

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 732**

21 Número de solicitud: 201100113

51 Int. Cl.:

H01L 31/107 (2006.01)

H01L 31/024 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

31.01.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.08.2012

Fecha de la concesión:

01.03.2013

45 Fecha de publicación de la concesión:

13.03.2013

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA (100.0%)
PLAZA DE EL EJIDO, S/N
29071 MÁLAGA (Málaga) ES**

72 Inventor/es:

**ROMERO SÁNCHEZ, Jorge;
RÍOS GÓMEZ, Francisco Javier;
FERNÁNDEZ RAMOS, Raquel;
MARTÍN CANALES, José Francisco y
MARÍN MARTÍN, Francisco Javier**

54 Título: **APARATO RECEPTOR LÁSER BASADO EN FOTODIODO DE AVALANCHA
TERMORREGULADO CON CONTROL EMBEBIDO.**

57 Resumen:

Aparato receptor láser basado en fotodiodo de avalancha termorregulado con control embebido, para la recepción de haces láser modulados en formato binario, con un fotodiodo de avalancha (2) que se encuentra sometido a tres lazos de control regulados por un microcontrolador (48):

- un lazo de control térmico encargado de mantener estable la temperatura del fotodiodo de avalancha (2);
- un lazo de control de sensibilidad del fotodiodo encargado de mantener estable la fotosensibilidad del fotodiodo de avalancha (2);
- un lazo de control de ganancia RMS encargado de controlar la ganancia y mantener la estabilidad de la señal proveniente del fotodiodo de avalancha (2).

Aplicable para comunicaciones ópticas por láser.

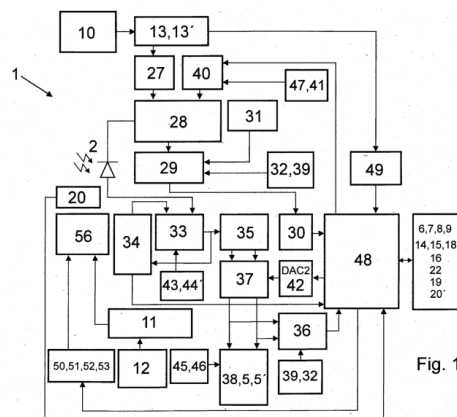


Fig. 1

ES 2 386 732 B2

DESCRIPCIÓN

Aparato receptor láser basado en fotodiodo de avalancha termorregulado con control embebido

Campo de la invención

5 La invención presentada, se enmarca en el campo de la industria electrónica de las comunicaciones ópticas de alta velocidad mediante demoduladores de haces luminosos basados en fotodiodos de avalancha.

Antecedentes de la invención

10 Un fotodiodo de avalancha o diodo APD (del inglés "Avalanche PhotoDiode"), es un dispositivo de estado sólido que aprovecha el mecanismo de multiplicación por avalancha para conseguir sensibilidades muy superiores (de 100 a 200 veces mayor), a las que muestran los fotodiodos de silicio convencionales. Para conseguir activar los mecanismos de avalancha, es necesario polarizarlo con altas tensiones entre los 50 y
15 los 200 voltios. La sensibilidad de un fotodiodo de avalancha (mayor de 50A/W), permite detectar señales luminosas de muy baja potencia radiante por lo que estos dispositivos se presentan como buenos candidatos para el procesamiento de señales láser moduladas de baja energía.

20 Un haz láser modulado se propaga por una fibra óptica o por el espacio libre atenuándose por dispersión. Así, un receptor remoto recibe sólo una porción de la energía transmitida. La dispersión de un láser en la atmósfera es mucho mayor cuando aparecen elementos en suspensión tales como el agua. Con una niebla densa, se producen atenuaciones superiores a los 40dB/km y la potencia recibida puede dividirse por factores de 100 o superiores.

25 Los fotodiodos de avalancha tienen un gran rango dinámico en la detección de niveles luminosos. Es posible barrer varias décadas (potencias radiantes por ejemplo desde los nanowatios a los miliwatios) sin que se presenten fenómenos de saturación. Para hacer mediciones precisas en la potencia radiante detectada es necesario recurrir a amplificadores logarítmicos.

30 Los fotodiodos de avalancha de silicio actuales permiten una gran respuesta en frecuencia (varios gigahertzios), siendo su capacidad total inferior al picofaradio. Las áreas activas a exponer a la luz se reducen a medida que aumenta la respuesta en frecuencia. Se debe disponer de mecanismos ópticos de focalización que permitan la captación máxima de energía en esas áreas.

El procesamiento de la corriente producida por un fotodiodo de avalancha se realiza con amplificadores a transimpedancia en los que se transforma la corriente generada en tensión. Existen amplificadores integrados que poseen muy altos productos ganancia-ancho de banda que permiten implementar grandes factores de transimpedancia en una sola etapa con tensiones de ruido de entrada menores de un $\text{nV/Hz}^{1/2}$.

Un haz láser viajando por el espacio libre no sólo sufre perturbaciones debidas a la dispersión del medio; también interacciona con otras fuentes luminosas y, en especial con el sol. El sol emite radiación en todo el espectro electromagnético por lo que, en el caso en que un haz de luz solar siga la misma dirección de un haz láser modulado, las energías de ambos se suman en el detector. Esta suma se corresponde con una componente de energía continua debida fundamentalmente al sol y otra modulada por el láser que se traducen, tras la conversión electro-óptica, en una componente de corriente continua y otra componente de corriente alternada. Para eliminar la posible influencia de la luz solar en el circuito demodulador, hay que recurrir a soluciones electrónicas de compensación que separen ambas componentes. La corriente alternada detectada en su valor RMS nos da la potencia media de la señal modulada recibida.

