

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 904 889**

51 Int. Cl.:

**G02F 1/13** (2006.01)

**G02F 1/133** (2006.01)

**G02B 3/14** (2006.01)

**G02C 7/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2017 PCT/IB2017/051943**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2017 WO17182906**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2017 E 17785529 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.11.2021 EP 3446176**

54 Título: **Lente para gafas que comprende una lente de cristal líquido con accionamiento eléctrico mejorado**

30 Prioridad:

**17.04.2016 US 201662323708 P**

**02.05.2016 US 201662330265 P**

**16.06.2016 US 201662350723 P**

**15.09.2016 US 201662394770 P**

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

**06.04.2022**

73 Titular/es:

**OPTICA AMUKA (A.A.) LTD. (100.0%)**

**9 Bareket Street, P.O. Box 7101**

**4951777 Petach Tikva, IL**

72 Inventor/es:

**YADIN, YOAV;**

**HADDAD, YARIV;**

**ROSEN, SHAMIR;**

**GRUTMAN, ITAMAR HAIM y**

**VARDY, YUVAL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 904 889 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**

Lente para gafas que comprende una lente de cristal líquido con accionamiento eléctrico mejorado

La presente invención se refiere en general a dispositivos ópticos y, en particular, a lentes sintonizables eléctricamente.

5 Las lentes sintonizables son elementos ópticos cuyas características ópticas, como la distancia focal y/o la ubicación del eje óptico, se pueden ajustar durante su uso, típicamente bajo control electrónico. Dichas lentes pueden usarse en una amplia variedad de aplicaciones. Por ejemplo, el documento US7475985 describe el uso de una lente electroactiva con el propósito de corregir la visión.

10 Las lentes sintonizables eléctricamente contienen típicamente una capa delgada de un material electroóptico adecuado, es decir, un material cuyo índice de refracción efectivo local cambia en función de la tensión aplicada a través del material. Se utiliza un electrodo o matriz de electrodos para aplicar las tensiones deseadas con el fin de ajustar localmente el índice de refracción al valor deseado. Los cristales líquidos son el material electroóptico que se usa más comúnmente con esta finalidad (donde la tensión aplicada hace girar las moléculas, lo que cambia el eje de birrefringencia y de este modo cambia el índice de refracción efectivo); pero otros materiales, tales como geles poliméricos, con propiedades electroópticas similares se pueden usar de forma alternativa con esta finalidad.

15 Algunos diseños de lentes sintonizables utilizan una matriz de electrodos para definir una cuadrícula de píxeles en el cristal líquido, similar al tipo de cuadrícula de píxeles utilizada en las pantallas de cristal líquido. Los índices de refracción de los píxeles individuales pueden controlarse eléctricamente para dar un perfil de modulación de fase deseado. (El término "perfil de modulación de fase" se utiliza en la presente descripción y en las reivindicaciones para referirse a la distribución de los desplazamientos de fase locales que se aplican a la luz que pasa a través de la capa como resultado del índice de refracción efectivo localmente variable sobre el área de la capa electroóptica de la lente sintonizable.) Las lentes que utilizan matrices de cuadrícula de este tipo se describen, por ejemplo, en el documento US7475985 mencionado anteriormente.

20

25 El documento WO 2014049577 describe un dispositivo óptico que comprende una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Una matriz de electrodos de excitación, que incluyen bandas conductoras paralelas que se extienden sobre el área activa, está dispuesta sobre uno o ambos lados de la capa electroóptica. La circuitería de control aplica formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y está configurada para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control respectivas aplicadas a los electrodos de excitación para generar un perfil de modulación de fase especificado en la capa electroóptica.

30

35 El documento US20120133891 describe un aparato electroóptico y un procedimiento para corregir la miopía que incluye al menos una lente adaptable, una fuente de alimentación y un rastreador de ojos. El rastreador de ojos incluye un sensor de imagen y un procesador conectados de forma operativa a la lente adaptable y al sensor de imagen. El procesador está configurado para recibir señales eléctricas del sensor de imagen y para controlar la potencia de corrección de la lente adaptable para corregir la miopía, con la potencia de corrección que depende de la distancia de la mirada del usuario y la fuerza de prescripción de la miopía.

40 Como otro ejemplo, el documento US20120120333 describió una lente de cristal líquido, un procedimiento de control de la misma y un visualizador tridimensional (3D) que utiliza la misma. La lente de cristal líquido incluye un par de estructuras de electrodos, que están dispuestas separadas entre sí, y una capa de cristal líquido, que está dispuesta entre el par de estructuras de electrodos e incluye una pluralidad de moléculas de cristal líquido alineadas en una dirección de alineación inicial en la que la capa de cristal líquido tiene un efecto sin lente. El par de estructuras de electrodos están dispuestas para generar un primer campo eléctrico, que se utiliza para cambiar las direcciones de alineación de las moléculas de cristal líquido para hacer que la capa de cristal líquido tenga un efecto de lente. El par de estructuras de electrodos se dispone además para generar un segundo campo eléctrico, que se utiliza para hacer que las moléculas de cristal líquido vuelvan a la dirección de alineación inicial.

45

50 El documento WO2015186010 describe gafas adaptables, que incluyen una montura de gafas y una primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente, montadas en la montura de las gafas. En una realización, la circuitería de control está configurada para recibir una entrada indicativa de una distancia desde el ojo de una persona que lleva las gafas hasta un objeto visto por la persona, y para ajustar la primera y segunda lentes en respuesta a la entrada. El documento WO2015136458 describe dispositivos ópticos y, en particular, lentes sintonizables eléctricamente. El documento US2015116304 describe un visualizador de imagen tridimensional que incluye un panel visualizador y una lente de cristal líquido colocada en la parte superior del panel visualizador.

55 El documento US2004169630 describe un modulador óptico de cristal líquido que funciona como una lente cóncava usando un área de modulación de curva cuadrática de un área de modulación de índice de refracción de una capa de moléculas de cristal líquido, que es diferente de un área de operación de la lente convexa convencional, sin cambiar la configuración del modulador óptico de cristal líquido. El documento US2010026920 describe una unidad electroóptica que forma una lente variable que convierte un modo mediante un cristal líquido, un procedimiento de

accionamiento de la unidad electroóptica y un dispositivo de visualización que incorpora de forma selectiva una imagen bidimensional y una imagen tridimensional.

Las realizaciones de la presente invención que se describen a continuación en la presente memoria proporcionan dispositivos ópticos sintonizables eléctricamente mejorados.

5 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona una lente para gafas como se establece en la reivindicación independiente adjunta 1.

Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento óptico como se establece en la reivindicación independiente adjunta 10.

10 Los rasgos característicos de las realizaciones se establecen en las reivindicaciones dependientes adjuntas 2 a 9, 11 y 12, por lo que la invención se define únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

Aunque los siguientes ejemplos no caen dentro del alcance de la presente invención como se define en las reivindicaciones adjuntas, también se describe en la presente memoria un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Los electrodos conductores están dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica. La circuitería de control está configurada para aplicar formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de fase en la capa electroóptica que hace que los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada, mientras varía una amplitud de las formas de onda de tensión de control para la potencia focal dada en respuesta a un ángulo de incidencia de los rayos que inciden en el dispositivo desde una dirección de interés.

En algunos ejemplos, la capa electroóptica incluye un cristal líquido.

En un ejemplo descrito, la circuitería de control está configurada para aplicar una forma de onda de tensión de control a una amplitud predeterminada con el fin de producir un desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden a lo largo de una normal al dispositivo, y para aplicar la forma de onda de tensión de control en una primera amplitud, que es menor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en un ángulo agudo al dispositivo en un primer acimut, y para aplicar la forma de onda de tensión de control en una segunda amplitud, que es mayor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en el ángulo agudo del dispositivo en un segundo acimut, que es opuesto al primer acimut.

De forma adicional o alternativa, la circuitería de control está configurada para variar las respectivas amplitudes de las formas de onda de tensión de control sobre un área del dispositivo en respuesta a una asignación del ángulo de incidencia de los rayos sobre el área del dispositivo. En algún ejemplo, el dispositivo se incluye en una lente para gafas, en el que la asignación es indicativa del ángulo en el que los rayos pasan a través de la capa electroóptica hasta el ojo en cada punto sobre el área del dispositivo.

En un ejemplo descrito, la circuitería de control está configurada para cambiar el dispositivo de una primera potencia focal a una segunda potencia focal aplicando simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores para diferentes períodos de transición respectivos, seguido de la aplicación de las formas de onda de tensión de control correspondientes a la segunda potencia focal.

También se describe en la presente memoria un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Los electrodos conductores están dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica. La circuitería de control está configurada para aplicar al menos unas primeras formas de onda de tensión de control y una segunda forma de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar los respectivos perfiles de modulación de primera y segunda fase en la capa electroóptica, que provocan rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo para converger o divergir con las respectivas potencias focales primera y segunda, y está configurada para cambiar de la primera potencia focal a la segunda potencia focal aplicando simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores para diferentes períodos de transición respectivos, seguido de la aplicación de las segundas formas de onda de tensión de control.

En algunos ejemplos, los períodos de transición incluyen una pluralidad de ranuras de tiempo, y las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a al menos algunos de la pluralidad de electrodos conductores incluyen al menos una primera tensión de sobreimpulso aplicada durante una primera ranura de tiempo y una segunda tensión de sobreimpulso aplicada durante una segunda ranura de tiempo.

De forma adicional o alternativa, las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a al menos algunos de la pluralidad de electrodos conductores incluyen una alta tensión predefinida, que se aplica a diferentes electrodos conductores durante diferentes períodos respectivos dentro de los períodos de transición.

Además, de forma adicional o alternativa, la circuitería de control también está configurada, tras cambiar de la primera potencia focal a la segunda potencia focal, para aplicar simultáneamente tensiones de control de subimpulso a al menos algunos de los electrodos conductores antes de la aplicación de las segundas formas de onda de tensión de control. En un ejemplo, cuando la segunda potencia focal es cero, las tensiones de control de sobreimpulso incluyen una alta tensión predefinida, que se aplica mediante la circuitería de control a todos los electrodos conductores en el primer lado de la capa electroóptica, seguido de la aplicación de una tensión baja predefinida en las segundas formas de onda de tensión de control.

En un ejemplo descrito, las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a al menos un electrodo entre la pluralidad de electrodos conductores dependen tanto de las primeras como de las segundas formas de onda de tensión de control que se aplican al al menos un electrodo y de las formas de onda de tensión de control que se aplican a uno o más de otros electrodos conductores que son contiguos al al menos un electrodo.

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Los electrodos conductores están dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica. La circuitería de control está configurada para aplicar formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de fase en la capa electroóptica que hace que los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada, y está configurada para cambiar de la potencia focal dada a una potencia focal cero aplicando simultáneamente una alta tensión predefinida a todos los electrodos conductores en el primer lado de la capa electroóptica, seguido de la aplicación de una tensión baja predefinida a los mismos.

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Los electrodos conductores están dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica. La circuitería de control está configurada para aplicar al menos unas primeras formas de onda de tensión de control y una segundas formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar los respectivos perfiles de modulación de primera y segunda fase en la capa electroóptica, que provocan rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo para converger o divergir con las respectivas potencias focales primera y segunda, y está configurada para cambiar de la primera potencia focal a la segunda potencia focal aplicando simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores, seguido de la aplicación de las segundas formas de onda de tensión de control. Las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a al menos un electrodo entre la pluralidad de electrodos conductores dependen tanto de las primeras como de las segundas formas de onda de tensión de control que se aplican al al menos un electrodo y de las formas de onda de tensión de control que se aplican a uno o más de otros electrodos conductores que son contiguos al al menos un electrodo.

