

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 096**

21 Número de solicitud: 201531953

51 Int. Cl.:

G08C 19/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

31.12.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.08.2017

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2016/070950

71 Solicitantes:

**GENERAL EQUIPMENT FOR MEDICAL IMAGING,
S.A. (55.0%)**

**Carrer d'Eduardo Primo Yúfera 3
46013 Valencia ES;**

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (22.5%) y
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
(22.5%)**

72 Inventor/es:

**HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Liczandro;
GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Antonio Javier;
AGUILAR TALENS, Albert;
BENLLOCH BAVIERA, José María y
PAVÓN HERNÁNDEZ, Noriel**

74 Agente/Representante:

CUETO PRIEDE, Sénida Remedios

54 Título: **Topología de red de lectura**

57 Resumen:

Topología de red de lectura para dispositivo de salida matricial con un número de salidas dadas por la combinación cruzada de "m" filas y columnas "n", que comprende un bloque de filtrado básico, replicado para todas las salidas, y asignado por separado a cada una; cada bloque de filtrado contiene dos circuitos de filtrado que tienen una conexión de entrada común a su salida matricial asignada y que proporcionan dos salidas separadas, simétricas y filtradas; todas las salidas de fila (i) procedentes de la misma fila "i", pero de diferentes columnas están conectadas entre sí a una entrada de un amplificador vinculado a la fila "i", y todas las salidas de columna (j) procedentes de la misma columna "j", pero de diferentes filas, están conectadas juntas a una entrada de un amplificador vinculado a la columna "j", la topología completa aparece revelada expandiendo "i" y "j" en sus respectivos intervalos.

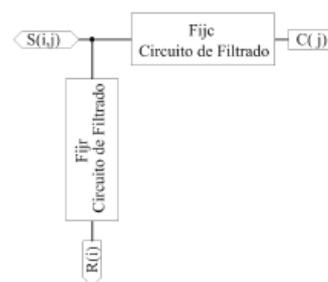


Fig. 5a

ES 2 629 096 A1

Topología de red de lectura

DESCRIPCIÓN

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a una topología de red de lectura para dispositivos de salida matricial, útiles en diferentes sectores, y especialmente en el campo de la medicina nuclear.

Antecedentes de la invención.

- 10 La presente invención se refiere a un sistema de lectura para un dispositivo de salida matricial (MOD), que proporciona un filtrado adecuado del ruido de salida del sensor y evita la mezcla de la señal de las diferentes salidas de los sensores, preservando la parte útil de las señales de una manera que puede ser posible reproducir la distribución de señales de salida del sensor a través de la matriz, lo que requiere sustancialmente menos amplificadores que otros sistemas de lectura tradicionales que solían amplificar cada canal de salida.

- 15 Tubos Fotomultiplicadores Sensibles a la Posición (PSPMT) son MOD bien conocidos en la técnica. Estos tienen una salida matricial fotosensible que convierte los fotones de luz en corrientes eléctricas. Los principales componentes de un PSPMT son una ventana de entrada, un fotocátodo, electrodos de enfoque, dínodos y un ánodo. El fotocátodo se utiliza para convertir la luz entrante (fotones) en electrones. Estos fotoelectrones, que son un producto del efecto fotoeléctrico, son dirigidos por la tensión de los electrodos de enfoque hacia las siguientes etapas de dínodos. Los dínodos se utilizan para multiplicar los electrones por el proceso de emisión de electrones secundarios. Las ganancias de electrones varían de 10^3 a 10^8 dependiendo del número de etapas de dínodo y tensiones interdínodo de los PSPMTs. La principal diferencia eléctrica entre un tubo fotomultiplicador no sensible a la posición (PMT) y un PSPMT es que este último ofrece múltiples salidas en forma matricial, que se activan emulando la misma posición geométrica del fotón incidente (gamma o rayo X) en la superficie del fotocátodo.

- 25 Cada salida matricial del PSPMT tiene el comportamiento, de una fuente de carga o una fuente de corriente en función de la forma en que la luz llega a la superficie del detector.