Un fotodiodo de avalancha de silicio posee una amplia respuesta espectral pudiendo ser fabricado con máximos espectrales en el rango visible e infrarrojo. Si se usa un haz láser de luz monocromática, es conveniente sintonizar el máximo espectral con la longitud de onda transmitida y usar filtros ópticos pasa banda que eliminen las componentes luminosas perturbadoras de otras frecuencias a las que sigue siendo sensible el fotodiodo.

La sensibilidad de un fotodiodo de avalancha es fuertemente dependiente de la temperatura. El factor de multiplicación por avalancha se ve afectado por los cambios térmicos por lo que es conveniente mantener al fotodiodo a una temperatura estable si queremos que su sensibilidad no cambie. También puede cambiarse el factor de multiplicación para diferentes temperaturas pero con el consiguiente cambio térmico y la aparición de procesos de envejecimiento. La estabilidad en la señal de salida también implica el uso de amplificadores conformadores de onda basados en la comparación por umbral. Si los niveles de la señal detectada no superan un umbral, la señal no es aceptada para su procesamiento.

Analíticamente, la fotocorriente I_f que circula por un fotodiodo de avalancha cuando sobre él incide luz es la corriente que se añade a la corriente denominada

'oscura' o corriente que circula por el fotodiodo cuando sobre él no incide luz. La corriente oscura I_O de un fotodiodo de avalancha se debe a dos mecanismos físicos: una corriente de fuga superficial I_l , y otra que ocurre en la región de avalancha I_A que se ve afectada por la tensión de polarización:

$$I_O = I_l + M \cdot I_A \quad (1)$$

siendo M el factor de multiplicación por avalancha.

La corriente oscura en un fotodiodo de avalancha pone límite al nivel de fotocorriente detectable. Los fotodiodos actuales poseen corrientes oscuras por debajo de los 100 picoamperios con factores $M = 100$ o mayores. Lo que significa que los límites de detección de estos dispositivos se encuentran en algunos picowatts de potencia luminosa detectable.

El ruido 'shot' I_S de un fotodiodo de avalancha es superior al de un fotodiodo convencional debido a los mecanismos de avalancha:

$$I_S = \sqrt{2q(I_f + I_A)W M^2 F + 2q I_l W} \quad (2)$$

donde q es la carga del electrón, W el ancho de banda y F el denominado 'factor de ruido en exceso' que, en primera aproximación puede expresarse en función del factor de multiplicación por avalancha:

$$F = M^x \quad (3)$$

donde x es un exponente menor que la unidad. Puesto que la fotocorriente I_f se incrementa con el factor de multiplicación M , es de esperar que exista un M óptimo. Existirá también una relación señal/ruido óptima para un factor de multiplicación dado. La relación señal/ruido de un fotodiodo de avalancha viene dada por:

$$\frac{S}{N} = \frac{(I_f M)^2}{2q(I_f + I_A)W M^2 F + 2q I_l W + \frac{4kTW}{R_l}} \quad (4)$$

donde el primer y segundo miembro del denominador se corresponde con el ruido 'shot' y el tercero con el ruido térmico, siendo k la constante de Boltzman, T la temperatura absoluta y R_l el valor de la resistencia de carga por la que circula la corriente del fotodiodo. Se puede demostrar con relativa facilidad que el factor de multiplicación por avalancha óptimo $M_{\text{óptimo}}$ se obtiene maximizando la expresión (4) siendo éste:

$$M_{\text{óptimo}} = \left(\frac{4kT}{q(I_f + I_A)xR_L} \right)^{1/(x+2)} \quad (5)$$

en donde se ha despreciado el término asociado a la corriente de fugas I_f por no ser relevante.

5 Por otro lado, el mantenimiento de los niveles de ruido externo dentro de límite razonables y para evitar la aparición de espigas y transitorios de conmutación a través de la alimentación, es conveniente utilizar esquemas de prerregulación y reguladores de bajo ruido dedicados a elementos funcionales específicos.

10 En esta invención se aborda y resuelve el problema técnico de todo el conjunto de variables que afectan a la estabilidad en la sensibilidad de un fotodiodo de avalancha cuando este recibe luz láser modulada contaminada por una componente solar. En concreto se resuelven los siguientes problemas:

1. La posibilidad de fijar la sensibilidad y la ganancia del fotodiodo de avalancha para trabajar en rangos de luminosidad recibida de al menos cinco décadas partiendo de los nanovatios.
- 15 2. La posibilidad de eliminar componentes luminosas no moduladas, en especial la componente solar.
3. Para una potencia radiante recibida, fijar la sensibilidad y la ganancia manteniéndolas estables frente a cambios térmicos.
4. La posibilidad de cambiar la sensibilidad en función de la potencia radiante recibida con el fin de optimizar la relación señal/ruido.
- 20 5. Realizar estas tareas de forma automática bajo el control de un microcontrolador.

Descripción de la invención

25 En esta invención se presenta un aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha termorregulado con control embebido. El aparato receptor recibe luz láser modulada en formato binario focalizada en la superficie activa de un fotodiodo de avalancha a partir de un sistema óptico formado por una lente convergente y una lente hemisférica que recogen la luz y la dirigen hacia el área activa del fotodiodo por una
30 fibra de polímero.

