

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 714 387**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/69** (2013.01)

**H03G 3/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.09.2016 E 16382431( 1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3297184**

54 Título: **Amplificador de transimpedancia para comunicaciones ópticas de alta velocidad basadas en modulaciones lineales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.05.2019**

73 Titular/es:

**KNOWLEDGE DEVELOPMENT FOR POF SL  
(100.0%)**

**Ronda de Poniente, nº 14 Planta 2º, Puerta C D  
28760 Tres Cantos (Madrid), ES**

72 Inventor/es:

**RODRÍGUEZ-PÉREZ, ALBERTO;  
ROLÍNDEZ ALBERICH, LUIS y  
PÉREZ DE ARANDA ALONSO, RUBÉN**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI , Peter**

**ES 2 714 387 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

Amplificador de transimpedancia para comunicaciones ópticas de alta velocidad basadas en modulaciones lineales

5 Estado de la técnica

La invención se refiere a un circuito receptor óptico del tipo que se especifica en el preámbulo de la reivindicación de patente 1 y a un receptor óptico según se especifica en el preámbulo de la reivindicación de patente 15.

En la actualidad, los sistemas de comunicación óptica son ampliamente utilizados en redes domésticas y aplicaciones industriales, por ejemplo, la tecnología MOST (Transporte de Sistemas Orientados a Media) utilizada en la industria automotriz para redes multimedia de alta velocidad se basa en tecnología de fibra óptica plástica (POF).

En dichos sistemas de comunicación óptica, según se describe, por ejemplo, en el documento US 2013/0330082 A1, un dispositivo emisor de luz, el transmisor óptico, emite una señal óptica que es suministrada a un enlace de fibra óptica, por ejemplo, una fibra de plástico, que guía la señal óptica hacia un dispositivo receptor de luz, el receptor óptico, que comprende un foto detector para recibir la señal óptica.

Dichos sistemas de comunicación óptica tienen, entre otras cosas, varias ventajas en comparación con los sistemas de comunicación no ópticos convencionales en cobre: por ejemplo, menor atenuación, inmunidad a la irradiación de interferencia electromagnética y transmisión de mayor velocidad de datos. En los últimos años, se utilizan cada vez más los sistemas de comunicación óptica para la comunicación de datos en vehículos.

Sin embargo, los sistemas de comunicación óptica actuales se enfrentan a, entre otras cosas, el desafío de que el sistema de comunicación óptica, en particular el rendimiento del receptor óptico, no resuelve adecuadamente las variaciones en las potencias ópticas recibidas que pueden abarcar varios órdenes de magnitud, dando como resultado un comportamiento no lineal y ruidoso no deseado de la señal eléctrica de salida del receptor óptico.

Además, el rendimiento del receptor óptico puede degradarse debido a, por ejemplo, fluctuaciones no deseadas en el voltaje, la temperatura y/o debido a variaciones de proceso local (también denominadas variaciones breves de proceso), es decir, debido a variaciones que se producen de forma natural en los atributos de los componentes electrónicos tales como transistores cuando se fabrican circuitos integrados electrónicos. Se conocen circuitos receptores ópticos según el estado de la técnica según se describen en los documentos US-A-6844784, US-A-5606277 y US-A-2006034621.

35 Problema

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar medios para la mejora de un sistema de comunicación óptica. Por ejemplo, el objeto puede comprender mejorar el rendimiento y la fiabilidad de un sistema de comunicación óptica, en particular, mejorar el rendimiento y la fiabilidad de un receptor óptico de un sistema de comunicación óptica.

40

Solución

Según la presente invención, este objeto se consigue mediante un circuito receptor óptico según la reivindicación 1. Formas de realización ventajosas y desarrollos adicionales son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

45 Por ejemplo, un circuito receptor óptico para uso en un sistema de comunicación óptica puede comprender uno, algunos o todos los siguientes componentes:

- al menos un foto detector, por ejemplo, un foto diodo, configurado para convertir una señal de luz recibida en una señal de corriente de entrada, por ejemplo, una fotocorriente,
- un circuito amplificador de transimpedancia (TIA) con una entrada para recibir la señal de corriente de entrada procedente del al menos un foto detector y que está configurado para convertir la señal de corriente de entrada recibida en una señal de voltaje de salida para generar una señal de salida del circuito amplificador de transimpedancia, en el que el circuito amplificador de transimpedancia puede comprender una pluralidad de etapas amplificadoras de ganancia,
- un componente de restauración de CC (corriente continua), en el que el componente de restauración de CC está configurado para recibir la señal de voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia para restaurar la componente de CC de la señal de corriente recibida y está configurado para suministrar una correspondiente señal de corriente, y
- un componente de control de ganancia automático configurado para controlar a través de al menos una resistencia de retroalimentación programable la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en base a la señal suministrada por el componente de restauración de CC para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante para diferentes rangos de corriente de la señal de corriente de entrada.

60

Un circuito receptor óptico para uso en un receptor óptico de un sistema de comunicación óptica según la presente invención tiene, entre otras cosas, la ventaja de que se mejora la linealidad del receptor óptico, es decir, en particular la linealidad de la conversión de la señal de corriente de entrada, por ejemplo, la señal de fotocorriente generada por el al menos un foto detector, en una señal de salida, es decir, una señal de voltaje de salida, del receptor óptico. En particular, por ejemplo, la implementación del control de ganancia automático puede evitar la saturación del voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia para señales de corriente de entrada elevadas, es decir, fotocorrientes de entrada elevadas que, por ejemplo, pueden ser mayores en 3, 4 o más magnitudes que las fotocorrientes de entrada más pequeñas que se producen, y por lo tanto se puede reducir la distorsión de salida. Por ejemplo, si las fotocorrientes de entrada más pequeñas son de 100nA, se puede evitar la saturación del voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia para las fotocorrientes de entrada de hasta 1mA o por encima.

Además, el diseño de un circuito receptor óptico para uso en un receptor óptico de ejemplo según la presente invención puede proporcionar una alta linealidad para dicha conversión de una señal de entrada, por ejemplo, una señal de corriente de entrada, en una señal de salida, por ejemplo, una señal de voltaje de salida, para un amplio rango dinámico de señales de entrada, es decir, para un amplio rango dinámico de la señal de corriente de entrada.

Por ejemplo, la señal de corriente de entrada, por ejemplo, la señal de fotocorriente generada por medio de la conversión de una señal de luz de entrada en una fotocorriente por parte del al menos un foto detector, puede variar en tres órdenes de magnitud o más, y el diseño de un circuito receptor óptico según la presente invención puede reducir o evitar una degradación de la linealidad de la salida del circuito amplificador de transimpedancia, respectivamente la salida del circuito receptor óptico, incluso para dicho amplio rango dinámico de la señal de corriente de entrada.

De hecho, un circuito receptor óptico para uso en un receptor óptico de ejemplo puede, en particular debido a su componente de control de ganancia automático, proporcionar una amplitud constante de la señal de salida, por ejemplo, una amplitud constante de una señal de voltaje de salida independientemente de la amplitud o nivel o potencia óptica de la señal de corriente de entrada o señal de fotocorriente recibida.

Un circuito receptor óptico según la presente invención permite ventajosamente un ajuste automático de la transimpedancia equivalente de su circuito amplificador de transimpedancia adaptado a un determinado nivel de señal de corriente de entrada, de modo que el receptor óptico puede obtener y suministrar el nivel correcto deseado de la señal de salida, por ejemplo, la amplitud de la señal de voltaje de salida.

El diseño de un circuito receptor óptico según la presente invención también proporciona, en particular debido a la pluralidad de etapas amplificadoras de ganancia, un mayor ancho de banda equivalente de un/el receptor óptico.

El diseño de un circuito receptor óptico para uso en un receptor óptico según la presente invención también es ideal para recibir y procesar esquemas de modulación de luz avanzados, tales como una señal de luz de entrada procedente de un diodo emisor de luz que es, por ejemplo, modulada linealmente en base a la denominada técnica de modulación de amplitud de pulso (PAM).

En contraste con una modulación de codificación binaria de activación/desactivación convencional, en la técnica de modulación de amplitud de pulso (PAM) se puede usar una pluralidad de niveles diferentes de amplitud de pulso mapeados con una pluralidad de bits para transmitir información. Por ejemplo, cada nivel de amplitud representa una pluralidad de bits, por ejemplo, un par de bits, de manera que un único nivel de amplitud puede transmitir más de un bit, aumentando con ello la eficiencia del ancho de banda del sistema de comunicación óptica.

Además, un circuito receptor óptico según la presente invención facilita la conversión de la señal de entrada, por ejemplo la señal de corriente de entrada o la señal de fotocorriente de entrada, en una señal de salida, por ejemplo una señal de voltaje de salida, con una amplitud o relación señal/ruido lo suficientemente alta como para ignorar la contribución del ruido de posibles componentes o bloques posteriores de un sistema de comunicación óptica.

La pluralidad de etapas amplificadoras de ganancia del circuito amplificador de transimpedancia pueden ser seguidas por un amplificador de ganancia unitaria o seguidor de voltaje para aislar un/el nodo de salida del circuito amplificador de transimpedancia.

Las al menos algunas de las etapas amplificadoras de ganancia pueden comprender un amplificador de ganancia y al menos una resistencia de retroalimentación programable local para controlar la ganancia de la respectiva etapa amplificadora de ganancia, y en el que el componente de control de ganancia automático está configurado además para controlar al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables locales de las etapas amplificadoras de ganancia en base a la salida de señal del componente de restauración de CC.

Dichas resistencias de retroalimentación programables locales para controlar la ganancia de la respectiva etapa amplificadora de ganancia pueden, entre otras cosas, ayudar a garantizar la estabilidad de retroalimentación del circuito receptor óptico.

- 5 La al menos una resistencia de retroalimentación programable para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia del circuito receptor óptico puede estar dispuesta entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y la señal de salida del circuito amplificador de transimpedancia.

El circuito receptor óptico puede comprender además una pluralidad de resistencias de retroalimentación programables para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia, en el que al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia pueden estar conectadas entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y las salidas de las diferentes etapasificadoras de ganancia.

- 15 Además, se observa que las resistencias de retroalimentación programables del circuito receptor óptico pueden ser controladas por voltaje y que el componente de control de ganancia automático puede estar en comunicación con algunas o todas las resistencias de retroalimentación programables, es decir, por ejemplo, con cada una de la al menos una resistencia de retroalimentación programable local para controlar la ganancia de la respectiva etapa amplificadora de ganancia y con la al menos una resistencia de retroalimentación programable para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en base a la salida de señal del componente de restauración de CC.

De esta manera, por ejemplo, la mayoría de o todas las resistencias programables del circuito receptor óptico pueden ser controladas al mismo tiempo.

- 25 Un circuito receptor óptico de ejemplo puede comprender, además, una resistencia fija conectada entre la señal de entrada y de salida del circuito amplificador de transimpedancia para limitar la transimpedancia equivalente máxima del circuito amplificador de transimpedancia.

- 30 Además, el componente de restauración de CC de un circuito receptor óptico de ejemplo puede estar configurado para sustraer la componente de CC de la señal de corriente recibida y el componente de control de ganancia automático puede estar configurado adicionalmente para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en base a una copia de la componente de CC sustraída.

- 35 La componente de CC sustraída de la señal de corriente recibida puede proporcionar una buena estimación del nivel de corriente de entrada y se puede usar directamente para establecer la transimpedancia equivalente para obtener un valor de voltaje de salida deseado. Por lo tanto, este diseño de componente de ejemplo de restauración de CC puede ignorar, entre otras cosas, la difícil tarea de tener que controlar constantemente la amplitud máxima del voltaje de salida.

- 40 Un circuito receptor óptico de ejemplo puede comprender además dos foto detectores, en los que un foto detector está configurado para recibir la señal de luz y el otro foto detector está protegido de la señal de luz y en el que el circuito amplificador de transimpedancia puede tener una topología diferencial, por ejemplo, con una rama, por ejemplo la rama positiva, del circuito amplificador de transimpedancia conectada al foto detector que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama, por ejemplo la rama negativa, del circuito amplificador de transimpedancia conectada al foto detector que está protegido de la señal de luz.

- 50 Como alternativa, un circuito receptor óptico de ejemplo puede ser un circuito amplificador de transimpedancia con una topología diferencial con, por ejemplo, una rama, por ejemplo la rama positiva, del circuito amplificador de transimpedancia conectada al foto detector que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama, por ejemplo la rama negativa, del circuito amplificador de transimpedancia conectada a un modelo eléctrico equivalente del foto diodo, por ejemplo, a un circuito que comprende una resistencia y/o un condensador.

- 55 Dichas topologías diferenciales de ejemplo del circuito receptor óptico o circuito amplificador de transimpedancia pueden tener, por ejemplo, la ventaja de que se puede mejorar el factor de rechazo a fuente de alimentación (Power Supply Rejection Ratio, PSRR) y/o el factor de rechazo al modo común (Common Mode Rejection Ratio, CMRR) y/o la inmunidad al ruido común del circuito receptor óptico o circuito amplificador de transimpedancia.

- 60 Además, en un circuito receptor óptico de ejemplo, al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables locales para controlar la ganancia de las etapasificadoras de ganancia pueden conectarse a entradas y salidas locales de algunas de las etapasificadoras de ganancia.

Además, por lo menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables locales para controlar la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia pueden, por ejemplo, ser dispuestas para reducir las salidas de algunas de las etapas amplificadoras de ganancia.

5 Además, el circuito receptor óptico puede, por ejemplo, comprender opcional o adicionalmente al menos una resistencia de derivación programable que puede estar dispuesta para reducir una/la salida de la última etapa amplificadora de ganancia del circuito amplificador de transimpedancia. Sin embargo, también es concebible que se use también una resistencia de derivación en otra etapa amplificadora de ganancia del circuito amplificador de transimpedancia.

10 Un circuito receptor óptico puede comprender además al menos una etapa amplificadora de ganancia que puede comprender un par diferencial, por ejemplo un transistor en cascada, con una carga resistiva,  $R_{load}$ , o con una carga activa, por ejemplo con una carga de transistor de efecto de campo semiconductor de óxido de metal de canal p, PMOS.

15 Un transistor en cascada puede, entre otras cosas, permitir el aumento de la impedancia equivalente de un/el par diferencial de entrada, obteniendo con ello una mayor ganancia.

Además, al menos una, algunas o cada una de las etapas amplificadoras de ganancia del circuito receptor óptico  
20 puede comprender un circuito de control de modo común para proporcionar una señal adecuada para controlar el voltaje de polarización inversa del foto detector.

Un circuito receptor óptico de ejemplo puede estar configurado además para realizar una, algunas o todas las siguientes etapas:

25 - calcular una corriente promedio de la señal de corriente generada por el al menos un foto detector, por ejemplo, en base a una copia de la corriente generada por el componente de restauración de CC,  
- usar la corriente promedio calculada para calcular una transimpedancia equivalente requerida del circuito amplificador de transimpedancia y para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante para diferentes rangos de  
30 corriente de la señal de corriente de entrada, y  
- reducir la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia para, por ejemplo, mejorar la estabilidad del circuito receptor óptico.

En este caso, la etapa de usar la corriente promedio calculada para calcular una transimpedancia equivalente  
35 requerida del circuito amplificador de transimpedancia puede comprender además, por ejemplo, determinar o calcular una configuración adecuada de las resistencias de retroalimentación programables para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante para diferentes rangos de corriente de la señal de corriente de entrada.

40 Dichas etapas pueden, por ejemplo, ser realizadas o pueden ser controladas por el componente de control de ganancia automático.

