápido de la señal de salida. Se sabe que los cambiadores de fase termoópticos tienen un tiempo de respuesta de varios microsegundos, mientras que el estado de polarización en la mayoría de los entornos de despliegue prácticos varía con un tiempo característico de no menos de varios cientos de microsegundos. Por lo tanto, el controlador 1000 de polarización puede reaccionar lo suficientemente rápido como para seguir las variaciones de la polarización de entrada con una alta precisión. Opcionalmente, los cambiadores de fase termoópticos tienen cortes para reducir el consumo de energía y la diafonía térmica, a expensas de la velocidad de seguimiento de la polarización.

Aunque solo dos etapas, p. ej., las etapas 1200, 1300, del controlador 1000 de polarización son suficientes para transformar cualquier estado de polarización en una salida polarizada TE, en los casos en los que la polarización de entrada varíe, el primer o segundo cambiadores 1210, 1310 de fase pueden llegar al final de su intervalo y requerir un reinicio, lo que provoca errores. El controlador 1000 de polarización sin fin incluye un tercer cambiador 1410 de fase (y un tercer acoplador MMI 1420), para lograr un seguimiento de polarización sin fin, de modo que si uno de los tres cambiadores 1210, 1310, 1410 de fase se acerca al final de su intervalo, se restablece gradualmente mientras los otros dos se siguen ajustando, de modo que el estado de polarización de salida pueda mantenerse dentro de una precisión predeterminada de la salida de polarización TE deseada, independientemente de cuánto varíe el estado de polarización de entrada. Cabe señalar que la variación del estado de polarización de entrada se refiere a la variación en todos los puntos de la esfera de Poincaré que representa todas las posibles polarizaciones de la luz, no solo al caso especial de una rotación de polarización lineal.

Otro aspecto de la descripción es un método 2000, representado en la Figura 2, para proporcionar una polarización prevista fija del haz óptico 1005 con un primer y un segundo componentes de polarización ortogonal. El método 2000 implica recibir 2100 un haz óptico 1005 y dividir 2200 el haz óptico 1005 en una primera y una segunda alimentaciones 1010, 1020 correspondientes al primer y segundo componentes de polarización ortogonal, respectivamente, de modo que la primera y la segunda alimentaciones 1010, 1020 tengan un mismo estado fijo de polarización. El método 2000 implica ajustar 2300 un primer retardo de fase óptica entre la primera y segunda alimentaciones 1010, 1020 basándose en una primera señal CS1 de control, es decir, realizar un primer cambio de fase y luego mezclar la primera y segunda alimentaciones 1010, 1020 que tengan el primer retardo de fase óptica entre ellas para proporcionar una tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240. El método 2000 implica ajustar 2400 un segundo retardo de fase óptica entre la tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240 basándose en una segunda señal de control, es decir, realizar un segundo cambio de fase y luego mezclar la tercera y cuarta alimentaciones 1230, 1240 con el segundo retardo de fase óptica entre ellas para proporcionar la quinta y sexta alimentaciones 1330, 1340. El método implica ajustar 2500 un tercer retardo de fase óptica entre la quinta y sexta alimentaciones 1330, 1340 basándose en una tercera señal de control,

es decir, realizar un tercer cambio de fase y luego mezclar la quinta y sexta alimentaciones 1330, 1340 con el tercer retraso de fase óptica entre ellas para proporcionar el haz óptico 1005 con la polarización prevista fija. A continuación, el método 2000 divide (toca) una parte del haz óptico 1005 utilizando una toma óptica 1510 para medir 2600 la potencia óptica de salida de la parte conectada del haz óptico 1005. Basándose en la potencia de salida, el módulo 2700 de determinación de señales de control determina valores nuevos (incrementados o disminuidos) para las señales CS1, CS2, CS3 de control.

La Figura 2 representa por lo tanto un diagrama de flujo de un método 2000 para controlar la polarización de salida de un controlador 1000 de polarización, p. ej., un controlador 1000 de polarización en una plataforma de silicio sobre aislante (SOI), para proporcionar una polarización de interés o "polarización prevista", por ejemplo, una polarización eléctrica transversal (TE) fija. En otra realización, la polarización prevista puede ser una polarización magnética transversal (TM). Como se muestra en la Figura 2, el método implica medir la potencia óptica en la salida para ajustar el controlador 1000 de polarización. En una ejecución específica del método 2000 de la Figura 2, el método realiza un primer cambio 2300 de fase basándose en un primer voltaje de control en un primer cambiador de fase (p. ej., el PS 1 del MZI 1200). El resultado del primer cambiador de fase se cambia 2400 de fase en un segundo cambiador de fase (p. ej., el PS2 del MZI 1300) basándose en un segundo voltaje de control. Del mismo modo, el resultado del segundo cambiador de fase se cambia 2500 de fase en un tercer cambiador de fase (p. ej., la PS3 del MZI 1400) basándose en un tercer voltaje de control. En esta ejecución específica del método 2000, el primer voltaje, el segundo voltaje y el tercer voltaje se determinan 2700 variando secuencialmente cada una de las DC1, DC2 y DC3 con un incremento de voltaje mientras se mide 2600 la potencia óptica de salida.

En algunas realizaciones del método, la etapa 2700 de determinación puede implicar determinar señales CS1', CS2' y CS3' de control para la segunda alimentación polarizada TE. En ese caso, el método puede incluir una etapa de selección entre las dos salidas (p. ej., utilizando el selector 1700 de salida).

El proceso de determinación de los valores de la señal CS1, CS2, CS3 de control puede hacerse de la siguiente forma. Si CS1, CS2, CS3 representan teóricamente un espacio tridimensional, el proceso implica en general una primera etapa de utilizar un tamaño de etapa grueso para escanear todo el espacio tridimensional para identificar el punto que tiene la potencia de salida más alta. Esto encuentra los parámetros de configuración gruesos. El proceso implica luego una segunda etapa de utilizar un tamaño de etapa fino para barrer la región del espacio tridimensional cercana a los parámetros de configuración gruesos. La segunda etapa se repite para mantener el funcionamiento del controlador automático 1000 de polarización sin fin hasta que la segunda etapa falle, en cuyo caso el proceso vuelve a la primera etapa. En pseudocódigo, el barrido del espacio tridimensional puede hacerse de la siguiente forma:

```

Definir un incremento para CS1, CS2, CS3
Para CS1 = ajuste mínimo a ajuste máximo
  Incremento CS1
Para CS2 = ajuste mínimo a ajuste máximo
  Incremento CS2
Para CS3 = ajuste mínimo a ajuste máximo
  Incremento CS3
  Medir la señal de salida actual
  Si la señal de salida actual > mejor señal de salida, entonces
    mejor señal de salida = señal de salida anterior
    mejor CS1, CS2, CS3 = CS1, CS2, CS3
  Siguiente CS3
  Siguiente CS2
  Siguiente CS1
  Si la mejor señal de salida >= señal de salida deseada, entonces
    Estado de entrenamiento = aprobado
  Aplicar mejores CS1, CS2, CS3 al aparato
  Si no, estado de entrenamiento = fallido
    
```

La Figura 3 representa un diagrama de flujo de otro proceso para realizar la etapa 2700 de determinación en el método 2000, donde el intervalo de posibles valores de señal de control (CS) (que corresponden al intervalo de cambio de fase) se barre para cada uno de los cambiadores PS1, PS2, PS3 de fase utilizando un incremento dado. En el ejemplo de la Figura 3, los valores de la primera, segunda y tercera señales CS1, CS2, CS3 de control se establecen 3100 inicialmente en un valor más bajo posible mediante el módulo 1600 de determinación de señal de control. Los expertos entenderán que puede seleccionarse otro valor inicial siempre que se haga un barrido del intervalo de valores. Por

defecto, los valores de CS de destino para obtener la polarización esperada corresponden inicialmente al valor más bajo posible y la medición de potencia inicial se mide en consecuencia.