El aparato receptor es controlado por un microcontrolador en los parámetros de sensibilidad y ganancia, conteniendo elementos de control térmico, de control del factor de ganancia por avalancha y de control del factor de ganancia de la señal demodulada. El microcontrolador sensa la temperatura del fotodiodo de avalancha, su

corriente de polarización, el valor de la componente de continua asociada a la componente solar, que debe ser eliminada, y el valor RMS de la señal recibida. El microcontrolador actúa sobre la temperatura del fotodiodo de avalancha mediante celdas peltier que lo enfrían o calientan, sobre la alta tensión de polarización que define el factor de multiplicación por avalancha y sobre la ganancia de la señal recibida para adaptarla a la etapa final en un formato diferencial estándar.

El fotodiodo de avalancha se polariza con una fuente de alta tensión controlada por el microcontrolador. De esta manera se define el factor de multiplicación por avalancha $M(V_{pol})$, obteniéndose una fotosensibilidad P_M en amperios/watio del tipo:

$$P_M = p_{m=1} \cdot M(V_{pol}) \quad (6)$$

donde $p_{m=1}$ es la fotosensibilidad del fotodiodo de avalancha en ausencia de polarización. La fotocorriente que circula por el fotodiodo I_f en amperios viene dada por la potencia radiante de luz recibida en watios multiplicada por la cantidad de la expresión (6). Dependiendo de la potencia radiante recibida y del factor de multiplicación, los valores de la fotocorriente pueden cambiar desde los nanoamperios a los miliamperios pasando por valores que comprenden más de seis décadas. Para sensar la fotocorriente generada, se incluye en esta invención un amplificador logarítmico que permite medirla con precisión en un amplio margen de corrientes. Esta fotocorriente es filtrada y enviada al microcontrolador para su lectura y valoración.

La fotocorriente es transformada en fototensión mediante un amplificador a transimpedancia de entrada diferencial con muy bajo nivel de ruido. La ganancia a transimpedancia de varios miles de unidades, transforma la corriente al rango entre los microvoltios y los voltios. La tensión obtenida contiene información de la señal modulada y de la componente de continua de la portadora luminosa con posibilidad de que contenga componentes debidas a otras fuentes no moduladas tales como el sol. Un circuito autocero o eliminador de la componente de continua basado en integrador, estima esa componente y la inyecta de nuevo en el amplificador diferencial a transimpedancia que provoca una diferencia con la corriente de entrada, eliminándola prácticamente de su salida. El valor de la componente de continua es enviado al microcontrolador para su lectura y valoración con el fin de estudiar la evolución de la componente solar durante el día para una orientación dada del receptor, Pero sólo con fines científicos. La componente solar es eliminada por el circuito autocero. Hay que orientar los dos transceptores que se comunican de forma que se evite un ángulo aproximado de 30° (movimiento de precesión de la tierra) en el que en dirección este-

oeste el transceptor podría captar la incidencia del sol. Debido al movimiento de rotación de la tierra y en el caso de una orientación este-oeste dentro de este ángulo, esta incidencia solar dura solo unos minutos.

La señal demodulada libre de componente de continua se transforma a señal
 5 diferencial en una segunda etapa amplificadora con un circuito de entrada simple y de salida diferencial. Se obtiene así una señal diferencial necesaria para atacar a una tercera etapa formada por un amplificador de ganancia programable controlada por el microcontrolador conformándose, finalmente, en el circuito de salida que adapta niveles e impedancias para verificar un estándar. A la vez, la señal pasa por un
 10 detector RMS que calcula su valor cuadrático medio reflejando la potencia media recibida. Este valor de potencia es enviado al microcontrolador para su lectura y valoración.

El aparato receptor presentado en esta invención efectúa tres lazos de control: uno térmico, otro de sensibilidad del fotodiodo y otro de ganancia RMS. El
 15 microcontrolador lee el estado térmico del fotodiodo de avalancha mediante sensores de temperatura y actúa a través de un circuito de control de potencia sobre un aparato termorregulador de flujo simétrico basado en celdas peltier que, cerrando el lazo, mantienen estable su temperatura. La fotosensibilidad del fotodiodo P_M es programada por el microcontrolador a un valor determinado y la mantiene en un lazo de control
 20 cerrado sensando la corriente de polarización del fotodiodo a través del amplificador logarítmico y su filtro asociado. La ganancia RMS es programada por el microcontrolador en el amplificador de ganancia programable cerrando un tercer lazo de control con la medida de la potencia estimada por el detector RMS.

Finalmente, el aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha posee un
 25 esquema de alimentación libre de ruidos construida a partir de un esquema de prerregulación que lleva una tensión estable a un conjunto de reguladores de tensión de bajo ruido a los circuitos en los que el bajo ruido es un factor determinante. Todos los elementos que rodean al fotodiodo de avalancha exigen un tratamiento de bajo ruido: El generador de alta tensión, el amplificador logarítmico, el amplificador a
 30 transimpedancia con su etapa autocero, las etapas amplificadoras posteriores y el detector RMS. El microcontrolador posee una fuente independiente y los circuitos de potencia del termorregulador se alimentan con fuentes separadas. El termorregulador empleado puede ser, por ejemplo, el empleado en la solicitud de patente P201001621.

35 Breve descripción de los dibujos

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

5 La figura 1 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha termorregulado con control embebido.

Las figuras 2A y 2B muestran la disposición de componentes en la parte anterior y posterior de la tarjeta de circuito impreso.

