

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 973 940**

51 Int. Cl.:

G01J 1/44 (2006.01)

G02C 7/04 (2006.01)

G01J 1/42 (2006.01)

G02C 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2019** **E 19176095 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023** **EP 3742134**

54 Título: **Circuito y método para la detección ratiométrica de cambios de luz**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.06.2024

73 Titular/es:

IMEC VZW (50.0%)
Kapeldreef 75
3001 Leuven, BE y
STICHTING IMEC NEDERLAND (50.0%)

72 Inventor/es:

VAN LIEMPD, CHRIS;
VASQUEZ QUINTERO, ANDRES FELIPE y
DE SMET, HERBERT

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 973 940 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

Circuito y método para la detección ratiométrica de cambios de luz

5 Campo de la invención

La presente descripción se refiere en general al campo de la detección de luz. En particular, la presente descripción se refiere a un circuito y un método para la detección de un cambio ratiométrico en una intensidad de luz incidente.

10 Antecedentes de la invención

Los circuitos para detectar un cambio de luz ratiométrico pueden encontrar uso en diversas aplicaciones, que incluyen, por ejemplo, la detección de un parpadeo de un ojo o la detección de un objeto en movimiento. Para poder detectar un cambio de luz, por ejemplo, tanto en condiciones de iluminación interior tenue como en condiciones de iluminación exterior brillante, existe la necesidad de que dicho circuito tenga un alto rango dinámico.

EP 1 970 732 A2 y US 5 155 353 A son ejemplos de circuitos de fotodetección de la técnica anterior, en donde EP 1 970 732 A2 describe un dispositivo de detección de fotones que comprende un elemento sensible a fotones que tiene una salida, un amplificador; y un elemento de retroalimentación no lineal. WO 2018/111992 A1 es un ejemplo de una lente de contacto que comprende un fotodetector y una capa de atenuador de cristal líquido.

Breve descripción de la invención

Para satisfacer al menos parcialmente la necesidad anterior, la presente descripción proporciona una lente de contacto inteligente con las características de la reivindicación 1 y un método para operar una lente de contacto inteligente de acuerdo con la reivindicación 9.

Se proporcionan realizaciones adicionales en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un aspecto de la presente descripción, se proporciona una lente de contacto inteligente. La lente incluye uno o más anillos de tipo pantalla de cristal líquido (LCD). Cada anillo es operable entre un estado que tiene una menor atenuación de la luz y un estado que tiene una mayor atenuación de la luz. El uno o más anillos se disponen preferentemente de forma concéntrica o aproximadamente concéntrica. Los anillos preferiblemente también tienen diferentes diámetros internos/externos, y están dispuestos en orden de diámetro interno/externo. La lente incluye un circuito para detectar un cambio ratiométrico en una intensidad de luz incidente como se describe en este documento. La lente incluye además un controlador. El controlador está configurado para operar el uno o más anillos en función de la intensidad de una luz incidente. El controlador está configurado para recibir la salida de señal del comparador y, como respuesta a la señal (recibida del comparador) que indica un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente de un estado de mayor intensidad a un estado de menor intensidad que indica que se ha producido al menos el comienzo de un parpadeo de un ojo de un usuario, iniciar una repolarización del uno o más anillos. El circuito incluye un amplificador operacional. El circuito incluye un sensor de luz configurado para inducir una fotocorriente a través del mismo en función de la intensidad de una luz incidente. El sensor de luz puede ser, por ejemplo, un fotodiodo, fotodetector o fotosensor, u otro elemento (es decir, un dispositivo fotosensible) que puede proporcionar una fotocorriente a través de él en función de la intensidad de la luz incidente. El sensor de luz está conectado a una entrada inversora del amplificador operacional. El circuito incluye un bucle de retroalimentación. El bucle de retroalimentación conecta una salida del amplificador operacional a la entrada inversora del amplificador operacional. El bucle de retroalimentación incluye al menos un elemento de circuito. El al menos un elemento de circuito tiene una dependencia logarítmica voltaje-corriente. El circuito incluye un filtro de paso alto. El filtro de paso alto está configurado para filtrar una salida de señal del amplificador operacional para generar una señal filtrada de paso alto. El circuito incluye además un elemento de comparación. El elemento de comparación está configurado para recibir la señal filtrada de paso alto. El elemento de comparación está configurado para comparar la señal filtrada de paso alto con al menos un primer valor umbral. El elemento de comparación está configurado para emitir una señal que, como respuesta a una amplitud de la señal filtrada de paso alto que pasa por al menos un primer valor umbral, cambia para indicar un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente.

Una lente de contacto inteligente como se describe en este documento puede ofrecer una forma de, por ejemplo, imitar artificialmente la función del iris de un ojo. Esto puede ser útil para las personas que, debido a, por ejemplo, cáncer, lesión aguda o por otras razones, sufren de problemas con el iris. Al activar o desactivar individualmente uno o más anillos de tipo pantalla de cristal líquido (LCD) dispuestos en el área del iris, la luz incidente en el ojo puede controlarse basándose, por ejemplo, en un nivel de luz ambiental.

Una vez que se ha activado un anillo LCD, normalmente es necesario volver a polarizarlo después de unos segundos para no perder su contraste. Dicha repolarización puede ser visible para el usuario de la lente de contacto en forma de parpadeo de luz no deseado. Sin embargo, si el anillo LCD se vuelve a polarizar mientras el párpado del ojo está cerrado (por ejemplo, durante un parpadeo del ojo), la repolarización se puede realizar sin un parpadeo de luz notable para el usuario. Para algunos tipos de LCD, la repolarización de un anillo puede ser deseable también por otras razones. Por ejemplo, si un anillo es de, por ejemplo, un tipo de visualización de host fantasma puede ser deseable una repolarización

repetida para evitar la degradación de la celda(s) de cristal.

Si la lente se instala/proporciona en un ojo, el cambio de intensidad anterior puede corresponder, por ejemplo, al comienzo de un parpadeo del ojo. Al volver a polarizar el uno o más anillos durante el parpadeo del ojo (es decir, mientras el párpado está cerrado), el usuario de la lente de contacto puede experimentar poco o ningún parpadeo visual debido a la repolarización.

El amplificador operacional puede ser un amplificador operacional genérico de potencia ultrabaja, y el circuito puede funcionar con un consumo bajo o mínimo de corriente de alimentación. Esto permite que el circuito sea alimentado, por ejemplo, por una pequeña batería de película delgada. Si el circuito se utiliza, por ejemplo, como parte de una lente de contacto inteligente, dicha batería puede proporcionarse en la lente de contacto inteligente. Como se describirá más adelante, el uso del elemento de circuito con una dependencia logarítmica de voltaje-corriente dentro de los bucles de retroalimentación permite que el circuito detecte cambios de luz dentro de un rango de luz dinámico alto y trabaje desde, por ejemplo, luz interior atenuada hasta luz solar completa. Además, debido a un bajo recuento de componentes, el circuito proporcionado requiere una huella más baja, lo que lo hace aún más adecuado para su uso como, por ejemplo, un detector de parpadeo en una lente de contacto inteligente.

En algunas realizaciones, el sensor de luz puede estar conectado entre la entrada inversora y una entrada no inversora del amplificador operacional.

En algunas realizaciones, el al menos un elemento de circuito puede ser o incluir un diodo o al menos un elemento de dos terminales que se comporta como un diodo. Particularmente, se entiende que un comportamiento similar a un diodo significa un elemento en el que un voltaje a través del elemento tiene una dependencia logarítmica de una corriente a través del elemento.