5 Primero se selecciona el primer cambiador 3150 de fase ($X = 1$). A continuación, se realiza un bucle para cada uno de los cambiadores de fase $X = 1$ a 3. A menos que se alcance 3200 el valor más alto posible para CS1, la potencia óptica se mide 3300, la CSX de destino se actualiza 3400 y la CSX se incrementa 3500. Cuando la potencia medida es mayor que una medición de potencia medida anteriormente, se actualiza la CSX de destino. De lo contrario, el valor de destino de CSX permanece sin cambios. El CSX se incrementa 3500 luego por el incremento. El bucle vuelve a 10 3200 y, a continuación, se repiten 3300 a 3500 a menos que se alcance el valor más alto posible para CS1. A continuación, X se incrementa 3600 hasta el número máximo de cambiadores de fase, de modo que el bucle 3200 a 3500 se repite para el siguiente cambiador de fase. Las etapas 3100, 3150, 3200, 3400, 3500 y 3600 pueden realizarse mediante el módulo 1600 de determinación de señales de control. La etapa 3300 puede ser realizada por el módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida.

15 La Figura 4 representa algunas etapas adicionales opcionales que pueden realizarse en torno a los valores de destino de CSX obtenidos del método de ejemplo de la Figura 3. Como se muestra en la Figura 4, un intervalo que tenga una anchura igual al incremento anterior puede barse utilizando un incremento refinado. Específicamente, para $X = 1$ a 3, el valor de destino inicial de CSX se establece en el valor de destino de CSX reducido a la mitad del incremento 4100 utilizado anteriormente. X se establece inicialmente en 1 en la operación 4150. A menos que CSX' supere (operación 4200), el CSX de destino aumentado en la mitad del incremento utilizado anteriormente, se mide 4300 una nueva potencia de salida, la CSX' de destino se actualiza 4400 y la CSX' se incrementa 4500. Cuando la potencia medida es un aumento en comparación con el valor medido anteriormente, el valor de destino de CSX se registra 4400. A continuación, la CSX' se incrementa por el incremento refinado 4500 y, a continuación, se repite 4200 a 4500, a menos que CSX' supere la CSX de destino aumentada en la mitad del incremento utilizado anteriormente. A 25 continuación, X se incrementa hasta que se alcanza 4500 el número total de cambiadores de fase.

En la Figura 4, la etapa 2700 de determinación de nuevos valores de CSX busca mejorar el resultado de la polarización independientemente del valor de CSX inicial. Esta etapa 2700 de determinación puede entenderse como un método de escalada con evitación del final de intervalo. A partir de un valor inicial se intenta mejorar el resultado de la polarización alrededor del valor de CS actual (+ y -), para cada uno de los cambiadores de fase. Las etapas 4100, 4150, 4200, 4400, 4500 y 4600 pueden realizarse mediante el módulo 1600 de determinación de señales de control. La etapa 4300 puede ser realizada por el módulo 1500 de medición de potencia óptica de salida.

35 En un método alternativo representado en la Figura 5, para un primer cambiador de fase ($X = 1$) 5150, se registra 5100 primero una medición de potencia de salida inicial. Si el valor de CSX está cerca del límite del intervalo (5200), el valor de CSX se desvía del límite 5300 en un valor determinado (es decir, hacia el centro del intervalo). Si el valor de CSX está demasiado cerca del límite puede determinarse mediante una medida relativa (p. ej., un porcentaje con respecto al límite del intervalo, como el 10 % de la anchura del intervalo) o utilizando un valor absoluto (p. ej., más que $\Delta V'$). De lo contrario (es decir, el valor de CSX no está cerca del límite), la CSX de destino se reduce en un cierto valor 5310 (p. ej., $\Delta V'$) que representa una fracción de la anchura del intervalo (p. ej., 1 %). Se toma una medición 5312 de potencia en CSX - $\Delta V'$. Del mismo modo, la CSX de destino se incrementa $\Delta V'$ 5320 y se toma una medición 5322 de potencia en CSX + $\Delta V'$. En algunas realizaciones, solo se lleva a cabo primero uno de los incrementos o disminuciones $\Delta V'$ (no mostrado) y el otro se lleva a cabo solo cuando la potencia 5312 o 5322 medida no supone una mejora con respecto al valor registrado en 5100. En tal caso, puede priorizarse una disminución o un aumento de $\Delta V'$ teniendo en cuenta la distancia desde el límite de intervalo más cercano (no mostrado). Además, la disminución y el aumento pueden utilizar valores de incremento distintos (p. ej., $\Delta V'$ y $\Delta V''$). Aunque se cree que es mejor utilizar un único valor ΔV o $\Delta V'$, los distintos cambiadores de fase también pueden tener distintos valores de incremento. Cuando la potencia medida 5322 o 5312 supone un aumento en comparación con el valor registrado en la operación 5100, el CSX de destino se actualiza 5400. Las etapas 5100 a 5400 se realizan entonces para el siguiente cambiador 5500 de fase (incremento X hasta = 3). En algunas realizaciones, el método puede implicar esperar 5600 para recibir una señal de reloj antes de repetir el proceso 2700 de determinación mostrado en la Figura 5. Las etapas presentadas en la Figura 5 pueden realizarse mediante el módulo 1600 de determinación de señales de control, excepto para las etapas 5312 y 5322, que pueden realizarse mediante el módulo de medición de potencia óptica 1500 de salida.

55 En otra realización del procedimiento de escalada (no ilustrado), cuando se recibe un reloj cíclico, se determina si el cambiador de fase está cerca del máximo. En tal caso, la configuración del cambiador de fase disminuye y el análisis se realiza para el siguiente cambiador de fase. De lo contrario, se determina si el cambiador de fase está cerca del mínimo. En tal caso, la configuración del cambiador de fase aumenta y el análisis se realiza para el siguiente cambiador de fase. De lo contrario, se registra un valor de medición de potencia original de la señal de salida. A continuación, se aumenta el ajuste del cambiador de fase y se realiza una medición. Si la medición es mejor que el valor registrado, se mantiene el nuevo ajuste. Si no, el ajuste del cambiador de fase se reduce dos veces (es decir, equivalente a disminuir una vez en la dirección opuesta) y se toma una nueva medición. Si la nueva medición es mejor que el valor registrado, se mantiene el último ajuste. Si no, la configuración del cambiador de fase aumenta (es decir, vuelve al valor original) y se analiza el siguiente cambiador de fase. En el método descrito anteriormente, "cercano" significa que el valor en cuestión está dentro del 10 % del intervalo máximo ajustable. Sin embargo, se apreciará que pueden utilizarse otros valores en otros casos.