10 Las figuras 3A y 3B muestran respectivamente una vista anterior y posterior del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha con un termorregulador de flujo simétrico y un sistema óptico para la captación del haz láser modulado.

Descripción detallada de la invención

15 El objeto del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha con control embebido es la recepción de una señal láser luminosa modulada en formato binario con las especificaciones del estándar para la recepción serie IEEE802.3 FX 100/1000.

La **Figura 1** muestra el diagrama funcional de bloques del aparato receptor objeto de esta invención. Consta de un fotodiodo de avalancha de estado sólido 2 cuyas características de recepción pueden estar en la franja de longitudes de onda que van desde el espectro visible (680nm) al infrarrojo lejano (15 micrómetros), con ancho de banda por encima de 1Gbps y con sensibilidad programable entre 0.5 y 50 *Amperios/Watio* ($0 \leq M(V_{pol}) \leq 100$).

25 El aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha se ha implementado en un circuito electrónico cuyos componentes se encuentran interconectados en una tarjeta de circuito impreso 4 de doble cara con especificación FR4. Los elementos del circuito se pueden agrupar por funcionalidades existiendo la posibilidad de realizar las mismas funciones con distintos elementos de circuito considerando las posibilidades que ofrecen diferentes fabricantes. La realización presentada es un caso particular no restando generalidad a las funciones que se reivindican.

30 Las funciones que implementa el receptor basado en fotodiodo de avalancha objeto de esta invención son las siguientes:

- Un generador de alta tensión 28 de bajo ruido con una tensión controlable mediante un microcontrolador 48 entre 0 y 150 Voltios.
- Un amplificador logarítmico 29 con una referencia de corriente de precisión 31

35 que procesa la fotocorriente del fotodiodo de avalancha en un rango de cinco

décadas entre 5nA y 500uA siendo filtrada y enviada al microcontrolador 48 para su valoración.

- Un amplificador a transimpedancia diferencial 33 con autocero 34 que transforma la fotocorriente del fotodiodo de avalancha en fototensión adaptándola a un rango entre los microvoltios y los voltios eliminando la componente de corriente continua debida a fuentes luminosas no moduladas.
- Un driver 35 que recoge la señal de fototensión de salida simple y la transforma a salida diferencial para atacar a un amplificador de ganancia programable 37 bajo el control del microcontrolador 48.
- Un detector de valor cuadrático medio RMS 36 que estima la potencia media de la señal moduladora recibida para enviarla al microcontrolador 48 para su valoración.
- Una etapa de salida diferencial 38,5,5' formada por un conformador de pulsos, adaptador de nivel y adaptador de impedancias.
- Dos conversores DAC 40,42 que permiten, bajo el control del microcontrolador 48, la programación de la alta tensión aplicada al circuito de polarización del fotodiodo de avalancha y la programación de la ganancia en tensión de la etapa final de amplificación de la señal demodulada , respectivamente.
- El microcontrolador 48, que gestiona las señales de entrada y de salida y cierra tres lazos básicos: térmico, de fotosensibilidad y de ganancia RMS.
- Un circuito de prerregulación 13-13' previo a un conjunto de fuentes de alimentación de bajo ruido (27,32,39,47,41,43,44,45,46) dedicadas ad-hoc a elementos funcionales específicos.
- Un circuito de control de potencia 50, 51, 52, 53 que permite cambiar el sentido de la corriente en las celdas peltier de un termorregulador de flujo simétrico 56 bajo el control del microcontrolador 48.

El microcontrolador 48 posee conexiones de entrada y salida que le permiten monitorizar su estado 6, 7, 8, 9; establecer sus condiciones iniciales 22; comunicarse a través de el bus estándar I2C con otros microcontroladores en modo maestro-esclavo 16,17; acciones de entrada-salida on-off 14,15,18; conexiones 20' con sensores de temperatura 20 externos al aparato transmisor y un conector 19 de entrada-salida serie para su programación externa.

La **Figura 2A** ilustra la vista anterior, sin restar generalidad, de una realización del aparato receptor 1 que consta de un fotodiodo de avalancha 2 insertado en un

zócalo 3 que lo conecta con la tarjeta de circuito impreso 4. La señal de salida diferencial se recibe a través de los dos conectores BNC 5-5'. El diodo luminiscente 6 indica la condición de encendido del prerregulador. Los diodos luminiscentes 7,8, y 9 monitorizan el estado del microcontrolador en tareas de test. Los conectores 10' y 12' son las entradas de las dos fuentes de alimentación independientes: una fuente de potencia 12 para el circuito de control térmico y el termorregulador, y otra fuente simétrica 10 (rizado menor de 10 milivoltios), para el circuito de prerregulación. El conector 11 es una salida de alimentación controlada para las celdas peltier del termorregulador. Los prerreguladores 13-13' regulan la tensión de entrada simétrica 10 previo a las sucesivas etapas de bajo ruido. El microcontrolador tiene la posibilidad de comunicarse con otros microcontroladores en modos maestro-esclavo mediante un bus estándar I2C 16,17 y señales de control 14,15, 18 y 21. El conector 19 permite la programación serie del microcontrolador. El conector 20' recibe las señales de los sensores de temperatura 20. El pulsador 22 activa la señal de reset del microcontrolador para reiniciar sus funciones. El microcontrolador activa sus circuitos de tiempo mediante cristal 23. Los conectores jumper 24, 25 y 26 tienen funciones de programación manual en los circuitos del generador de alta tensión y amplificador de ganancia programable.