Además, es posible que el circuito receptor óptico o el componente de control de ganancia automático estén  
45 configurados para realizar una, algunas o todas las etapas siguientes para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia:

- usar la corriente producida por el componente de restauración de CC para calcular una transimpedancia equivalente requerida del circuito amplificador de transimpedancia,  
- comenzar a reducir la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia reduciendo la impedancia de la al menos una resistencia de retroalimentación programable conectada entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia,  
50 - una vez que la impedancia de la al menos una resistencia de retroalimentación programable conectada entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia se establece en un valor mínimo determinado, se reduce secuencialmente la impedancia de posibles resistencias de retroalimentación programables adicionales conectadas entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y las salidas de diferentes etapas amplificadoras de ganancia, por ejemplo, empezando con la reducción de la impedancia de una resistencia de retroalimentación programable conectada entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y la salida de la última etapa amplificadora de ganancia.  
55

Además, el componente de control de ganancia automático del circuito receptor óptico puede estar configurado  
60 además para realizar la etapa de:

- controlar la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia controlando, por ejemplo reduciendo, en secuencia la retroalimentación resistiva de las resistencias de retroalimentación programables locales de las etapas amplificadoras de ganancia, por ejemplo comenzando a controlar, por ejemplo reduciendo, la

retroalimentación resistiva de la resistencia de retroalimentación programable local de la última etapa amplificadora de ganancia.

Las etapas de ejemplo que se han descrito anteriormente proporcionan unas etapas de control de ejemplo y/o unas secuencias de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia y para mejorar la estabilidad del circuito receptor óptico.

En particular, estas etapas de ejemplo pueden mejorar el escalado lineal de la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia del circuito receptor óptico.

10

Además, el componente de control de ganancia automático descrito a continuación en el presente documento, del circuito receptor óptico puede proporcionar un control continuo y lineal de ganancia y un control continuo y lineal de transimpedancia equivalente, es decir, un control de ganancia lineal y de transimpedancia equivalente que no se basa en etapas discretas.

15

En un circuito receptor óptico de ejemplo, algunas o cada una de las resistencias de retroalimentación programables pueden comprender una pluralidad de transistores conectados en paralelo y en el que la resistencia de las resistencias de retroalimentación programables es controlada a través del voltaje de puerta de sus transistores, y en el que algunos o todos los transistores de una resistencia de retroalimentación programable pueden tener diferentes características, por ejemplo, pueden diferir en escala o tamaño, por ejemplo pueden diferir en su relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta, por ejemplo aumentando en su relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta desde el primer hasta el último transistor de la respectiva resistencia de retroalimentación programable.

20

Las posibles características diferentes de dichos transistores pueden, entre otras cosas, reducir los problemas de linealidad y mejorar la operación de las resistencias de retroalimentación programables en una región óhmica para todo el rango dinámico.

Además, es posible que los transistores de una resistencia de retroalimentación programable del circuito receptor óptico puedan estar configurados para su activación en secuencia, por ejemplo pueden estar configurados para su activación en secuencia desde el primer hasta el último transistor de la respectiva resistencia de retroalimentación programable.

30

Además, es posible una activación sucesiva de los transistores desde una menor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta hasta una mayor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta.

35

Dichas activaciones sucesivas de ejemplo de los transistores de las resistencias de retroalimentación programables del circuito receptor óptico pueden mejorar la linealidad de las transiciones de la transimpedancia equivalente, por ejemplo la linealidad de las transiciones de la transimpedancia equivalente desde valores bajos de transimpedancia equivalente hasta valores altos de transimpedancia equivalente.

40

Se indica además que las resistencias de retroalimentación programables del circuito receptor óptico pueden comprender diferentes números de dichos transistores y con diferentes características de transistor, por ejemplo diferencias de escala o tamaño, por ejemplo diferencias en la relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta.

45

Un componente de ejemplo de restauración de CC del circuito receptor óptico puede comprender un generador de voltaje secuencial.

Un generador de voltaje secuencial de ejemplo puede comprender una pluralidad de transistores escalados, y dichos transistores escalados pueden estar configurados para aumentar la salida de corriente continua del componente de restauración de CC, y en particular, por ejemplo para generar un conjunto de bits de control de voltaje secuencial para controlar los voltajes de puerta de los transistores que pueden generar la salida de corriente continua del componente de restauración de CC.

50

En particular, el generador de voltaje secuencial opcional del componente de restauración de CC puede activar secuencialmente dicha pluralidad de transistores escalados en paralelo para generar el componente de corriente de entrada de CC a eliminar de la entrada del circuito amplificador de transimpedancia.

55

Además, el componente de restauración de CC puede comprender un filtro de paso bajo conectado a la salida del circuito amplificador de transimpedancia, en el que la salida del filtro de paso bajo se puede usar como entrada para el generador de voltaje secuencial, en el que, por ejemplo, la salida del generador de voltaje secuencial se puede usar para controlar el voltaje de puerta de algunos transistores en paralelo que generan la salida de corriente de CC,

60

y en el que la salida de corriente de CC del componente de restauración de CC puede ser conectada a la salida del al menos un foto detector que puede ser conectada a la entrada del circuito amplificador de transimpedancia del circuito receptor óptico.

5 Dicho componente de restauración de CC de ejemplo puede, entre otras cosas, eliminar la componente de CC de la corriente de salida del foto diodo y reducir el ruido inyectado en el circuito amplificador de transimpedancia y dar lugar a un mejor rendimiento del circuito receptor óptico.

Además, el circuito receptor óptico puede comprender un componente de control de ganancia automático que, por ejemplo, puede comprender un circuito amplificador de transimpedancia auxiliar que puede ser una versión escalada de un circuito amplificador de transimpedancia según se ha descrito anteriormente.

Dicho circuito amplificador de transimpedancia auxiliar puede comprender, de este modo, una pluralidad de etapas amplificadoras de ganancia auxiliares, en el que el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar puede estar configurado para recibir como entrada una copia de la corriente continua generada por el componente de restauración de CC.

El circuito amplificador de transimpedancia auxiliar opcional de ejemplo puede estar configurado además para convertir una señal de corriente de entrada recibida en una señal de voltaje para generar una señal de salida para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia.

De este modo, cada etapa amplificadora de ganancia auxiliar, por ejemplo, puede comprender un amplificador de ganancia auxiliar y al menos una resistencia de retroalimentación programable local auxiliar.

25 Por ejemplo, el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar puede tener un ancho de banda más pequeño que el circuito amplificador de transimpedancia original, pero puede tener, por ejemplo, las mismas características de CC para garantizar una calibración correcta.

El posible circuito amplificador de transimpedancia auxiliar de ejemplo puede tener, de este modo, la misma transimpedancia equivalente para un determinado estado programado de las resistencias de retroalimentación programables auxiliares que la transimpedancia equivalente del amplificador de transimpedancia configurado con el mismo estado programado de las resistencias de retroalimentación programables.

Además, el componente de control de ganancia automático de ejemplo puede estar configurado para realizar una, algunas o todas las siguientes etapas:

- usar una copia de la corriente de CC producida por el componente de restauración de CC como una entrada del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar para transformar esta corriente en un voltaje proporcional a la transimpedancia requerida,
- comparar la salida del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar con un determinado voltaje de referencia, y en base a esta comparación, generar un conjunto de voltajes de control de puerta para programar la transimpedancia del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar por medio de las resistencias de retroalimentación programables auxiliares, y
- usar los voltajes de control de puerta generados para establecer la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en un valor que establezca la amplitud del voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia en un valor deseado.

Además, puede optimizarse la escala del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar en comparación con el circuito amplificador de transimpedancia original para reducir el consumo de corriente y energía.

50 Un receptor óptico de ejemplo para uso en un sistema de comunicación óptica puede comprender al menos un circuito receptor óptico según cualquiera de las configuraciones que se han descrito anteriormente y/o según cualquier combinación posible de las características de ejemplo que se han descrito anteriormente.

En resumen, la arquitectura de ejemplo que se ha descrito anteriormente, de un circuito receptor óptico o un receptor óptico para uso en un sistema de comunicación óptica puede, entre otras cosas, proporcionar algunas o todas las ventajas siguientes:

- alto ancho de banda y alta linealidad en un amplio rango dinámico de niveles de entrada de potencia óptica, por ejemplo, desde -24dBm hasta 0dBm o más, para permitir comunicaciones ópticas de alta velocidad basadas en modulaciones lineales
- circuito receptor óptico de control de ganancia automático y lineal
- amplio rango de transimpedancia equivalente, por ejemplo, desde unos pocos ohmios hasta varios cientos de K-ohmios, por ejemplo, desde 500ohmios hasta 300kohmios
- amplitud de salida constante

- estabilidad
- control de ganancia continuo, es decir, no basado en etapas discretas
- operación de transistores en región óhmica
- minimizar el ruido referido a la entrada
- 5 - mantener una esquina de baja frecuencia constante para la respuesta de bucle cerrado del circuito amplificador de transimpedancia y la restauración de CC
- funcionamiento totalmente diferencial, garantizando así un buen factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR) y un buen factor de rechazo al modo común (CMRR) y un rechazo de ruido diferencial
- adaptabilidad al proceso tecnológico y a variaciones de temperatura
- 10 - control de modo común para mantener un voltaje de polarización inversa adecuado en el foto detector, por ejemplo en el foto diodo
- control de voltaje secuencial para resistencias de retroalimentación programables y control de restauración de CC de entrada.

15 Las siguientes figuras ilustran a modo de ejemplo:

Figura 1: Arquitectura esquemática de ejemplo de partes de un circuito receptor óptico, por ejemplo un circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo y un foto diodo de ejemplo

20 Figura 2: Arquitectura esquemática de ejemplo de un circuito receptor óptico

Figura 3: Arquitectura esquemática de ejemplo adicional de un circuito receptor óptico

Figura 4: Serie de tiempo de ejemplo de una señal de corriente de entrada de ejemplo

25

Figura 5: Ejemplo de una etapa amplificadora de ganancia

Figura 6: Circuito de control de modo común de ejemplo

30 Figura 7: Secuencia de control de impedancia de ejemplo

Figura 8: Arquitectura de ejemplo de una resistencia de retroalimentación programable

Figura 9: Secuencia de activación de ejemplo de transistores en una resistencia de retroalimentación programable

35 de ejemplo

Figura 10a: Arquitectura de componente de restauración de CC de ejemplo

Figura 10b: Secuencia de generación de voltaje de ejemplo dependiente de la corriente de entrada de CC

40

Figura 10c: Respuesta de bucle cerrado de ejemplo de un circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo

Figura 11: Arquitectura de control de voltaje secuencial de ejemplo

45 Figura 12: Arquitectura de ejemplo de un componente de control de ganancia automático

Figura 13: Ejemplo de un sistema de comunicación óptica

La Figura 1 muestra una posible arquitectura de unas partes 100 de un circuito receptor óptico, comprendiendo en particular un ejemplo de circuito amplificador de transimpedancia 101 y un ejemplo de foto diodo 104.

En particular, se muestra un ejemplo de circuito amplificador de transimpedancia 101 con una entrada 102 para recibir una señal de corriente de entrada procedente del al menos un foto detector 104 y que está configurado para convertir la entrada recibida, por ejemplo una señal de corriente de entrada, en una señal de voltaje de salida 103 para generar una señal de salida 103 del circuito amplificador de transimpedancia.

55

El componente de restauración de CC y el componente de control de ganancia automático no se muestran en este ejemplo.

60 Además, se muestra a modo de ejemplo que el circuito amplificador de transimpedancia 101 comprende una pluralidad de ejemplo de etapas amplificadoras de ganancia, por ejemplo las etapas de ejemplo de amplificador de ganancia 123, 124, 125, 126. También se puede implementar cualquier otro número de etapas amplificadoras de ganancia.



Dichas etapas de ejemplo de amplificador de ganancia 123, 124, 125, 126 comprenden amplificadores de ganancia de ejemplo 119, 120, 121, 122 y resistencias de retroalimentación programables locales de ejemplo (Rlf) 105, 109, 106, 110, 107, 111, 108 y 112.

5

Además, se muestra una pluralidad de ejemplo de resistencias de retroalimentación programables adicionales 113, 118, 114, 117, 115 y 116 para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia 101.

10 Con fines de completión, se observa que las resistencias de retroalimentación programables para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia 101 que están conectadas entre la entrada 102 y la salida, es decir, la señal de salida 103, del circuito amplificador de transimpedancia 101 o que están conectadas entre la entrada 102 del circuito amplificador de transimpedancia 101 y las salidas de diferentes etapas amplificadoras de ganancia, también se pueden denominar resistencias de retroalimentación programables globales.

15

Se observa además que las resistencias de retroalimentación programables locales 105 y 109 también pueden entenderse como resistencias de retroalimentación programables (globales) para controlar la transimpedancia (equivalente) del circuito amplificador de transimpedancia 101 en caso de usar/tener solo una/la primera etapa amplificadora de ganancia 123.

20

Una secuencia de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia 101 puede comprender:

- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 113, 118, Rgf4
- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 114, 117, Rgf3
- 25 - reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 115, 116, Rgf2
- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 105, 109, Rf1

Una secuencia de ejemplo para controlar la ganancia del circuito amplificador de transimpedancia 101 puede comprender:

- 30 - reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 108, 112, Rlf4
- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 107, 111, Rlf3
- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 106, 110, Rlf2
- reducir la resistencia de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s) 105, 109, Rf1

35 La Figura 2 muestra una posible arquitectura adicional de un circuito receptor óptico 200. Dicho circuito receptor óptico de ejemplo 200 puede comprender un componente de control de ganancia automático 204 y un componente de restauración de CC 205, en el que dicho componente de restauración de CC 205 puede comprender, entre otras cosas, un filtro de paso bajo 208.

40 Además, el circuito receptor óptico 200 comprende un circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo 201 con entrada 202 y salida 203 y con una pluralidad de ejemplo de etapas amplificadoras de ganancia, de las cuales solo se muestra y denota explícitamente un subconjunto de ejemplo, en concreto las etapas amplificadoras de ganancia 209, 210, 211.

45 Dichas etapas amplificadoras de ganancia pueden, análogamente al circuito amplificador de transimpedancia representado en la Figura 1, comprender amplificadores de ganancia de ejemplo 212, 213, 214 y resistencias de retroalimentación programables locales de ejemplo 215, 216, 217, 218, 219 y 220.

Además, se muestra un ejemplo de resistencia programable de derivación 224 que puede acortar la salida de la

50

última etapa amplificadora de ganancia 211.

También el circuito amplificador de transimpedancia 201 puede comprender una pluralidad de resistencias de retroalimentación programables, por ejemplo resistencias de retroalimentación programables globales, 226, 227 para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia, en el que dichas resistencias

55 de retroalimentación programables, por ejemplo resistencias de retroalimentación programables globales, 226, 227 para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia pueden ser conectadas entre la entrada 202 del circuito amplificador de transimpedancia 201 y la salida 203 del circuito amplificador de transimpedancia 201 o entre la entrada 202 del circuito amplificador de transimpedancia 201 y las salidas de diferentes etapas amplificadoras de ganancia.

60

Además, se puede usar una resistencia fija 221, 225 conectada en paralelo entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia 201 para limitar el valor máximo de la transimpedancia equivalente del circuito

amplificador de transimpedancia 201. Además, se muestran unos búferes de ejemplo 222, 223 que pueden aislar la salida de la última etapa amplificadora de ganancia 211.

Además, el circuito receptor óptico de ejemplo 200 puede comprender dos foto detectores, por ejemplo foto diodos, 5 206, 207, en los que un foto detector 207 está configurado para recibir la señal de luz de entrada y el otro foto detector 206 está protegido de la señal de luz de entrada y el circuito amplificador de transimpedancia 201 puede tener una topología diferencial con una rama 228, por ejemplo la rama positiva, del circuito amplificador de transimpedancia 201 que está conectada al foto detector 207 que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama 229, por ejemplo la rama negativa, del circuito amplificador de transimpedancia 201 que está conectada 10 al foto detector 206 que está protegido de la señal de luz. Sin embargo, también es posible que, por ejemplo, dicha posible rama negativa del circuito amplificador de transimpedancia pueda ser conectada a un modelo eléctrico equivalente (no se muestra) de un foto detector, por ejemplo un modelo eléctrico equivalente de un foto diodo, por ejemplo, a un circuito que comprende una resistencia y/o un condensador.