En algunas realizaciones, el al menos un elemento de circuito (por ejemplo, el diodo o elemento que se comporta como un diodo) puede disponerse en el bucle de retroalimentación con un terminal hacia la entrada inversora del amplificador operacional y otro terminal hacia la salida del amplificador operacional. Aquí, "hacia" no indica necesariamente una ubicación física de algo (es decir, que algo apunta físicamente hacia algo), sino más bien una disposición topológica. Dicho de otra manera, el al menos un elemento de circuito puede estar dispuesto de tal manera que, por ejemplo, una ruta eléctrica (o corriente eléctrica) que va desde la entrada inversora del amplificador operacional (o al menos desde un nodo al que está conectada la entrada inversora del amplificador operacional) hacia la salida del amplificador operacional primero llega a un terminal del elemento antes de llegar al otro terminal del elemento.

En algunas realizaciones, el al menos un elemento de circuito puede ser un diodo, dispuesto dentro del bucle de retroalimentación con su cátodo hacia la entrada inversora del amplificador operacional y su ánodo hacia la salida del amplificador operacional. El sensor de luz puede ser, por ejemplo, un fotodiodo, y dispuesto con su cátodo hacia la entrada inversora del amplificador operacional y su ánodo hacia, por ejemplo, una tierra o hacia la entrada no inversora del amplificador operacional. En algunas realizaciones, el al menos un elemento de circuito puede ser un diodo, dispuesto dentro del bucle de retroalimentación con su ánodo hacia la entrada inversora del amplificador operacional y su cátodo hacia la salida del amplificador operacional. El sensor de luz puede ser, por ejemplo, un fotodiodo, y dispuesto con su ánodo hacia la entrada inversora del amplificador operacional y su cátodo hacia, por ejemplo, una tierra o hacia la entrada no inversora del amplificador operacional.

En algunas realizaciones, el elemento de comparación puede ser un comparador. Dicho comparador puede, por ejemplo, emitir una señal que, dependiendo de si una señal de entrada al comparador está por encima o por debajo de un valor umbral, asume uno de dos estados (como, por ejemplo, un estado de voltaje más alto y un estado de voltaje más bajo). El comparador puede realizarse, por ejemplo, utilizando un amplificador diferencial o similar, en donde la señal filtrada de paso alto se proporciona como una entrada y una señal indicativa del primer valor umbral como otra entrada, y en donde el amplificador diferencial se satura, por ejemplo, a un voltaje de riel positivo o negativo dependiendo de si una entrada es mayor que la otra o viceversa. Por supuesto, también se prevén otras formas de implementar un comparador.

En algunas realizaciones, el comparador puede ser un comparador histerético. La señal emitida desde el comparador puede cambiar como respuesta a la señal filtrada de paso alto que pasa tanto el primer valor umbral como un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral. Dicho de otra manera, el comparador no puede cambiar su señal de salida directamente cuando la señal filtrada de paso alto cruza un único valor umbral (es decir, el primero), sino solo cuando la señal filtrada de paso alto también cruza el segundo valor umbral, introduciendo así un comportamiento histerético en el sentido de que el valor de salida del comparador trazado como una función de la señal filtrada de paso alto no seguirá una misma curva cuando el valor de la señal filtrada de paso alto cambie en una dirección (por ejemplo, de un valor inferior a un valor superior) como cuando el valor de la señal filtrada de paso alto cambia en una dirección opuesta (por ejemplo, del valor superior al valor inferior). Se prevé que el comportamiento histerético del comparador puede ser una característica intrínseca de un comparador o, por ejemplo, implementarse usando, por ejemplo, un circuito de activación de Schmitt o similar. El uso de un comparador histerético puede, por ejemplo, proporcionar una señal de salida que es más inmune al ruido que hace que la señal filtrada de paso alto fluctúe alrededor del primer valor umbral, y que solo cambia su estado de salida una vez que la entrada (por ejemplo, la señal filtrada de paso alto) sale de una región de valores limitada por el primer valor umbral y el segundo valor umbral.

En algunas realizaciones, el filtro de paso alto puede tener una frecuencia de esquina que puede depender de una tasa de cambio requerida del circuito para un determinado cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente. Dicho de otra manera, la frecuencia de esquina del filtro de paso alto puede configurarse para permitir una cierta velocidad de detección del circuito.

En algunas realizaciones, el filtro de paso alto puede ser de un tipo de condensador conmutado. Tal implementación del filtro de paso alto puede, por ejemplo, ayudar a limitar un área requerida en el chip de componentes pasivos tales como resistencias y/o condensadores.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente descripción, se proporciona un método para operar una lente de contacto inteligente que incluye uno o más anillos, preferentemente concéntricos, de un tipo de pantalla de cristal líquido, LCD. El método incluye detectar si se ha producido un cambio ratiométrico en la intensidad de una luz incidente (que incide en el sensor de luz) correspondiente a al menos el comienzo de un parpadeo de un ojo (para el que se proporciona la lente de contacto inteligente), utilizando una lente de contacto inteligente de acuerdo con el primer aspecto y/o un método para detectar un cambio ratiométrico en la intensidad de una luz incidente. El método incluye proporcionar un sensor de luz. El sensor de luz está configurado para inducir una fotocorriente a través de él en función de la intensidad de una luz incidente. El método incluye regular, mediante el uso de un amplificador operacional y un bucle de retroalimentación que incluye al menos un elemento de circuito que tiene una dependencia logarítmica de voltaje-corriente, un voltaje a través del sensor de luz a o al menos hacia cero. El método incluye el filtrado de paso alto de una salida de señal del amplificador operacional para generar una señal filtrada de paso alto. El método incluye además detectar un cambio en la intensidad de la luz incidente al confirmar que (una amplitud de) la señal filtrada de paso alto pasa al menos un primer valor umbral. Dicha confirmación puede obtenerse, por ejemplo, utilizando un elemento de comparación (tal como un comparador) como se describe en este documento con referencia al circuito del primer aspecto. El método incluye además iniciar, como respuesta a la detección de que se ha producido al menos el comienzo de un parpadeo de un ojo, una repolarización del uno o más anillos.

En algunas realizaciones, detectar un cambio en la intensidad de la luz incidente puede incluir confirmar que la señal filtrada de paso alto pasa tanto el primer valor umbral como un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral. Esto se puede obtener usando, por ejemplo, un comparador histerético como también se describe en la presente con referencia al circuito del primer aspecto.

Otros objetos y ventajas de las diversas realizaciones de la presente descripción se describirán a continuación por medio de realizaciones ejemplificantes.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán ejemplos de realizaciones con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

Las Figuras 1a y 1b ilustran esquemáticamente diversas realizaciones de un circuito de acuerdo con la presente descripción;
La Figura 2 ilustra gráficas esquemáticas de varios ejemplos de señales proporcionadas en realizaciones de un circuito de acuerdo con la presente descripción;
La Figura 3 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de un método de acuerdo con la presente descripción;
La Figura 4 ilustra esquemáticamente una realización de una lente de contacto inteligente de acuerdo con la presente descripción; y
La Figura 5 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de un método de acuerdo con la presente descripción;

En los dibujos, se usarán números de referencia similares para elementos similares a menos que se indique lo contrario. A menos que se indique explícitamente lo contrario, los dibujos muestran solo los elementos que son necesarios para ilustrar las realizaciones de ejemplo, mientras que otros elementos, en aras de la claridad, pueden omitirse o simplemente sugerirse. Como se ilustra en las figuras, los tamaños de los elementos y regiones pueden no estar necesariamente dibujados a escala y, por ejemplo, pueden estar exagerados con fines ilustrativos y, por lo tanto, se proporcionan para ilustrar las estructuras generales de las realizaciones.

Descripción detallada de la invención

Las realizaciones de ejemplo se describirán ahora con más detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos.