En un ejemplo descrito, los perfiles de modulación de fase primero y segundo incluyen múltiples transiciones de fase de Fresnel, que están dispuestos de modo que el dispositivo funcione como una lente de Fresnel, y las tensiones de control de sobreimpulso se aplican a los electrodos conductores alrededor de las transiciones de fase de Fresnel con una dependencia de las formas de onda de tensión que se aplican a los electrodos conductores contiguos que difiere de las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a los electrodos conductores que no están alrededor de las transiciones de fase de Fresnel.

A modo de ejemplo adicional, en la presente memoria también se describen gafas adaptables, que incluyen una montura de gafas y una primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente, montadas en la montura de gafas y que tienen unas potencias focales y unos centros ópticos respectivos que están determinados por las formas de onda de tensión aplicadas a los mismos. La circuitería de control está configurada para recibir una entrada indicativa de una distancia desde el ojo de una persona que lleva las gafas hasta un objeto visto por la persona, y en respuesta a la distancia para modificar las formas de onda de tensión para ajustar las potencias focales y desplazar los centros ópticos de las lentes sintonizables eléctricamente.

En un ejemplo descrito, la circuitería de control está configurada para desplazar los centros ópticos de la primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente hacia abajo cuando la distancia es menor que una distancia umbral predefinida. De forma adicional o alternativa, la circuitería de control está configurada para reducir una distancia entre los centros ópticos de la primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente cuando la distancia es menor que una distancia umbral predefinida.

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un procedimiento óptico, que incluye proporcionar un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina mediante una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación, y electrodos conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica. Se aplican formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de fase en la capa electroóptica que hace que

los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada, mientras varía una amplitud de las formas de onda de tensión de control para la potencia focal dada en respuesta a un ángulo de incidencia de los rayos que inciden en el dispositivo desde una dirección de interés.

5 A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un procedimiento óptico, que incluye proporcionar un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina mediante una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación, y electrodos conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado de la capa electroóptica. Se aplican las primeras formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de primera fase en la capa electroóptica, lo que  
10 provoca que los rayos de radiación óptica que inciden sobre el dispositivo converjan o diverjan con una primera potencia focal. En preparación para el cambio de la primera potencia focal a una segunda potencia focal, se aplican simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores para diferentes períodos de transición respectivos. Posteriormente a las tensiones de control de sobreimpulso, se aplican las segundas formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de segunda fase en la capa electroóptica, lo que hace que los rayos de la radiación óptica que inciden sobre el dispositivo converjan o diverjan con la segunda potencia focal.  
15

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un procedimiento óptico, que incluye proporcionar un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación, y electrodos conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado de la capa electroóptica. Se aplican formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de fase en la capa electroóptica que hace que los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada. El dispositivo se cambia de la potencia focal dada a la potencia focal cero aplicando simultáneamente una alta tensión predefinida a todos los electrodos conductores en el primer lado de la capa electroóptica, seguido de la aplicación de una tensión baja predefinida a los mismos.  
20  
25

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un procedimiento óptico, que incluye proporcionar un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina mediante una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación, y electrodos conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado de la capa electroóptica. Se aplican las primeras formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de primera fase en la capa electroóptica, lo que provoca que los rayos de radiación óptica que inciden sobre el dispositivo converjan o diverjan con una primera potencia focal. En preparación para el cambio de la primera potencia focal a una segunda potencia focal, se aplican simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de los electrodos conductores. Posteriormente a las tensiones de control de sobreimpulso, se aplican las segundas formas de onda de tensión de control entre los electrodos conductores para generar un perfil de modulación de segunda fase en la capa electroóptica, lo que hace que los rayos de la radiación óptica que inciden sobre el dispositivo converjan o diverjan con la segunda potencia focal. Las tensiones de control de sobreimpulso aplicadas a al menos un electrodo entre la pluralidad de electrodos conductores dependen tanto de las primeras como de las segundas formas de onda de tensión de control que se aplican al al menos un electrodo y de las formas de onda de tensión de control que se aplican a uno o más de otros electrodos conductores que son contiguos al al menos un electrodo.  
30  
35  
40

A modo de ejemplo adicional, también se describe en la presente memoria un procedimiento óptico, que incluye proporcionar gafas que incluyen una primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente montadas en una montura de gafas y que tienen unas potencias focales y unos centros ópticos respectivos que están determinados por formas de onda de tensión aplicadas a los mismos. Se recibe una entrada indicativa de una distancia desde el ojo de una persona que lleva las gafas hasta un objeto visto por la persona. En respuesta a la distancia, las formas de onda de tensión se modifican automáticamente tanto para ajustar las potencias focales como para desplazar los centros ópticos de las lentes sintonizables eléctricamente.  
45

A modo de ejemplo adicional, en la presente memoria también se describen unas gafas adaptables, que incluyen una montura de gafas y una primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente, montadas en la montura de gafas y que tienen unas potencias focales y unos centros ópticos respectivos que están determinados por formas de onda de tensión aplicadas a los mismos. La circuitería de control está configurada para aplicar formas de onda de tensión de control para desplazar los centros ópticos de las lentes sintonizables eléctricamente en respuesta a las potencias focales de las lentes sintonizables eléctricamente.  
50  
55

En algunos ejemplos, la circuitería de control está configurada para desplazar los centros ópticos de la primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente hacia abajo y/o para reducir una distancia entre los centros ópticos de la primera y segunda lentes sintonizables eléctricamente cuando se incrementan las potencias focales de las lentes sintonizables eléctricamente.

La presente invención se comprenderá mejor a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada conjuntamente con los dibujos en los que:

la Fig. 1 es una ilustración pictórica esquemática de gafas adaptables, según una realización de la invención;

5 la Fig. 2 es una vista esquemática en sección de un modulador de fase óptico sintonizable eléctricamente, según una realización de la invención;

la Fig. 3 es una vista esquemática en sección de los rayos que inciden en diferentes ángulos sobre una lente sintonizable eléctricamente, según una realización de la invención.

10 la Fig. 4 es un gráfico que muestra esquemáticamente una relación entre la modulación de fase mediante una lente sintonizable eléctricamente y la tensión aplicada para diferentes ángulos de incidencia, según una realización de la invención;

la Fig. 5 es una vista lateral esquemática de una lente sintonizable eléctricamente que ilustra una relación entre el ángulo de incidencia y el eje del haz, según una realización de la invención;

la Fig. 6A es un gráfico que ilustra esquemáticamente un perfil de modulación de fase de una lente sintonizable eléctricamente, según una realización de la invención;

15 la Fig. 6B es un gráfico que muestra esquemáticamente una relación entre el perfil de modulación de fase de la Fig. 6A y la tensión aplicada a la lente sintonizable eléctricamente para generar la correspondiente modulación de fase para diferentes ángulos de incidencia, según una realización de la invención;

20 la Fig. 7A es un gráfico que ilustra esquemáticamente formas de onda de tensión aplicadas a lo largo del tiempo a una lente sintonizable eléctricamente para modificar una modulación de fase en la lente, según una realización de la invención;

la Fig. 7B es un gráfico que ilustra esquemáticamente la modulación de fase lograda a lo largo del tiempo aplicando las formas de onda de la Fig. 7A;

25 la Fig. 8A es un gráfico que ilustra esquemáticamente formas de onda de tensión aplicadas a lo largo del tiempo a una lente sintonizable eléctricamente para modificar una modulación de fase en la lente, según otra realización de la invención;

la Fig. 8B es un gráfico que ilustra esquemáticamente la modulación de fase lograda a lo largo del tiempo aplicando las formas de onda de la Fig. 8A; y

30 la Fig. 9 es un gráfico que ilustra esquemáticamente las modulaciones de fase logradas a lo largo del tiempo mediante la aplicación de diferentes formas de onda de tensión a una lente sintonizable eléctricamente, según una realización de la invención.

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

35 La Fig. 1 es una ilustración pictórica esquemática de gafas 20 adaptables, según una realización de la invención. Las gafas 20 comprenden lentes 22 y 24 sintonizables eléctricamente, montadas en una montura 25. Las propiedades ópticas de las lentes, incluida la distancia focal y el centro óptico (o de manera equivalente, la ubicación del eje óptico) están controladas por una circuitería 26 de control, que está alimentada por una batería 28 u otra fuente de alimentación. La circuitería 26 de control comprende típicamente un microprocesador integrado con componentes lógicos programables y/o cableados e interfaces adecuadas para llevar a cabo las funciones que se describen en la presente memoria. Estos y otros elementos de las gafas 20 se montan típicamente sobre o en la montura 25, o de forma alternativa pueden estar contenidos en una unidad separada (no se muestra) conectada por cable a la montura 40 25.

45 En algunas realizaciones, las lentes 22 y 24 son lentes compuestas, que comprenden múltiples elementos: por ejemplo, cada una de las lentes 22 y 24 puede comprender una lente fija, típicamente hecha de vidrio o plástico, que proporciona una potencia óptica de referencia, que se modifica dinámicamente mediante uno o más moduladores de fase ópticos sintonizables eléctricamente que están integrados con la lente fija. (Por este motivo, las lentes 22 y 24 pueden considerarse en sí mismas lentes sintonizables eléctricamente). De forma alternativa, las lentes 22 y 24 pueden comprender cada una solo un único elemento sintonizable eléctricamente, y la lente fija puede no ser necesaria en algunas aplicaciones. Las lentes 22 y 24 pueden comprender cada una un par de lentes cilíndricas sintonizables eléctricamente, con ejes cilíndricos ortogonales. De forma alternativa, las lentes 22 y 24 pueden comprender cada una un único elemento sintonizable eléctricamente, que está configurado para generar perfiles de modulación de fase 50 bidimensionales y así emular lentes esféricas o asféricas (o sus equivalentes de Fresnel). Ambos tipos de configuraciones de lentes, así como las formas de onda para accionar las lentes, se describen en detalle en los documentos WO 2014/049577 y WO 2015/186010 mencionados anteriormente. En algunas realizaciones, las lentes 22 y 24 comprenden dos (o más) elementos sintonizables eléctricamente con capas electroópticas dependientes de la polarización, que están orientadas para refractar polarizaciones mutuamente ortogonales. De forma alternativa, las

lentes 22 y 24 pueden comprender capas electroópticas independientes de la polarización, por ejemplo, como se describe en el documento PCT/IB2017/051435.

En algunas realizaciones, las gafas 20 comprenden uno o más sensores, que detectan la distancia desde un ojo 31 de la persona que lleva las gafas hasta un objeto 34 visto por la persona.

5 La circuitería 26 de control ajusta las lentes 22 y 24 según las lecturas del sensor. En el ejemplo ilustrado, los sensores incluyen un par de rastreadores 30 de ojos, que detectan las respectivas direcciones 32 de la mirada de los ojos 31 derecho e izquierdo. La circuitería 26 de control típicamente desplaza los respectivos ejes ópticos de las lentes en respuesta a las direcciones de la mirada detectadas. Además, la circuitería de control puede usar la distancia entre las pupilas, medida por los rastreadores 30 de ojos, para estimar la distancia focal del usuario (incluso sin analizar la  
10 dirección real de la mirada) y posiblemente para identificar la distancia entre el ojo y el objeto 34.