En pseudocódigo, el procedimiento de escalada puede escribirse como:

```

incremento de fase = intervalo de cambiador de fase/100
Repetir para siempre {
  Para cada cambiador de fase {
    Si el ajuste del cambiador de fase está dentro del 10% del máximo, disminuir ajuste
    de cambiador de fase
    Si no, si el cambiador de fase está dentro del mínimo de 10%, incremente el cambiador de fase
    Si no {** intentar escalada
      Señal de salida original = señal de salida leída
      Ajuste original del cambiador de fase = configuración actual del cambiador de fase
      Aumentar ajuste del cambiador de fase
      Si la señal de salida es peor que la señal de salida original, el {
        Disminuir dos veces el ajuste de cambiador de fase
        Si la señal de salida es peor que la señal de salida original, entonces {
          ajuste de cambiador de fase = ajuste original de cambiador de fase? ** Dar un paso
          lo empeoró. Volver a ajuste original.
        }
      }
    }
  }
}

```

5 Cabe señalar que el método de barrido de la Figura 3 es opcional. El método de escalada de la Figura 5 también puede utilizarse para un arranque en frío, es decir, para inicializar o poner en marcha el sistema.

10 La Figura 6 presenta un método para escanear un espacio tridimensional para el ajuste inicial cuando se activa el sistema. En el pseudocódigo, este método procede como sigue, donde DC1, DC2 y DC3 representan las señales de control en forma de tres corrientes de accionamiento:

```

15 Definir un incremento para DC1, DC2, DC3
    Para DC1 = ajuste mínimo a ajuste máximo Incremento DC 1
    Para DC2 = ajuste mínimo a ajuste máximo Incremento DC2
20    Para DC3 = ajuste mínimo a ajuste máximo Incremento DC3
        Medir la señal de salida actual
        Si hay señal de salida > entonces mejor señal de salida
25        mejor señal de salida = señal de salida anterior
        mejor DC1, DC2, DC3 = DC1, DC2, DC3
30    Siguiendo DC3
        Siguiendo DC2
35    Siguiendo DC1

```

40 Como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 6, el método implica una etapa 6010 para establecer el DC1, DC2, DC3 en el valor más bajo posible. En la etapa 6020, la mejor potencia de salida se establece en cero. En la etapa 6030, los mejores valores de DC1, DC2, DC3 se establecen para que sean iguales a los valores de DC1, DC2 y DC3 actuales. En la etapa 6040, se mide la potencia de salida actual. Si la potencia de salida actual es mayor que la mejor potencia de salida (etapa 6050 de decisión), la DC3 se incrementa por el incremento de DC3 en la etapa 6080. Si no,

la mejor potencia de salida se establece para que sea igual a la potencia de salida actual (en la etapa 6060) y los mejores valores de DC1, DC2 y DC3 se establecen para que sean iguales a los valores actuales de DC1, DC2 y DC3 (en la etapa 6070). Hasta que DC3 alcance un valor de DC3 más alto posible (en la etapa de decisión 6100), las operaciones se repiten volviendo a la etapa 6040 como se muestra. Una vez alcanzado el DC3 más alto, las operaciones pasan a la etapa 6120 en la que el DC2 se incrementa por el incremento de DC2. Hasta que DC2 alcance el DC2 más alto posible (en la etapa 6140 de decisión), las operaciones anteriores se repiten volviendo a la etapa 6040. Una vez que se alcanza el DC2 más alto, el método continúa aumentando el DC1 por el incremento de DC1 (en la etapa 6160). Hasta que DC1 alcance el valor de DC1 más alto posible (en la etapa 6180 de decisión), las operaciones anteriores se repiten como se muestra volviendo a la etapa 6040.

En la Figura 7 y en la Figura 8 se representa una ilustración matemática del proceso de barrido de los valores de DC1, DC2 y DC3. Estas cifras ilustran el lugar de los puntos (DC1, DC2, DC3) que producen una potencia de salida de al menos 0,997 (99,7 %) de la potencia de salida máxima posible para un estado de polarización de entrada dado. En la Figura 7, la fracción de potencia de entrada en el componente X es 0,18 y el cambio de fase relativo entre los componentes de entrada X e Y es -0,41. En la Figura 8, la fracción de potencia de entrada en el componente X es 0,32 y la fase relativa entre los componentes X e Y de entrada es 0,89. A partir de las Figuras 7 y 8, se hacen las siguientes observaciones. En primer lugar, el lugar de máxima potencia de salida es una espiral alrededor de una línea que es paralela al eje de DC1. La lateralidad de la espiral depende de si la fracción de potencia óptica en la entrada X es mayor o menor que 0,5. La sección transversal de la espiral es un círculo pequeño cuando la relación de potencia es cercana a 0 o cercana a 1. La sección transversal de la espiral es un círculo cuadrado grande cuando la relación de potencia es cercana a 0,5. En segundo lugar, para que el controlador de polarización funcione adecuadamente, el intervalo de ajuste mínimo para DC1 y DC2 es un cambio de fase de 2π , pero para DC3 es un cambio de fase de π .

El método descrito anteriormente permite un controlador 1000 de polarización sin fin automático para una plataforma SOI. El controlador automático 1000 de polarización sin fin convierte cualquier polarización de entrada o SOP (estado de polarización) en una salida polarizada TE fija siguiendo la potencia óptica en los puertos de salida. La potencia óptica puede medirse mediante un fotodiodo integrado en un chip. Un circuito de control de retroalimentación en el chip puede proporcionar el seguimiento y control automáticos. Este controlador 1000 automático de polarización sin fin puede seguir y ajustar rápidamente la polarización en respuesta a una entrada óptica que tiene un SOP variable en el tiempo. El controlador 1000 de polarización también muestra pérdida de inserción baja, p. ej. $< -1,6$ dB en la banda C), bajo consumo de potencia y baja diafonía térmica. De forma ventajosa, el controlador 1000 de polarización no requiere un detector de fase, un detector de SOP ni un polarímetro.