Con referencia a las Figuras 1a y 1b, ahora se describirán con más detalle diversas realizaciones de un circuito para detectar un cambio ratiométrico en una intensidad de luz incidente.

La Figura 1a ilustra esquemáticamente un circuito 100. El circuito 100 incluye un sensor de luz 120 que tiene un terminal 122 conectado a una entrada inversora 112 de un amplificador operacional 110. El otro terminal 124 del sensor de luz 120

puede estar conectado, por ejemplo, a tierra o, por ejemplo, directamente a una entrada no inversora 114 del amplificador operacional 110. Cuando es golpeado por una luz incidente 126, el sensor de luz 120 induce una fotocorriente I_{PD} a través de él. El tamaño de la fotocorriente I_{PD} depende de la intensidad de la luz incidente 126.

5 El circuito 100 incluye además un bucle de retroalimentación 130. El bucle de retroalimentación 130 conecta una salida 116 del amplificador operacional 110 de nuevo a la entrada inversora 112 del amplificador operacional 110. El bucle de retroalimentación 130 incluye un elemento de circuito 132. El elemento de circuito 132 es tal que tiene una dependencia logarítmica de voltaje-corriente. Dicho de otra manera, un voltaje a través del elemento de circuito 132 cambia de una manera logarítmica con respecto a una corriente a través del elemento de circuito 132. Si no se permite que entre ninguna
10 o muy poca corriente en la entrada inversora 112 del amplificador operacional 110 (por ejemplo, asumiendo que el amplificador operacional 110 es ideal o al menos aproximadamente ideal), la corriente a través del elemento de circuito 132 puede ser igual a la fotocorriente inducida I_{PD} . Un voltaje a través del elemento de circuito puede entonces ser al menos proporcional a $\ln(I_{PD} + \alpha)$ donde α es un término que puede ser cero o finito. Aunque no se ilustra en la Figura 1a, se prevé que el bucle de retroalimentación también puede incluir otros elementos además del elemento de circuito 132.

15 El circuito 100 incluye además un filtro de paso alto 140. El filtro de paso alto 140 está conectado a la salida 116 del amplificador operacional, y filtra una señal V_{AMP} salida del amplificador operacional 110 para producir una señal filtrada de paso alto V_{HPF} .

20 El circuito 100 incluye un elemento de comparación 150 que está conectado para recibir la señal filtrada de paso alto V_{HPF} del filtro de paso alto 140. El elemento de comparación 150 está configurado para comparar la señal filtrada de paso alto V_{HPF} con al menos un primer valor umbral V_{T1} y para emitir una señal V_{SALIDA} basada en el mismo. El elemento de comparación 150 está configurado de tal manera que, como respuesta a una amplitud de la señal filtrada de paso alto V_{HPF} que pasa el al menos un primer valor umbral V_{T1} , la señal V_{SALIDA} cambia para indicar un cambio ratiométrico en la
25 intensidad de la luz incidente 126.

Se prevé que la señal V_{SALIDA} , por ejemplo, cambie de forma binaria entre un primer valor (o estado) V_{S1} indicativo de, por ejemplo, una intensidad alta o superior de la luz incidente 126 y un segundo valor (o estado) V_{S2} indicativo de, por ejemplo, una intensidad baja o inferior de la luz incidente 126. En algunas realizaciones, el primer valor V_{S1} es mayor que el segundo valor V_{S2} mientras que, en otras realizaciones, ocurre lo contrario. También se prevé que la señal V_{SALIDA} , en otras
30 realizaciones, no cambie de forma digital, sino más bien de forma analógica, de modo que la señal V_{SALIDA} asuma más de dos valores diferentes. Se puede prever que, por ejemplo, un valor más alto de V_{SALIDA} indica una mayor intensidad de la luz incidente 126, mientras que un valor más bajo de V_{SALIDA} indica una menor intensidad de la luz incidente 126, o viceversa, y que un cambio en el valor indica el cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente 126. También se prevé que la señal V_{SALIDA} pueda contener información sobre una o ambas de la intensidad de la luz incidente 126 y un cambio en la intensidad de la luz incidente 126 en, por ejemplo, un formato de datos. La señal V_{SALIDA} puede ser, por ejemplo, un flujo de bits que codifica dicha información sobre la luz incidente 126. En cualquier situación, la señal V_{SALIDA} puede proporcionarse además y usarse, por ejemplo, por un controlador (no se muestra) para, por ejemplo,
35 controlar uno o más objetos en función de la información sobre la luz incidente 126. Como se describirá más adelante en este documento, dicho objeto puede ser, por ejemplo, una lente de contacto inteligente o similar. En otras realizaciones, la información sobre el cambio en la intensidad de la luz incidente 126 puede usarse, por ejemplo, para detectar el movimiento de un objeto iluminado.

40 La Figura 1b ilustra esquemáticamente un circuito 101. El circuito 101 incluye un amplificador operacional 110, que tiene una entrada inversora 112, una entrada no inversora 114 y una salida 116. En el circuito 101, se proporciona un sensor de luz 120 en forma de un fotodiodo. El fotodiodo 120 está conectado a través de las entradas 112 y 114 del amplificador operacional 110, de tal manera que su cátodo 122 está conectado a la entrada inversora 112 y de tal manera que su ánodo 124 está conectado a la entrada no inversora 114 del amplificador operacional 110.

45 Un bucle de retroalimentación 130 conecta la salida 116 del amplificador operacional 110 de nuevo a la entrada inversora 112 del amplificador operacional 110. En el circuito 101, el bucle de retroalimentación 130 incluye un elemento de circuito 132 en forma de un diodo. El diodo 130 está dispuesto de tal manera que su cátodo 134 está conectado a la entrada inversora 112 del amplificador operacional 110, y de tal manera que su ánodo 136 está conectado a la salida 116 del amplificador operacional 110. En otras realizaciones del circuito 101, se puede prever que las direcciones de los dos diodos 120 y 132 se inviertan, de modo que, por ejemplo, el cátodo 122 del diodo 120 esté hacia la entrada no inversora 114 y el ánodo 124 esté hacia la entrada inversora 112, y de modo que el cátodo 134 del diodo 132 esté hacia la salida 116 y el ánodo 136 hacia la entrada inversora 112.
50

El circuito 101 incluye además un filtro de paso alto 140. En la Figura 1b, el filtro de paso alto 140 se ilustra como formado por un divisor de voltaje que incluye una resistencia variable 142 y un condensador 144. Debido a que la impedancia del condensador 144 es inversamente proporcional a la frecuencia, varios componentes de frecuencia de la señal V_{AMP} se distribuirán de manera diferente a través del condensador 144 y la resistencia variable 142. Un componente que tiene una frecuencia más baja, por ejemplo, se distribuirá más a través del condensador 144 que a través de la resistencia variable 142, mientras que lo contrario es cierto para un componente que tiene una frecuencia más alta. Esto permite que la
60 resistencia variable 142 y el condensador 144 funcionen juntos como un filtro de paso alto que emite una señal V_{HPF} que es una versión filtrada de paso alto de la señal V_{AMP} . Una frecuencia de esquina (o corte) del filtro 140 puede ajustarse en

función de la resistencia variable proporcionada por la resistencia variable 142. Sin embargo, también se prevé que el filtro de paso alto 140 pueda formarse de otras maneras, por ejemplo, como un filtro de paso alto de condensador conmutado.