De forma adicional o alternativa, una cámara 36 captura una imagen del objeto 34, para su uso por la circuitería 26 de control para identificar el objeto y establecer la distancia focal. Pueden usarse rastreadores 30 de ojos o la cámara 36 para determinar la distancia focal, pero ambos sensores pueden usarse juntos para proporcionar una identificación más fiable del objeto. De forma alternativa o adicional, la cámara 36 puede ser sustituida o complementada por un  
15 telémetro u otro sensor de proximidad, que mide la distancia al objeto 34.

En algunas realizaciones, las gafas 20 también incluyen al menos un sensor 38 de activación, que activa los otros componentes de las gafas 20. Por ejemplo, el sensor 38 de activación puede comprender un temporizador que activa la circuitería 26 de control y otros elementos periódicamente, u otros sensores que indiquen un posible cambio de la distancia de visión, como un sensor de movimiento de la cabeza o un sensor de entrada del usuario.

20 Las lentes 22 y 24 típicamente tienen mejor calidad óptica en el centro óptico de la lente que en la periferia de la lente. (El centro óptico es el punto de la lente a través del cual pasa el eje óptico, es decir, el eje de simetría del perfil de modulación de fase de la lente, que se puede desplazar en una lente sintonizable eléctricamente cambiando las formas de onda de tensión que accionan la lente.) Por lo tanto, es favorable centrar las lentes frente a las pupilas y mover el centro óptico de la lente de forma dinámica, modificando las formas de onda de tensión aplicadas a las lentes  
25 sintonizables eléctricamente de modo que el centro óptico de la lente esté siempre opuesto a la pupila.

De forma alternativa, cuando las lentes 22 y 24 se utilizan como gafas focales dinámicas para la presbicia, el centro óptico se puede predefinir en función de la potencia óptica o, de manera equivalente, de la distancia al objeto, como se indica con una entrada de los rastreadores 30 de ojos y/o la cámara 36, por ejemplo. En general, la distancia entre los centros de la lente para una vista lejana está determinada por la distancia de la pupila del usuario. Cuando el usuario está mirando a una distancia más cercana y requiere un ajuste del enfoque, la circuitería 26 de control puede  
30 modificar las formas de onda de tensión para cambiar las lentes 22 y 24 a la potencia óptica correcta al mismo tiempo que reduce la distancia entre las posiciones centrales de la lente, para ajustar el hecho de que cuando una persona mira a una distancia más cercana, la distancia entre las pupilas disminuye. De forma adicional o alternativa, la circuitería 26 de control puede ajustar la altura de los centros ópticos de las lentes, por ejemplo, desplazando los  
35 centros ópticos de las lentes 22 y 24 hacia abajo cuando la distancia al objeto es menor que una distancia umbral predefinida, para reflejar la tendencia de las personas a mirar a través de la parte inferior de las gafas al ver objetos cercanos.

La Fig. 2 es una vista esquemática en sección de un modulador 40 de fase óptico, que define el área activa de una lente sintonizable eléctricamente (tal como la lente 22 o 24), según una realización de la invención. El modulador 40  
40 de fase comprende una capa 46 electroóptica, intercalada entre un sustrato 42 superior y un sustrato 44 inferior, que comprenden un material transparente, por ejemplo, vidrio. La capa 46 comprende un material de cristal líquido, que típicamente está contenido mediante encapsulación adecuada, como se conoce en la técnica. Los sustratos 42 y 44 pueden recubrirse en su interior con una capa 54 de alineación de poliimida (por ejemplo, PI-2555, producida por Nissan Chemical Industries Ltd., Japón), que hace que las moléculas 48 de cristal líquido se alineen en una orientación  
45 paralela deseada.

Los electrodos 50 y 52 conductores están dispuestos sobre los lados primero y segundo opuestos de la capa 46 electroóptica. Los electrodos 50 y 52 comprenden un material conductor transparente, tal como óxido de indio y estaño (ITO), como se conoce en la técnica, que se deposita sobre las superficies de los sustratos 42 y 44, respectivamente. (De forma alternativa, se pueden usar electrodos de excitación no transparentes, siempre y cuando sean lo  
50 suficientemente delgados para que no causen efectos ópticos perturbadores). Aunque en aras de la claridad visual, solo se muestran unos pocos electrodos en la Fig. 2, en la práctica, para una buena calidad óptica, el modulador 40 de fase óptico comprenderá típicamente al menos 100 electrodos de bandas para la excitación, y posiblemente incluso 400 o más.

Los electrodos 50 en la realización ilustrada están dispuestos como una matriz de bandas paralelas. En el lado opuesto de la capa 46, los electrodos 52 pueden comprender bandas perpendiculares a los electrodos 50, que permiten que la circuitería 26 de control apliquen patrones de tensión bidimensionales a través de la capa 46. De forma alternativa, el electrodo 52 puede comprender una capa uniforme sobre el sustrato 44, que funciona como un plano de tierra eléctrico. En este último caso, solo se pueden aplicar patrones de tensión unidimensionales a través de la capa 46,  
55

que se pueden utilizar para crear perfiles de modulación de fase equivalentes a lentes cilíndricas. Se pueden utilizar dos de dichos moduladores de fase óptica 40 en serie, con electrodos 50 orientados ortogonalmente entre sí, en cada una de las lentes 22 y 24 para generar patrones de modulación óptica bidimensionales.

5 Como consecuencia del comportamiento de las moléculas 48 de cristal líquido, la capa 46 electroóptica tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro del área activa de la capa que está determinado por la forma de onda de tensión que se aplica a través de la capa electroóptica en esa ubicación. La circuitería 26 de control está acoplado a los electrodos 50 y 52 y aplica las formas de onda de tensión de control apropiadas a los electrodos para modificar el perfil de modulación de fase óptica de la capa 46 electroóptica. Cuando se utiliza en gafas, el perfil de modulación de fase se elige para emular una lente, haciendo que los rayos de radiación óptica que inciden en el modulador 40 de fase óptico converjan o diverjan con una potencia focal deseada. Para una potencia focal fuerte, el perfil de modulación de fase puede comprender un perfil de Fresnel, con picos y valles pronunciados. De forma alternativa o adicional, las formas de onda de la tensión de control pueden elegirse para dar lugar a un perfil de modulación de fase refractiva suave.

15 Más detalles de una variedad de estructuras de electrodos que se pueden utilizar en lentes sintonizables eléctricamente, así como las formas de onda de tensión de control que se pueden aplicar a dichos electrodos para generar diversos tipos de perfiles de modulación de fase, se describen en los documentos mencionados anteriormente WO 2014/049577 y WO 2015/186010. Estos detalles se omiten aquí en aras de la brevedad.

#### AJUSTE DE FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN DE CONTROL PARA EL ÁNGULO DE INCIDENCIA

20 Cuando se coloca una lente frente a un ojo humano, el área de la lente a través de la cual pasa la luz y llega al área de visión central en la retina (la fovea) depende del ángulo en el que la persona está mirando. Cuando la persona mira en línea recta, la luz que llega a la fovea típicamente pasa el cristalino a través del área central del cristalino, en una dirección en general normal al cristalino. Cuando la persona mira hacia un lado, el ojo gira, la pupila se mueve y la luz que llega a la fovea pasa a través de una región diferente en el cristalino, típicamente en un ángulo agudo con la superficie del cristalino.

25 Por lo tanto, las diferentes áreas de la lente se utilizan principalmente para refractar la luz que incide en diferentes ángulos. Las realizaciones que se describen en esta sección de la presente solicitud de patente optimizan el rendimiento de una lente sintonizable eléctricamente para tener en cuenta este punto.

30 La Fig. 3 es una vista esquemática en sección de los rayos que inciden en diferentes ángulos sobre el modulador 40 de fase óptico en una lente sintonizable eléctricamente, tal como la lente 22 o 24, según una realización de la invención. En esta figura, se ha aplicado una cierta tensión de control entre los electrodos 50 y 52, cambiando así el ángulo de orientación de las moléculas 48 de cristal líquido y, por tanto, cambiando el índice de refracción efectivo de la capa 46 electroóptica.

35 La Fig. 3 ilustra conceptualmente la diferencia en el índice de refracción efectivo para la luz que incide a lo largo de una normal al modulador 40, marcado como L1, en comparación con la luz incidente en un ángulo agudo desde dos acimuts opuestos diferentes, marcados como L2 y L3. Para la luz incidente en el ángulo L2, el índice de refracción efectivo es diferente al de L1, a causa del ángulo diferente entre el eje de propagación (que determina la dirección del campo eléctrico de la luz incidente) y el eje director de las moléculas 48 de cristal líquido. Para la luz incidente en el ángulo L3, el índice de refracción es diferente del de L1 y L2. Por lo tanto, para cada ángulo de incidencia a hay un gráfico de fase frente a la tensión diferente, definido por la función  $\Phi = T_{\alpha}(V)$ .

40 La Fig. 4 es un gráfico que muestra esquemáticamente la relación entre la modulación de fase por el modulador 40 en función de la tensión V aplicada entre los electrodos 50 y 52 para diferentes ángulos de incidencia, según una realización de la invención. La modulación de fase se midió utilizando un interferómetro para tres ángulos de incidencia diferentes  $\alpha = 0, 10$  y  $-10$  grados, dando las curvas 60, 62 y 64, respectivamente. (Los valores 10 y  $-10$  se refieren a la incidencia a  $10^{\circ}$  de la normal en acimuts opuestos). La relación entre tensión y modulación de fase,  $T_{\alpha}(V)$ , se puede medir de esta manera en un intervalo de ángulos de incidencia de interés, y los valores angulares intermedios se pueden interpolar fácilmente a partir de los valores medidos.

45 La Fig. 5 es una vista lateral esquemática de la lente 24 sintonizable eléctricamente y el ojo 31, que ilustra la relación entre las áreas de la lente 24 a través de las cuales pasan los haces y el ángulo de incidencia de los haces sobre la lente, según una realización de la invención. La figura ilustra cómo el ojo 31 utiliza diferentes áreas de la lente para ver objetos en diferentes direcciones. En una lente de cristal líquido, es por tanto deseable optimizar la modulación del cristal líquido en cada área para tener en cuenta el ángulo de incidencia de los rayos que inciden en la lente desde la dirección de interés. La "dirección de interés" se define en general por la relación entre los puntos en la región del objeto y los puntos correspondientes en el plano de la imagen de la lente. Así, por ejemplo, en una lente para gafas, la dirección de interés para cualquier área dada en la superficie de la lente se puede definir como el ángulo de un rayo que atraviesa el área entre una ubicación en el ojo (como la pupila o un punto de la imagen en la retina) y una ubicación correspondiente en la región del objeto hacia la que está mirando la persona que lleva las gafas. Esta relación entre las áreas de la lente 24 y las direcciones de interés correspondientes está ejemplificada por los rayos que se muestran en la Fig. 5.



Para un perfil de modulación de fase objetivo dado de una lente,  $\Phi(x)$ , se aplica un perfil de tensión correspondiente  $V(x)$ , de modo que  $\Phi(x) = T_\alpha(V(x))$ . Dado que  $t_\alpha$  no es simétrico, es decir,  $T_\alpha \neq T_{-\alpha}$ , como se ha explicado anteriormente, se necesita un perfil de tensión no simétrico  $V(x)$  para lograr un perfil de modulación de fase simétrico  $\Phi(x)$ , tal como una lente esférica o esférica, que se extienda por todo el campo de visión. En otras palabras, para lograr un perfil de refracción simétrico particular, la tensión aplicada a través de la capa 46 electroóptica a una distancia dada del centro de la lente en un lado del campo será marcadamente mayor que a la misma distancia desde el centro en el otro lado del campo.