Debe entenderse que las formas singulares “un”, “uno” y “el” incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Por lo tanto, por ejemplo, la referencia a “un dispositivo” incluye la referencia a uno o más de dichos dispositivos, es decir, que hay al menos un dispositivo. Los términos “que comprende”, “que tiene”, “que incluye”, “que implica” y “que contiene”, o las variantes en tiempo verbal de los mismos, deben interpretarse como términos abiertos (es decir, que significan “que incluye, aunque no de forma limitativa”), a menos que se indique lo contrario. Todos los métodos descritos en la presente memoria pueden llevarse a cabo en cualquier orden adecuado a menos que se indique lo contrario en la presente memoria o a menos que el contexto lo contradiga claramente. El uso de ejemplos o lenguaje ilustrativo (p. ej., “tal como”) pretende simplemente ilustrar o describir mejor las realizaciones de la invención y no pretende limitar el ámbito de la invención a menos que se afirme lo contrario.

Si bien se han proporcionado varias realizaciones en la presente descripción, debe entenderse que los sistemas y métodos descritos podrían incorporarse de muchas otras formas específicas sin apartarse del alcance de la presente descripción. Los presentes ejemplos deben considerarse ilustrativos y no restrictivos, y la intención no se limita a los detalles ofrecidos en la presente memoria. Por ejemplo, los diversos elementos o componentes se pueden combinar o integrar en otro sistema o se pueden omitir o no implementarse determinadas características.

Además, las técnicas, sistemas, subsistemas, y métodos descritos e ilustrados en las diversas realizaciones como discretos o separados se pueden combinar o integrar con otros sistemas, módulos, técnicas o métodos sin apartarse del alcance de la presente descripción. Otros elementos mostrados o explicados como acoplados o acoplados directamente o que se comunican entre sí pueden acoplarse indirectamente o comunicarse a través de alguna interfaz, dispositivo o componente intermedio, ya sea de forma eléctrica, mecánica u otra. Un experto en la técnica puede determinar otros ejemplos de cambios, sustituciones y alteraciones y podrían realizarse sin apartarse de los conceptos de la invención descritos en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un controlador (1000) de polarización basado en una plataforma fotónica para proporcionar una polarización fija prevista de un haz óptico (1005) de entrada que tiene un primer y un segundo componentes de polarización ortogonal, comprendiendo el controlador (1000) de polarización:
- un divisor rotador de polarización (PRS) para dividir el haz óptico (1005) de entrada en una primera y una segunda alimentaciones (1010, 1020), respectivamente, en donde la primera y la segunda alimentaciones (1010, 1020) tienen un mismo estado fijo de polarización;
- un primer cambiador (1210) de fase acoplado al PRS para proporcionar un primer retardo de fase óptico entre la primera y la segunda alimentaciones (1010, 1020) basándose en una primera señal de control, y un primer mezclador (1220) acoplado al primer cambiador (1210) de fase para mezclar la primera y segunda alimentaciones (1010, 1020) que tienen el primer retardo de fase óptico entre ellas, para proporcionar dos señales de salida;
- un segundo cambiador (1310) de fase acoplado al primer mezclador (1220) para proporcionar un segundo retardo de fase óptico para una señal recibida basándose en una segunda señal de control, y un segundo mezclador (1320) acoplado al segundo cambiador (1310) de fase y al primer mezclador (1220), y el segundo mezclador (1320) configurado para mezclar una señal de salida del segundo cambiador de fase óptico y otra señal recibida del segundo mezclador (1320) que tiene el segundo retardo de fase óptica entre ellos, para proporcionar al menos un haz óptico (1005),
- un tercer cambiador (1410) de fase acoplado al primer mezclador (1220) para proporcionar un tercer retardo de fase óptico entre las dos señales de salida basándose en una tercera señal de control, y un tercer mezclador (1420) acoplado al tercer cambiador (1410) de fase y al primer mezclador (1220), y el tercer mezclador (1420) configurado para mezclar una señal de salida del tercer cambiador (1410) de fase óptico y otra señal recibida del tercer mezclador (1420), con el tercer retardo de fase óptica entre ellos, para proporcionar al menos un haz óptico (1005) al segundo mezclador (1320).
2. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 1, que comprende además: una toma óptica (1510) acoplada ópticamente al segundo mezclador (1320) que es un acoplador óptico de salida para dividir una parte del al menos un haz óptico (1005).
3. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 2, que comprende además:
- un fotodetector acoplado ópticamente a la toma óptica (1510) para proporcionar una señal de fotodetector basada en la parte del haz óptico (1005).
4. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 3, que comprende además:
- un módulo de control acoplado al fotodetector y al primer a tercer cambiadores (12010, 1310, 1410) de fase y configurado para proporcionar la primera a tercera señales de control al primer a tercer cambiadores (1210, 1310) de fase, respectivamente, para aumentar la potencia óptica del haz óptico basándose en la señal del fotodetector.
5. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 4, en donde el módulo de control está configurado para disminuir gradualmente una señal de control seleccionada de la primera y segunda a la tercera señales de control cuando la señal de control seleccionada alcanza un umbral predefinido, al tiempo que ajusta al menos una de la primera y segunda a una tercera señales de control para mantener la polarización fija prevista y el nivel de potencia óptica del haz óptico proporcionado por el segundo mezclador (1320).
6. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 4 o 5, en donde el módulo de control está configurado para determinar los parámetros de ajuste gruesos para la primera a tercera señales de control barriendo utilizando un tamaño de etapa grueso.
7. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 6, en donde la determinación de la primera a tercera señales de control comprende barrer utilizando una etapa fina cerca de los parámetros de configuración gruesos.
8. El controlador (1000) de polarización de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el primer mezclador (1220) comprende un acoplador óptico 2x2, y el segundo mezclador (1320) comprende un acoplador óptico 2x1.
9. El controlador (1000) de polarización de la reivindicación 8, en donde los acopladores ópticos 2x2 y 2x1 comprenden cada uno un acoplador óptico de interferencia multimodo.

ES 2 989 175 T3

10. El controlador (1000) de polarización de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde la señal de salida del segundo mezclador (1320) tiene la polarización prevista fija.
- 5 11. El controlador (1000) de polarización de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la plataforma fotónica comprende silicio sobre un aislante.
12. El controlador (1000) de polarización de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la polarización prevista es una polarización eléctrica transversal.
- 10 13. El controlador (1000) de polarización de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el tercer mezclador (1420) comprende un acoplador óptico 2x2.