- 30 En general los PSPMTs pueden ser leídos y digitalizados en cada salida matricial, pero esto requiere un alto número de canales electrónicos para ser procesados. A menudo se utiliza un circuito de lectura intermedio para reducir el número de canales electrónicos para procesar [US6747263 (Popov)]. Por lo general, después del circuito de lectura las señales se adquieren, se digitalizan y se utiliza un algoritmo de centro de gravedad (COG) para proporcionar las coordenadas planas del centro de distribución de la luz en el fotocátodo [S. Siegel y otros, "Simple Charge Division Readouts for Imaging Scintillator Arrays using a Multi-Channel PMT" ("Lecturas de división simple de carga para conjuntos centelleadores de toma de imágenes usando un PMT multicanal", IEEE TNS, Vol. 43, No 3, p. 1634, junio de 1996), (Siegel).

- 35 Algunas electrónicas de lectura avanzadas son capaces de proporcionar, no sólo el centro de distribución de la luz, sino también información acerca de la forma de distribución de la luz, lo que permite un análisis más detallado, como la determinación de la profundidad de interacción (DOI) [US7476864 (Christoph)].

- 40 En años recientes ha aparecido un nuevo tipo de detector de luz llamado fotomultiplicador de silicio (SiPM). Estos detectores tienen una matriz microscópica interna de fotodiodos lo suficientemente pequeños para asumir que éstos en su mayoría capturan fotones individuales en cada fotodiodo. Cuando un fotodiodo individual es alcanzado por uno o más fotones, cambia a su estado activado, generando una corriente fija, independientemente de la cantidad de fotones que lo activan. El SiPM suma todas las salidas de fotodiodos similares proporcionando una salida analógica rápida proporcional al número de fotodiodos activados, que se corresponde aproximadamente con el número de fotones que inciden sobre el SiPM.

La salida SiPM puede ser el ánodo o el cátodo, dependiendo del signo de la polarización de dispositivo.

- 45 SiPMs nuevos son cada vez más utilizados en diversas aplicaciones para detectar con precisión la luz visible, por ejemplo, la luz de centelleo, y algunos grupos de investigación y empresas, así como los fabricantes de SiPM, comenzaron a crear dispositivos que contienen grandes conjuntos de SiPMs, que llamamos SiPMA, fijados en configuraciones matriciales con una topología similar a la de los PSPMTs y a menudo con dimensiones similares, para aprovechar la ventaja de cualquier posible compatibilidad de los sistemas, creando un componente sustitutivo ventajoso para los MODs estándar, (los PSPMTs), con una respuesta más
- 50

rápida entre otros beneficios. Puesto que los PSPMTs se conectan normalmente a los sistemas de adquisición por medio de circuitos de lectura, para reducir los canales necesarios, en el caso de SiPMAs se requieren circuitos similares o equivalentes.

5 En el mismo sentido que los PSPMTs, las salidas matriciales SiPMA tienen un comportamiento de fuentes de carga o de fuentes de corriente, dependiendo del modo en el que la luz alcanza la superficie del detector, así que en esta memoria nosotros asumiremos y representaremos las salidas matriciales indistintamente como fuentes de carga o de corriente.

10 Es importante notar una diferencia relevante entre PSPMTs y SiPMAs, en relación con el ruido intrínseco de sus respectivas unidades de detección, es decir, cada pin anódico de salida del PSPMT por separado PAD, y SiPMs individuales: el ruido de un SiPM es varios órdenes mayor que el ruido de un único ánodo PAD de PMT, creando algunas restricciones para los circuitos conectados a las salidas matriciales y es más relevante en aquellas configuraciones de detectores que producen señales de salida próximas al ruido intrínseco de los SiPMs.

15 Revisamos todas las redes de lectura disponibles para MODs, y se probaron éstas para el caso concreto del bloque detector conformado por SiPMAs acoplados a un cristal continuo de centelleo. Los resultados no fueron buenos y llegamos a la conclusión de que esas redes de lectura no son adecuadas para este nuevo tipo de bloque detector.