En una realización de la invención, la lente 24 se puede optimizar para un cierto ángulo de visión, por ejemplo, en línea recta (es decir, el ángulo 2 en la Fig. 5). La lente 24 se coloca a una distancia  $D$  de la pupila del ojo 31. El perfil de modulación de fase objetivo, por ejemplo, un perfil que emula una lente esférica, es  $\Phi(x)$ . Las posiciones de la lente ( $X_1, X_2, X_3, \dots$ ) se asignan a los ángulos de incidencia de la luz como se muestra en la figura, por ejemplo, usando la fórmula  $\alpha(x) = \tan^{-1}(x/D)$ . El perfil de tensión aplicado entre los electrodos 50 y 52 luego se traduce usando la asignación de fase frente a tensión en una función de  $x$  y  $T_\alpha(V)$ :  $V(x) = T_\alpha^{-1}(\Phi(x))$ .

En una realización alternativa, cada posición de la lente 24 se optimiza para el ángulo de incidencia de la luz que pasa a través de esa posición en la lente cuando el ojo 31 mira en esa dirección. La diferencia entre esta realización y la realización anterior es que en este caso la optimización también depende del movimiento de la pupila cuando la persona mira hacia un lado, lo que lleva a una asignación diferente entre la posición en la lente y el ángulo de incidencia de la luz,  $\alpha(x)$ . Por ejemplo, esta asignación puede estimarse en el presente caso mediante  $\alpha(x) = \tan^{-1}(x/L)$ , donde  $L$  es la distancia entre el centro de rotación del ojo y la lente. El cálculo del perfil de tensión requerida se realiza de la misma manera que en la realización anterior, pero con una asignación del ángulo de incidencia  $\alpha(x)$  diferente.

Las Fig. 6A y 6B son gráficos que ilustran esquemáticamente los principios de este enfoque al implementar un perfil de fase de refracción particular a través de la lente 24, según una realización de la invención. La Fig. 6A ilustra un perfil 70 de modulación de fase, mientras que la Fig. 6B muestra la relación entre este perfil de modulación de fase y la tensión aplicada al modulador 40 de fase óptico para generar la correspondiente modulación de fase para diferentes ángulos de incidencia. Una curva 72 muestra la tensión requerida en función de la posición a través del modulador 40 para la luz que normalmente incide (0 grados) en el modulador 40 de fase, mientras que las curvas 74 y 76 muestran las modificaciones respectivas necesarias en el perfil de tensión cuando la luz incide en -10 o +10 grados.

Las amplitudes de las formas de onda de tensión de control (es decir, los niveles de tensión en las presentes realizaciones) aplicadas por la circuitería 26 de control para una potencia focal dada de la lente 24 se ajustan así para tener en cuenta los ángulos de incidencia de los rayos de luz sobre la lente. En el presente ejemplo, las amplitudes varían sobre el área de la lente 24 basándose en la asignación descrita anteriormente de los ángulos de incidencia de los rayos sobre el área de la lente. Como se ha explicado anteriormente, el ajuste de las tensiones de control para el ángulo no es simétrico, lo que significa que, para lograr una potencia focal determinada, se aplicará una tensión diferente en ángulos positivos al aplicado en los ángulos negativos correspondientes para obtener una modulación de fase idéntica.

Como ejemplo específico, supongamos que la lente 24 está colocada a una distancia  $L = 3$  cm del centro de rotación del ojo. Este ejemplo ilustrará cómo calcular la tensión aplicada para tres electrodos diferentes, ubicados en  $x = 0$  (centro de la lente) y los desplazamientos transversales  $x = -5,3$  mm y  $x = +5,3$  mm desde el centro. El patrón de modulación de fase requerido se considera una lente esférica con una potencia óptica de dos dioptrías, con una estructura de Fresnel:  $\Phi(x) = \pi X^2/\lambda f \text{ mod } 2\pi n$ , en el que  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$  es la longitud de onda óptica,  $f = 0,5$  m es la distancia focal y  $n = 9$  es la altura de la estructura de Fresnel en radianes.

Para el electrodo central:

La modulación de fase requerida es  $\Phi(x=0) = 0$ .

El ángulo de incidencia es  $\alpha(x=0) = \tan^{-1}(x/L) = 0$ .

Como se muestra en la Fig.4, la tensión requerida es  $V = 0$  V (o  $V < 0,5$  V).

Para  $x = -5,3$  mm:

La fase requerida es  $\Phi(x=-5,3 \text{ mm}) = 13,7$  rad.

El ángulo de incidencia es:  $\alpha(x=-5,3) = \tan^{-1}(x/L) = -10^\circ$ .

La tensión requerida de la Fig.4 es  $V = 1,8$  V.

Para  $x = +5,3$  mm:

La fase requerida es  $\Phi(x=+5,3\text{mm}) = 13,7$  rad.

El ángulo de incidencia es:  $\alpha(x=+5,3) = \tan^{-1}(x/L) = +10^\circ$ .

La tensión requerida de la Fig. 4 es  $V = 1,5 V$ .

Como se ha señalado anteriormente, aunque el perfil de modulación de fase es simétrico, con  $\Phi(x) = \Phi(-x)$ , el perfil de tensión aplicado no es simétrico, es decir,  $V(x) \neq V(-x)$ .

5 Aunque el ejemplo anterior es unidimensional, se puede ampliar fácilmente a dos dimensiones aplicando los tipos de modificaciones descritas anteriormente a las configuraciones de modulación bidimensional que se describen en los documentos WO 2014/049577 y WO 2015/186010 mencionados anteriormente.

#### REDUCCIÓN DE LA LATENCIA DE CONMUTACIÓN MEDIANTE SOBREEXCITACIÓN

10 Como se ha explicado anteriormente, la circuitería 26 de control aplica diferentes formas de onda de tensión de control entre los electrodos 50 y 52 conductores para generar diferentes perfiles de modulación de fase, que hacen que los rayos de radiación óptica que inciden en las lentes 22 y 24 converjan o diverjan con las diferentes potencias focales respectivas. La modulación de fase se logra mediante la rotación de las moléculas 48 de cristal líquido, y el cambio de tensión cambia el ángulo de rotación y, por tanto, el índice de refracción efectivo local.

15 Sin embargo, debido a la naturaleza del material de cristal líquido, puede haber una latencia sustancial en la rotación de las moléculas después de un cambio en la tensión aplicada. Esta latencia, a su vez, puede dar lugar a un retraso notable en la adaptación de las gafas 20 a los cambios en la distancia de visión y/o el ángulo de los ojos 31. Por lo tanto, en las realizaciones que se describen en esta sección, la circuitería 26 de control utiliza técnicas de sobreexcitación para reducir el tiempo de transición entre diferentes potencias focales. En otras palabras, al conmutar entre el primer y el segundo conjunto de formas de onda de tensión de control, correspondientes a dos potencias focales diferentes, la circuitería 26 de control primero aplica tensiones de sobreimpulso o subimpulso a determinados electrodos 50 durante determinados períodos de transición, y solo entonces aplica el segundo conjunto de formas de onda de tensión de control. El grado y el tiempo de sobreimpulso y/o subimpulso (es decir, las amplitudes y períodos de aplicación de las tensiones de sobreimpulso o subimpulso) pueden variar de un electrodo a otro, dependiendo de las formas de onda de tensión inicial y final aplicadas a cada electrodo; pero un rasgo característico de la arquitectura del dispositivo proporcionada por las presentes realizaciones es que las diferentes tensiones de sobreimpulso y subimpulso se pueden aplicar de forma simultánea e independiente a los diferentes electrodos.

25 En algunas de las presentes realizaciones, la circuitería 26 de control genera el sobreimpulso o subimpulso requerido aplicando una tensión alta o baja predefinida a al menos algunos de los electrodos 50 para duraciones de tiempo respectivas diferentes. (Las tensiones son "altas" o "bajas" en relación con el intervalo de tensiones aplicadas sobre todos los electrodos en estado estacionario y pueden comprender, por ejemplo, los niveles de tensión máxima y mínima, respectivamente, que pueden aplicarse mediante la circuitería 26 de control.) Este esquema es relativamente simple de implementar, al mismo tiempo que minimiza el tiempo requerido para el cambio de potencia focal. Por ejemplo, supongamos que activar el modulador 40 de fase óptico para crear una potencia focal D1 requiere aplicar una tensión  $V1(i)$  a cada electrodo  $i$ , mientras que la potencia focal D2 requiere aplicar tensiones  $V2(i)$ . Si para un electrodo dado  $k$ ,  $V1(k) < V2(k)$ , entonces, al iniciar el cambio de D1 a D2, la circuitería 26 de control cambiará primero la tensión aplicada en el electrodo  $k$  a  $V_{m\acute{a}x}$  - una alta tensión predefinida que típicamente es igual a la tensión máxima que se puede aplicar al electrodo. La tensión se mantiene en  $V_{m\acute{a}x}$  durante un período  $T1$ . De manera similar, si  $V1(k) > V2(k)$ , la tensión aplicada en el electrodo  $k$  se cambia primero a  $V_{m\grave{a}n}$  - una tensión baja predefinida típicamente igual a la tensión mínima que se puede aplicar al electrodo - durante un período  $T2$ , cuya duración depende de manera similar de la tensión inicial  $V1(k)$  y la tensión final  $V2(k)$ .

40 Como las duraciones de  $T1$  y  $T2$  dependen de la tensión inicial  $V1(k)$  y la tensión final  $V2(k)$ , la circuitería 36 de control puede utilizar una tabla de consulta (LUT) para mantener los períodos de sobreexcitación requeridos  $T(V1, V2)$ . Después del período apropiado  $T$  en cada caso, como se indica con el valor en la LUT, la tensión del electrodo  $k$  se establece en  $V2(k)$ . El período  $T(V1, V2)$  se establece para que sea igual al tiempo que tardan las moléculas 48 de cristal líquido en girar desde su ángulo inicial, a causa de la tensión  $V1$ , a un ángulo objetivo correspondiente a la tensión  $V2$ , mientras se aplica  $V_{m\acute{a}x}$  en el electrodo.

45 La aplicación de diferentes períodos de transición a los diferentes electrodos se puede simplificar aún más con el uso de ranuras de tiempo fijas para definir los diferentes períodos de transición. Por tanto, en algunas realizaciones, los tiempos de transición  $T(V1, V2)$  se dividen en múltiples ranuras de tiempo, por ejemplo, cinco o más ranuras de tiempo predefinidas. Se aplica una primera tensión de sobreimpulso durante una o más ranuras de tiempo iniciales, seguido de una segunda tensión de sobreimpulso aplicada durante una ranura de tiempo posterior. Por ejemplo, al conmutar de  $V1$  a  $V2$ , la tensión se puede conmutar primero a  $V_{m\acute{a}x}$  (o  $V_{m\grave{a}n}$  si  $V2 < V1$ ) para varias ranuras de tiempo, y luego la tensión se cambia a un valor intermedio diferente  $V_x$  para una única ranura de tiempo. En este caso, se utilizan dos LUT para determinar la forma de onda de tensión necesaria para cambiar rápidamente de  $V1$  a  $V2$ : Una LUT incluye el número de ranuras de tiempo en las que la tensión se mantiene en  $V_{m\acute{a}x}$  (o  $V_{m\grave{a}n}$ ) y la otra tiene el valor intermedio  $V_x(V1, V2)$ .