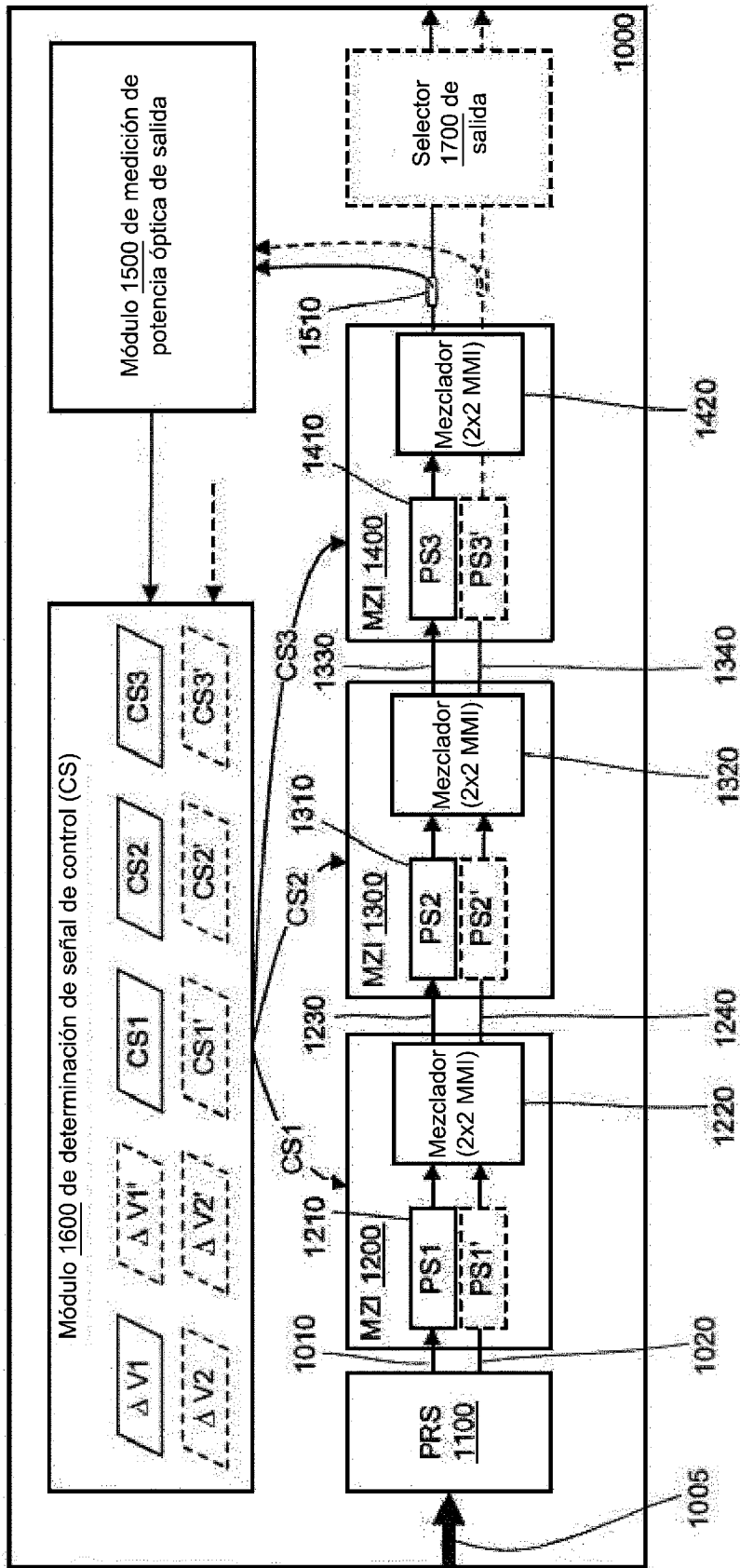
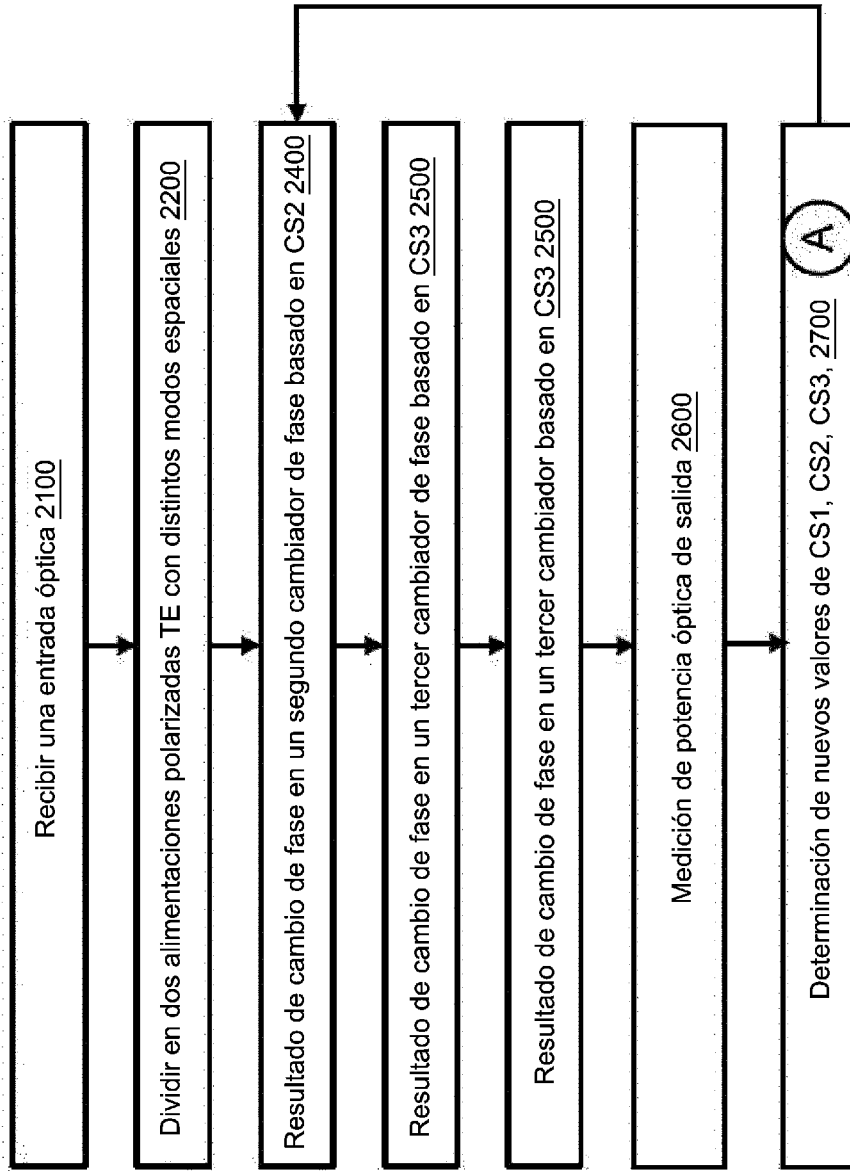