15 Dicha posible arquitectura diferencial puede, entre otras cosas, mejorar el factor de rechazo a fuente de alimentación (PSRR) y el factor de rechazo al modo común (CMRR), así como la inmunidad al ruido común.

Como se ha descrito anteriormente, el componente de control de ganancia automático 204 puede estar en comunicación con algunas o todas las resistencias de retroalimentación programables del circuito receptor óptico 20 200, es decir, por ejemplo, con cada una de las resistencias de retroalimentación programables locales 215, 216, 217, 218, 219, 220 para controlar la ganancia de la respectiva etapa amplificadora de ganancia y con algunas o todas las resistencias de retroalimentación programables 226, 227 para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en base a la señal de salida del componente de restauración de CC 205.

25 Con fines de compleción, se observa que los términos  $R_{ctrl} <M+1:N>$  y  $R_{ctrl} <M+1:N>$  que se muestran en la Figura 2 pueden entenderse como referidos a la posible pluralidad de transistores comprendidos en las resistencias de retroalimentación programables. Según se ha mencionado anteriormente, dichas resistencias de retroalimentación programables pueden seguir una secuencia de activación, por ejemplo pueden activarse primero las resistencias 226, 227, 219 y 220, y luego las resistencias 215, 216, 217, 218.

30 La Figura 3 muestra una posible arquitectura de un circuito receptor óptico 300 con el fin de comprender mejor algunos aspectos de la presente invención.

Dicho circuito receptor óptico de ejemplo 300 puede comprender un componente de control de ganancia automático 35 307 y un componente de restauración de CC 308, en el que dicho componente de restauración de CC 308 puede, entre otras cosas, comprender un filtro de paso bajo (no se muestra).

Además, el circuito receptor óptico 200 comprende un circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo 303 con entrada 301 y salida 302 y con una etapa amplificadora de ganancia de ejemplo 312.

40 Dicha etapa amplificadora de ganancia 312 puede, de manera análoga a los circuitos amplificadores de transimpedancia representados anteriormente, comprender un ejemplo de amplificador de ganancia 304 y ejemplos de resistencias de retroalimentación programables locales 305 y 306 que en el caso mostrado también pueden actuar como resistencias de retroalimentación programables globales y para controlar la transimpedancia 45 (equivalente) del circuito amplificador de transimpedancia 303 en base a la salida de señal del componente de restauración de CC 308 para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante para diferentes rangos de corriente de la señal de corriente de entrada.

La ganancia de la(s) etapa(s) de amplificador de ganancia debería ser preferiblemente lo suficientemente alta como 50 para obtener el máximo ancho de banda de la respuesta del amplificador de transimpedancia de corriente a voltaje, en particular para valores altos de transimpedancia equivalente.

Preferiblemente, y según se ha descrito anteriormente, el circuito amplificador de transimpedancia puede, por tanto, comprender más de una etapa amplificadora de ganancia.

55 En particular, y en general, se sostiene que un mayor ancho de banda para una mayor transimpedancia (equivalente) del circuito amplificador de transimpedancia requiere una mayor ganancia del (de los) amplificador(es) de ganancia de la(s) etapa(s) de amplificador de ganancia.

60 Por ejemplo, el ancho de banda  $\omega_{-3dB}$  del circuito amplificador de transimpedancia con respecto al punto de 3-dB se puede aproximar por medio de

$$\omega_{-3dB} \approx \frac{\sqrt{2}A_0}{R_F C_T}$$

, en el que, por ejemplo,  $A_0$  es la ganancia de bucle abierto de amplificador de ganancia de una etapa amplificadora de ganancia,  $R_F$  es la resistencia equivalente de una resistencia de retroalimentación y  $C_F$  es la capacitancia de entrada equivalente total del amplificador de ganancia.

Por ejemplo, para un ancho de banda de aproximadamente 150 MHz y valores de ejemplo de  $R_F \approx 200k\Omega$  y  $C_F \approx 4$  pF se requeriría una ganancia de CC de al menos aproximadamente 60 dB.

10 Además, el circuito amplificador de transimpedancia 303 puede comprender/puede ser seguido por un búfer de salida 311, por ejemplo, un amplificador de ganancia unitaria o un seguidor de voltaje, para aislar un/el nodo de salida del circuito amplificador de transimpedancia.

De manera análoga a la Figura 2, el circuito receptor óptico de ejemplo 300 puede comprender dos foto detectores, por ejemplo foto diodos, 310, 309, en el que un foto detector 309 está configurado para recibir la señal de luz de entrada y el otro foto detector 310 está protegido de la señal de luz de entrada y el circuito amplificador de transimpedancia 303 pueden tener una topología diferencial con una rama, por ejemplo la rama positiva, del circuito amplificador de transimpedancia 303 que está conectada al foto detector 309 que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama, por ejemplo la rama negativa, del circuito amplificador de transimpedancia 303 que está conectada al foto detector 310 que está protegido de la señal de luz. Sin embargo, también es posible que, por ejemplo, dicha posible rama negativa del circuito amplificador de transimpedancia pueda ser conectada a un modelo eléctrico equivalente (no se muestra) de un foto detector, por ejemplo un modelo eléctrico equivalente de un foto diodo, por ejemplo, a un circuito que comprende una resistencia y/o un condensador.

25 Con fines de compleción, se observa que el foto detector, por ejemplo el foto diodo 309, está conectado a  $V_{DD}$  solo con fines ilustrativos, también son posibles otras conexiones, tal como ánodo a tierra, dependiendo de la naturaleza del foto diodo.

La Figura 4 muestra a modo de ejemplo una serie temporal 400 de una señal de corriente de entrada de ejemplo 401, por ejemplo, un ejemplo de señal de fotocorriente procedente de un foto detector, por ejemplo un foto diodo (no se muestra).

Esta figura ilustra la evolución transitoria de una señal de transmisión para un determinado nivel promedio de potencia óptica de luz (es decir, para una determinada longitud de fibra, temperatura, proceso, etc.). Las escalas de tiempo mostradas pueden ser, por ejemplo, del orden de cientos MHz o GHz.

Según se muestra, la señal de corriente de entrada de ejemplo 401, puede variar entre un nivel máximo de corriente de entrada 402 y un nivel mínimo de corriente de entrada 404, y puede tener un nivel promedio de corriente de entrada indicado por el número de referencia 403.

La diferencia entre el nivel máximo de corriente de entrada 402 y el nivel mínimo de corriente de entrada 404 puede definir el cambio de voltaje de entrada o la variación de la corriente de entrada.

Por ejemplo, en el caso de una transmisión analógica, entre estos dos valores 402, 404, la señal de transmisión puede tomar cualquier valor, y el (circuito) receptor óptico se encarga de interpretarla como la señal digital transmitida.

La corriente promedio 403 representa a modo de ejemplo la componente de CC de la señal de entrada recibida. Como esta componente de CC no es necesariamente necesaria para reconstruir la señal de transmisión en el receptor, puede ser eliminada, por ejemplo, por un componente de restauración de CC, tal como por ejemplo el componente de restauración de CC 308 de la Figura 3.

Además, la corriente de entrada promedio 403 puede proporcionar una buena estimación de la amplitud de entrada máxima de la fotocorriente recibida. En una transmisión óptica, la diferencia entre  $I_{max}$  e  $I_{min}$  es determinada por la siguiente relación:

$$I_{max} - I_{min} = 2 \cdot \frac{ER - 1}{ER + 1} \cdot I_{avg}$$

, en la que ER se conoce como el índice de extinción y se puede definir para un protocolo de comunicación determinado.

Por lo tanto, para un ER determinado, se puede calcular la variación máxima de la corriente de entrada utilizando la corriente promedio 403 y para adaptar la transimpedancia equivalente del amplificador de transimpedancia para obtener una variación de voltaje de salida definida en la salida del amplificador de transimpedancia.

- 5 Es importante señalar que, dependiendo del nivel de la potencia óptica recibida, la variación de corriente promedio puede ser de hasta tres órdenes de magnitud o más.

El ejemplo de la Figura 5 muestra un amplificador de ganancia 500, por ejemplo, un amplificador de ganancia de una primera etapa amplificadora de ganancia (no se muestra).

10

En este ejemplo, el amplificador de ganancia puede comprender un transistor en cascada con una carga resistiva  $R_{load}$  501.

- 15 En lugar de la carga resistiva  $R_{load}$ , también se puede usar una carga de PMOS (semiconductor de óxido de metal de canal p), cuando se optimiza un equilibrio deseado entre ganancia, ruido referido a la entrada y variaciones de esquina.

- 20 El transistor en cascada puede ser un transistor de efecto de campo NMOS (semiconductor de óxido de metal de canal n) en cascada que, entre otras cosas, puede mejorar las características de ruido de la corriente del circuito amplificador de transimpedancia (no se muestra), ya que el ruido referido a la entrada del circuito amplificador de transimpedancia puede ser inversamente proporcional a la transconductancia equivalente del par diferencial de entrada y la capacitancia equivalente de entrada.

- 25 Sin embargo, también son posibles otros tipos de transistores, tal como el transistor de efecto de campo PMOS (semiconductor de óxido de metal de canal p).

- 30 Además, en la implementación del amplificador de ganancia 500, también se pueden usar otras tecnologías, tales como, por ejemplo, la tecnología Bipolar (tecnología de transistor de unión bipolar), la tecnología BiCMOS (combinación de tecnología de transistor de unión bipolar y tecnología complementaria de semiconductor de óxido de metal), la tecnología basada en GaAs (arseniuro de galio), etc.

Un transistor en cascada puede, entre otras cosas, permitir el aumento de la impedancia equivalente del par diferencial de entrada 504, 505 (del circuito amplificador de transimpedancia) para obtener una ganancia mayor.

- 35 La ganancia y la impedancia de salida del amplificador de ganancia pueden ser escaladas con la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (no se muestra).

- 40 La corriente de polarización  $I_{bias}$ , 503, del par diferencial de entrada se puede obtener de, entre otras cosas, un circuito de control de transconductancia (no se muestra) que mantiene una transconductancia constante a lo largo de posibles variaciones de proceso/voltaje/temperatura (PVT) en el circuito receptor óptico, mejorando de este modo el control de estabilidad, linealidad y rendimiento de ruido del circuito receptor óptico en todas las condiciones.

- 45 En otras palabras, la corriente de polarización  $I_{bias}$ , 503, puede variar con las variaciones de PVT para facilitar el mantenimiento de la constante de ganancia para todas las variaciones de PVT, facilitando de este modo, entre otras cosas, la respuesta de bucle cerrado y manteniendo un rendimiento similar en todas las esquinas.

- 50 Además, el amplificador de ganancia 500 puede comprender un componente de control de modo común 502 para controlar el voltaje de polarización inversa del foto detector de entrada, es decir, el foto diodo de entrada. Esto puede, entre otras cosas, mejorar el control y la estabilidad del voltaje de modo común de salida y puede mejorar el rendimiento de la posible siguiente etapa amplificadora de ganancia.

- 55 Si bien la arquitectura y la topología que se han descrito anteriormente se pueden implantar en el amplificador de ganancia de una primera etapa amplificadora de ganancia para mejorar el ruido referido a la entrada del circuito amplificador de transimpedancia, las otras posibles etapas posteriores pueden seguir una arquitectura y topología similares.

- 60 La Figura 6 muestra a modo de ejemplo un componente de circuito de control de modo común de ejemplo 600 que puede ser implementado en los amplificadores de ganancia de una etapa amplificadora de ganancia de un circuito amplificador de transimpedancia de un circuito receptor óptico (no se muestra), es decir, por ejemplo, todos los amplificadores de ganancia pueden tener un componente de circuito de control de modo común.

Un componente de circuito de control de modo común puede servir para compensar las variaciones de la corriente de polarización  $I_{bias}$ , sin influir significativamente en la cantidad de corriente que pasa por el par diferencial de entrada y mantener las propiedades y funcionalidades de transconductancia.

5 En el presente ejemplo, el componente de circuito de control de modo común 600 puede muestrear el nodo de salida de la etapa amplificadora de ganancia (no se muestra) por medio de dos resistencias grandes 602, 603 con el fin de evitar modificar la impedancia de salida de la etapa amplificadora de ganancia (no se muestra).

Dichas grandes resistencias 602, 603 pueden tener, por ejemplo, unos valores de resistencia en el rango desde  
10 cientos de kilo-ohmios hasta pocos mega-ohmios.

De este modo, el modo común puede ser comparado con un valor de referencia 601,  $V_{CM}$ , y la diferencia se puede filtrar con paso bajo, por ejemplo, por medio de un filtro de transconductancia-capacitancia de 1 kHz.

15 El modo común puede entonces ser ajustado sustrayendo la correspondiente corriente procedente de los nodos de salida mediante, por ejemplo, un transistor, por ejemplo un transistor NMOS.

Con fines de compleción, se observa que la topología del componente de circuito de control de modo común no se limita al esquema de transconductancia-capacitancia o transistor MOS propuestos, sino que el componente de  
20 circuito de control de modo común podría ser implementado por otros medios que realicen las funcionalidades y etapas descritas anteriormente.

La Figura 7 muestra a modo de ejemplo posibles etapas de una secuencia de control 700 para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia de un circuito receptor óptico (no se  
25 muestra) de una manera estable.

Las etapas de secuencia de ejemplo pueden ser realizadas, por ejemplo, por un componente de control de ganancia automático (no se muestra) y pueden incluir una, algunas o todas las siguientes etapas y en un orden variable de  
30 etapas:

- Etapa 701: calcular una corriente de entrada promedio procedente del foto detector, por ejemplo foto diodo
- Etapa 702: usar la corriente de entrada calculada para calcular la transimpedancia necesaria
- Etapa 703: comenzar a reducir la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia comenzando a reducir la impedancia de la resistencia de retroalimentación programable que está  
35 conectada entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia, mientras se mantiene abierto el bucle de retroalimentación del circuito amplificador de transimpedancia
- Etapa 704: una vez que se establece en un valor mínimo determinado la impedancia de la resistencia de retroalimentación programable, que está conectada entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia, reducir la retroalimentación resistiva de las etapas amplificadoras de ganancia,  
40 comenzando con la reducción de la retroalimentación resistiva de la al menos una resistencia de retroalimentación programable local de la última etapa amplificadora de ganancia.

En paralelo con el paso 703 y 704, se puede reducir la retroalimentación resistiva de las otras resistencias de retroalimentación programables locales de otras etapas amplificadoras de ganancia para reducir la ganancia de las  
45 otras etapas amplificadoras de ganancia y para controlar aún más la estabilidad del circuito amplificador de transimpedancia de un circuito receptor óptico.

Las etapas y secuencias descritas son solo de ejemplo y también son posibles otras secuencias que comprenden mover la ganancia de las diferentes etapas amplificadoras de ganancia por medio de resistencias/resistencias de derivación de retroalimentación programables, así como también son posibles otras etapas y medios para reducir la impedancia entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia.  
50

La Figura 8 muestra a modo de ejemplo una implementación de una resistencia de retroalimentación programable 800, por ejemplo, de una resistencia de retroalimentación programable local o global o de una resistencia de  
55 retroalimentación programable conectada entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia.

Por ejemplo, en un circuito receptor óptico de ejemplo (no se muestra), algunas o cada una de las resistencias de retroalimentación programables pueden comprender una pluralidad de transistores 802, 803, 804, 805 conectados en paralelo y en el que la resistencia de las resistencias de retroalimentación programables es controlada a través  
60 del (los) voltaje(s) de puerta de sus transistores 806, 807, 808, 809, y en el que algunos o todos los transistores 802, 803, 804, 805 de una resistencia de retroalimentación programable pueden tener diferentes características, por ejemplo pueden diferir en escala o tamaño, por ejemplo pueden diferir en su relación de ancho de puerta con

respecto a longitud de puerta 810, 811, 812, por ejemplo en su relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta desde el primer hasta el último transistor de la respectiva resistencia de retroalimentación programable.