Como ejemplo específico, supongamos que al conmutar de una determinada  $V1$  a una determinada  $V2$  con ranuras de tiempo de 1 ms, si la tensión se mantiene en  $V_{m\acute{a}x}$  durante 5 ms, las moléculas 48 de cristal líquido aún no alcanzarán el ángulo requerido correspondiente a la tensión  $V2$ . Sin embargo, si la tensión se mantiene en  $V_{m\acute{a}x}$

durante 6 ms, las moléculas pueden girar más de lo necesario para la tensión V2. Por lo tanto, para una transición de V1 a V2, la primera LUT contendrá el valor 5 (5 ms de  $V = V_{\text{máx}}$ ); y para la siguiente ranura de tiempo de 1 ms, la tensión, leída en la segunda LUT, será  $V_x(V1, V2)$ . Típicamente,  $V_x(V1, V2) > V2$  (para el caso  $V2 > V1$ ).

5 En otra realización de la invención, las ranuras de tiempo no son uniformes en longitud, sino que están graduadas para aumentar el número de electrodos que alcanzan sus valores objetivo después de retrasos más cortos. Este enfoque puede lograr una mejor calidad óptica en menos tiempo. Por ejemplo, para reducir el tamaño de memoria requerido y la complejidad lógica, la circuitería 26 de control puede limitarse a diez ranuras de tiempo, con un tiempo de sobreexcitación total requerido (transiciones en el peor de los casos) de 1 segundo. Sin embargo, típicamente, la mayoría de las transiciones requieren significativamente menos tiempo que en el peor de los casos. Por lo tanto, la duración de las ranuras de tiempo se distribuye de manera desigual, por ejemplo, dividiendo las diez ranuras de tiempo disponibles en tres intervalos de 25 ms, seguidos de dos intervalos de 50 ms, y luego un intervalo de 75 ms, 100 ms, 150 ms, 200 ms y 300 ms.

15 La diferencia entre este esquema graduado y un esquema simple que utiliza diez ranuras uniformes de 100 ms cada una es que cuando se utiliza el esquema graduado, las transiciones rápidas se pueden optimizar a tiempos más cortos, logrando así una mejor calidad de lente más rápido. El hecho de que un pequeño número de píxeles individuales en el modulador 40 de fase pueda tardar relativamente más en alcanzar sus ángulos de fase objetivo es insignificante, dado que la calidad de la lente depende del porcentaje de píxeles que han alcanzado el estado correcto. Por lo tanto, es útil maximizar el número de píxeles "correctos" en poco tiempo mediante el uso de ranuras de tiempo graduadas, incluso si otros píxeles tardarán más en establecerse.

20 Las Fig. 7A y 7B son gráficos que ilustran esquemáticamente la aplicación de formas de onda de tensión de sobreimpulso a lo largo del tiempo al modulador 40 de fase óptico para modificar la modulación de fase local, según una realización de la invención. La Fig. 7A muestra una forma de onda 80 de tensión sin sobreimpulso, junto con una forma de onda 82 de tensión en la que se aplica una tensión de sobreimpulso a uno de los electrodos 50 en dos ranuras de tiempo sucesivas. La Fig. 7B muestra una curva 84 de modulación de fase a lo largo del tiempo que resulta de la aplicación de la forma de onda 80, sin sobreimpulso, junto con una curva 86 de modulación de fase que se obtiene mediante la aplicación de la forma de onda 82. Las características reales de modulación de fase se midieron usando un panel de cristal líquido con una modulación de fase total de 61 radianes y un esquema de sobreexcitación que utiliza cinco ranuras de tiempo (dos ranuras de 100 ms, seguidas de tres ranuras de 200 ms). Las formas de onda de tensión aplicadas al cristal líquido fueron tensiones de CA a una frecuencia de 1 kHz y, por lo tanto, la Fig. 7A muestra la tensión RMS en función del tiempo.

25 En ambas formas de onda 80 y 82, la tensión se conmutó de 0,25 V a 2,4 V, y la modulación de fase resultante en las curvas 84 y 86 cambió de 0 a 42 radianes. Sin la sobreexcitación, el cambio en la modulación de fase tomó casi 2 segundos, como se muestra en la curva 84. En la forma de onda 82, la tensión se conmutó primero a la tensión máxima  $V_{\text{máx}} = 4,7$  V para una ranura de tiempo de 100 ms, y luego la tensión se conmutó a una tensión intermedia de 4,3 V para la segunda ranura de tiempo de 100 ms. La tensión se conmutó al valor final de 2,4 V después de 200 ms. Así, en el caso de la curva 86, la transición de fase fue mucho más rápida, alrededor de 200 ms. Para implementar la transición ilustrada por la forma de onda 82 que utiliza las dos LUT descritas anteriormente, la primera LUT mantendrá el valor 1 (una ranura de tiempo de tensión máxima), y la segunda LUT mantendrá el valor 4,3 (4,3 V, o algún índice entero correspondiente a 4,3 V).

35 Las Fig. 8A y 8B son gráficos que ilustran esquemáticamente la aplicación de formas de onda de tensión de subimpulso a lo largo del tiempo al modulador 40 de fase óptico para modificar la modulación de fase local, según otra realización de la invención. La Fig. 8A muestra una forma de onda de tensión 90 sin subimpulso, junto con una forma de onda de tensión 92 en la que se aplica una tensión de subimpulso a uno de los electrodos 50 en dos ranuras de tiempo sucesivas. La Fig. 8B muestra una curva de modulación de fase 94 a lo largo del tiempo que resulta de la aplicación de la forma de onda 90, sin subimpulso, junto con una curva 96 de modulación de fase, que se obtiene mediante la aplicación de la forma de onda 92.

40 En este caso, utilizando la forma de onda 90 sin sobreexcitación, la tensión se conmutó de 4,1 V a 1,8 V, y la modulación de fase ilustrada por la curva 94 cambió de 39 a 3 radianes en aproximadamente 2 segundos. Usando el esquema de sobreexcitación ilustrado por la forma de onda 92, la tensión se conmutó primero a la tensión mínima  $V_{\text{mín}} = 0,2$  V durante tres ranuras de tiempo (2 X 100 ms más 1 x 200 ms, dando un total de 400 ms), después de lo cual se conmutó la tensión a una tensión intermedia de 1,7 V para la cuarta ranura de tiempo de 200 ms, y luego al valor final de 1,8 V después de un total de 600 ms. La transición de fase de 39 a 3 radianes fue mucho más rápida en este caso, como se ilustra en la curva 96, y tomó solo unos 500 ms. Para implementar la forma de onda 92, la primera LUT tiene el valor 3 (tres ranuras de tiempo de tensión mínima) y la segunda LUT tiene el valor de tensión intermedia 1,7 (o algún índice entero correspondiente a 1,7 V).

45 Típicamente, como se puede observar en las Fig. anteriores, los tiempos de conmutación a tensiones más altas son más rápidos que los tiempos de conmutación a tensiones más bajas (es decir, los tiempos de subida son más cortos que los tiempos de bajada). Por lo tanto, es favorable, cuando sea posible, utilizar tiempos de subida en lugar de tiempos de bajada, por ejemplo, cuando se conmuta a una potencia focal cero (apagando la lente). Aunque la potencia cero se logra normalmente aplicando la tensión mínima (por ejemplo, tensión cero) a todos los electrodos 50, la

potencia focal cero a menudo se puede alcanzar más rápidamente aplicando tensiones altas iguales a todos los electrodos.

5 Por lo tanto, en otra realización de la invención, la circuitería 26 de control apaga el modulador 40 de fase óptico (es decir, conmuta a una potencia focal cero), aplicando simultáneamente una tensión máxima predefinida,  $V_{m\acute{a}x}$ , a todos los electrodos 50, seguido de la aplicación de una tensión mínima predefinida a todos los electrodos. La conmutación a la tensión máxima apaga rápidamente la potencia focal. Reducir las tensiones al mínimo después no es esencial y puede tener lugar lentamente. Siempre y cuando la tensión se reduzca uniformemente en todos los electrodos, la potencia focal del modulador 40 permanecerá en cero. La reducción de las tensiones es útil para conservar energía, así como para lograr transiciones más rápidas cuando se vuelve a encender la lente.

10 Una lente típicamente tiene un perfil de modulación de fase espacial que varía relativamente lentamente cerca del centro de la lente y se vuelve más inclinado más lejos del centro de la lente. Sin embargo, para una lente dinámica basada en un modulador 40 de fase óptico (u otro dispositivo sintonizable eléctricamente similar), el perfil de modulación de fase se aplica mediante electrodos 50 discretos. Cuando el perfil de fase cambia rápidamente en relación con el paso entre electrodos (con una pendiente inclinada, como ocurre típicamente lejos del centro del modulador 40), las diferencias de tensión entre electrodos contiguos aumentan y, por lo tanto, la diafonía eléctrica entre los electrodos se vuelve significativa.

15 Para atenuar este problema cuando se cambia la potencia focal de la lente, la circuitería 26 de control puede establecer las tensiones de sobreexcitación (es decir, sobreimpulso o subimpulso) que se aplican a cada electrodo de una manera que depende no solo de las formas de onda de tensión de control inicial y final que se aplican al electrodo en sí, sino también a las formas de onda de tensión de control que se aplican a los electrodos contiguos. Así, por ejemplo, al conmutar la tensión aplicada al electrodo  $k$  de  $V1(k)$  a  $V2(k) > V1(k)$ , la circuitería 26 de control establece primero la tensión en  $Vod(k) > V2(k)$  para un período de  $T(k)$ , en el que  $Vod(k)$  y/o  $T(k)$  depende de las tensiones inicial y final del electrodo  $k$ ,  $V1(k)$  y  $V2(k)$ , así como de las tensiones inicial y final de los electrodos contiguos,  $V1(k-1)$ ,  $V2(k-1)$ ,  $V1(k+1)$  y  $V2(k+1)$ . De manera similar, si  $V1(k) < V2(k)$ , entonces la tensión de subimpulso será  $Vod(k) < V2(k)$ , con una dependencia similar de los electrodos contiguos. Cuando hay una fuerte diafonía, se puede considerar más de un vecino en cada lado al determinar la duración de la sobreexcitación. En general, tanto  $T(k)$  como  $Vod(k)$  pueden depender de las transiciones de la tensión. Los valores de  $T(k)$  y  $Vod(k)$  se pueden almacenar en las LUT:

$$T(V1(k-1), V1(k), V1(k+1), V2(k-1), V2(k), V2(k+1))$$

y

30 
$$Vod(V1(k-1), V1(k), V1(k+1), V2(k-1), V2(k), V2(k+1)).$$

Sin embargo, almacenar estas LUT de seis dimensiones puede consumir una cantidad sustancial de memoria.

35 La complejidad y el tamaño de las LUT se pueden reducir suponiendo que el perfil de modulación de fase de una lente cambia suavemente (aunque esta suposición no es válida para una lente de Fresnel cerca de las transiciones de fase de Fresnel) y, por lo tanto, expresando  $T(k)$  y  $Vod(k)$  como funciones de la pendiente de la modulación de fase, más que de las tensiones exactas de los electrodos contiguos.