El circuito 101 incluye un elemento de comparación 150 en forma de un comparador. El comparador 150 está conectado de tal manera que se proporciona un voltaje a través de la resistencia variable 142 (por ejemplo, V_{HPF}) a través de los terminales de entrada 152 y 154 del comparador 150. El comparador 150 proporciona una señal de V_{SALIDA} dependiendo de un signo de un voltaje diferencial a través de sus terminales de entrada 152 y 154. Dependiendo del signo del voltaje diferencial, la señal de salida V_{SALIDA} obtiene uno de dos valores, como por ejemplo un voltaje positivo y un voltaje negativo, o un voltaje cero y un voltaje positivo o negativo. En el circuito 101, la entrada positiva 154 del comparador 150 está conectada a tierra. Como resultado, el comparador 150 puede ser, por ejemplo, tal que la salida V_{SALIDA} asuma un valor cuando (una amplitud de) la señal filtrada de paso alto V_{HPF} es positiva, y otro valor cuando (una amplitud de) la señal filtrada de paso alto V_{HPF} es negativa. Esto puede corresponder a que un primer valor umbral del comparador 150 sea igual a cero.

Para, por ejemplo, evitar fluctuaciones de la salida V_{SALIDA} cuando la señal V_{AMP} fluctúa alrededor del primer valor umbral, el comparador 150 puede modificarse de manera que obtenga un comportamiento histerético. Por ejemplo, el comparador 150 puede ser tal que su salida V_{SALIDA} solo cambie una vez que V_{HPF} haya pasado (en una misma dirección) tanto el primer valor umbral como un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral. Por ejemplo, para un primer valor umbral V_{T1} y un segundo valor umbral $V_{T2} > V_{T1}$, el comparador 150 puede configurarse de modo que la salida V_{SALIDA} asuma un valor una vez que V_{HPF} exceda V_{T2} , y asuma otro valor diferente una vez que V_{HPF} vaya por debajo de V_{T1} . En otra realización, para un primer valor umbral V_{T1} y un segundo valor umbral $V_{T2} < V_{T1}$, el comparador 150 puede configurarse de manera que la salida V_{SALIDA} asuma un valor una vez que V_{HPF} vaya por debajo de V_{T2} y otro valor diferente una vez que V_{HPF} exceda V_{T1} . También se prevén otras variantes que proporcionen la misma funcionalidad. Expresado de manera más general, un comparador histerético puede proporcionar una señal de salida V_{SALIDA} que asume un estado/valor mientras que la señal V_{HPF} está dentro de una región de valores limitada por el primer y segundo valores umbral, y que asume otro estado/valor cuando la señal V_{HPF} está fuera de esta región.

Aunque no se ilustra en las Figuras 1a y 1b, se prevé que, por ejemplo, se proporcionen rieles de suministro de energía para alimentar, por ejemplo, el amplificador operacional 110 y el elemento/comparador de comparación 150.

La funcionalidad de un circuito (tal como los circuitos 100 y 101 descritos con referencia a las Figuras 1a y 1b, respectivamente) de acuerdo con la presente descripción se describirá ahora con más detalle con referencia a las Figuras 1a y/o 1b, y la Figura 2.

Para un sensor de luz en forma de, por ejemplo, un fotodiodo 120, la fotocorriente inducida I_{PD} a través del fotodiodo 120 puede depender de una intensidad de la luz incidente 126. Por ejemplo, se puede prever que la fotocorriente I_{PD} cambie entre un valor bajo I_{PDL} para una baja intensidad de la luz incidente 126 y un valor alto $I_{PDH} > I_{PDL}$ para una alta intensidad de la luz incidente 126. Una proporción de cambio entre los valores altos y bajos respectivos de la fotocorriente I_{PD} puede definirse como $CR = I_{PDH}/I_{PDL} > 1$. La Figura 2 ilustra esquemáticamente una gráfica 200 de un ejemplo de una fotocorriente I_{PD} en función del tiempo, que incluye un cambio de la fotocorriente I_{PD} en un intervalo de tiempo entre $t = 0$ y $t = t_e$. Una reducción de la intensidad de la luz incidente 126 de un valor más alto a un valor más bajo cambia la fotocorriente de un valor más alto I_{PDH} a un valor más bajo I_{PDL} durante un subintervalo entre $t = 0$ y $t = t_f$, y un retorno posterior de la intensidad al valor más alto cambia la fotocorriente de nuevo al valor más alto I_{PDH} durante un subintervalo posterior entre $t = t_b$ y $t = t_e$.

La fotocorriente inducida I_{PD} puede fluir desde el cátodo al ánodo del fotodiodo 120. El amplificador operacional 110 y el bucle de retroalimentación 130 pueden controlar/regular un voltaje V_{PD} a través del fotodiodo 120 a (o al menos hacia) cero, y dirigir la fotocorriente I_{PD} a través del elemento de circuito (es decir, el diodo 132). Si el ánodo 124 del fotodiodo 120 y la entrada no inversora 114 del amplificador operacional 110 están conectados a un potencial V_{CM1} (por ejemplo, una tierra), un potencial en la salida inversora 112 del amplificador operacional 110 (y en los cátodos respectivos 122 y 134 del fotodiodo 120 y el diodo 130, respectivamente) será controlado/regulado a V_{CM1} .

Por lo tanto, un voltaje V_D a través del diodo 132 dependerá de la fotocorriente I_{PD} de una manera logarítmica. Suponiendo que el diodo 132 sea ideal, el voltaje a través del diodo 132 puede aproximarse como $V_D = V_T * \ln(I_{PD}/I_S + 1)$, donde V_T es un voltaje térmico y I_S una corriente de saturación del diodo 132. En consecuencia, se supone que la salida de la señal V_{AMP} del amplificador de operación 110 es $V_{AMP} = V_D + V_{CM1}$.

Si una intensidad de la luz incidente 126 cambia del valor alto al valor bajo, la fotocorriente cambiará de I_{PDH} a I_{PDH}/CR . Esto dará como resultado un cambio correspondiente en la señal V_{AMP} de $V_T * \ln(I_{PDH}/I_S + 1) + V_{CM1}$ a $V_T * \ln(I_{PDH}/(CR * I_S) + 1) + V_{CM1}$. Siempre que $I_{PDH}/(CR * I_S) \gg 1$ (es decir, que $\exp(V_D/V_T) \gg 1$), el cambio en la señal V_{AMP} puede expresarse como $\Delta V_{AMP} = V_T * \ln(CR)$. Dicha suposición puede hacerse válida, por ejemplo, dimensionando el diodo 132 en consecuencia. A temperatura ambiente, se puede suponer que el voltaje térmico es de aproximadamente 26 mV. Para una reducción en la intensidad de la luz con un factor e (es decir, aproximadamente 2,72), una diferencia en el voltaje V_{AMP} emitido por el amplificador operacional 110 es de aproximadamente 26 mV. Esto proporciona un alto rango dinámico para el circuito de la presente descripción y permite detectar, por ejemplo, el cambio ratiométrico en las condiciones de

iluminación interior tenue a las condiciones de iluminación exterior brillante. La Figura 2 ilustra esquemáticamente una gráfica 210 de un ejemplo de una señal V_{AMP} en función del tiempo, que incluye un cambio de V_{AMP} durante el intervalo de tiempo anterior de $t = 0$ y $t = t_e$ resultante del cambio en la fotocorriente I_{PD} durante el mismo intervalo de tiempo.