Las posibles características diferentes de dichos transistores pueden, entre otras cosas, reducir problemas de linealidad y mejorar la operación de las resistencias de retroalimentación programables en región óhmica para todo el rango dinámico.

Por ejemplo, los transistores MOS, por ejemplo los transistores CMOS, operan en región óhmica cuando  $V_{DS} < V_{DS,sat}$ , en el que  $V_{DS}$  es el voltaje drenaje-fuente y  $V_{DS,sat}$  es el voltaje drenaje-fuente al entrar en la región de saturación y se produce un comportamiento no lineal.

Puesto que  $V_{DS} = V_{GS} - V_{th}$ , en el que  $V_{GS}$  es el voltaje de fuente de puerta y  $V_{th}$  el voltaje de umbral, los transistores pueden, por ejemplo, estar configurados y diseñados para maximizar el punto operativo  $V_{GS}$  para mejorar el comportamiento de linealidad para todo el rango de impedancias equivalentes.

Además, es posible una activación sucesiva de los transistores 802, 803, 804, 805 desde una menor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta hasta una mayor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta, según se muestra en una secuencia de ejemplo 801.

Dichos ejemplos de activaciones sucesivas de los transistores de las resistencias de retroalimentación programables del circuito receptor óptico pueden mejorar la linealidad de transiciones de impedancia equivalente, por ejemplo, la linealidad de transiciones de impedancia equivalente desde valores de impedancia equivalente altos hasta valores de impedancia equivalente bajos.

La Figura 9 muestra a modo de ejemplo un posible comportamiento de disminución lineal 900 de la impedancia equivalente 901 para una resistencia de retroalimentación programable (no se muestra) de un circuito receptor óptico (no se muestra) cuando se realiza un ejemplo de dependencia de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta 902 de los transistores (no se muestran) de una resistencia de retroalimentación programable.

Por ejemplo, una secuencia de activación análoga a la descrita anteriormente, con una activación de los transistores desde una menor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta hasta una mayor relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta, y en el que dichos transistores controlan los voltajes de puerta 903 de las resistencias de retroalimentación programables (no se muestran).

El diseño de las resistencias de retroalimentación programables descrito anteriormente y la activación secuencial de los transistores que operan en un régimen  $V_{GS} - V_{th}$  suficientemente alto y optimizado pueden asegurar un buen comportamiento lineal en todo el rango dinámico.

Con fines de compleción, se observa que el posible comportamiento de disminución lineal 900 mostrado también puede ser válido para el comportamiento de transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia.

La Figura 10a muestra a modo de ejemplo una posible arquitectura de componente de restauración de CC 1000, en la que el componente de restauración de CC puede comprender un filtro de paso bajo 1001.

El componente de restauración de CC puede eliminar la corriente de CC de entrada, es decir, la corriente promedio,  $I_{avg}$ , de la señal de corriente generada por el al menos un foto detector, es decir la fotocorriente, por medio de, por ejemplo, un control de bucle cerrado, lo que puede implicar un filtrado de paso bajo del voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia (TIA, no mostrado) para calcular su componente de CC,  $V_{CC}$ .

El filtro de paso bajo 1001 puede ir seguido por un generador de voltaje secuencial 1002 y una fuente de corriente 1003 que genera la corriente de CC equivalente a sustraer de la entrada del amplificador de transimpedancia y que puede estar formada por un conjunto de transistores en paralelo controlados por el voltaje de control secuencial  $V_{CC}$  generado por el generador de voltaje secuencial, que puede estar configurado para un control continuo del voltaje de CC.

La Figura 10b muestra a modo de ejemplo el comportamiento lineal 1004 de la corriente de entrada de CC en función del componente de voltaje de CC calculado  $V_{CC}$  para una posible arquitectura de componente de restauración de CC, tal como por ejemplo la arquitectura del componente de restauración de CC 1000.

La Figura 10c muestra a modo de ejemplo el comportamiento de respuesta del control de bucle cerrado 1006 de una posible arquitectura de circuito amplificador de transimpedancia junto con una posible arquitectura de componente

de restauración de CC, tal como, por ejemplo, la arquitectura de componente de restauración de CC 1000 y la arquitectura de circuito de amplificador de transimpedancia que se han descrito anteriormente.

La respuesta de bucle cerrado del circuito amplificador de transimpedancia junto con la restauración de CC pueden formar un filtro de paso de banda cuya frecuencia de esquina inferior o polo de baja frecuencia 1005,  $\omega_{pl}$ , puede ser determinada por

$$\omega_{pl} = T_{z0} \cdot g_{m,cs} \cdot GBW_{LPF}$$

, en el que  $T_{z0}$  es la transimpedancia equivalente,  $g_{m,cs}$  es la transconductancia equivalente de la fuente de corriente, por ejemplo el conjunto de transistores en paralelo del componente de fuente de corriente 1003 de la Figura 10a, y  $GBW_{LPF}$  es el producto de ancho de banda de ganancia del filtro de paso bajo.

Dicha frecuencia de esquina inferior  $\omega_{pl}$  o polo de baja frecuencia 1005 puede mantenerse constante para todos los posibles rangos de transimpedancia, evitando de este modo, entre otras cosas, un línea base errática de la señal de comunicación procesada por el circuito receptor óptico. Además, la transconductancia equivalente  $g_{m,cs}$  puede moverse junto con la transimpedancia equivalente  $T_{z0}$ .

La corriente continua generada por el componente de restauración de CC, es decir, la señal de corriente continua proporcionada por el componente de restauración de CC, se puede generar, por ejemplo, por medio de una matriz de transistores escalados que se pueden activar secuencialmente a medida que aumenta la salida de voltaje de CC como, por ejemplo, las que se muestran en la Figura 10a.

Además, se puede reducir la transconductancia equivalente  $g_{m,cs}$  de la fuente de corriente para reducir el ruido de la corriente de la restauración de CC inyectada en la entrada del amplificador de transimpedancia. El uso de la activación de voltaje secuencial de la fuente de corriente puede ayudar a minimizar la inyección de ruido de la corriente.

La arquitectura descrita puede, entre otras cosas, permitir mantener constante un producto  $T_{z0} \cdot g_{m,cs}$  y al mismo tiempo reducir la cantidad de ruido inyectado en la entrada del circuito amplificador de transimpedancia, ya que los transistores utilizados en esta arquitectura pueden, por ejemplo, según se ha descrito anteriormente, por ejemplo en la Figura 8, estar configurados y diseñados para maximizar el punto de operación  $V_{GS}$  de voltaje de fuente de puerta.

Por ejemplo, cuanto más alto es el voltaje de fuente de puerta  $V_{GS}$ , menor es el  $g_m/I_D$ , el denominado coeficiente de inversión, lo que resulta en una menor densidad de ruido espectral de los transistores y un mejor rendimiento general del circuito receptor óptico.

Se hace notar de nuevo, por motivos de compleción, que los transistores que se pueden utilizar no se limitan a una implementación basada en la arquitectura MOS (semiconductor de óxido de metal), por ejemplo CMOS (semiconductor de óxido de metal complementario).

La Figura 11 muestra un posible componente de control de voltaje secuencial 1100 para un control de voltaje continuo que, por ejemplo, se puede usar en el componente de restauración de CC (no se muestra) de un circuito receptor óptico según se ha descrito anteriormente.

El ejemplo de posible componente de control de voltaje secuencial 1100 puede recibir una referencia de corriente de entrada  $I_{ref}$  y una señal  $V_{cc}$  procedente de un/el filtro de paso bajo (no se muestra), que se pueden convertir en una corriente  $I_{in}$  proporcional al voltaje de CC de salida del componente de restauración de CC (no se muestra).

Dicha corriente  $I_{in}$  convertida dependiente del voltaje de entrada puede entonces ser copiada por medio de un espejo de corriente 1104 a lo largo de una matriz de copias escaladas de la corriente de referencia  $I_{ref}$ .

Según se muestra, un transistor conectado a diodo, por ejemplo, un transistor NMOS conectado a diodo, puede convertir la corriente excedente en un voltaje y construir de este modo los bits secuenciales, por ejemplo pasando de un valor mínimo a un valor máximo secuencialmente, a lo largo de la matriz.

Por ejemplo, en caso de que el voltaje de entrada de corriente  $V_{cc}$  sea pequeña, todos los voltajes de salida 1105, 1106, 1107, son pequeños.

Por lo tanto, de este modo, los voltajes típicos pueden estar en el rango de 1 a 5V.

Debido a las diferentes relaciones de anchura de puerta con respecto a longitud de puerta de los transistores MOS, según se muestra en la secuencia de ejemplo 1101, a medida que aumentan los voltajes  $V_{cc}$ , se activan

secuencialmente los diferentes voltajes de salida  $V_{CC< i >}$ , 1105, 1106, 1107 (siendo  $i$  un número natural mayor que 1).

Además, un tamaño adecuado, es decir un dimensionamiento adecuado de las relaciones de anchura de puerta con respecto a longitud de puerta, puede controlar de forma exacta la secuencia de activación.

La Figura 12 muestra a modo de ejemplo un componente de control de ganancia automático 1200. El control de ganancia automático realizado por el componente de control de ganancia automático 1200 puede basarse en una/las corriente continua 1209 generada por el componente de restauración de CC (no se muestra) y una versión escalada del circuito amplificador de transimpedancia principal (TIA), denominado circuito amplificador de transimpedancia auxiliar (TIA auxiliar) 1208.

En otras palabras, el componente de control de ganancia automático de ejemplo 1200 puede, por ejemplo, comprender al menos una etapa amplificadora de ganancia auxiliar con un amplificador de ganancia auxiliar 1205 y resistencias de retroalimentación programables auxiliares 1206, 1207, así como un búfer de salida.

De hecho, el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar 1208 puede tener, por ejemplo, el mismo número de etapasificadoras de ganancia auxiliares, el mismo número de amplificadores de ganancia auxiliares y el mismo número de resistencias de retroalimentación programables auxiliares que el circuito amplificador de transimpedancia principal (no se muestra), pero se pueden escalar sus valores y propiedades características para tener un menor consumo de energía pero las mismas características de CC (por ejemplo, la misma ganancia de CC equivalente y la misma transimpedancia equivalente) para facilitar la calibración correcta del circuito receptor óptico.

Además, la corriente de CC, es decir, la corriente promedio,  $I_{avg}$ , de la señal de corriente generada por el al menos un foto detector, es decir, la fotocorriente, puede ser proporcional a la amplitud del componente de CA (corriente alterna) de la señal de entrada.

La señal de referencia 1201, por ejemplo un voltaje de referencia, puede representar una/las amplitud máxima del voltaje de salida permitida en la salida del circuito amplificador de transimpedancia principal (no se muestra). El posible bloque que sigue al circuito amplificador de transimpedancia auxiliar 1208 puede tener una alta ganancia, por ejemplo de hasta 60dB o más, y puede generar un voltaje de salida proporcional a la diferencia entre el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar 1208 y el voltaje de referencia 1201.

Dicho bloque puede comprender además un generador de voltaje secuencial 1203 y que puede ser similar al posible generador de voltaje secuencial del componente de restauración de CC.

Dicho generador de voltaje secuencial 1203 puede crear señales de control de voltaje secuencialmente 1202 ( $R_{ctrl} < 1:N >$ ) que pueden controlar las resistencias de retroalimentación programables del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar 1208 y del circuito amplificador de transimpedancia principal.

La Figura 13 muestra un sistema de comunicación óptica 1300 que comprende un transmisor óptico 1301, un enlace de fibra óptica 1302, por ejemplo una fibra de plástico, y un receptor óptico 1303.

En este ejemplo de sistema de comunicación óptica 1300, un dispositivo emisor de luz, por ejemplo un diodo emisor de luz (LED) 1306 controlado por un circuito de control de LED 1305, del transmisor óptico, emite una señal óptica que se suministra a un enlace de fibra óptica 1302, por ejemplo una fibra de plástico, que guía la señal óptica hacia un dispositivo receptor de luz, el receptor óptico 1303, en el que, por ejemplo, la luz es recibida por un foto diodo 1307. La luz recibida por el foto diodo 1307 genera una fotocorriente que es convertida, por ejemplo, por un circuito amplificador de transimpedancia (TIA) 1308 de acuerdo con y consistente con la(s) arquitectura(s) de ejemplo que se ha(n) descrito anteriormente, en una señal de salida de voltaje eléctrico 1309.

Además, en este ejemplo de sistema de comunicación óptica 1300, el receptor óptico 1303 comprende un circuito receptor óptico 1304 de acuerdo y consistente con la(s) arquitectura(s) de ejemplo de un circuito receptor óptico que se ha(n) descrito anteriormente.

Con fines de completión, se observa que la(s) arquitectura(s) de ejemplo de un circuito receptor óptico descrita(s) anteriormente no se limita(n) a una implementación basada en arquitectura MOS (semiconductor de óxido de metal). El diseño de la arquitectura de un circuito receptor óptico de ejemplo descrito anteriormente también es compatible con cualquier otra tecnología, tal como por ejemplo la tecnología Bipolar (tecnología de transistor de unión bipolar), la tecnología BiCMOS (combinación de tecnología de transistor de unión bipolar y tecnología complementaria de semiconductor de óxido de metal), la tecnología basada en GaAs (arseniuro de galio), etc.

Seguido por 13 hojas que comprenden 13 figuras.