Figura 1

2000



B

Figura 2

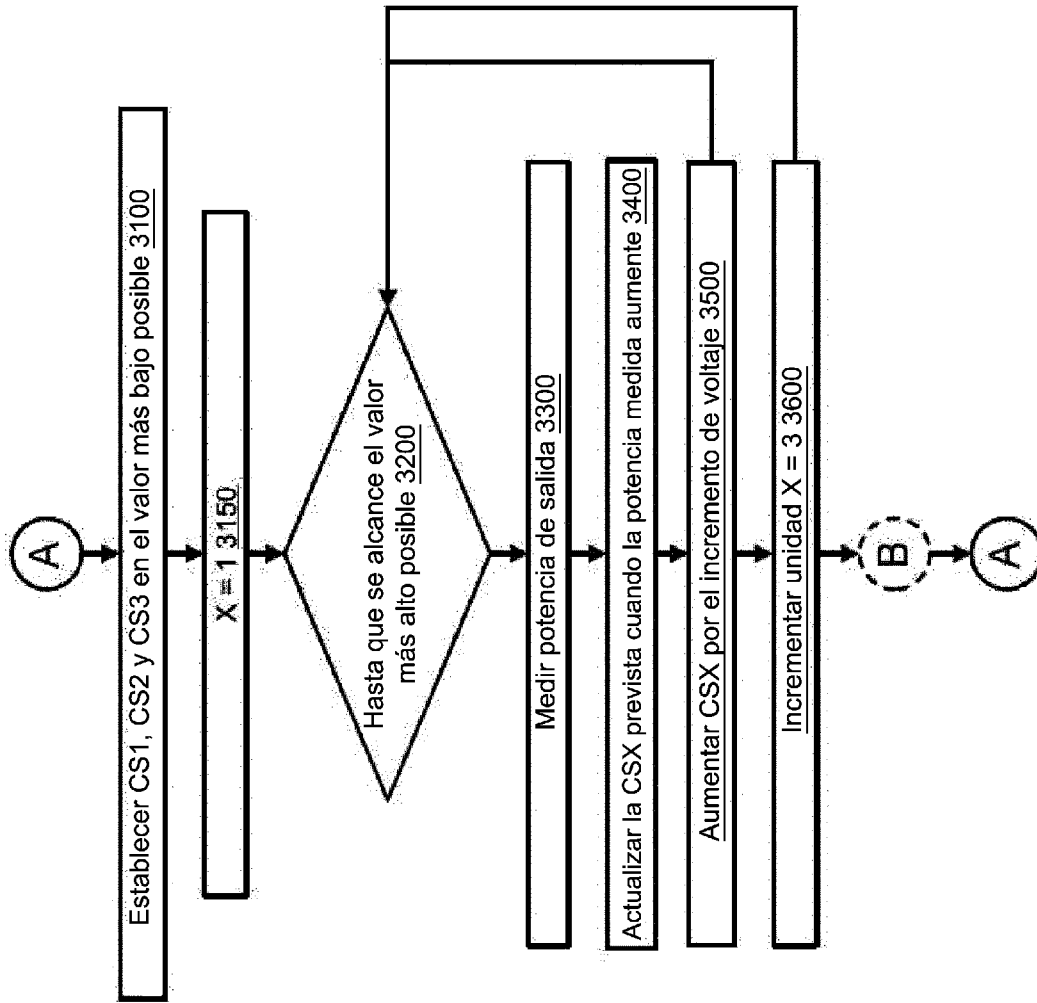


Figura 3

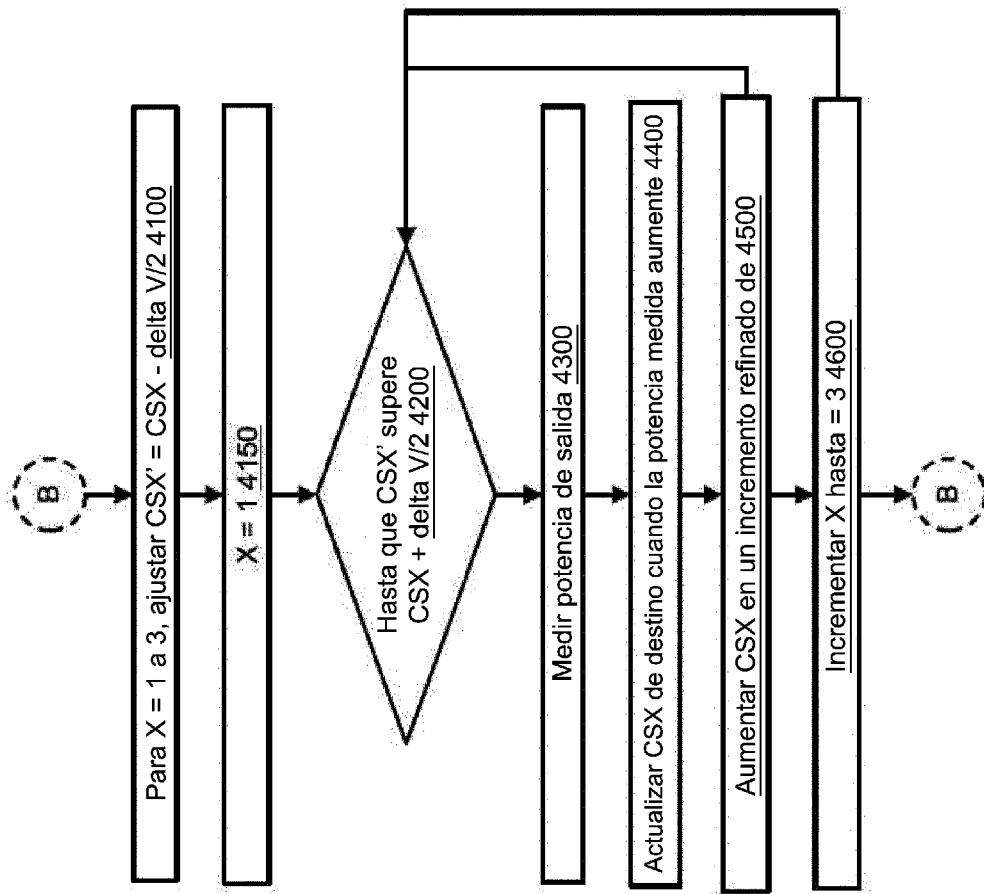


Figura 4