- 5 El filtro de paso alto 140 elimina un contenido de CC (es decir, un componente constante) de la señal V_{AMP} , y produce una señal V_{HPF} . La Figura 2 ilustra esquemáticamente una gráfica 220 de una señal V_{HPF} en función del tiempo. Mediante el filtrado de paso alto de la señal V_{AMP} , la señal filtrada de paso alto V_{HPF} incluye una transición negativa 222 que marca el inicio del cambio en la intensidad de la luz incidente 126.
- 10 El elemento de comparación (por ejemplo, un comparador) 150 detecta una transición negativa 222 en la señal V_{HPF} . En una realización, esto se obtiene comparando la amplitud de la señal V_{HPF} con un primer valor umbral V_{T1} . Cuando la amplitud de la señal V_{HPF} cae por debajo del umbral V_{T1} , el elemento de comparación 150 cambia la señal de salida V de un primer estado (o valor de voltaje) V_{S1} a un segundo estado (o valor de voltaje) V_{S2} . Una vez que la amplitud de la señal V_{HPF} vuelve a estar por encima del umbral V_{T1} , la señal de salida V_{SALIDA} vuelve al primer estado V_{S1} . Esto se ilustra en la
- 15 Figura 2, que ilustra esquemáticamente una gráfica 230 de un ejemplo de una señal V_{SALIDA} en función del tiempo, donde el cambio en la intensidad de la luz incidente 126 se indica mediante un pulso 232 en la señal V_{SALIDA} .

En otra realización, el elemento de comparación (por ejemplo, un comparador histerético) compara la señal V_{HPF} también con un segundo valor umbral V_{T2} , y cambia el estado de la señal de salida V_{SALIDA} solo cuando V_{HPF} pasa (o ha pasado, y en una misma dirección) tanto el primer valor umbral V_{T1} como el segundo valor umbral $V_{T2} > V_{T1}$. Como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2 en una gráfica 240 de un ejemplo de otra señal V_{SALIDA} en función del tiempo, la señal V_{SALIDA} cambia del primer estado V_{S1} al segundo estado V_{S2} una vez que la amplitud de V_{HPF} está por debajo del primer valor umbral V_{T1} , pero no regresa al primer estado V_{S1} hasta que la amplitud de V_{HPF} excede el segundo valor umbral V_{T2} . Esta configuración también proporciona un pulso 242 que indica el inicio de la reducción en la intensidad de la luz incidente 126, pero de una manera que puede ser, por ejemplo, menos sensible al ruido. Si, por ejemplo, la amplitud de la señal V_{HPF} fluctuara alrededor del primer valor umbral V_{T1} , la realización que usa el comparador histerético no emitiría (erróneamente) múltiples pulsos por cada vez que V_{HPF} fluctúa a través del primer valor umbral V_{T1} y, por lo tanto, puede proporcionar una forma más estable de indicar el cambio en la intensidad de la luz incidente 126 en comparación con, por

20 ejemplo, el uso de un comparador de umbral único como se muestra en la gráfica 230.

Cabe señalar que en la Figura 2, todas las gráficas 200, 210, 220, 230 y 240 se representan frente a una misma coordenada de tiempo (t), pero en ejes verticales separados que también se desplazan verticalmente entre sí para mejorar la claridad de la presentación. En cada gráfica, el valor cero del eje vertical respectivo se indica mediante un pequeño círculo relleno.

35 Con referencia a la Figura 3, ahora se describirán con más detalle diversas realizaciones de un método correspondiente para detectar un cambio ratiométrico en una intensidad de una luz incidente de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de un método 300. En un primer paso S310, se proporciona un sensor de luz (si aún no está presente). El sensor de luz está configurado para inducir una fotocorriente a través de él en función de la intensidad de una luz incidente (que golpea el sensor de luz). En un siguiente paso S320, se utiliza un amplificador operacional y un bucle de retroalimentación que incluye al menos un elemento de circuito que tiene una dependencia logarítmica de voltaje-corriente para regular un voltaje a que cruza el sensor de luz a cero. Esto proporciona que una fotocorriente inducida a través del sensor de luz pase a través del al menos un elemento de circuito en el bucle de retroalimentación. En un siguiente paso S330, una salida de señal del amplificador operacional se filtra en paso alto para generar una señal filtrada en paso alto. En un siguiente paso S340, se detecta un cambio en la intensidad de la luz incidente al confirmar que la señal filtrada de paso alto pasa al menos un primer valor umbral. Como ya se describió en este documento, esto puede corresponder, por ejemplo, a una amplitud de la señal filtrada de paso alto que excede (o cae por debajo) del al menos un valor umbral. Aunque no se ilustra en la Figura 3, el método 300 puede funcionar de manera cíclica y volver al paso S310 nuevamente para detectar un cambio adicional en la intensidad de la luz incidente.

40

45

50

En algunas realizaciones del método 300, el paso S340 puede incluir alternativamente comparar el paso alto contra tanto el primer valor umbral como también un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral, y detectar el cambio en la intensidad de la luz incidente al confirmar que la señal filtrada de paso alto pasa (en una misma dirección) tanto el primer valor umbral como el segundo valor umbral (es decir, al confirmar que la señal filtrada de paso alto está fuera de una región de valores limitada por el primer y segundo valores umbral). Para obtener más detalles y/o ventajas de dicha forma de detectar el cambio en la intensidad de la luz incidente, se remite a la descripción anterior relacionada con el uso de un comparador histerético como elemento de comparación.

55

Con referencia a la Figura 4, ahora se describirán con más detalle una o más realizaciones de una lente de contacto inteligente de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente una lente de contacto inteligente 400. La lente 400 incluye uno o más anillos 410-1 a 410-N (donde N es un número entero tal que $N \geq 1$). El uno o más anillos 410-1 a 410-N están dispuestos concéntricamente, pero también se prevé que se puedan proporcionar otras disposiciones adecuadas del uno o más anillos 410-1 a 410-N, por ejemplo, una disposición aproximadamente concéntrica, o similar. Los anillos 410-1 a 410-N

60

65

pueden tener diferentes diámetros internos/externos y, por ejemplo, estar dispuestos de manera que el anillo más pequeño (por ejemplo, el anillo 410-1) esté en el centro y los otros anillos (por ejemplo, 410-2 a 410-N) estén dispuestos hacia afuera del anillo 410-1 en orden de diámetros crecientes. Cada anillo 410-1 a 410-N puede ser operable entre un estado que tiene una menor atenuación de la luz (por ejemplo, un "estado abierto") y un estado que tiene una mayor atenuación de la luz (por ejemplo, un estado cerrado/apagado).

En algunas realizaciones, el uno o más anillos 410-1 a 410-N pueden ser, por ejemplo, de tipo nemático retorcido (TN) o nemático súper retorcido (STN). En otras realizaciones, el uno o más anillos 410-1 a 410-N pueden ser de un tipo de cristal líquido huésped-anfitrión, que incluye una mezcla de, por ejemplo, un colorante dicroico, dopante quiral y cristal líquido. Tal tipo puede ser beneficioso ya que puede no necesitar un polarizador para filtrar la luz. Dicho tipo también se puede accionar de una manera de corriente continua (CC) en lugar de una manera de corriente alterna (CA). El accionamiento de uno o más anillos 410-1 a 410-N de una manera de CC puede reducir aún más el consumo de energía y, por lo tanto, ayudar a reducir aún más, por ejemplo, la capacidad de la batería necesaria para accionar la lente de contacto inteligente 400. También se prevé que se puedan utilizar anillos de uno o más tipos distintos de LCD, siempre que se obtenga una funcionalidad igual o similar.

La lente 400 también incluye un circuito 420. El circuito 420 puede ser, por ejemplo, un circuito tal como el circuito 100 descrito con referencia a la Figura 1a, o por ejemplo el circuito 101 descrito con referencia a la Figura 1b, u otras realizaciones de este. El circuito 420 se dispone preferentemente dentro de la lente 400 de tal manera que, si la lente 400 se inserta en un ojo de un usuario (no se muestra) de tal manera que los anillos 410-1 a 410-N obtienen la función de un iris artificial del ojo, y de tal manera que el sensor de luz está al menos parcialmente cubierto por un párpado del ojo cuando el párpado del ojo está parcial o completamente cerrado. También es preferible que la lente 400 esté configurada además de manera que, cuando se inserte en el ojo del usuario, la mayor parte de la lente 400, excepto los anillos 410-1 a 410-N, estén dispuestos fuera de un campo de visibilidad para el ojo, para no perturbar la vista del usuario más de lo necesario.