## ES 2 714 387 T3

Los números de referencia identifican los siguientes componentes:

- 5 100 Arquitectura esquemática de ejemplo de partes de un circuito receptor óptico
- 101 Circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo
- 102 Ejemplo de entrada/señal de entrada, por ejemplo una señal de corriente de entrada, del circuito amplificador de transimpedancia
- 10 103 Ejemplo de salida/señal de salida, por ejemplo una señal de voltaje de salida, del circuito amplificador de transimpedancia
- 104 Ejemplo de foto detector, por ejemplo un foto diodo
- 15 105 Resistencia de retroalimentación programable local/global de ejemplo
- 106 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 20 107 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 108 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 109 Resistencia de retroalimentación programable local/global de ejemplo
- 25 110 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 111 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 30 112 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 113 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 35 114 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 115 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 40 116 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 117 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 45 118 Resistencia de retroalimentación programable de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 50 119 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 120 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 121 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 55 122 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 123 Ejemplo de (primera) etapa amplificadora de ganancia
- 60 124 Etapa amplificadora de ganancia de ejemplo
- 125 Etapa amplificadora de ganancia de ejemplo

- 126 Ejemplo de (última) etapa amplificadora de ganancia
- 200 Circuito receptor óptico de ejemplo
- 5 201 Circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo
- 202 Ejemplo de entrada/señal de entrada, por ejemplo una señal de corriente de entrada, del circuito amplificador de transimpedancia
- 10 203 Ejemplo de salida/señal de salida, por ejemplo una señal de voltaje de salida, del circuito amplificador de transimpedancia
- 204 Componente de ganancia automática de ejemplo
- 15 205 Componente de restauración de CC de ejemplo
- 206 Ejemplo de foto detector protegido (auxiliar), foto diodo protegido (auxiliar), o modelo eléctrico equivalente de un foto detector/foto diodo
- 20 207 Ejemplo de foto detector, por ejemplo un foto diodo
- 208 Posible filtro de paso bajo de ejemplo
- 25 209 Ejemplo de (primera) etapa amplificadora de ganancia
- 210 Etapa amplificadora de ganancia de ejemplo
- 211 Ejemplo de (última) etapa amplificadora de ganancia
- 30 212 Ejemplo de (primer) amplificador de ganancia
- 213 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 35 214 Ejemplo de (último) amplificador de ganancia
- 215 Resistencia de retroalimentación programable local/global de ejemplo
- 216 Resistencia de retroalimentación programable local/global de ejemplo
- 40 217 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 218 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 45 219 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 220 Resistencia de retroalimentación programable local de ejemplo
- 221 Ejemplo de resistencia (global) fija entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia
- 50 222 Ejemplo de amplificador de ganancia unitaria, ejemplo de búfer
- 223 Ejemplo de amplificador de ganancia unitaria, ejemplo de búfer
- 55 224 Resistencia programable de derivación de ejemplo
- 225 Resistencia fija de ejemplo entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia
- 226 Resistencia de retroalimentación programable (global) de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia
- 60 227 Resistencia de retroalimentación programable (global) de ejemplo para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia

- 300 Circuito receptor óptico de ejemplo
- 5 301 Ejemplo de entrada/señal de entrada, por ejemplo una señal de corriente de entrada, del circuito amplificador de transimpedancia
  - 302 Ejemplo de salida/señal de salida, por ejemplo una señal de voltaje de salida, del circuito amplificador de transimpedancia
- 10 303 Circuito amplificador de transimpedancia de ejemplo
  - 304 Amplificador de ganancia de ejemplo
- 15 305 Resistencia de retroalimentación programable (local/global) de ejemplo
  - 306 Resistencia de retroalimentación programable (local/global) de ejemplo
  - 307 Componente de ganancia automática de ejemplo
- 20 308 Componente de restauración de CC de ejemplo
  - 309 Ejemplo de foto detector, por ejemplo un foto diodo
- 25 310 Ejemplo de foto detector protegido (auxiliar), foto diodo protegido (auxiliar), o modelo eléctrico equivalente de un foto detector/foto diodo
  - 311 Ejemplo de búfer de salida
- 30 400 Serie de tiempo de ejemplo de una señal de corriente de entrada de ejemplo
  - 401 Ejemplo de señal de corriente de entrada, por ejemplo señal de fotocorriente
- 35 402 Ejemplo de nivel de corriente de entrada máximo, ejemplo de señal de corriente de entrada máxima
  - 403 Ejemplo de nivel promedio de corriente de entrada, ejemplo de señal de corriente de entrada promedio
  - 404 Ejemplo de nivel de corriente de entrada mínimo, ejemplo de señal de corriente de entrada mínima
- 40 500 Ejemplo de amplificador de ganancia, por ejemplo, amplificador de ganancia de ejemplo de una primera etapa amplificadora de ganancia
- 45 501 Ejemplo de carga resistiva, por ejemplo carga resistiva de un transistor en cascada
  - 502 Componente de control de modo común de ejemplo
  - 503 Corriente de polarización de ejemplo
- 50 504 Parte de ejemplo de un par de entrada diferencial
  - 505 Parte de ejemplo de un par de entrada diferencial
- 55 600 Componente de circuito de control de modo común de ejemplo
  - 601 Valor de referencia de ejemplo
- 60 602 Ejemplo de (primera) resistencia grande, ejemplo de resistencia para calcular la salida en modo común
  - 603 Ejemplo de (segunda) resistencia grande, ejemplo de resistencia para calcular la salida en modo común

- 700 Secuencia de control de ejemplo
- 5 701 Etapa de secuencia de control de ejemplo
- 702 Etapa de secuencia de control de ejemplo
- 703 Etapa de secuencia de control de ejemplo
- 10 704 Etapa de secuencia de control de ejemplo
  
- 800 Implementación de ejemplo de una resistencia de retroalimentación programable
- 15 801 Tamaño de ejemplo de relaciones de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta
- 802 Transistor de ejemplo
- 803 Transistor de ejemplo
- 20 804 Transistor de ejemplo
- 805 Transistor de ejemplo
- 25 806 Ejemplo de voltaje de control de puerta de una resistencia programable
- 807 Ejemplo de voltaje de control de puerta de una resistencia programable
- 808 Ejemplo de voltaje de control de puerta de una resistencia programable
- 30 809 Ejemplo de voltaje de control de puerta de una resistencia programable
- 810 Ejemplo de relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta
- 35 811 Ejemplo de relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta
- 812 Ejemplo de relación de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta
  
- 40 900 Ejemplo de comportamiento de disminución lineal de impedancia equivalente
- 901 Ejemplo de impedancia equivalente de resistencia de retroalimentación programable
- 902 Ejemplo de dependencia de dimensiones de transistor de resistencia(s) programable(s)
- 45 903 Ejemplos de voltajes de control de puerta de la(s) resistencia(s) de retroalimentación programable(s)
  
- 1000 Arquitectura de componente de restauración de CC de ejemplo
- 50 1001 Filtro de paso bajo de ejemplo
- 1002 Generador de voltaje secuencial de ejemplo
- 55 1003 Ejemplo de componente de fuente de corriente secuencial, por ejemplo un conjunto de transistores en paralelo
- 1004 Ejemplo de comportamiento de la corriente de entrada de CC
- 1005 Polo de baja frecuencia de ejemplo
- 60 1006 Ejemplo de comportamiento de respuesta de control de bucle cerrado

- 1100 Componente de control de voltaje secuencial de ejemplo
- 1101 Ejemplo de dependencia de relaciones de ancho de puerta con respecto a longitud de puerta
- 5 1102 Ejemplos de referencia de corriente de entrada,  $I_{ref}$
- 1103 Ejemplo de señal del filtro de paso bajo
- 1104 Espejo de corriente de ejemplo
- 10 1105 Voltaje de salida de ejemplo
- 1106 Voltaje de salida de ejemplo
- 15 1107 Voltaje de salida de ejemplo
  
- 1200 Ejemplo de componente de control de ganancia automático
- 20 1201 Ejemplo de señal de referencia que, por ejemplo, representa la amplitud de voltaje de salida máxima permitida en la salida del circuito amplificador de transimpedancia principal
- 1202 Señales de control de voltaje de ejemplo
- 25 1203 Generador de voltaje secuencial de ejemplo
- 1204 Búfer de salida de ejemplo
- 1205 Amplificador de ganancia auxiliar de ejemplo
- 30 1206 Resistencia de retroalimentación programable auxiliar de ejemplo
- 1207 Resistencia de retroalimentación programable auxiliar de ejemplo
- 35 1208 Ejemplo de circuito amplificador de transimpedancia auxiliar
- 1209 Ejemplo de señal de corriente continua (auxiliar) generada por el componente de restauración de CC
  
- 40 1300 Sistema de comunicación óptica de ejemplo
- 1301 Transmisor óptico de ejemplo
- 1302 Ejemplo de enlace de fibra óptica
- 45 1303 Receptor óptico de ejemplo
- 1304 Circuito receptor óptico de ejemplo
- 50 1305 Circuito controlador de LED de ejemplo
- 1306 Ejemplo de dispositivo emisor de luz, por ejemplo un diodo emisor de luz (LED)
- 1307 Ejemplo de foto detector, por ejemplo un foto diodo
- 55 1308 Ejemplo de circuito amplificador de transimpedancia
- 1309 Ejemplo de señal de salida, por ejemplo una salida de voltaje
- 60

## REIVINDICACIONES

1. Un circuito receptor óptico (200) que comprende:  
 5 al menos un foto detector (207) configurado para convertir una señal de luz recibida en una señal de corriente de entrada,  
 un circuito amplificador de transimpedancia (201) con una entrada para recibir la señal de corriente de entrada procedente del al menos un foto detector (207) y que está configurado para convertir la señal de corriente de entrada recibida en una señal de voltaje de salida para generar una señal de salida del circuito amplificador de transimpedancia (201), en el que el circuito amplificador de transimpedancia comprende una pluralidad de etapas  
 10 amplificadoras de ganancia (209, 210, 211),  
 un componente de restauración de CC (205), en el que el componente de restauración de CC (205) está configurado para recibir la señal de voltaje de salida del circuito amplificador de transimpedancia (201) para restaurar la componente de CC de la señal de corriente recibida y configurado para suministrar una señal de corriente correspondiente,  
 15 un componente de control de ganancia automático (204) configurado para controlar a través de al menos una resistencia de retroalimentación programable (226, 227) la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia en base a la señal proporcionada por el componente de restauración de CC (205) para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante para diferentes rangos de corriente de la señal de corriente de entrada, en el que al menos algunas de las etapas amplificadoras de ganancia (209, 210, 211) comprenden un  
 20 amplificador de ganancia (212, 213, 214) y al menos una resistencia de retroalimentación programable local (215, 216, 217, 218, 219, 220) para controlar la ganancia de la respectiva etapa amplificadora de ganancia (209, 210, 211), y en el que el componente de control de ganancia automático (204) está configurado además para controlar al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables locales (215, 216, 217, 218, 219, 220) de las etapas amplificadoras de ganancia en base a la señal proporcionada por el componente de restauración de CC  
 25 (205), y  
 en el que la al menos una resistencia de retroalimentación programable (226, 227) para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201) está dispuesta entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y la señal de salida del circuito amplificador de transimpedancia.
- 30 2. Circuito receptor óptico (200) según la reivindicación anterior que comprende una pluralidad de resistencias de retroalimentación programables (226, 227, 215, 216, 105, 109, 113, 114, 115, 116, 117, 118) para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201,101), y en el que al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables (215, 216, 105, 109, 114, 115, 116, 117) para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia están conectadas entre la entrada del  
 35 circuito amplificador de transimpedancia y salidas de las diferentes etapas amplificadoras de ganancia (123, 124, 125, 126).
3. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores que comprende además una resistencia fija (221, 225) conectada entre la entrada y la señal de salida del circuito amplificador de transimpedancia  
 40 para limitar la transimpedancia equivalente máxima del circuito amplificador de transimpedancia, y/o  
 en el que el componente de restauración de CC (205) está configurado para sustraer la componente de CC de la señal de corriente recibida y en el que el componente de control de ganancia automático (204) está configurado para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201) en base a una copia de la componente de CC sustraída.  
 45
4. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito receptor óptico comprende dos foto detectores (206, 207), en el que un foto detector (207) está configurado para recibir la señal de luz y el otro foto detector (206) está protegido de la señal de luz y en el que el circuito amplificador de transimpedancia (201) tiene una topología diferencial con una rama, por ejemplo la rama positiva (228), del circuito  
 50 amplificador de transimpedancia que está conectada al foto detector (207) que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama, por ejemplo la rama negativa (229), del circuito amplificador de transimpedancia que está conectada al foto detector (206) que está protegido de la señal de luz, o  
 en el que el circuito receptor óptico comprende un circuito amplificador de transimpedancia con una topología diferencial con una rama, por ejemplo la rama positiva, del circuito amplificador de transimpedancia que está  
 55 conectada al foto detector que está configurado para recibir la señal de luz y con la otra rama, por ejemplo la rama negativa, del circuito amplificador de transimpedancia que está conectada a un modelo eléctrico equivalente del foto diodo, por ejemplo a un circuito que comprende una resistencia y/o un condensador.
5. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos algunas de las  
 60 resistencias de retroalimentación programables locales para controlar la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia (217, 218, 219, 220) están conectadas a entradas y salidas locales de algunas de las etapas amplificadoras de ganancia y/o en el que al menos algunas de las resistencias de retroalimentación programables

locales para controlar la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia están dispuestas para reducir las salidas de algunas de las etapas amplificadoras de ganancia (224).

6. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una etapa  
5 amplificadora de ganancia comprende un par diferencial, por ejemplo un transistor en cascada, con una carga resistiva (501),  $R_{load}$ , o con una carga activa, por ejemplo, con una carga de transistor de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal de canal p, PMOS, y/o  
en el que al menos una, algunas, o cada etapa amplificadora de ganancia comprende un circuito de control de modo  
común (502) para proporcionar una señal adecuada para controlar el voltaje de polarización inversa del foto  
10 detector.

7. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito receptor óptico  
está configurado para realizar una, algunas o todas las etapas siguientes:  
calcular una corriente promedio de la señal de corriente generada por el al menos un foto detector, por ejemplo,  
15 en base a una copia de la corriente suministrada por el componente de restauración de CC (205),  
usar la corriente promedio calculada para calcular una transimpedancia equivalente requerida del circuito  
amplificador de transimpedancia y para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de  
transimpedancia (201) para proporcionar una amplitud de voltaje de salida constante (203) para diferentes rangos de  
corriente de la señal de corriente de entrada,  
20 reducir la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia (209, 210, 211).

8. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente de control de  
ganancia automático (204) está configurado para realizar una, algunas o todas las etapas siguientes (702, 703, 704)  
para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201):  
25 usar la corriente suministrada por el componente de restauración de CC (205) para calcular una transimpedancia  
equivalente requerida del circuito amplificador de transimpedancia (201),  
comenzar a reducir la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201) reduciendo  
la impedancia de la al menos una resistencia de retroalimentación programable (225, 226) conectada entre la  
entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia,  
30 una vez que la impedancia de la al menos una resistencia de retroalimentación programable (226, 227) conectada  
entre la entrada y la salida del circuito amplificador de transimpedancia se establece en un valor mínimo  
determinado, reducir secuencialmente la impedancia de posibles resistencias de retroalimentación programables  
adicionales conectadas entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia y salidas de diferentes etapas  
amplificadoras de ganancia (215, 216), por ejemplo, empezando con la reducción de la impedancia de una  
35 resistencia de retroalimentación programable conectada entre la entrada del circuito amplificador de transimpedancia  
y la salida de la última etapa amplificadora de ganancia.

9. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente de control de  
ganancia automático (204) está configurado además para realizar la etapa de:  
40 controlar la ganancia de las etapas amplificadoras de ganancia (209, 210, 211) controlando, por ejemplo  
reduciendo, en secuencia la retroalimentación resistiva o las resistencias de derivación de las resistencias de  
retroalimentación programables locales de las etapas amplificadoras de ganancia (217, 218, 219, 220, 224), por  
ejemplo, empezando con el control, por ejemplo reducción, de la retroalimentación resistiva de la resistencia de  
retroalimentación programable local de la última etapa amplificadora de ganancia (219, 220).  
45

10. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que algunas o cada una de las  
resistencias de retroalimentación programables (215, 216, 217, 218, 219, 220, 224, 225, 226) comprenden una  
pluralidad de transistores (802, 803, 804, 805) conectados en paralelo y en el que la resistencia de las resistencias  
de retroalimentación programables locales es controlada a través del voltaje de puerta (806, 807, 808, 809) de sus  
50 transistores, y en el que algunos o todos los transistores de una resistencia de retroalimentación programable tienen  
características diferentes, por ejemplo difieren en escala o tamaño, por ejemplo difieren en su relación de ancho de  
puerta con respecto a longitud de puerta, por ejemplo aumentando en su relación de ancho de puerta con respecto a  
longitud de puerta desde el primer transistor hasta el último transistor de la respectiva resistencia de  
retroalimentación programable.  
55

11. Circuito receptor óptico (200) según la reivindicación anterior, en el que los transistores de una resistencia de  
retroalimentación programable están configurados para ser activados en secuencia (900), por ejemplo, configurados  
para ser activados en secuencia desde el primer transistor hasta el último transistor de la respectiva resistencia de  
retroalimentación programable.  
60

12. Circuito receptor óptico (200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente de  
restauración de CC (205) comprende un generador de voltaje secuencial (1002), en el que la salida del generador de  
voltaje secuencial controla una fuente de corriente que comprende una pluralidad de transistores escalados (1003), y

- en el que los transistores escalados están configurados para ser activados en secuencia para aumentar la salida de corriente continua del componente de restauración de CC, y en el que, por ejemplo, el componente de restauración de CC comprende un filtro de paso bajo (1001) conectado a la salida del circuito amplificador de transimpedancia (203), en el que la salida del filtro de paso bajo (1103) se usa como entrada para el generador de voltaje secuencial (1002), y en el que la salida de corriente continua del componente de restauración de CC está conectada a la salida del al menos un foto detector (207) que está conectado a la entrada (228) del circuito amplificador de transimpedancia (201), y/o
- 5 en el que el componente de control de ganancia automático (204) comprende un circuito amplificador de transimpedancia auxiliar (1208) que es una versión escalada del circuito amplificador de transimpedancia (201)
- 10 según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar (1208) comprende un pluralidad de etapas amplificadoras de ganancia auxiliares (1205), y en el que el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar (1208) está configurado para recibir como entrada una copia de la corriente continua suministrada por el componente de restauración de CC (1209) y en el que el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar está configurado además para convertir la señal de corriente de entrada recibida en una
- 15 señal de voltaje para generar una señal de salida (1202) para controlar la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia, y en el que cada etapa amplificadora de ganancia auxiliar, por ejemplo, comprende un amplificador de ganancia auxiliar y al menos una resistencia de retroalimentación programable local auxiliar.
13. Circuito receptor óptico (200) según la reivindicación anterior, en el que el circuito amplificador de transimpedancia auxiliar (1208) tiene la misma transimpedancia equivalente para un determinado estado
- 20 programado de las resistencias de retroalimentación programables auxiliares (1206, 1207) que la transimpedancia equivalente del amplificador de transimpedancia configurado con el mismo estado programado de las resistencias de retroalimentación programables, y en el que el componente de control de ganancia automático está configurado para realizar una, algunas o todas las etapas siguientes:
- 25 usar una copia de la corriente CC suministrada por el componente de restauración de CC (1209) como una entrada del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar para transformar esta corriente en un voltaje proporcional a la transimpedancia requerida,
- comparar la salida del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar con un voltaje de referencia determinado (1201), y en base a esta comparación, generar un conjunto de voltajes de control de puerta (1202) para programar la
- 30 transimpedancia del circuito amplificador de transimpedancia auxiliar por medio de las resistencias de retroalimentación programables auxiliares,
- usar los voltajes de control de puerta generados (1202) para establecer la transimpedancia equivalente del circuito amplificador de transimpedancia (201) en un valor que establece la amplitud del voltaje de salida (203) del circuito amplificador de transimpedancia en un valor deseado.
- 35
14. Receptor óptico (1303) para uso en un sistema de comunicación óptica (1300) que comprende al menos un circuito receptor óptico (1304) según una de las reivindicaciones anteriores.