La **Figura 2B** ilustra la vista posterior del aparato receptor que consta del generador de alta tensión 28 con su fuente de alimentación de bajo ruido 27, el amplificador logarítmico 29 con su referencia de corriente 31 y su fuente de bajo ruido simétrica 32,39. La salida del amplificador logarítmico 29 es llevada al microcontrolador 48 tras ser filtrada con un filtro paso bajo 30 de 10Hz. La corriente del fotodiodo de avalancha es amplificada a transimpedancia en 33 siendo eliminada la componente de continua en el circuito autocero 34 y convertida a diferencial en el driver 35. La señal es amplificada en el amplificador de ganancia programable 37 bajo el control del microcontrolador 48 y calculado su valor cuadrático medio o RMS en el detector RMS 36. La etapa de salida conformadora, adaptadora de nivel y de impedancias se realiza en el circuito 38 siendo la salida diferencial en los conectores BNC 5-5'. Por otro lado, los circuitos de control de potencia del termorregulador: inversor de corriente 50 y 51, control de activación 53 y transistores periféricos 52.

Los reguladores de bajo ruido generan niveles de ruido menores de 10 microvoltios. Estos reguladores de bajo ruido alimentan al generador de alta tensión 27, a los conversores DAC, (41,47), al amplificador logarítmico y detector RMS (32,39), al amplificador a transimpedancia (43,44) y al driver simple-diferencial,

amplificador de ganancia programable y etapa de salida (45,46). El regulador convencional 49 suministra una tensión estable al microcontrolador 48. Los conversores DAC 40 y 42 generan las señales de actuación para el generador de alta tensión 28 y el amplificador de ganancia programable 37, respectivamente.

- 5 Las Figuras 3A y 3B muestran dos vistas del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha con un termorregulador de flujo simétrico 56 y un sistema óptico 54 que focaliza la señal luminosa y la dirige al fotodiodo de avalancha por una fibra de polímero 55. El termorregulador 56 contiene un dado refrigerado que se adapta a la capsula TO05 del fotodiodo de avalancha utilizado en esta realización
- 10 conformando una cavidad adiabática en la que el calor intercambiado se realiza a través de las caras de cuatro celdas peltier situadas en las cuatro caras contiguas del dado. El termorregulador 56 posee dos sensores de temperatura 20 situados en los focos frío y caliente de las celdas peltier que se conectan al microcontrolador 48 a través del conector 20'. Un circuito de control del termorregulador 50, 51, 52 y 53
- 15 permiten, bajo el control del microcontrolador 48, suministrar corriente en ambos sentidos para realizar labores de regulación térmica.

REIVINDICACIONES

1.- Aparato receptor láser basado en fotodiodo de avalancha termorregulado
5 con control embebido, para la recepción de haces láser modulados en formato binario, con un fotodiodo de avalancha (2) y un microcontrolador (48), **caracterizado porque** el fotodiodo de avalancha (2) se encuentra sometido a tres lazos de control regulados por el microcontrolador (48):

- un lazo de control térmico encargado de mantener estable, a un valor
10 determinado por el microcontrolador (48), la temperatura del fotodiodo de avalancha (2), comprendiendo dicho lazo de control térmico un termorregulador (56) con medios sensores de temperatura (20) conectados al microcontrolador (48) y un circuito de control del termorregulador (50,51,52,53) controlado por el microcontrolador (48);

- un lazo de control de sensibilidad del fotodiodo encargado de mantener
15 estable, a un valor determinado por el microcontrolador (48), la fotosensibilidad del fotodiodo de avalancha (2), comprendiendo dicho lazo de control de sensibilidad del fotodiodo medios sensores de la corriente de polarización del fotodiodo (2) conectados al microcontrolador (48) y un generador de alta tensión (28), controlado por el microcontrolador (48), para polarizar el fotodiodo de avalancha;

- un lazo de control de ganancia RMS encargado de controlar la ganancia y
20 mantener la estabilidad de la señal proveniente del fotodiodo de avalancha (2) que alimenta una etapa de salida (38,5,5'), comprendiendo dicho lazo de control de ganancia RMS un amplificador de ganancia programable (37), controlado por el microcontrolador, que alimenta la etapa de salida (38,5,5') y un detector de valor cuadrático medio RMS (36) conectado al microcontrolador (48) para la estimación de
25 la potencia media de dicha señal que alimenta la etapa de salida (38,5,5').

2.- Aparato receptor láser según la reivindicación 1, que comprende un
amplificador a transimpedancia diferencial (33) con un circuito autocero (34),
30 encargado de transformar la corriente del fotodiodo de avalancha en tensión, eliminando la componente de corriente continua.

3.- Aparato receptor láser según la reivindicación 2, que comprende un driver
(35) encargado de recibir la señal de salida simple del amplificador a transimpedancia
35 diferencial (33) y transformarla a salida diferencial que alimenta el amplificador de

ganancia programable (37).

4.- Aparato receptor láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios sensores de la corriente de polarización del fotodiodo (2)
5 comprenden un amplificador logarítmico (29) y un filtro paso bajo (30) conectado al microcontrolador.

5.- Aparato receptor láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el termorregulador (56) es de flujo simétrico basado en celdas peltier, estando
10 el circuito de control del termorregulador (50,51,52,53) configurado para permitir el cambio del sentido de la corriente en las celdas peltier del termorregulador (56).