40 Por lo tanto, en otra realización de la invención, la tensión de sobreexcitación y/o la duración de sobreexcitación cuando se conmuta la tensión del electrodo  $k$  está determinada por  $V1(k)$ ,  $V2(k)$ ,  $S1(k)$  y  $S2(k)$ , en el que  $S1(k)$  y  $S2(k)$  son las pendientes de tensión inicial y final alrededor del electrodo  $k$ , o de forma alternativa, las pendientes inicial y final del perfil de modulación de fase alrededor del electrodo  $k$ . En este caso, las LUT son solo de cuatro dimensiones:  $Vod(V1, V2, S1, S2)$  y  $T(V1, V2, S1, S2)$ . Las LUT se pueden extender, como se ha explicado anteriormente, para incluir múltiples ranuras de tiempo de sobreexcitación, con la tensión de sobreexcitación para cada electrodo en cada ranura de tiempo dependiendo de las tensiones inicial y final de ese electrodo, así como de las tensiones inicial y final de los electrodos vecinos.

45 Cuando el modulador 40 de fase óptico se acciona para funcionar como una lente de Fresnel, los perfiles de modulación de fase resultantes comprenden múltiples transiciones de fase de Fresnel, donde la modulación de fase es discontinua. En este caso, las tensiones de control de sobreimpulso que dependen de los electrodos conductores contiguos se pueden aplicar preferentemente a los electrodos conductores que se encuentran alrededor de las transiciones de fase de Fresnel. Para estos electrodos, por ejemplo, la circuitería 26 de control puede utilizar diferentes LUT,  $Vod_F(V1, V2, S1, S2)$  y  $T_F(V1, V2, S1, S2)$ . Las pendientes aquí se calculan sobre la vecindad de la transición de fase, en lugar de en la transición en sí, que es discontinua.

50 Los parámetros de sobreexcitación óptimos, particularmente para electrodos fuera del eje en ubicaciones de transición de fase rápida, variarán dependiendo de las propiedades de la capa 46 electroóptica y otros rasgos característicos y dimensiones del modulador 40 de fase óptica. Puede ser difícil derivar los parámetros de sobreexcitación a priori, pero las LUT se pueden completar en cada caso mediante un simple proceso de prueba y error.

55 La Fig. 9 es un gráfico que ilustra esquemáticamente las curvas 100, 102 y 104 de modulación de fase a lo largo del tiempo que se logran mediante la aplicación de diferentes formas de onda de tensión a los electrodos 50 del modulador

40 de fase óptico, según una realización de la invención. Para obtener estas curvas, se midió la modulación de fase promedio a lo largo del tiempo usando un panel de cristal líquido con un paso de electrodo de 20  $\mu\text{m}$ . Esta figura ilustra una optimización empírica de los parámetros de sobreexcitación para tener en cuenta la diafonía entre electrodos contiguos.

5 La curva 100 muestra el perfil de modulación de fase logrado usando una sobreexcitación óptima sin diafonía, ya que se aplica la misma tensión a todos los electrodos. La tensión se conmutó de  $V_1 = 1,84 \text{ V}$  a  $V_2 = 2,04 \text{ V}$ . Sin diafonía, y suponiendo una duración de sobreexcitación de 100 ms, se encontró que la tensión de sobreimpulso óptimo era 2,65 V, lo que resultó en la transición de fase ilustrada por la curva 100.

10 Para generar la curva 102, el panel se estableció en un perfil de tensión inicial con tensiones alternas de 1,84 V y 2,04 V en electrodos pares e impares, respectivamente, después de lo cual la tensión se conmutó a 2,04 V en todos los electrodos. Se utilizó el mismo esquema de sobreexcitación que en el caso anterior (aunque solo en los electrodos que se establecieron previamente en 1,84 V), ignorando la diafonía entre electrodos contiguos. Como se muestra en la curva 102, la tensión de sobreexcitación era demasiado alta y, por lo tanto, dio lugar a un sobreimpulso indeseable en la modulación de fase.

15 A continuación, se corrigió la tensión de sobreimpulso para tener en cuenta la diafonía, lo que dio como resultado el valor de sobreimpulso más bajo de 2,59 V. Como resultado, como se muestra en la curva 104, el sobreimpulso desaparece.

20 Se apreciará que las realizaciones descritas anteriormente se citan a modo de ejemplo. También se apreciará que se pueden realizar combinaciones y subcombinaciones de los diversos rasgos característicos descritos anteriormente, así como variaciones y modificaciones de los mismos que se les pueden ocurrir a los expertos en la técnica tras leer la descripción anterior y que no se describen en la técnica anterior, en los ejemplos descritos dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Una lente (22, 24) para gafas configurada para colocarse delante de un ojo (31) humano a una distancia determinada del ojo para aplicar a los rayos de radiación óptica que inciden en el ojo a través de la lente para gafas un perfil de modulación fase refractivo  $\Phi(x)$  en función de una posición  $x$  a través de la lente alrededor de un punto central  $x = 0$ , por medio del cual los rayos que inciden en el ojo a la distancia determinada desde la lente pasan a través de la lente en los respectivos ángulos de incidencia  $\alpha(x)$ , en la que la lente incluye un dispositivo (40) óptico, el dispositivo (40) óptico que comprende:
  - una capa (46) electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación;
  - electrodos (50, 52) conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica; y
  - circuitería (26) de control, que está configurada para aplicar formas de onda de tensión de control  $V(x)$  entre los electrodos conductores para generar el perfil de modulación de fase refractiva en la capa electroóptica que hace que los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada;
  - caracterizada por que la circuitería de control está configurada para variar las respectivas amplitudes de las formas de onda de tensión de control para la potencia focal dada en función de la posición  $x$  sobre el área activa de la capa electroóptica en respuesta a una asignación de los ángulos de incidencia  $\Phi(x)$  de los rayos que inciden en el dispositivo en cada posición  $x$  sobre el área activa de la capa electroóptica.
2. La lente según la reivindicación 1, en la que la capa electroóptica comprende un cristal líquido.
3. La lente según la reivindicación 1, la circuitería de control está configurada para aplicar una forma de onda de tensión de control a una amplitud predeterminada con el fin de producir un desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden a lo largo de una normal al dispositivo, y para aplicar la forma de onda de tensión de control en una primera amplitud, que es menor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en un ángulo agudo al dispositivo en un primer acimut, y para aplicar la forma de onda de tensión de control en una segunda amplitud, que es mayor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en el ángulo agudo del dispositivo en un segundo acimut, que es opuesto al primer acimut.
4. La lente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la circuitería de control está configurada para cambiar el dispositivo de una primera potencia focal a una segunda potencia focal aplicando simultáneamente tensiones de control de sobrepulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores para diferentes períodos de transición respectivos, seguido de la aplicación de las formas de onda de tensión de control correspondientes a la segunda potencia focal.
5. La lente según la reivindicación 4, en la que los períodos de transición comprenden una pluralidad de ranuras de tiempo, y en la que las tensiones de control de sobrepulso aplicadas a al menos algunos de la pluralidad de electrodos conductores comprenden al menos una primera tensión de sobrepulso aplicada durante una primera ranura de tiempo y una segunda tensión de sobrepulso aplicada durante una segunda ranura de tiempo.
6. La lente según la reivindicación 4, en la que las tensiones de control de sobrepulso aplicadas a al menos algunos de la pluralidad de electrodos conductores comprenden una alta tensión predefinida, que se aplica a diferentes electrodos conductores durante diferentes períodos respectivos dentro de los períodos de transición.
7. La lente según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que la circuitería de control también está configurada, tras cambiar de la primera potencia focal a la segunda potencia focal, para aplicar simultáneamente tensiones de control de subimpulso a al menos algunos de los electrodos conductores antes de la aplicación de las segundas formas de onda de tensión de control.
8. La lente según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que cuando la segunda potencia focal es cero, las tensiones de control de sobrepulso comprenden una alta tensión predefinida, que se aplica mediante la circuitería de control a todos los electrodos conductores en el primer lado de la capa electroóptica, seguido de la aplicación de una tensión baja predefinida en las segundas formas de onda de tensión de control.
9. La lente según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que las tensiones de control de sobrepulso aplicadas a al menos un electrodo entre la pluralidad de electrodos conductores dependen tanto de las primeras como de las segundas formas de onda de tensión de control que se aplican al al menos un electrodo y de las formas de onda de tensión de control que se aplican a uno o más de otros electrodos conductores que son contiguos al al menos un electrodo.

10. Un procedimiento óptico, que comprende:

Colocar una lente (22, 24) para gafas delante de un ojo (31) humano a una distancia determinada del ojo para aplicar a los rayos de radiación óptica que inciden en el ojo a través de la lente para gafas un perfil de modulación de fase refractiva.  $\Phi(x)$  en función de una posición  $x$  a través de la lente alrededor de un punto central  $x = 0$ , por medio del cual los rayos que inciden en el ojo a la distancia determinada desde la lente pasan a través de la lente en los respectivos ángulos de incidencia  $\alpha(x)$ , en la que la lente comprende un dispositivo (40) óptico, que incluye una capa (46) electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa óptica en la ubicación, y electrodos (50, 52) conductores dispuestos sobre el primer y segundo lado opuestos de la capa electroóptica; y

aplicar formas de onda de tensión de control  $V(x)$  entre los electrodos conductores para generar el perfil de modulación de fase refractiva en la capa electroóptica que hace que los rayos de radiación óptica que inciden en el dispositivo converjan o diverjan con una potencia focal determinada;

caracterizado por que las respectivas amplitudes de las formas de onda de la tensión de control varían para la potencia focal dada en función de la posición  $x$  sobre el área activa de la capa electroóptica en respuesta a una asignación de los ángulos de incidencia  $\alpha(x)$  de los rayos que inciden en el dispositivo en cada posición  $x$  sobre el área activa de la capa electroóptica.