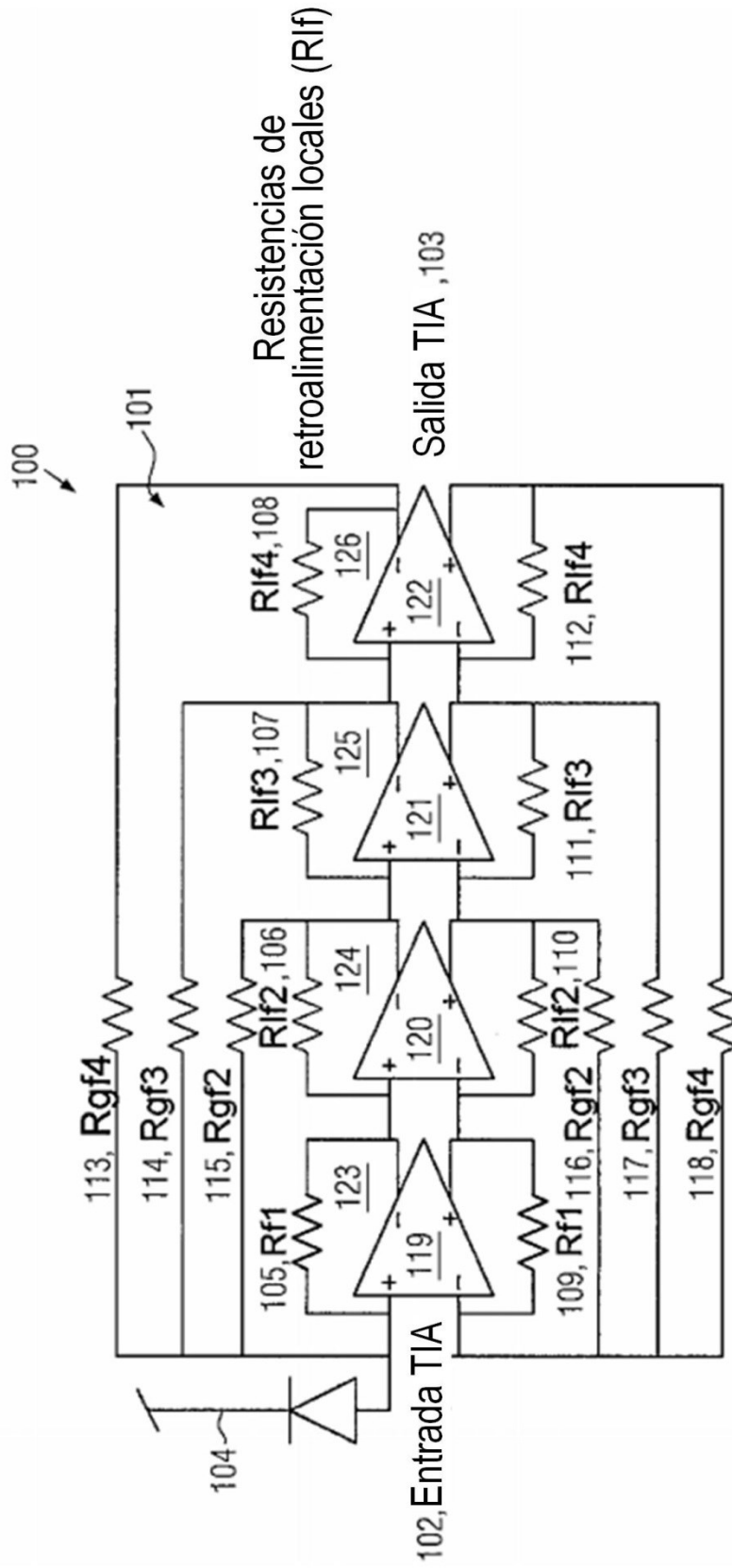


FIG. 1

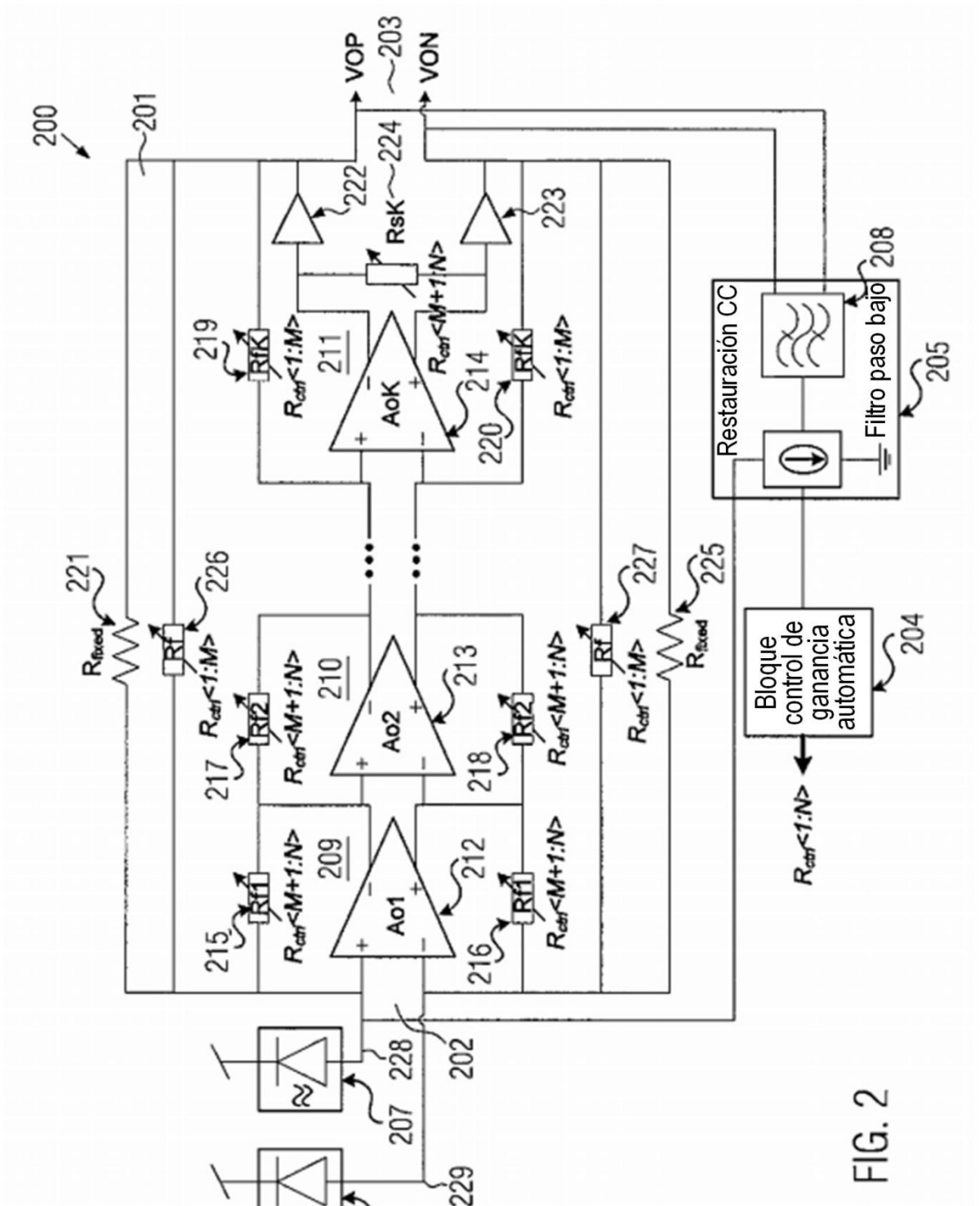


FIG. 2

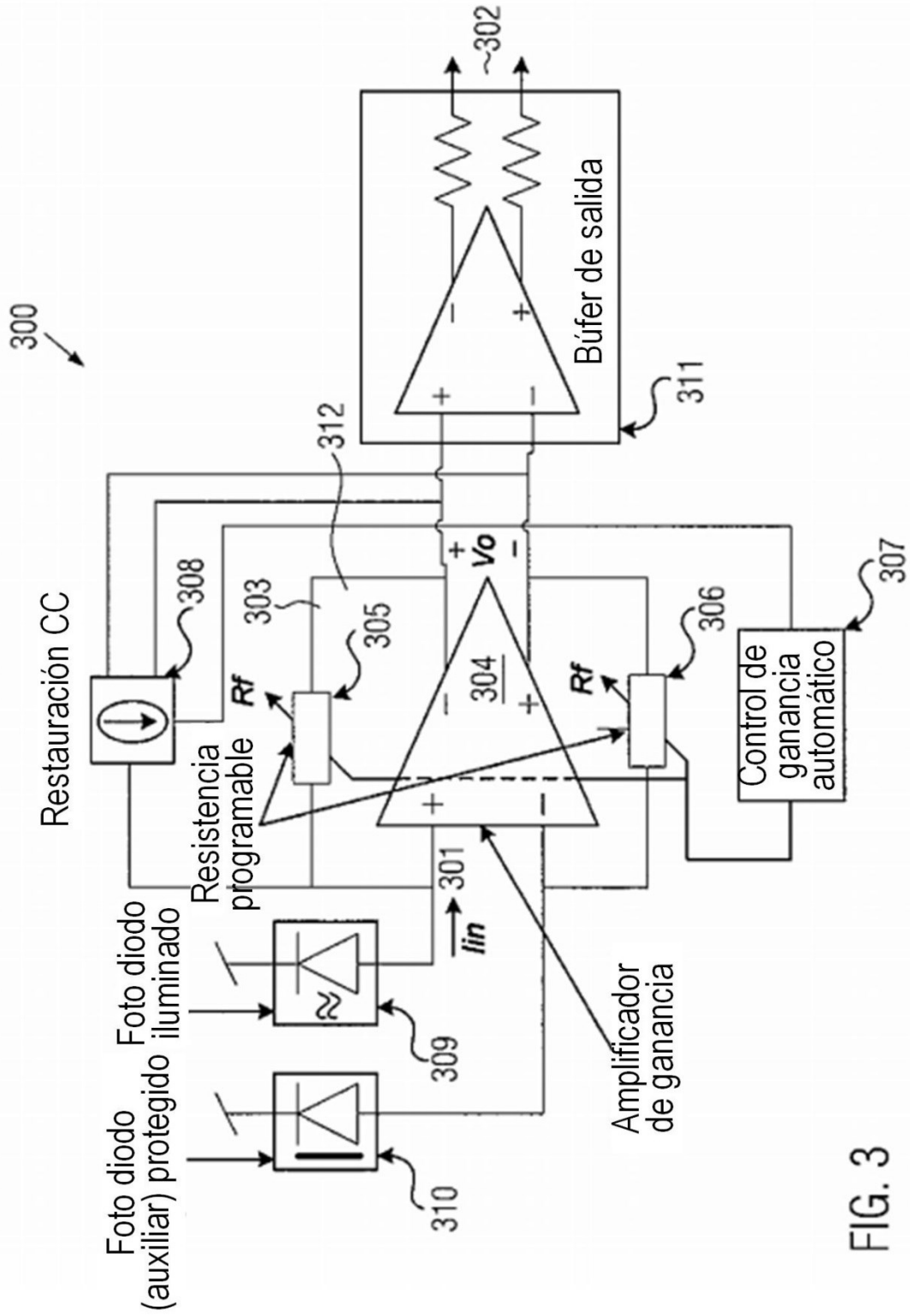


FIG. 3

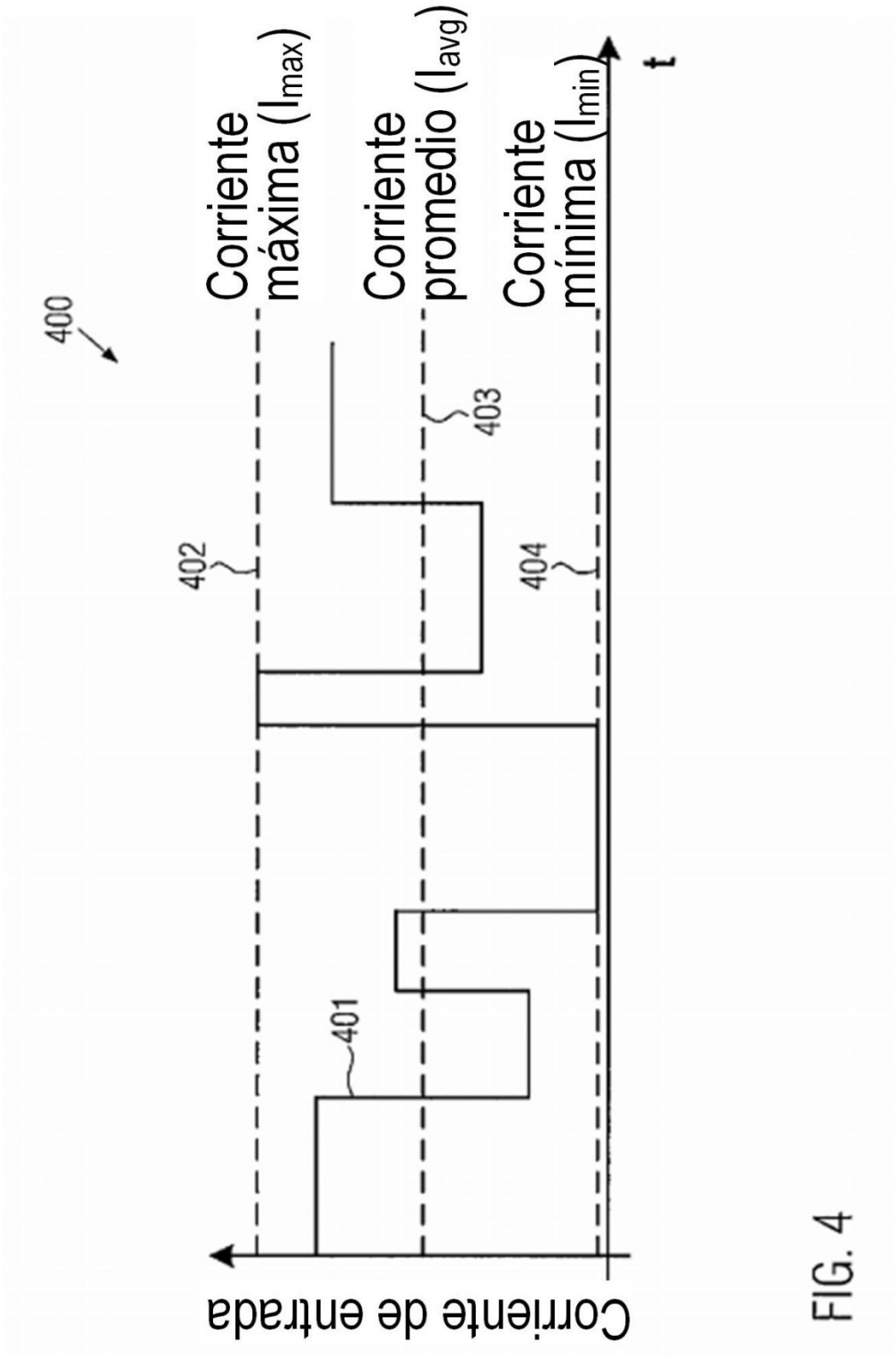