20 El ruido en los sistemas electrónicos se trata generalmente con circuitería de filtrado. Estos filtros pueden ser filtros pasivos o activos que también pueden ser clasificados como de paso alto, paso de banda, paso bajo y filtros de corte, según la forma de atenuación de frecuencia producida. Los pasivos están diseñados para producir reducción de la amplitud de las señales ruidosas, pero éstos producen también algo de reducción de la amplitud en la señal útil. Por el contrario, el uso de filtros activos evita la reducción de la amplitud en la señal útil y produce una mejor relación de señal a ruido. Una etapa de filtro activo típica incluye un componente pasivo (es decir, condensador, resistor, ...) en la entrada negativa de un amplificador operacional (OpAmp) y otro componente pasivo (es decir, resistencia, condensador, ...) en el lazo de retroalimentación del amplificador operacional. Si queremos filtrar activamente una cantidad definida de señales, normalmente necesitamos el mismo número de filtros activos, mientras que cada filtro activo requiere OpAmp con su circuitería de polarización, un componente pasivo de lazo de retroalimentación y un componente pasivo en la entrada. Estos diferentes filtros activos tendrán sus propias salidas diferentes, de modo que si es necesario agregar un grupo de ellos, se requiere añadir un circuito más.

30 Aunque los MODs tienen un número incontable de salidas, en la presente invención vamos a mostrar un circuito de filtrado y adición que permite filtrar todas las salidas de MOD de una manera similar a la descrita anteriormente, haciendo el filtrado activo y el proceso de adición en una sola etapa que comparte además el mismo OpAmp para un grupo de señales ruidosas de entrada. De esta manera es posible utilizar un número limitado de OpAmps bastante bajo en comparación con el número de salidas de MOD procesadas.

40 En US6747263, Popov describe una red simple que mantiene aislada cada salida matricial mientras que extrae sus señales simultáneamente, a sus correspondientes salidas de fila y columna de todo el circuito. Este circuito se adapta muy bien a la funcionalidad de PSPMTs debido al muy bajo nivel de ruido de las salidas de ánodo PSPMTs, que permanece bajo, incluso después de mezclar todos éstos en la red de lectura Popov. Tratar de utilizar la red Popov en los nuevos MODs, (los SiPMAs) falla debido al hecho de que al final de las filas y columnas se añade una gran cantidad de señales de ruido que generan una mala respuesta señal a ruido en todas las filas y columnas, empeorando demasiado la resolución de energía y las resoluciones espaciales entre otras características del detector, en comparación con un sistema que procesa todas las salidas matriciales individualmente.

45 En US2013/0293296 A1, Proffit propone una red basada en diodos en lugar de los resistores utilizados previamente por Popov, con el objetivo de superar los problemas de ruido. Los diodos tienen una tensión umbral y es necesario superarla antes de que cualquier señal pueda viajar a través del diodo, así, este umbral tiene en cuenta el ruido, mientras que las señales reales son lo suficientemente altas como para elevarse por encima del umbral y alcanzar la salida de la red después de cruzar los diodos.

50 El problema con la red Proffit proviene del comportamiento de los diodos. Como los diodos restarán sus propios umbrales a cualquier señal que pase a través de ellos, la proporción de las señales reducidas a la salida será mayor si las señales están cerca de la tensión de umbral, pero será insignificante si las señales son muy altas

en comparación con el umbral, lo que es característico de la red Proffit, limitando y condicionando su facilidad de uso.

5 Este tipo de señales de alto nivel puede ser obtenido normalmente en SiPMA conectados a conjuntos de centelleadores (hechos de pequeños cristales de centelleo pixelados apilados). Cuando un rayo gamma alcanza un píxel (entre todos los que están apilados dentro del conjunto de centelleo), aunque la luz emitida fluye hacia todas partes, una gran cantidad de fotones se va al lado donde está unido el SiPMA, pero fluirán a través del único SiPM que está frente al cristal tocado (o una cantidad muy limitada de SiPMs delante de este cristal), produciendo señales de alto nivel.

10 Aunque los conjuntos de centelleo conectados a los detectores matriciales, ya sean PSPMTs o SiPMAs, son muy comunes, existe una configuración diferente que utiliza un cristal monolítico único (o continuo) conectado a los detectores matriciales mencionados. Esta configuración ofrece posibilidades excepcionales para determinar la profundidad de interacción de los rayos gamma en el detector, que es una ventaja muy importante en algunas aplicaciones que exigen muy alta resolución espacial [Christoph], sin tener en cuenta que la resolución planar no está limitada por cualquier tamaño de píxel en un conjunto cristalino.