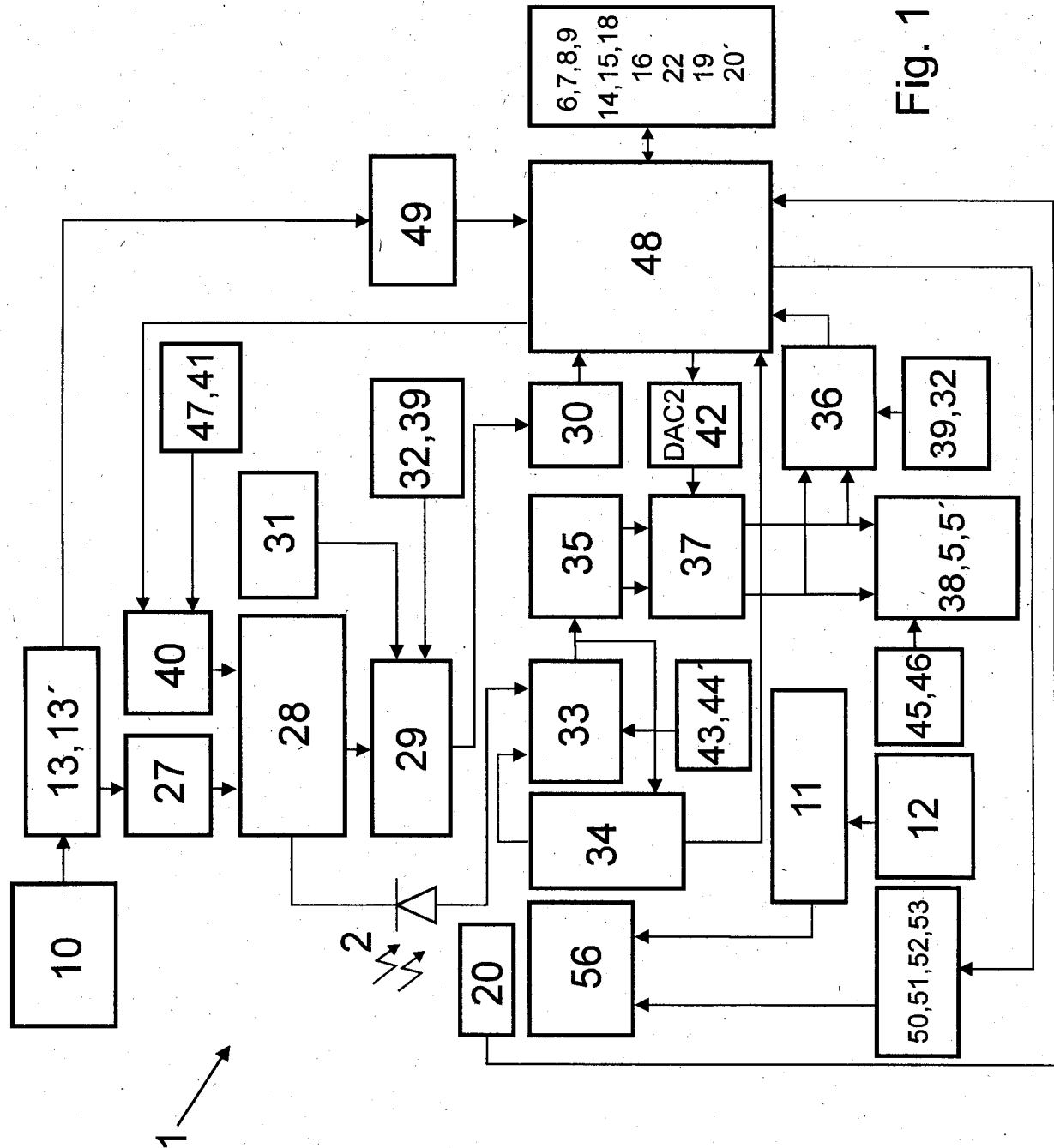
6.- Aparato receptor láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa de salida diferencial (38,5-5') formada por un conformador
15 de pulsos, adaptador de nivel y adaptador de impedancias.