FIG. 4

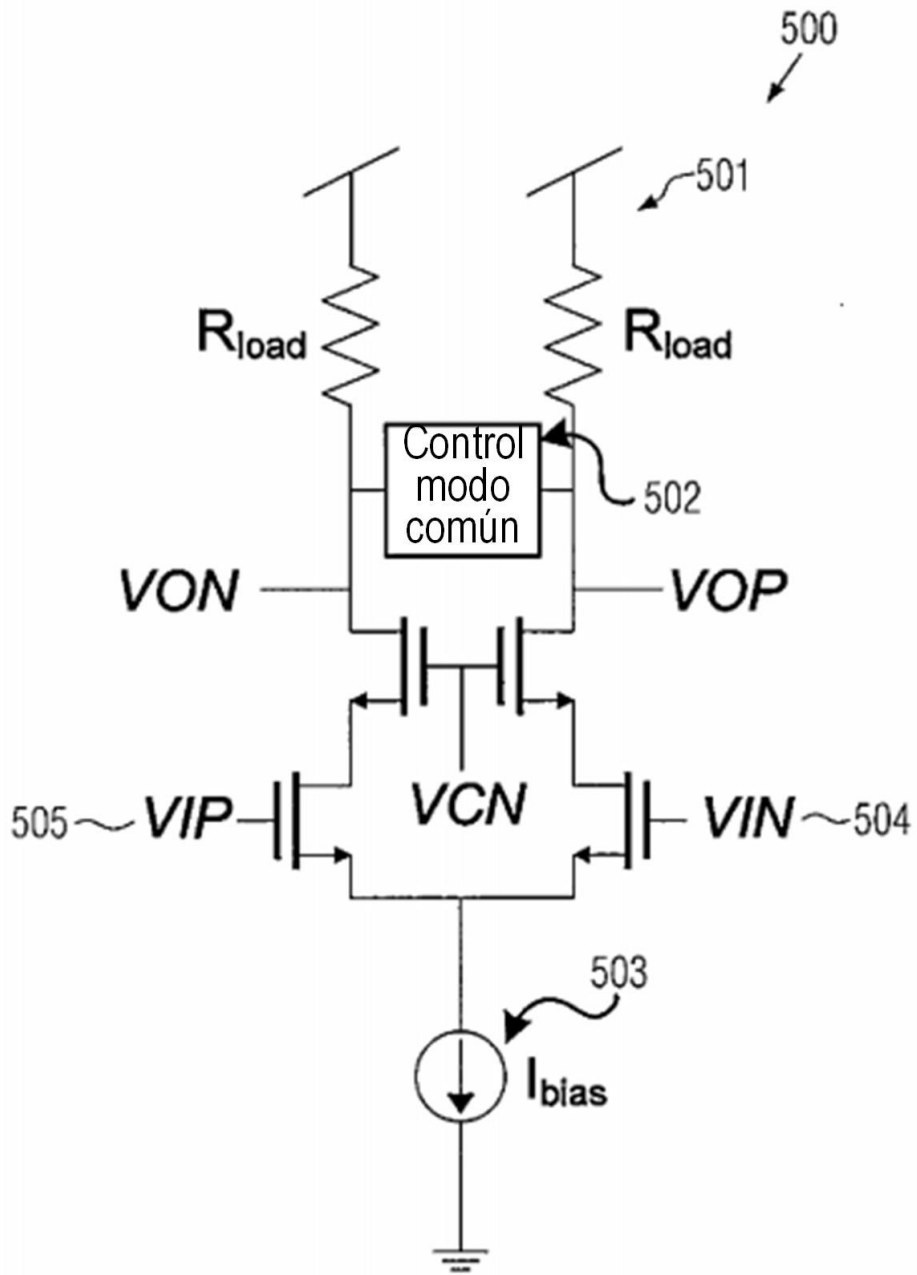


FIG. 5

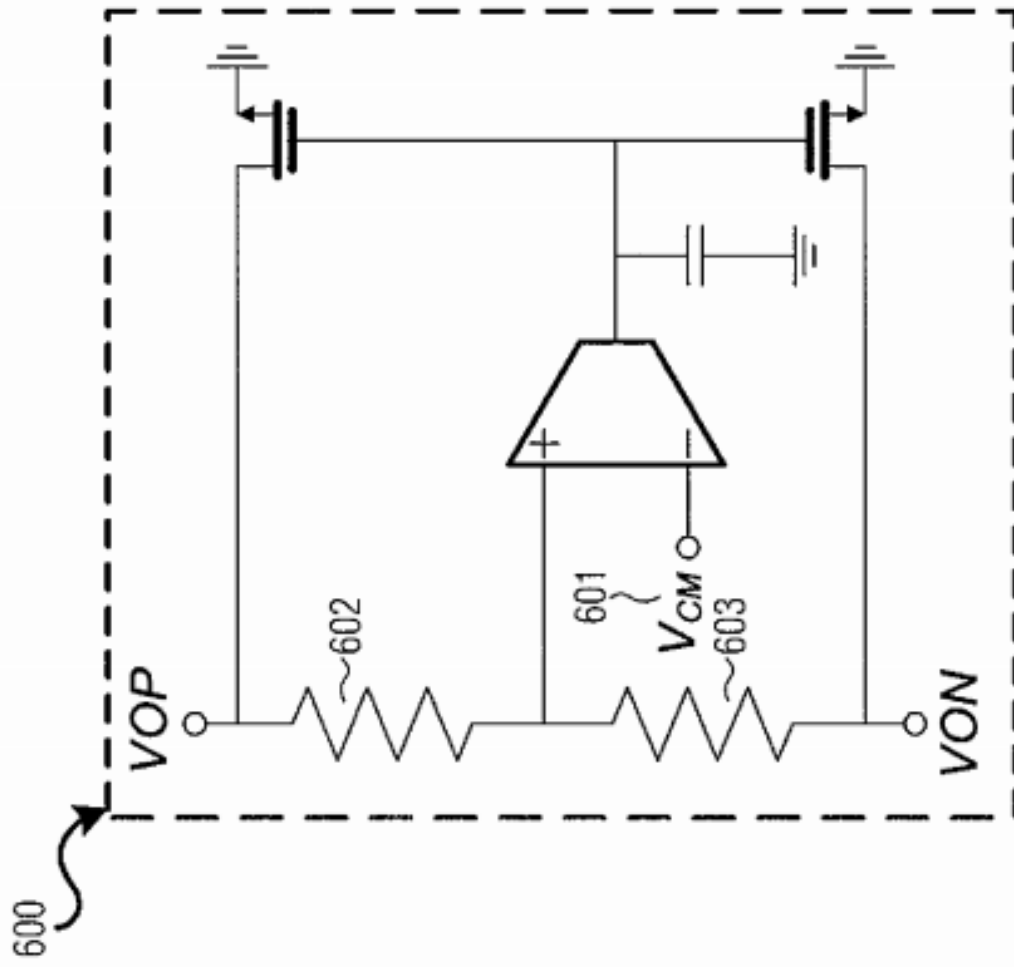


FIG. 6

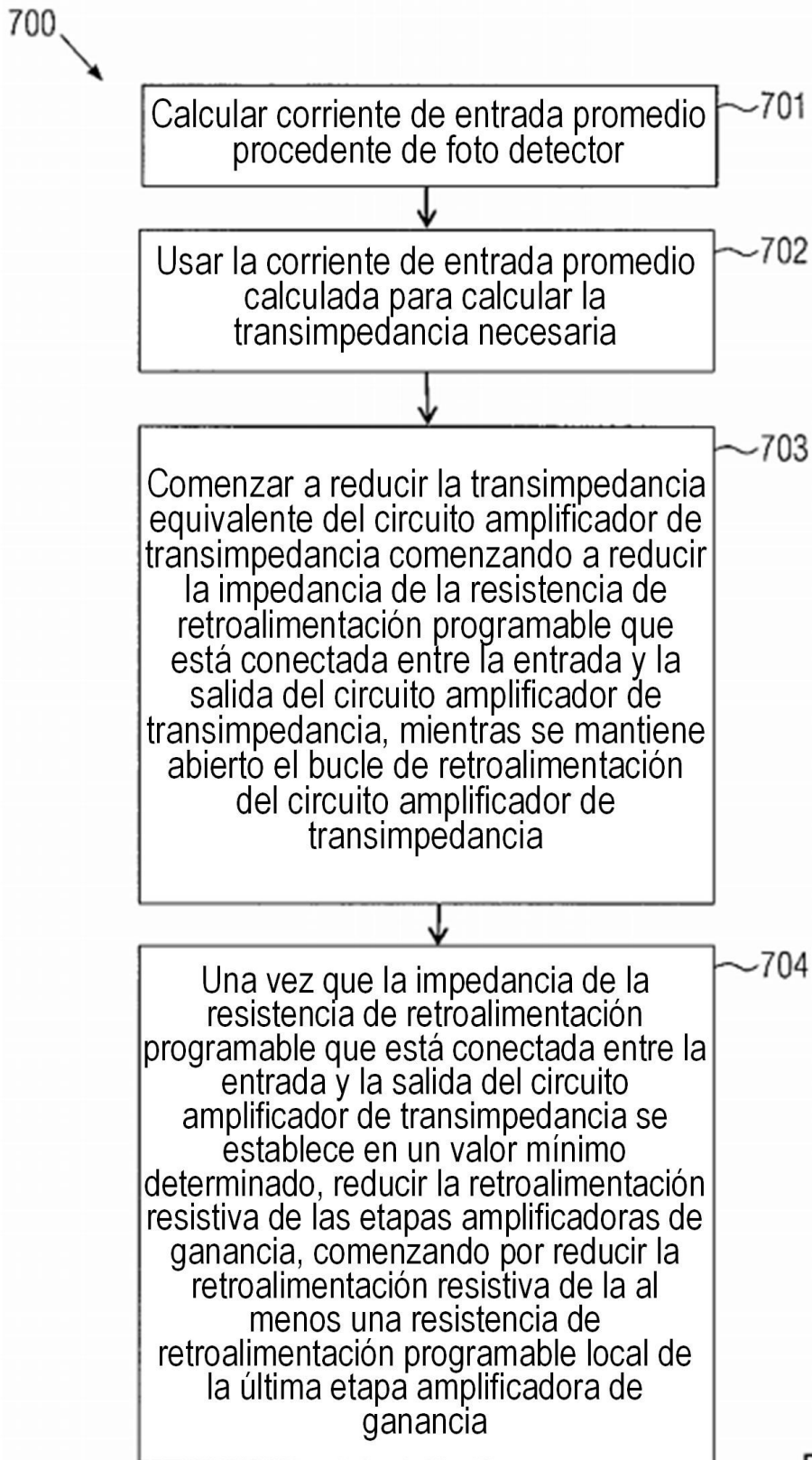
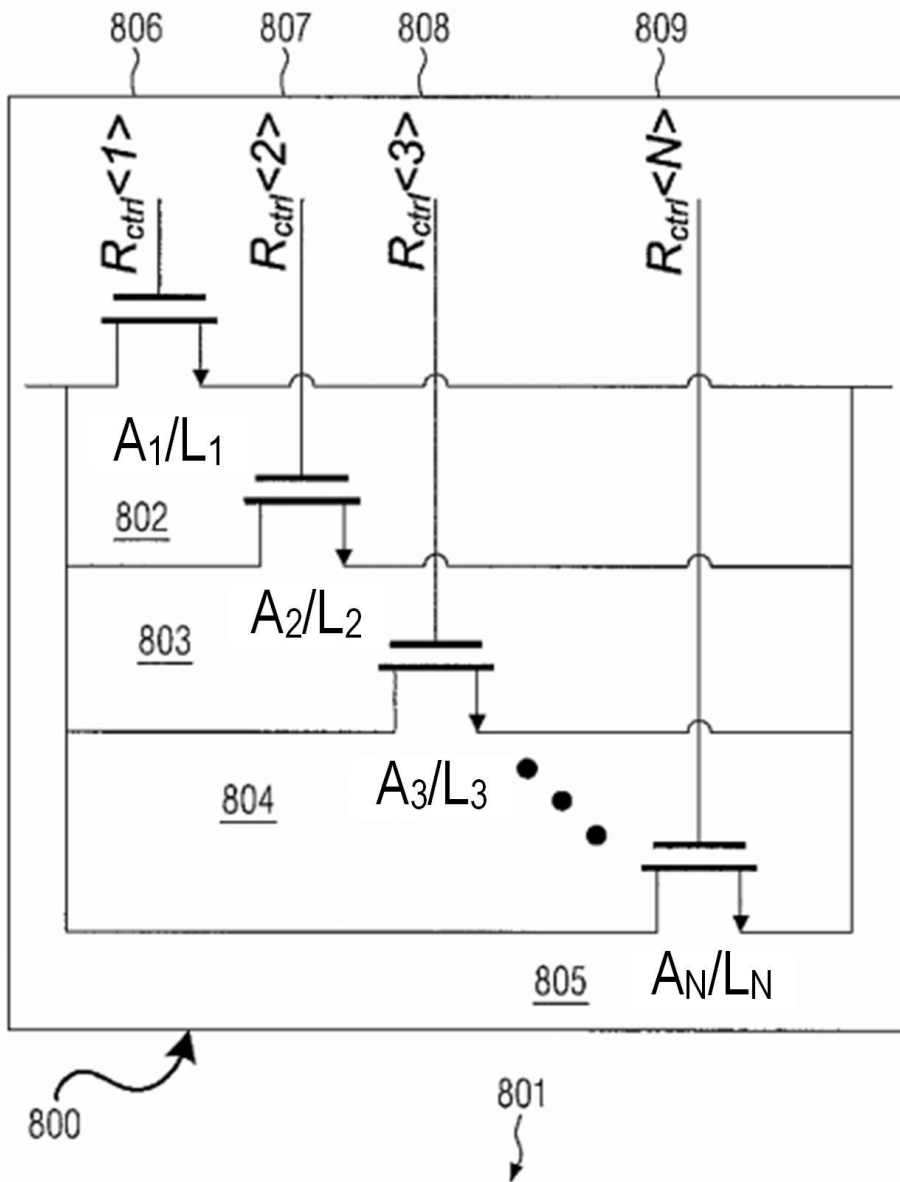