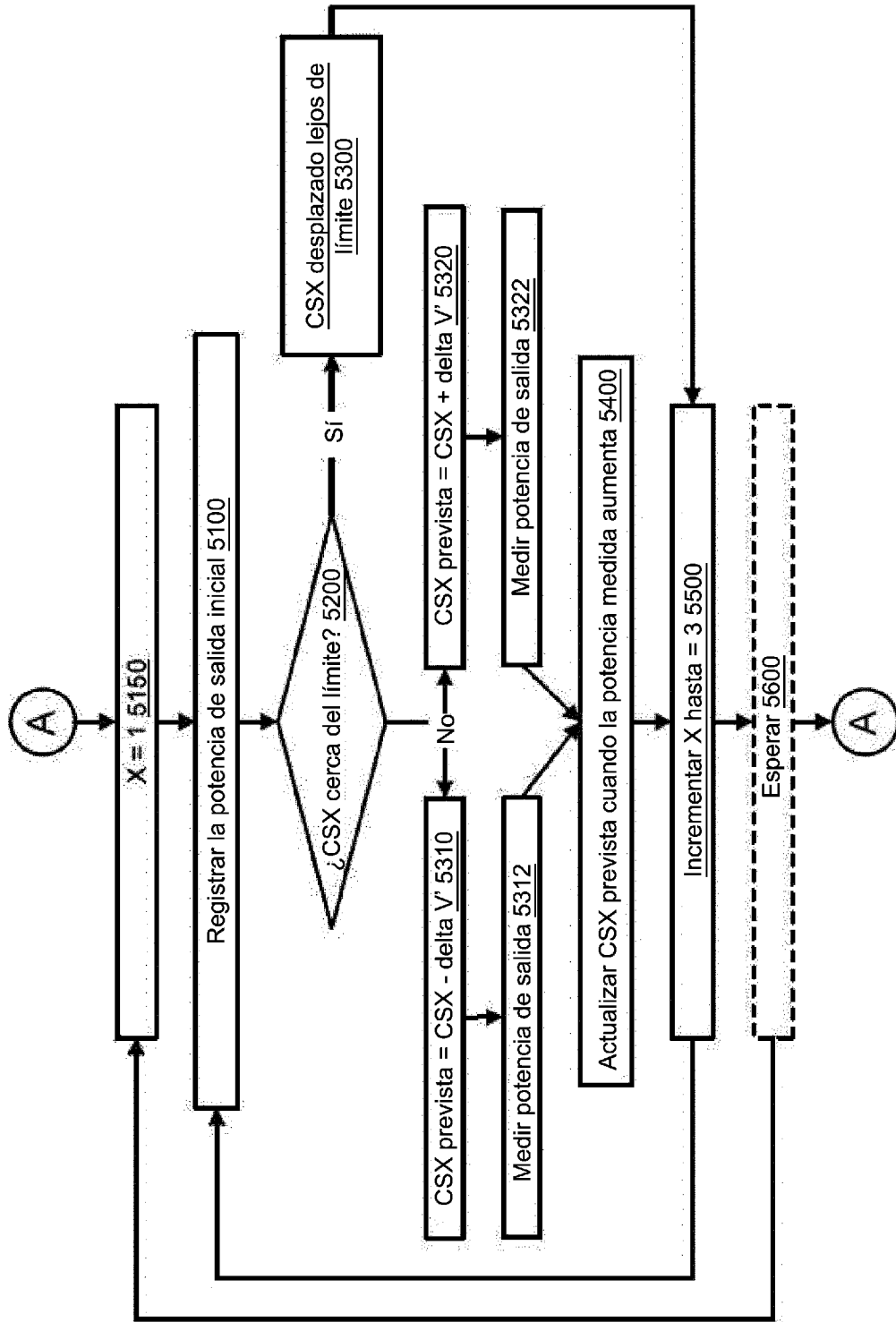


Figura 5

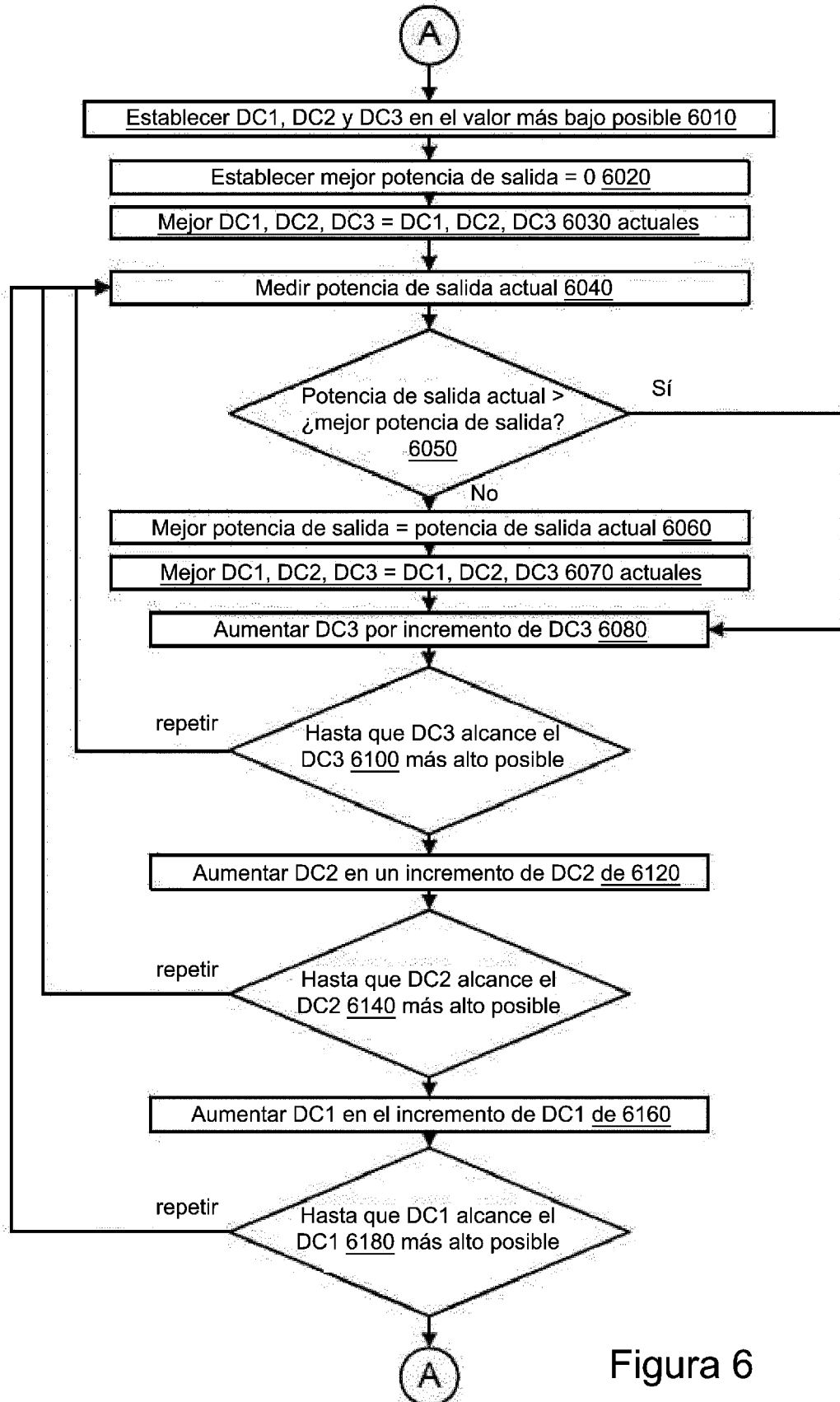
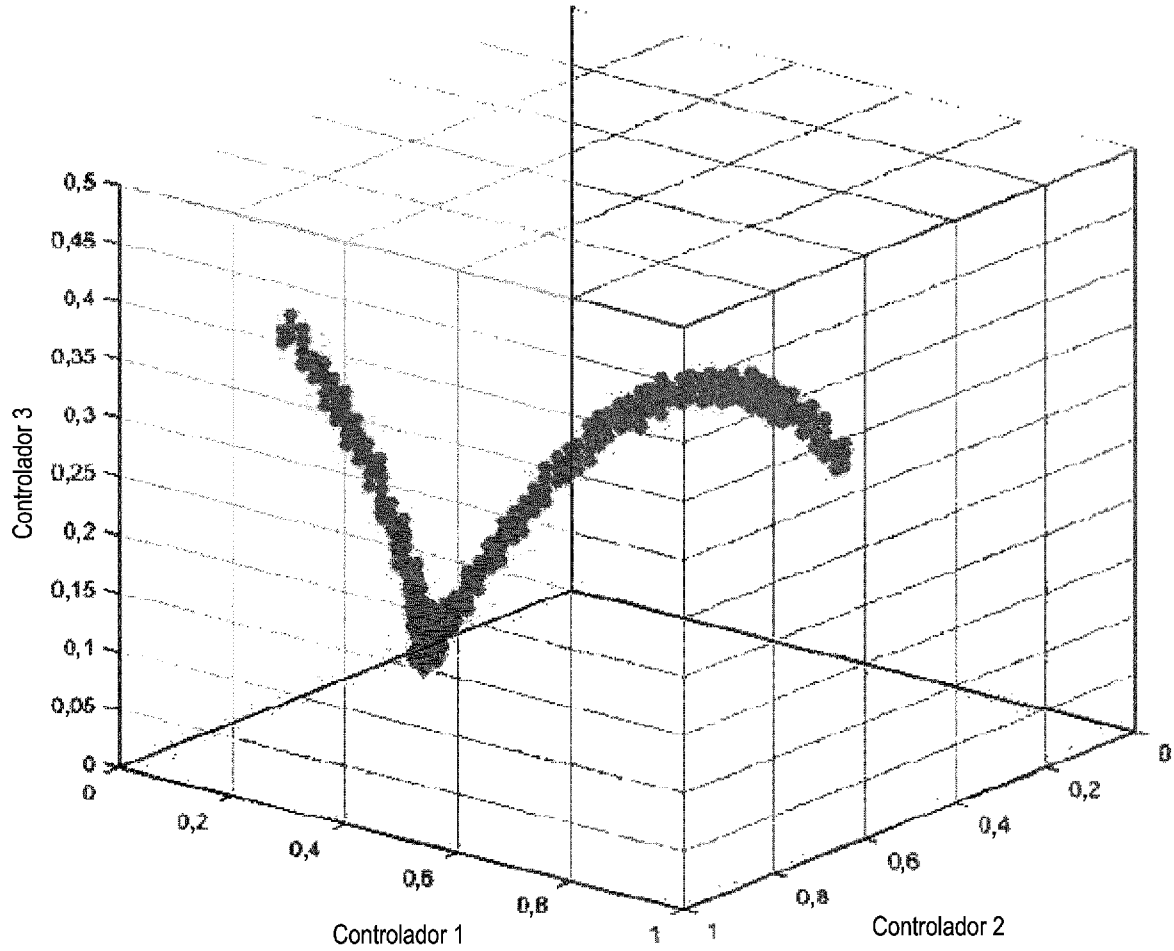