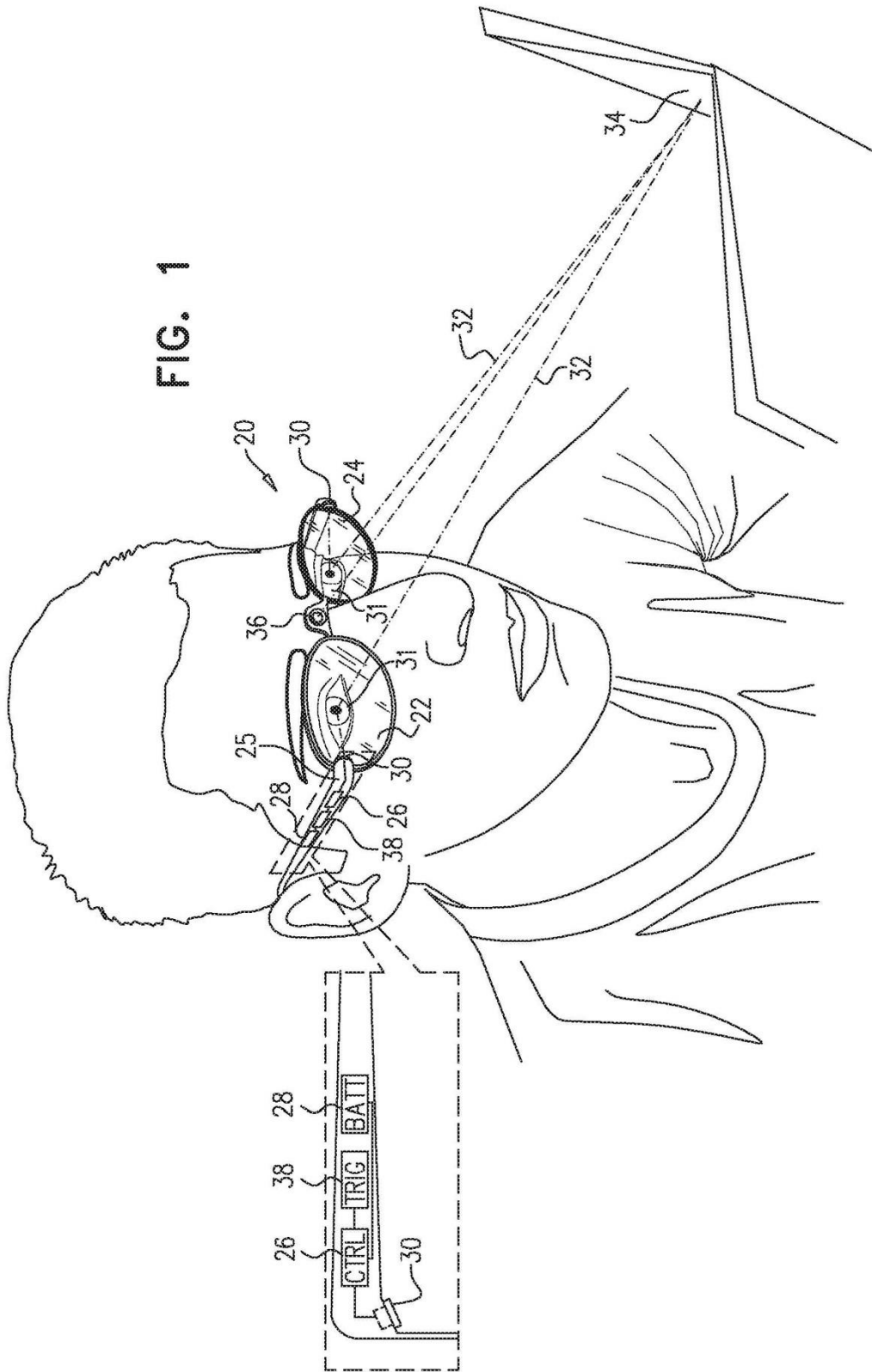
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que la aplicación de las formas de onda de la tensión de control comprende:

aplicar una forma de onda de tensión de control a una amplitud predeterminada para producir un desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden a lo largo de una normal al dispositivo;

aplicar la forma de onda de la tensión de control en una primera amplitud, que es menor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en un ángulo agudo con el procedimiento en un primer acimut; y

aplicar la forma de onda de la tensión de control en una segunda amplitud, que es mayor que la amplitud predeterminada, para producir el desplazamiento de fase dado en los rayos que inciden en el ángulo agudo del procedimiento en un segundo acimut, que es opuesto al primer acimut.

12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11, en el que aplicar las formas de onda de tensión de control comprende cambiar el dispositivo de una primera potencia focal a una segunda potencia focal aplicando simultáneamente tensiones de control de sobreimpulso a cada uno de una pluralidad de electrodos conductores para diferentes períodos de transición respectivos, seguido de la aplicación de las formas de onda de tensión de control correspondientes a la segunda potencia focal.