FIG. 7



$$\underbrace{\frac{A_1}{L_1}}_{810} < \underbrace{\frac{A_2}{L_2}}_{811} < \dots < \underbrace{\frac{A_N}{L_N}}_{812}$$

FIG. 8



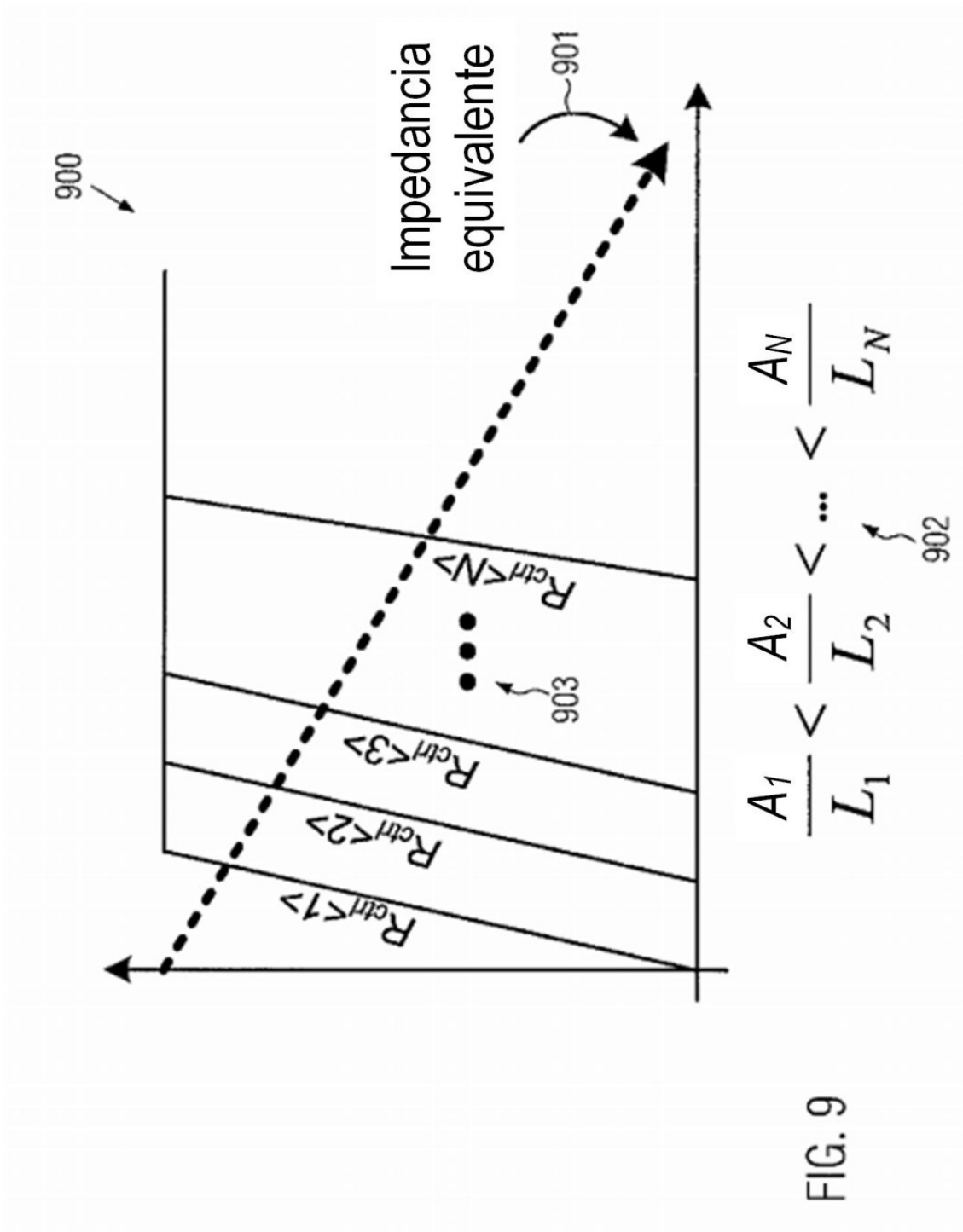


FIG. 9

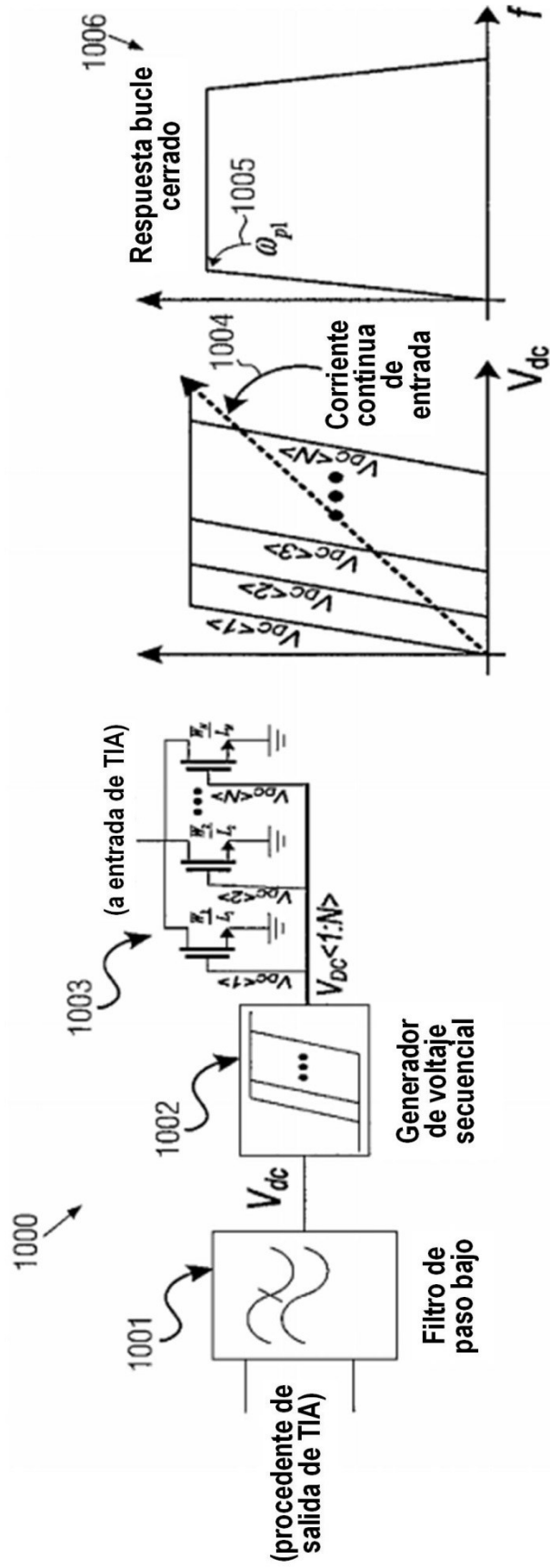


FIG. 10a

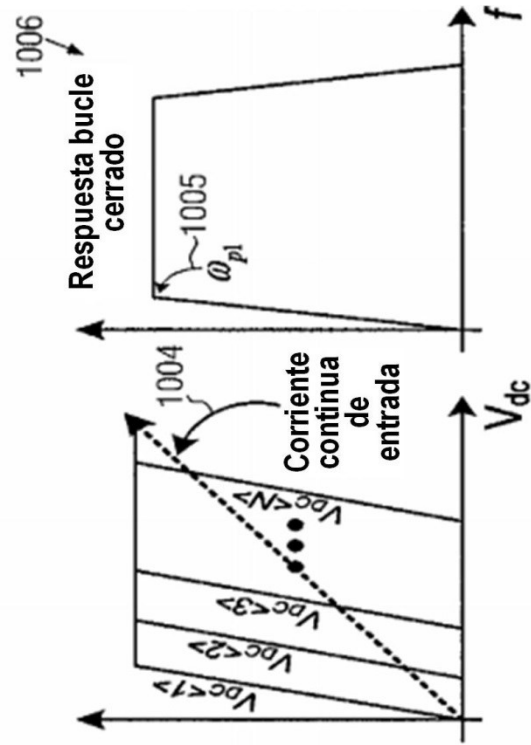


FIG. 10b

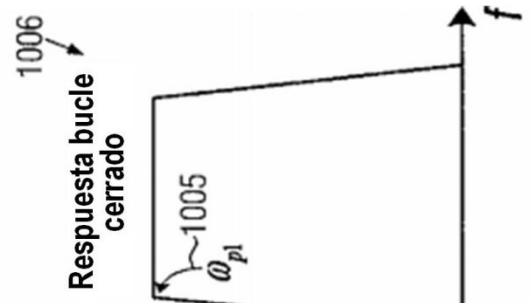


FIG. 10c

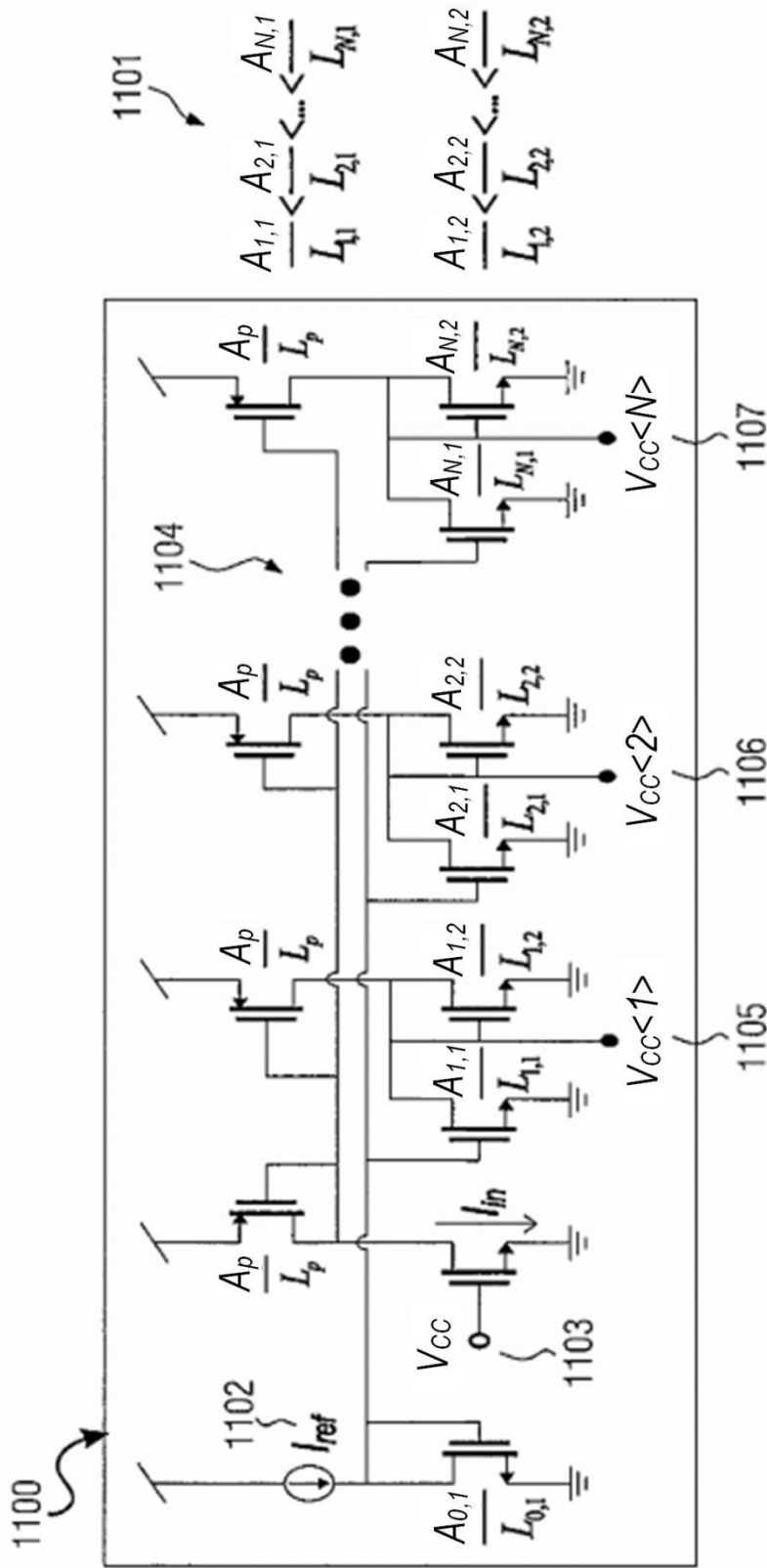


FIG. 11

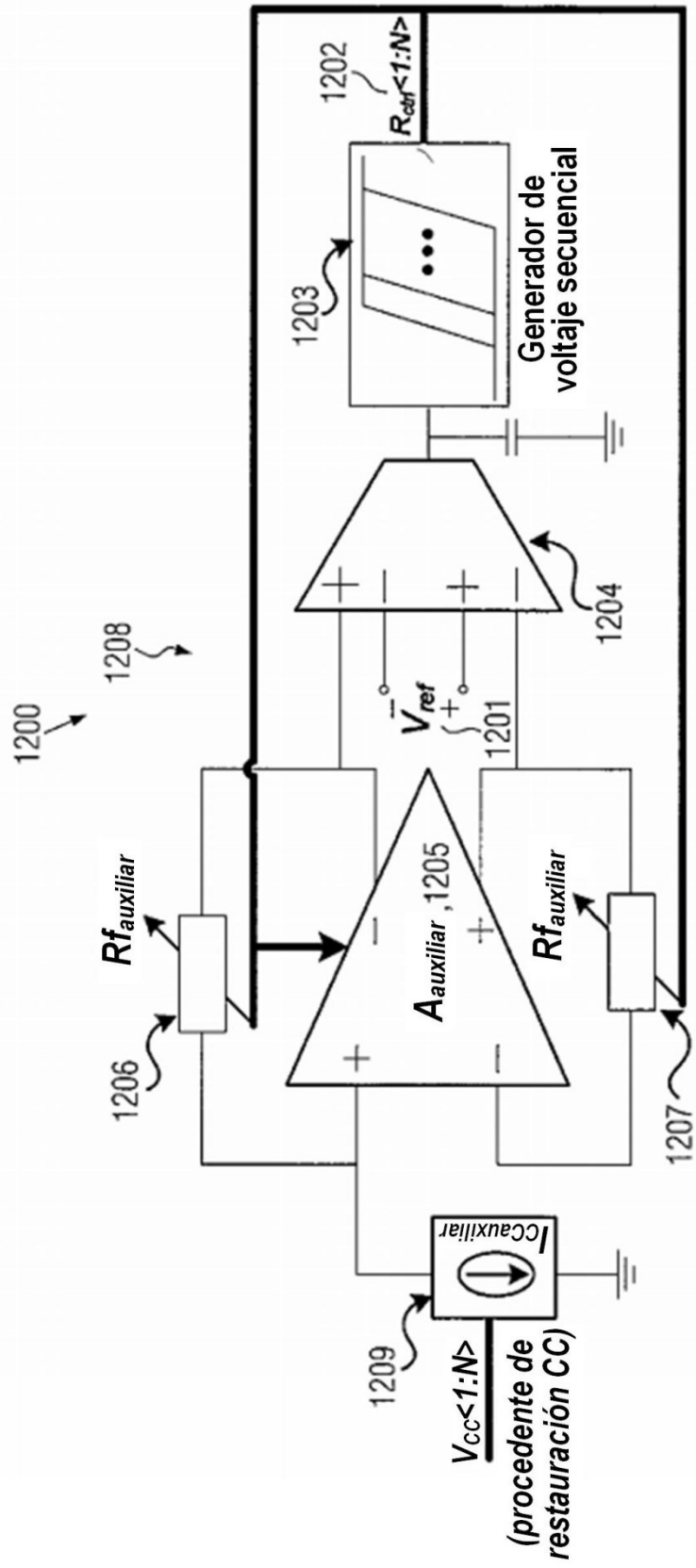


FIG. 12