15 El uso de un cristal continuo acoplado a la configuración de SiPMAs produce algunas de las características especiales de las señales de salida que es importante cuidar al extraer estas señales por cualquier medio, incluyendo una red de lectura.

20 Siguiendo la descripción anterior acerca de la luz que viaja en los cristales pixelados, cuando un rayo gamma alcanza el cristal centelleador monolítico, de nuevo la luz emitida fluye hacia todas partes, una vez más una gran cantidad de fotones irán al lado donde está unido el SiPMA, pero en este caso la luz fluirá a través del cristal monolítico alcanzando todos (o casi todos) los SiPMs que se distribuyen a lo largo del lado del centelleador monolítico, y compartiendo los fotones entre todos ellos, produciendo así una señal de nivel relativamente bajo, en comparación con la señal hipotética producida por el mismo rayo gamma que alcance un cristal pixelado, aunque todas las señales juntas, en la configuración con el cristal monolítico, constituyen la señal equivalente para aquel rayo gamma en una configuración con un cristal pixelado.

25 Algunos grupos de investigación son muy activos desarrollando la tecnología SiPMA e intentando validar diferentes configuraciones de detector, incluyendo, redes de Popov, de Proffit entre otras. [A. González. et al. . "Simulation Study of Resistor Networks Applied to an Array of 256 SiPMs". ("Estudio de Simulación de Redes de resistores aplicadas a un conjunto de 256 SiPMs"). Nuclear Science, IEEE Transactions on (Vol.: 60, Número: 2)].

30 Cuando los SiPMs están dispuestos en una configuración SiPMA, similar a aquéllos de los PSPMT, los diseñadores tienen la tentación de utilizar las mismas configuraciones de lectura previas para extraer y procesar las señales de salida, pero esto no funciona adecuadamente debido al hecho de que los SiPMs son dispositivos demasiado ruidosos [A. González et al.: "Performance study of a Wide - Area SiPM ARRAY, ASICS Controlled" ("Estudio de rendimiento de un conjunto SiPM de área amplia, controlada por ASICS"). IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 62, Número: 1]. Se necesita una nueva red de lectura para resolver estas limitaciones.

35 Tratar de utilizar las redes descritas por Siegel o Popov falla, en general, cuando se utilizan SiPMAs porque esas redes suman o mezclan todas las señales matriciales, sumando todo el ruido y empeorando la relación señal a ruido. Esto es aún peor si usamos el cristal monolítico continuo además de la configuración SiPMA, ya que con la energía de los rayos gamma distribuidos a través de todos los SiPMs dentro del SiPMA, las señales de salida individuales de los SiPMs están cerca del nivel del ruido y la señal de salida no se puede distinguir del ruido.

40 El uso de la red de Proffit resuelve parte de los problemas descritos. En las configuraciones que utilizan SiPMAs más cristales centelleadores pixelados, la ganancia de los SiPMs se puede ajustar para que el ruido de todos los SiPMs pueda estar por debajo del umbral de los diodos, lo que permite el desencadenamiento de la señal justo en el momento en el que llegan señales reales y permite el procesamiento correcto de éstas, a pesar de que todas las salidas están afectadas por distorsiones, de una manera diferente cada una.

45 Por el contrario, cuando tratamos de utilizar la red de Proffit en una configuración de detector que incluye un cristal continuo más un SiPMA, falla de manera similar a la red de Popov. Como las señales son compartidas entre todos los SiPMs en el SiPMA, éstas están muy cerca del nivel de ruido, y por lo tanto están demasiado afectadas por el corte de señal al voltaje umbral del diodo, lo que hace muy difícil (si no imposible) procesarlas

y obtener datos utilizables. De esta manera, una gran cantidad de elementos SiPMs dará lugar a señales nulas, en lugar de los valores reales y los restantes elementos SiPM darán lugar a señales que se reducen en porcentajes relevantes, sin considerar que los porcentajes son diferentes para cada señal de salida de SiPM.