La lente 400 incluye un controlador 430. El controlador 430 está configurado para operar el uno o más anillos 410-1 a 410-N (es decir, para operar cada anillo entre sus estados abierto y cerrado, según sea necesario) en función de una intensidad de una luz incidente (no mostrada) que golpea el sensor de luz del circuito 420, emulando así junto con el uno o más anillos 410-1 a 410-N el funcionamiento de un iris. El controlador 430 está configurado además para recibir una señal V_{SALIDA} emitida desde el circuito 420 (por ejemplo, desde el elemento de comparación) y para, como respuesta a la señal V_{SALIDA} que indica un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente desde un estado superior a un estado inferior (por ejemplo, un comienzo de un parpadeo del ojo), iniciar una repolarización del uno o más anillos 410-1 a 410-N. Como resultado, los anillos 410-1 a 410-N pueden repolarizarse durante un momento en que el ojo del usuario está cerrado, y de tal manera que se produce poco o ningún parpadeo visual debido a la repolarización. Esto proporciona una mejora sobre, por ejemplo, una lente en la que uno o más anillos se repolarizan sin tener en cuenta si el usuario está parpadeando o no, lo que puede conducir a parpadeo si los anillos se repolarizan, por ejemplo, durante un tiempo en que el párpado no está cerrado o está parcialmente cerrado. La repolarización del uno o más anillos puede, como se describió anteriormente en este documento, hacer que los anillos no pierdan sus contrastes o, si, por ejemplo, se utilizan anillos de un tipo de visualización host fantasma, también evitar la degradación de la o las celdas de cristal.

Con referencia a la Figura 5, ahora se describirán con más detalle diversas realizaciones de un método correspondiente para operar una lente de contacto inteligente (tal como la lente de contacto 400 descrita con referencia a la Figura 4) de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 5 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de un método 500. En un primer paso S510, se detecta si se ha producido un cambio ratiométrico en una intensidad de una luz incidente utilizando un circuito como se describió anteriormente en este documento y/o un método como se describió anteriormente en este documento, por ejemplo, los circuitos 100 y 101 descritos con referencia a las Figuras 1a y 1b, y/o el método 300 descrito con referencia a la Figura 3. Tal cambio ratiométrico corresponde al menos al comienzo de un parpadeo de un ojo (en el que se inserta la lente de contacto). Si se detecta que se ha producido al menos un comienzo de parpadeo de un ojo, el método 500 avanza 501 a un siguiente paso S520. En el paso S520, se inicia una repolarización del uno o más anillos como respuesta a la detección de que se ha producido el comienzo del parpadeo del ojo en el paso. Si no se detecta al menos el comienzo de un parpadeo de un ojo en el paso S510, el método puede detener o repetir 502 el paso S510 una o más veces adicionales hasta que se detecte al menos el comienzo de un parpadeo del ojo.

La presente descripción contempla además el uso de un circuito y/o método como se describe en este documento para, por ejemplo, la detección de un movimiento de un objeto iluminado. Por ejemplo, se puede proporcionar una matriz de circuitos configurada para detectar un parpadeo de un ojo en una superficie que se ilumina de manera variable cuando los objetos y/o, por ejemplo, las personas se mueven. Si uno o más de los circuitos detecta un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente, dicho cambio puede estar relacionado con un movimiento de un objeto o, por ejemplo, una persona. A diferencia de otras técnicas para detectar el movimiento, basadas, por ejemplo, en el procesamiento de imágenes, la presente descripción puede ofrecer una forma mejorada de detectar un movimiento, que incluye los beneficios y ventajas ya mencionados en este documento cuando se describe el uso de un solo circuito.

En general, la presente descripción proporciona una forma de detectar un cambio ratiométrico en una intensidad de una

5 luz incidente. Dicha detección puede estar provista de un alto rango dinámico y funcionar, por ejemplo, en condiciones de iluminación interior tenue, así como en condiciones de iluminación exterior brillante y condiciones intermedias. Un circuito como se describe en este documento puede consumir poca energía, tener una huella física pequeña y ser adecuado para usarse como, por ejemplo, un detector de parpadeo en una lente de contacto inteligente donde permite que el parpadeo se detecte de manera confiable e independiente de las condiciones de luz ambiental. El circuito y el método también proporcionan una forma de, por ejemplo, detectar un movimiento de un objetivo iluminado.

10 El experto en la técnica se da cuenta de que la presente descripción no se limita de ninguna manera a las realizaciones descritas anteriormente. Por el contrario, son posibles muchas modificaciones y variaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una lente de contacto inteligente (400), que comprende:
5 uno o más anillos, preferentemente concéntricos (410-1, 410-2,..., 410-N) de un tipo de pantalla de cristal líquido, LCD, cada anillo siendo operable entre un estado que tiene una atenuación de luz más baja y un estado que tiene una atenuación de luz más alta;
un circuito (420, 100, 101) para detectar un cambio ratiométrico en una intensidad de luz incidente, dicho circuito (420, 100, 101) comprende:
10 un amplificador operacional (110);
un sensor de luz (120) configurado para inducir una fotocorriente (I_{PD}) a través de él como una función de una intensidad de una luz incidente (126), y conectado a una entrada inversora (112) del amplificador operacional;
un bucle de realimentación (130) que conecta una salida (116) del amplificador operacional a la entrada inversora del amplificador operacional, dicho bucle de realimentación comprendiendo al menos un elemento de circuito (132) que tiene una dependencia logarítmica voltaje-corriente;
15 un filtro de paso alto (140) configurado para filtrar una salida de señal (V_{AMP}) del amplificador operacional para generar una señal filtrada de paso alto (V_{HPF}), y
un elemento de comparación (150) configurado para comparar la señal filtrada de paso alto con al menos un primer valor umbral y para emitir una señal (V_{SALIDA}) que, como respuesta a una amplitud de la señal filtrada de paso alto que pasa por el al menos un primer valor umbral, cambia para indicar un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente; y
20 un controlador (430) configurado para operar el uno o más anillos en función de una intensidad de una luz incidente, para recibir la señal (V_{SALIDA}) emitida desde el elemento de comparación y, como respuesta a dicha señal que indica un cambio ratiométrico en la intensidad de la luz incidente desde un estado de mayor intensidad a un estado de menor intensidad que indica que se ha producido al menos el comienzo de un parpadeo de un ojo de un usuario, que inicia una repolarización del uno o más anillos.
25
2. La lente de contacto inteligente de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sensor de luz (120) está conectado entre la entrada inversora y una entrada no inversora (114) del amplificador operacional (110).
3. La lente de contacto inteligente de la reivindicación 1 o 2, en donde el al menos un elemento de circuito (132) es o
30 incluye un diodo o al menos un elemento de dos terminales que se comporta como un diodo.
4. La lente de contacto inteligente de la reivindicación 3, en donde el al menos un elemento de circuito (132) está dispuesto en el bucle de retroalimentación (130) con un terminal hacia la entrada inversora (112) del amplificador operacional y otro terminal hacia la salida del amplificador operacional.
35
5. La lente de contacto inteligente de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el elemento de comparación (150) es un comparador.
6. La lente de contacto inteligente de la reivindicación 5, en donde el comparador es un comparador histerético, y en
40 donde la salida de señal del comparador cambia como respuesta a la señal filtrada de paso alto que pasa tanto el primer valor umbral como un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral.
7. La lente de contacto inteligente de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el filtro de paso alto (140) tiene una frecuencia de esquina que depende de una tasa de cambio requerida del circuito.
45
8. La lente de contacto inteligente de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el filtro de paso alto (140) es de un tipo de condensador conmutado.
9. Un método (500) para operar una lente de contacto inteligente (400) que incluye uno o más anillos, preferentemente
50 concéntricos (410-1, 410-2,..., 410-N) de un tipo de pantalla de cristal líquido, LCD, cada anillo siendo operable entre un estado que tiene una menor atenuación de la luz y un estado que tiene una mayor atenuación de la luz; que comprende:
detectar (S510) si se ha producido un cambio ratiométrico en una intensidad de una luz incidente correspondiente a al menos un comienzo de un parpadeo de un ojo, dicha detección comprende:
proporcionar (S310) un sensor de luz configurado para inducir una fotocorriente a través del mismo en función de una
55 intensidad de una luz incidente;
regular (S320), mediante el uso de un amplificador operacional y un bucle de retroalimentación que incluye al menos un elemento de circuito que tiene una dependencia logarítmica de voltaje-corriente, un voltaje a través del sensor de luz a cero;
filtrado de paso alto (S330) una salida de señal del amplificador operacional para generar una señal filtrada de paso alto,
60 y
detectar (S340) un cambio en la intensidad de la luz incidente confirmando en un elemento de comparación (150) que la señal filtrada de paso alto pasa al menos un primer valor umbral; y
en respuesta a la detección de que se ha producido al menos un comienzo de parpadeo de un ojo, iniciar (S520) una repolarización del uno o más anillos.
65
10. El método de la reivindicación 9, en donde dicha detección (S340) de un cambio en la intensidad de la luz incidente