Figura 6

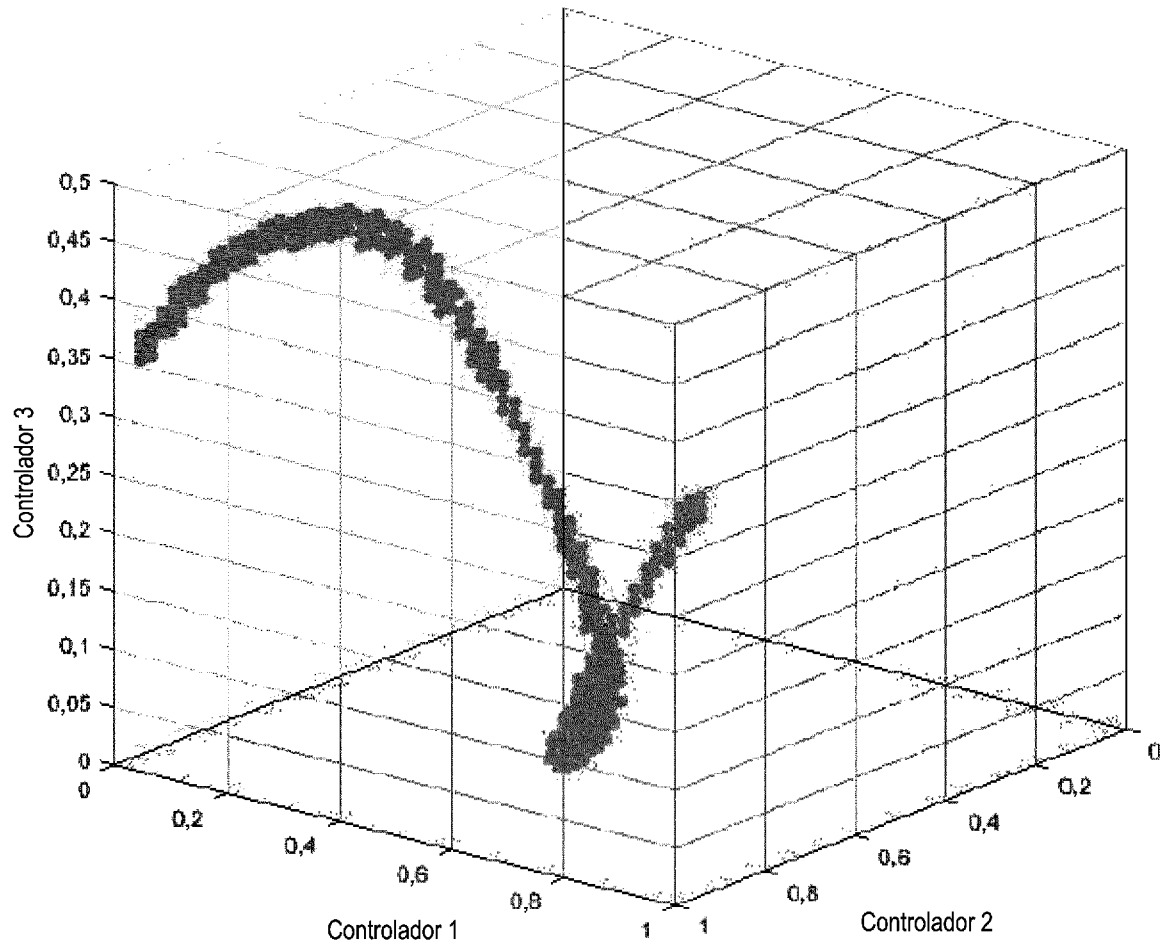
Controlador de polarización de tres etapas. Potencia de salida 0,997 de entrada.



Cada eje se normaliza a la señal de control que produce un cambio de fase de 2π .
Fracción de potencia de entrada en componente X 0,18
Fase relativa entre entrada X y el componente Y -0,41

Figura 7

Controlador de polarización de tres etapas. Potencia de salida 0,997 de entrada.



Cada eje se normaliza a la señal de control que produce un cambio de fase de 2π .
Fracción de potencia de entrada en el componente X 0,32
Fase relativa entre los componentes X e Y de entrada 0,89

Figura 8