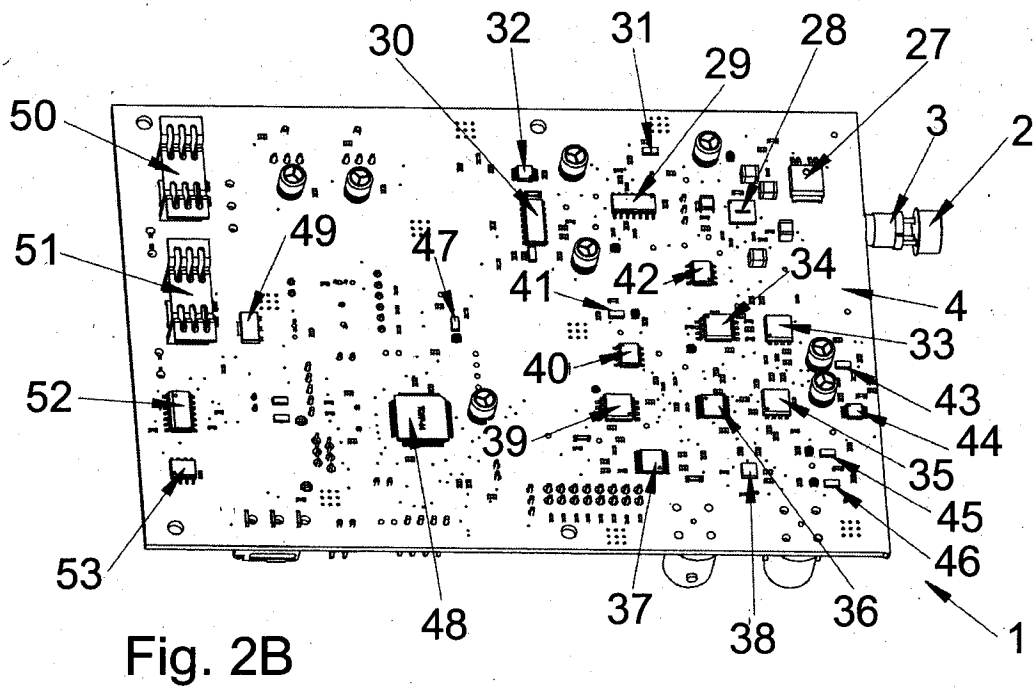
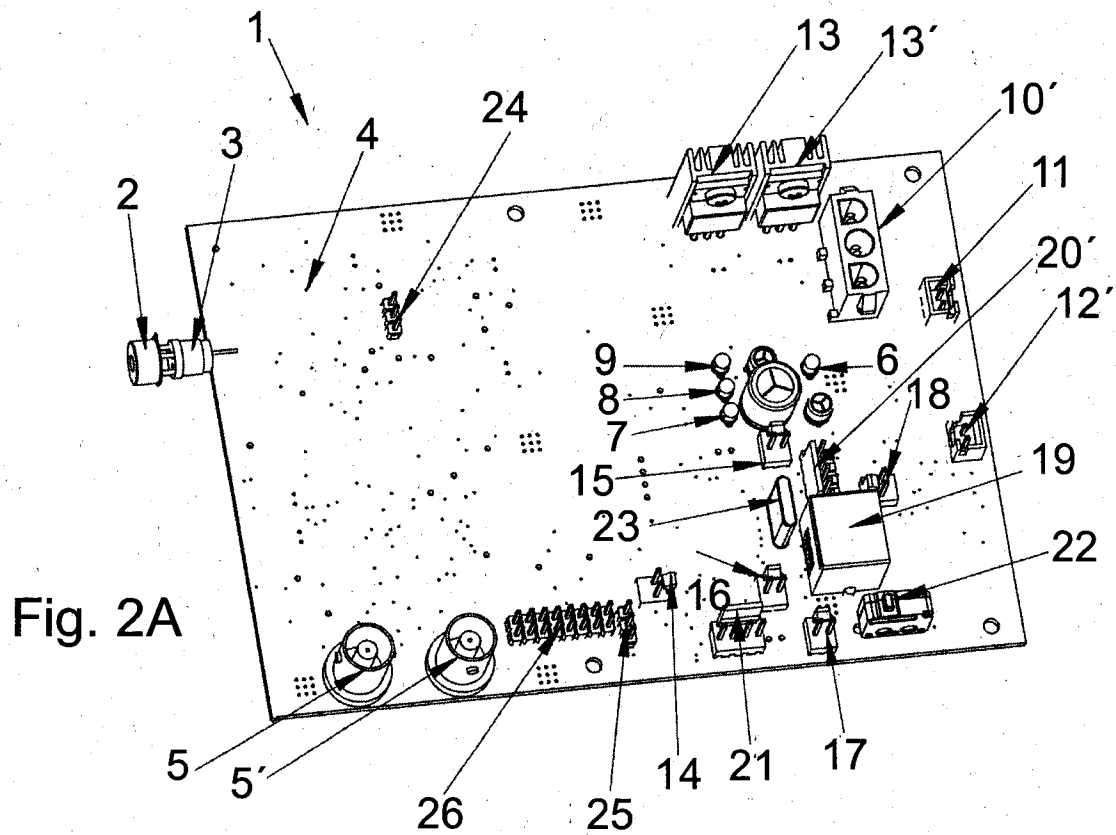
7.- Aparato receptor láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende dos conversores DAC (40,42) bajo el control de un microcontrolador (48) que permiten, respectivamente, la programación de la alta tensión aplicada al
20 circuito de polarización del fotodiodo de avalancha (2) y la programación de la ganancia en tensión del amplificador de ganancia programable (37).