incluye confirmar que la señal filtrada de paso alto pasa tanto el primer valor umbral como un segundo valor umbral diferente del primer valor umbral.

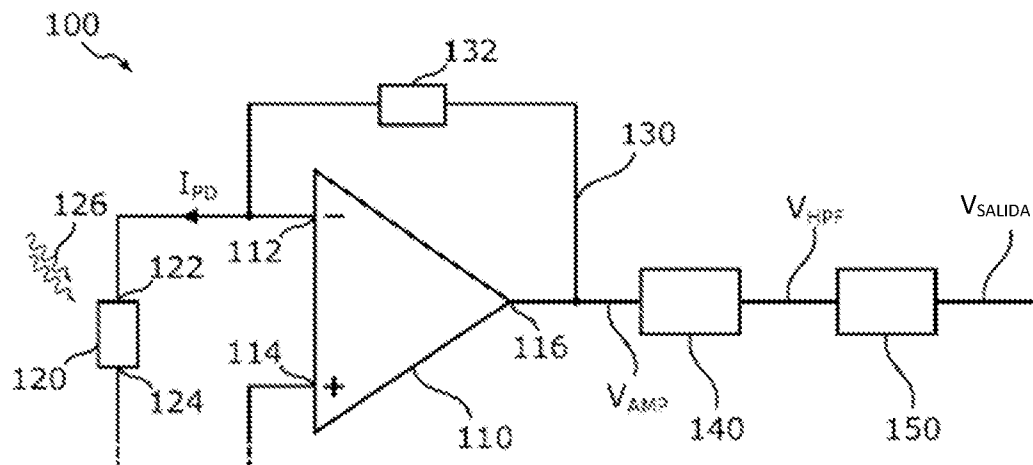


Fig. 1a

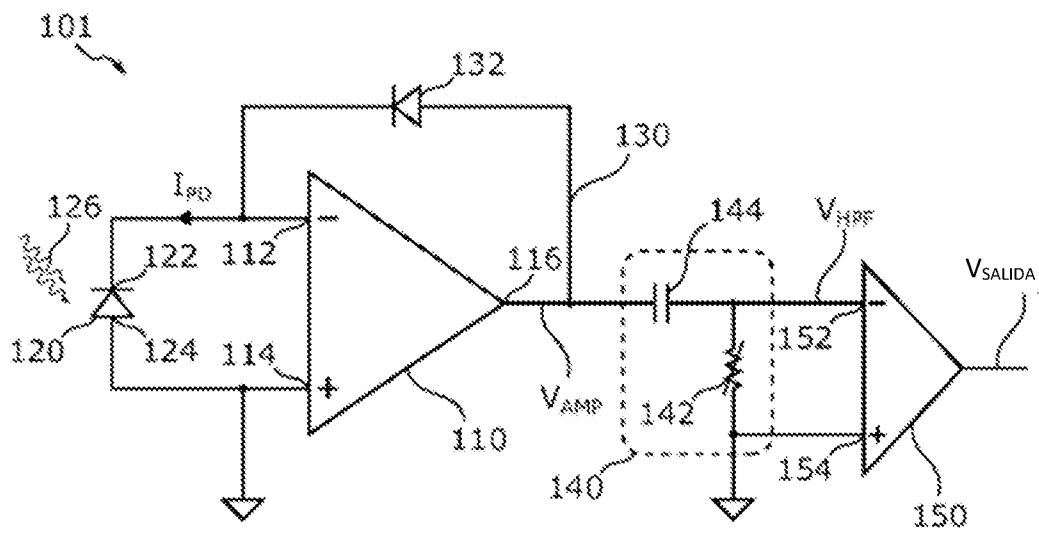