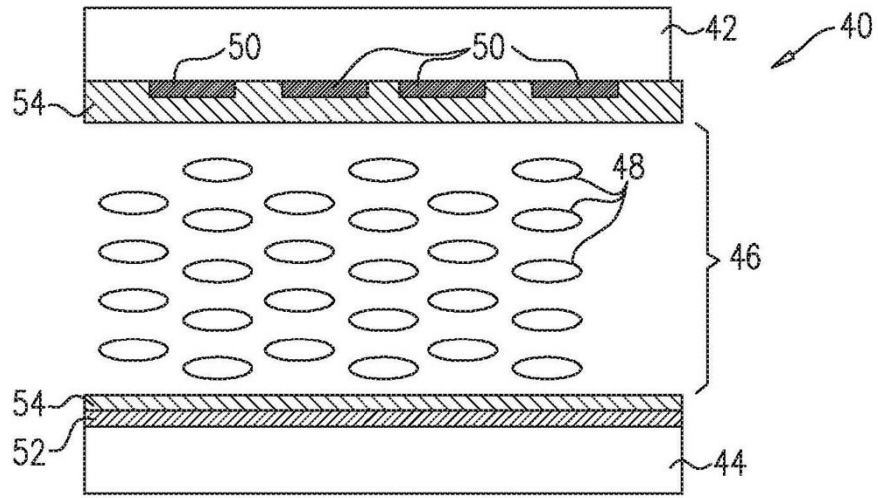


FIG. 2

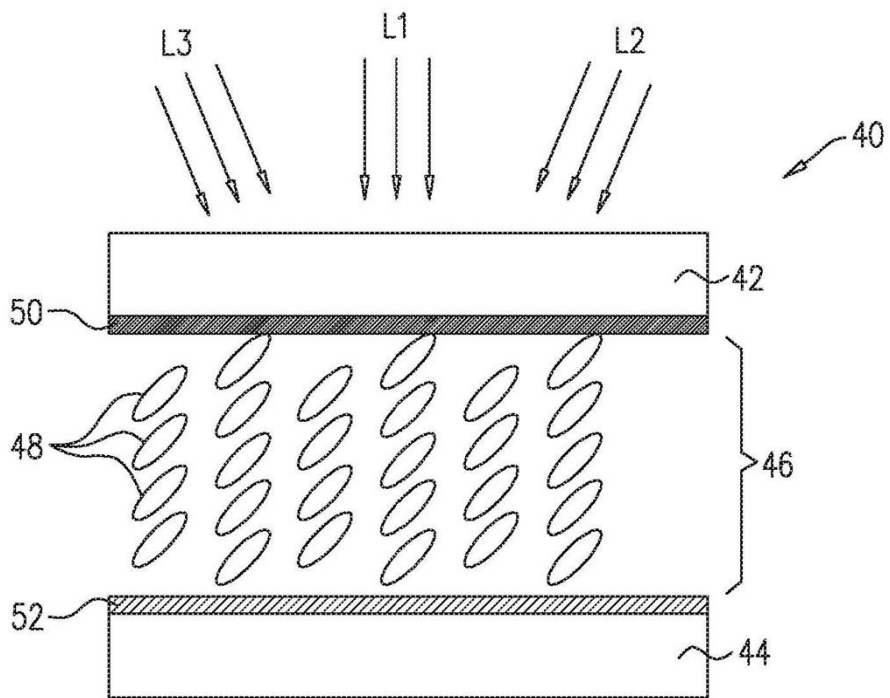


FIG. 3

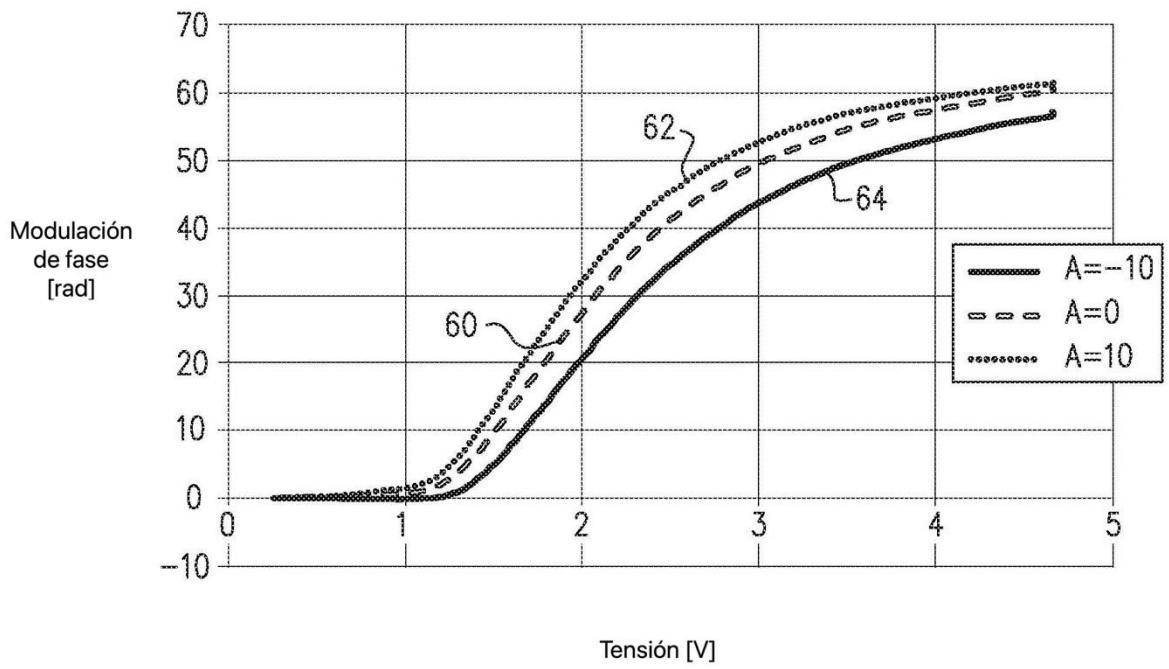


FIG. 4

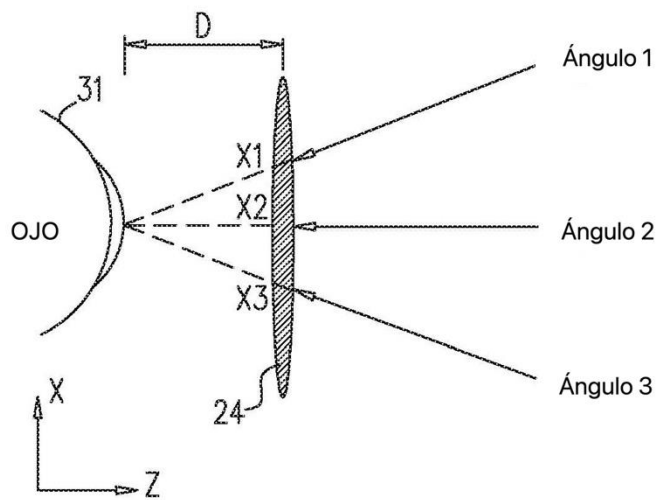


FIG. 5

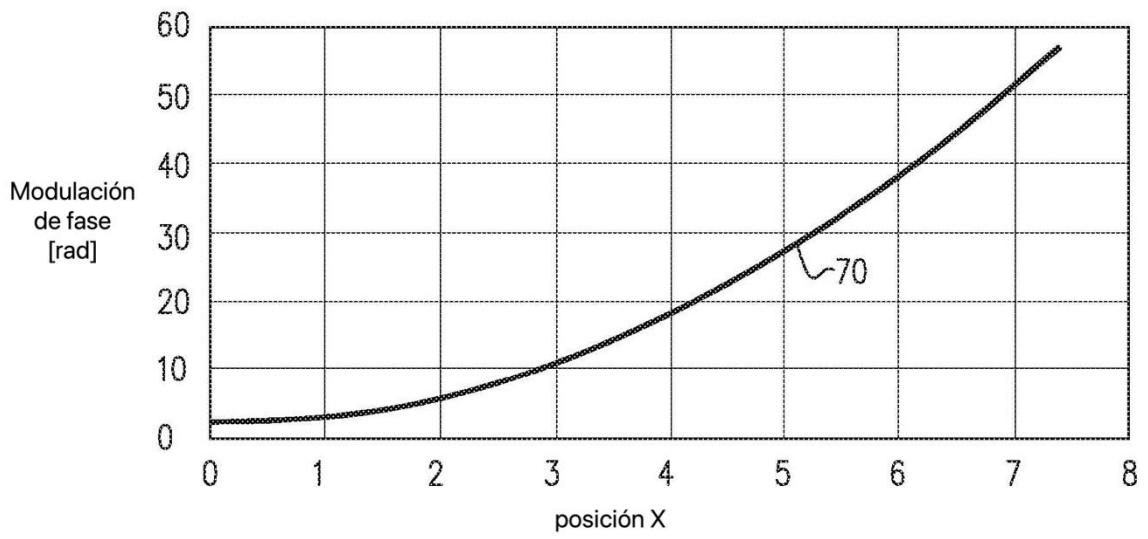


FIG. 6A

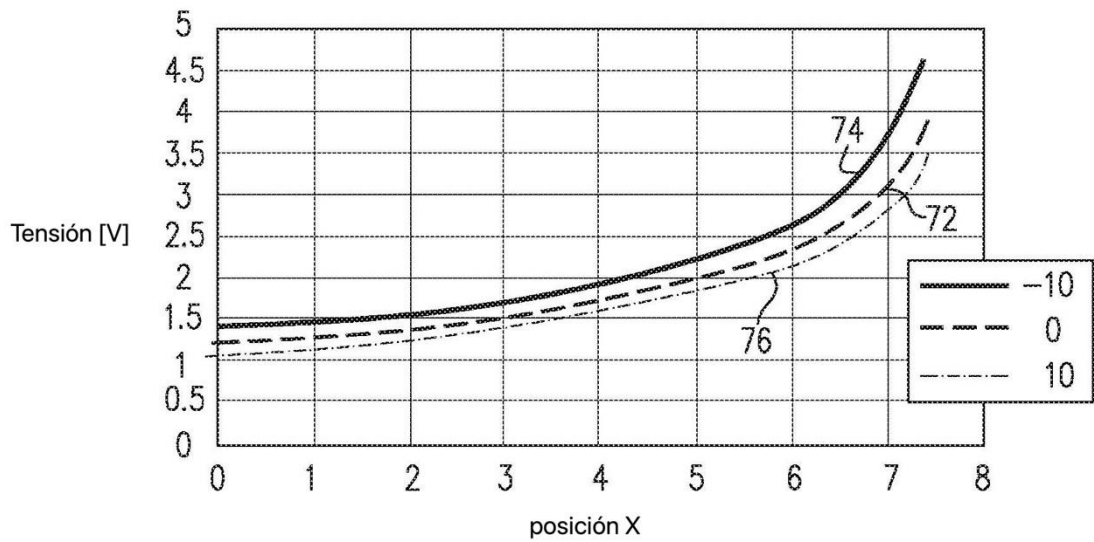


FIG. 6B

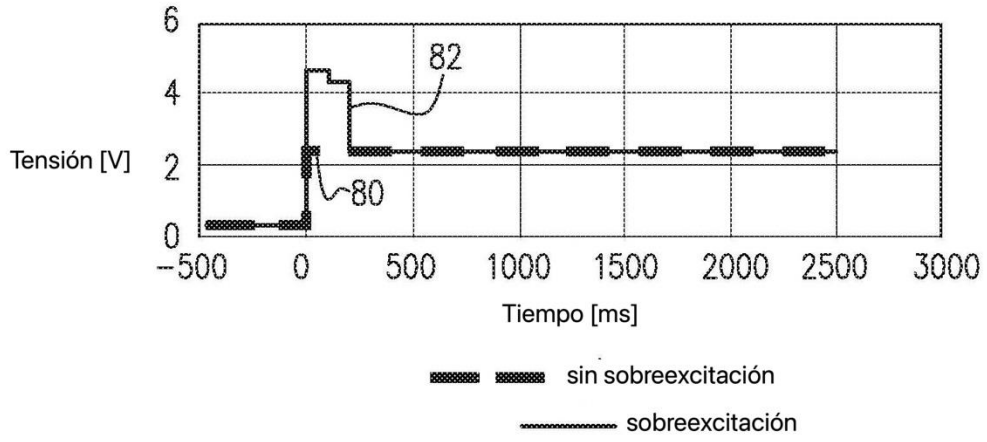


FIG. 7A

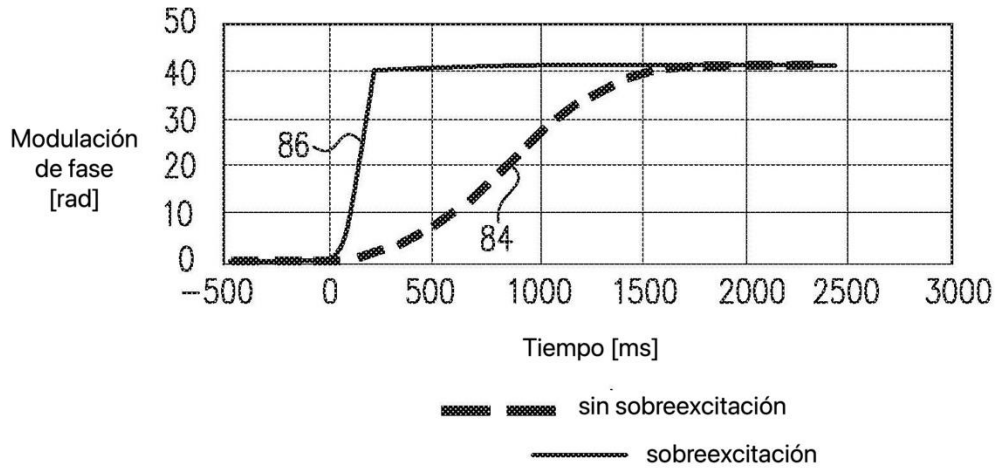


FIG. 7B

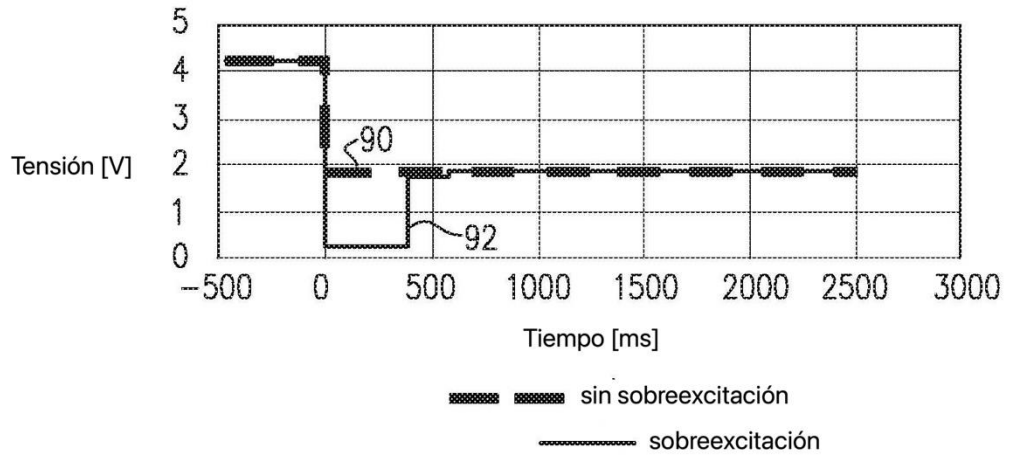


FIG. 8A

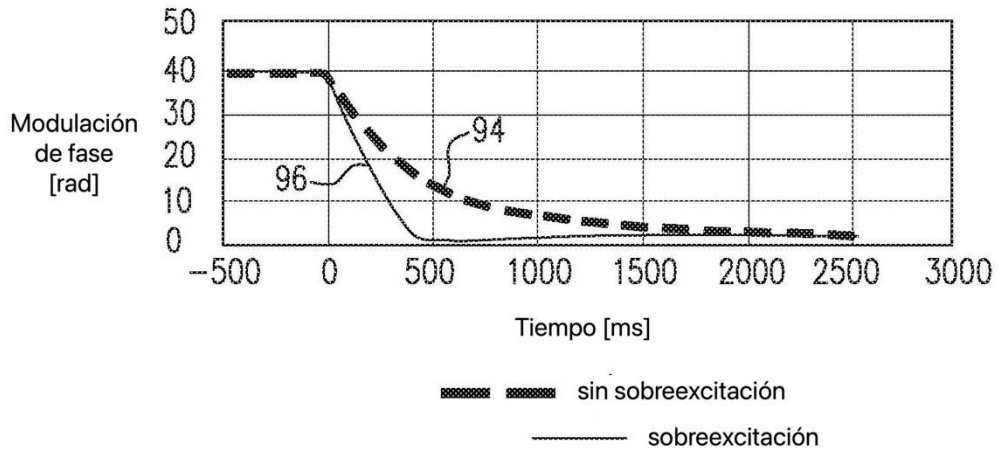


FIG. 8B

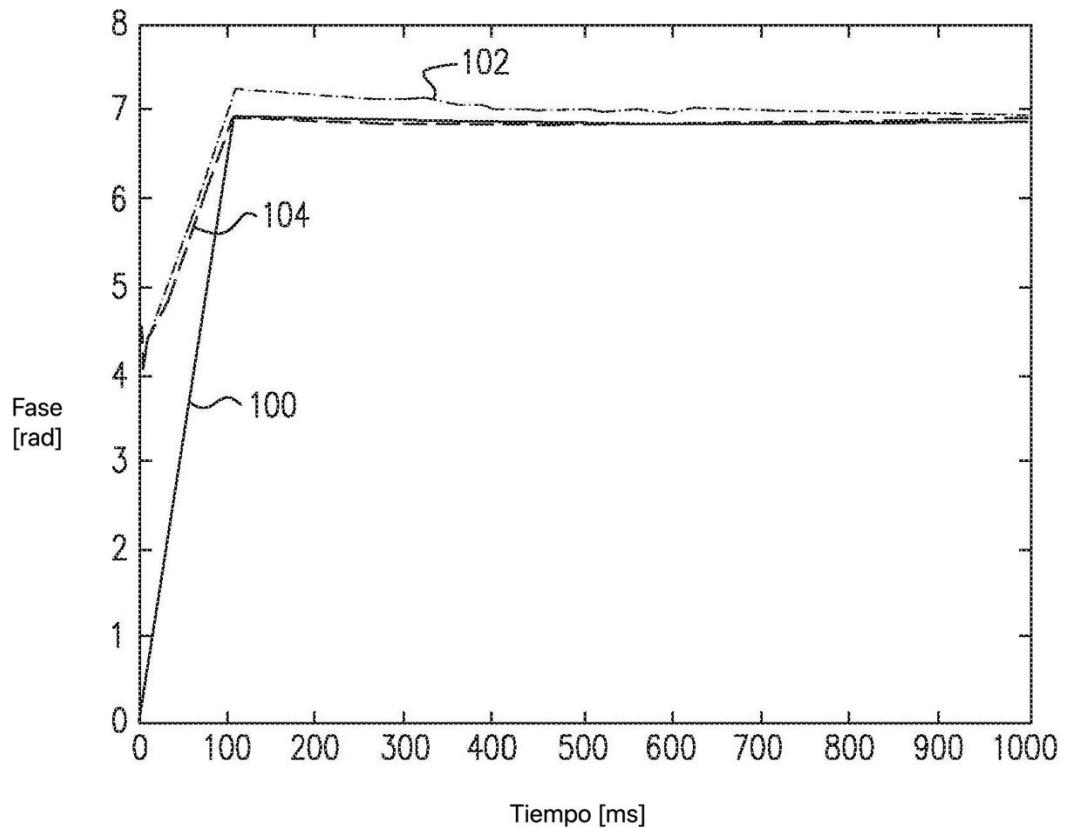


FIG. 9