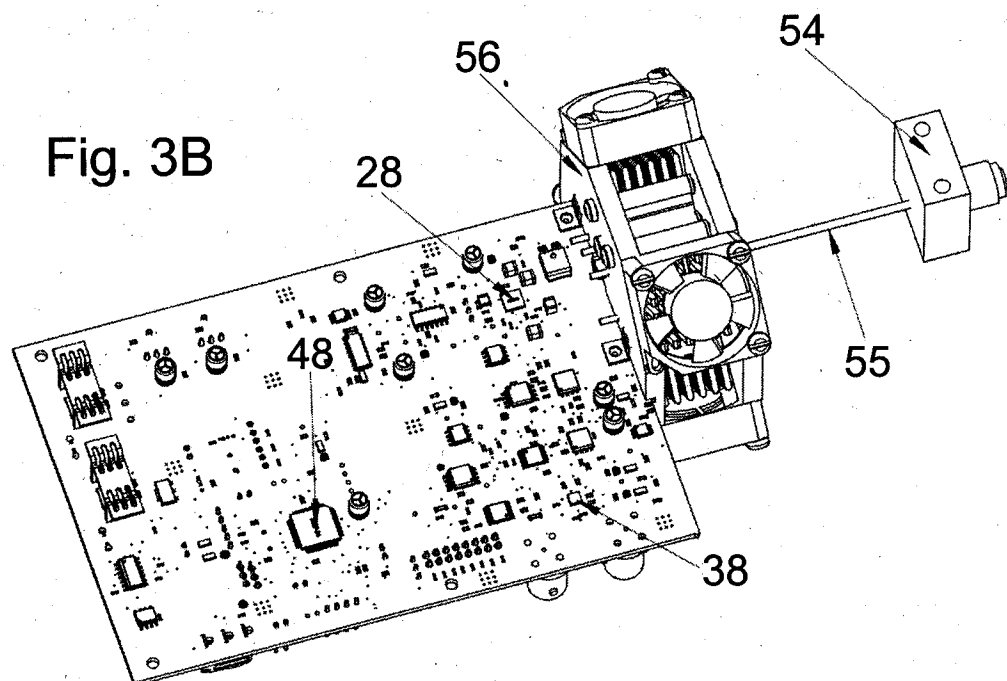
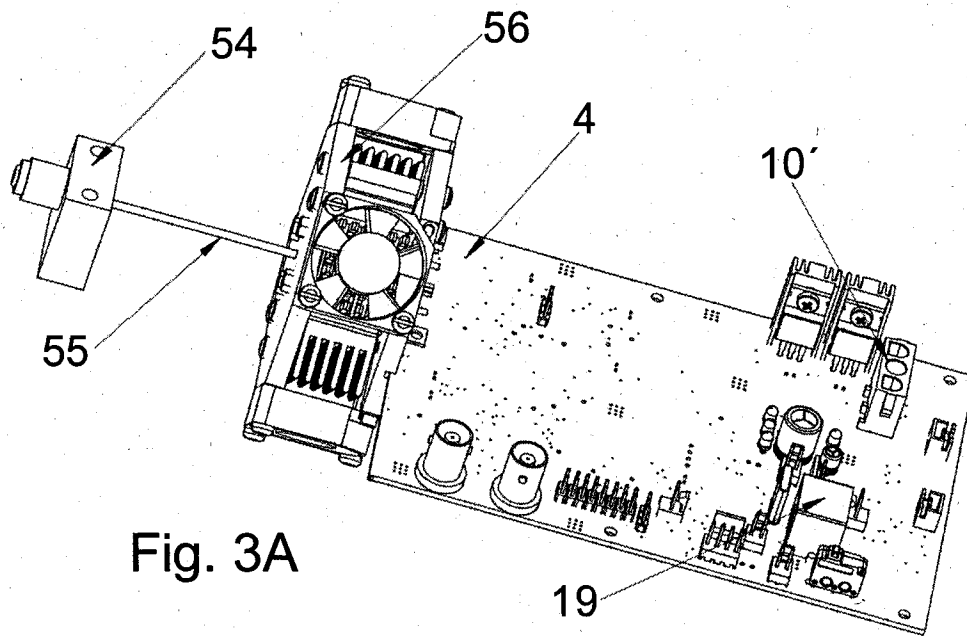
8.- Aparato receptor láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un circuito de prerregulación (13,13') previo a un conjunto de fuentes
25 de alimentación de bajo ruido dedicadas ad-hoc a elementos funcionales específicos (27;32,39;41,47;43,44;45,46) del aparato receptor (1).

30

35









OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100113

②② Fecha de presentación de la solicitud: 31.01.2011

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H01L31/107** (2006.01)
H01L31/024 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 20050092896 A1 (ICHINO, M.) 05.05.2005, resumen; párrafos [0009]-[0014],[0016]-[0017],[0025]-[0038]; figuras 1-4.	1-4,7,8
A	US 20080231738 A1 (IIDA, Y.) 25.09.2008, resumen; párrafos [0014],[0036]-[0038]; figuras 1,2,20.	1-3,6
A	JP 2000201031 A (MIYAGI NIPPON DENKI KK) 18.07.2000, todo el documento.	1,5
A	CN 101593786 A (SHANGHAI BOOM FIBER SENSING TE) 02.12.2009, todo el documento.	1,2,5,8
A	CN 101692465 A (WUHAN NARI LTD COMPANY OF STAT) 07.04.2010, todo el documento.	1
A	JP 2000323747 A (MINOLTA CO., LTD.) 24.11.2000, todo el documento.	1
A	US 20090167910 A1 (CARRIERE, N.) 02.07.2009, todo el documento.	1
A	CN 101533286 A (SHANGHAI BOOM FIBER SENSING TE) 16.09.2009, todo el documento.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
12.06.2012

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01L, H04N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 12.06.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-8	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-8	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 20050092896 A1 (ICHINO, M.)	05.05.2005
D02	US 20080231738 A1 (IIDA, Y.)	25.09.2008

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se ha considerado, dentro del límite de tiempo establecido al efecto, que la invención definida en las reivindicaciones 1-8 de la presente Solicitud parece tener novedad y actividad inventiva por no estar incluida en el estado de la técnica ni poder deducirse de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado en el estado de la técnica documentos, como el D01 o el D02, que solucionan problemas técnicos parciales planteados en la invención, como el control de la temperatura de un APD, de su ganancia o de su sensibilidad, pero ninguno de ellos recoge su misma combinación, ni tan siquiera soluciones semejantes en el grado de detalle por separado, de lo que parece concluirse que la invención tiene, para todas sus reivindicaciones, novedad y actividad inventiva de acuerdo con los Artículos 6 y 8 de la vigente Ley de Patentes.