Fig. 1b

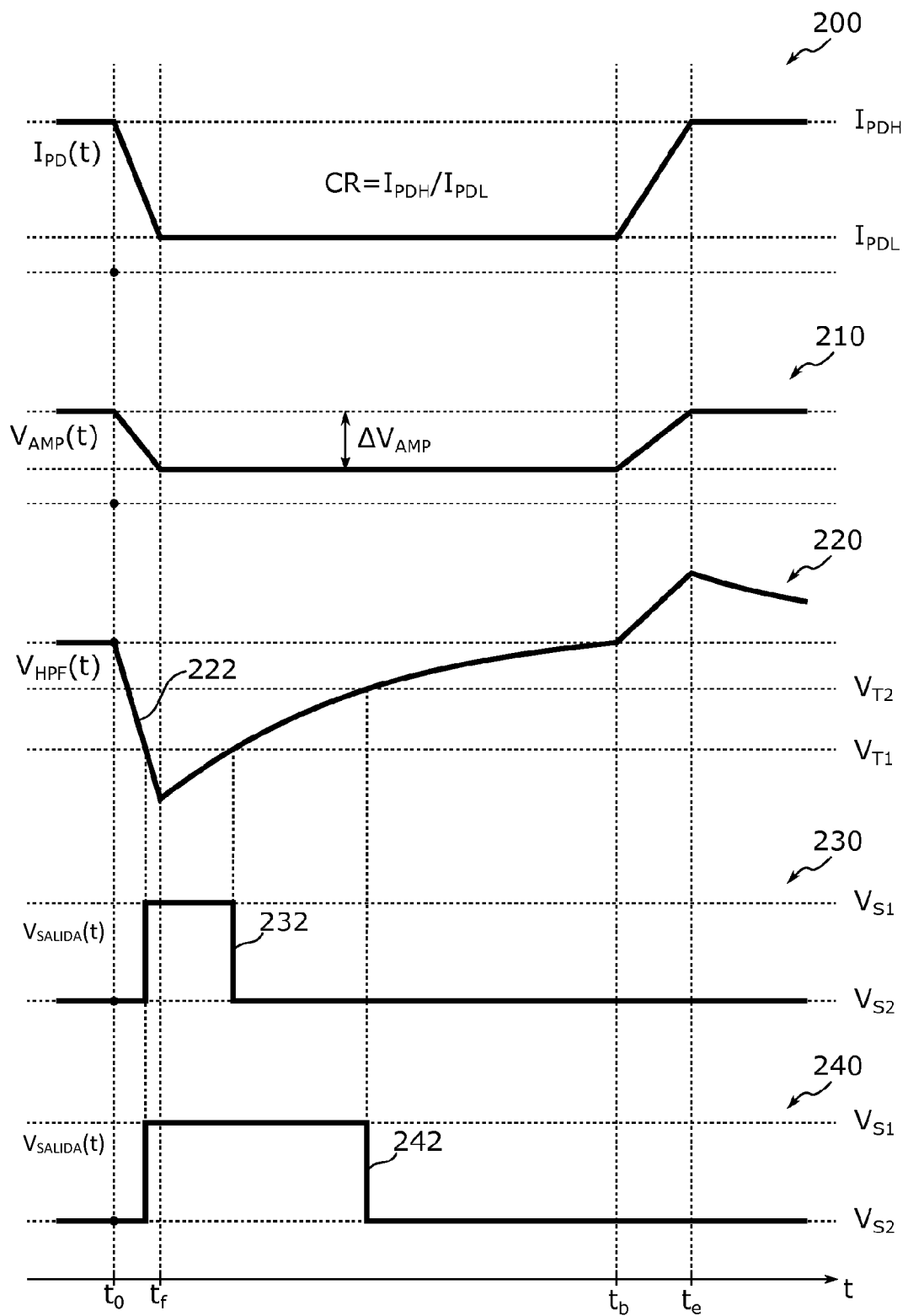


Fig. 2

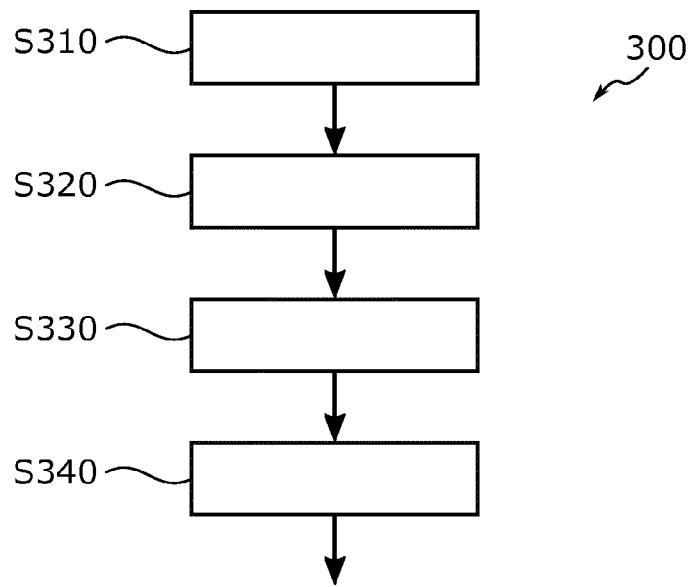


Fig. 3

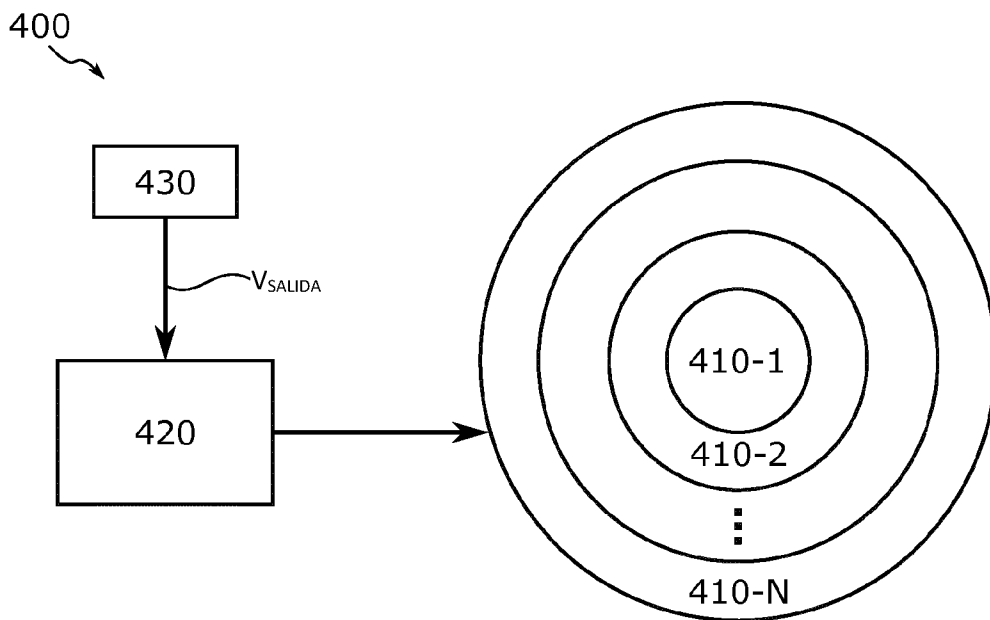


Fig. 4

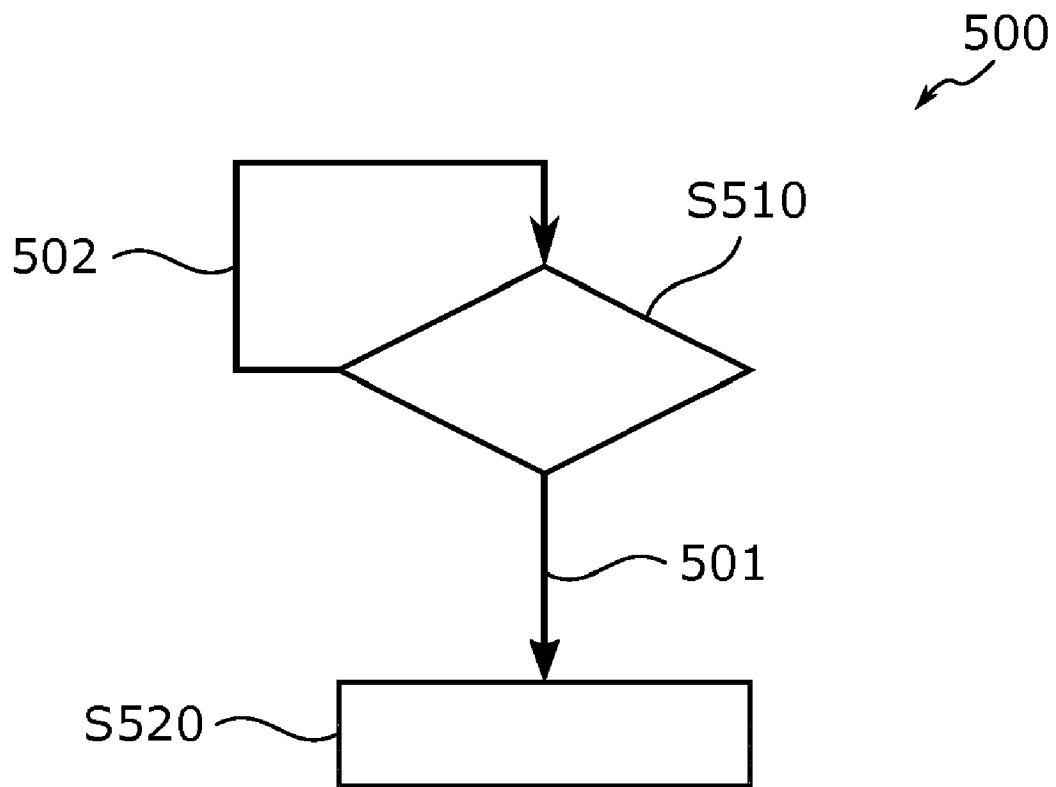


Fig. 5