5 En la presente invención filtramos todas las señales de salida del dispositivo matricial en lugar de cortar todo lo que podría ser inferior a cierto umbral, resolviendo los problemas mencionados en el párrafo anterior en relación con la red de la Proffit. Además, nuestra invención mejora la relación señal a ruido en cada señal de salida del dispositivo matricial, en comparación con la red de Popov, que recoge todas las señales, así como todos los ruidos, empeorando las posibilidades de extraer información útil a partir del reducido número de salidas de esta red.

10 La capacidad de filtrado de la topología de red de lectura propuesta, en una etapa muy temprana del tratamiento de la señal, aumenta la relación señal a ruido, preservando la parte útil de la señal, al tiempo que reduce el ruido intrínseco de los SiPMs individuales, antes de mezclar éstas en las siguientes etapas de procesamiento, resolviendo los problemas relacionados con el ruido cuando se utilizan SiPMs y SiPMAs.

15 Cuando se trabaja con señales matriciales que llegan de SiPMAs acoplados a configuraciones de cristales monolíticos, la red de filtrado propuesta por la presente invención tiene un mejor rendimiento que las conocidas, tales como las propuestas por Proffit, porque ambos, señal real y ruido, pueden ser siempre claramente bien caracterizados por sus respectivas frecuencias, sin tener en cuenta sus amplitudes, pero no pueden ser distinguidos por sus amplitudes cuando las amplitudes de señal se acercan al ruido, como el caso de los bloques detectores de centelleo que incluyen cristales monolíticos.

20 **Breve descripción de la invención.**

Con el fin de tratar adecuadamente las señales de salida SiPMA ruidosas, proponemos una topología de red de lectura para un dispositivo de salida matricial con un número de salidas dadas por la combinación cruzada de "m" filas y "n" columnas, etiquetadas como Source (i,j) (Fuente (i, j)), donde "i" varía de 1 a m y "j" varía de 1 a n, que comprende un bloque de filtrado básico, replicado para todas las salidas matriciales, y asignado por separado a cada una; cada bloque de filtrado contiene un par de circuitos de filtrado que tienen una conexión de entrada común a su salida matricial asignada y que proporcionan dos salidas separadas, simétricas y filtradas, etiquetadas como Col. (j) y Row (i) (Fila (i)); todas las salidas de Fila (i) que proceden de la misma fila "i", pero de diferentes columnas están conectadas entre sí a la entrada de baja impedancia de un amplificador vinculado a la fila "i", que completa el filtrado activo y la topología de mezcla de toda la ruta, produciendo la salida AmpRow(i) correspondiente, y todas las salidas de Columna (j) procedentes de la misma columna "j", pero de diferentes filas, están conectadas juntas a la entrada de baja impedancia de un amplificador vinculado a la columna "j", que completa el filtrado activo y la topología de mezcla de toda la ruta, produciendo la salida AmpCol (j) correspondiente; la topología completa de la red de lectura aparece revelada expandiendo "i" y "j" en sus respectivos intervalos.

35 De acuerdo con realizaciones particulares de la topología de red de lectura, el bloque de filtrado está formado por un par de circuitos de filtrado CR.

Según realizaciones particulares adicionales de la topología de red de lectura, el bloque de filtrado está formado por un par de circuitos de filtrado CL.

40 Según realizaciones particulares adicionales, las diferentes salidas comunes de los bloques de filtrado, para las filas, Row (i), y para las columnas, Columna (j), están conectadas a circuitos amplificadores de los tipos "de carga" o "de corriente", con impedancia de entrada baja, en comparación con la impedancia del circuito de filtrado, siendo al menos 10 veces inferior

45 Según realizaciones particulares adicionales, las diferentes salidas comunes de los bloques de filtrado, para las filas, Row (i), y para las columnas, Columna (j), están conectadas a las entradas negativas de los circuitos amplificadores y se utiliza un resistor en el lazo de retroalimentación entre la salida OpAmp y su entrada negativa.

Según realizaciones particulares adicionales, la totalidad de las diferentes salidas comunes de los bloques de filtrado, para las filas, Row(i), y para las columnas, Columna (j), representa la totalidad de las salidas del detector que van a ser digitalizadas.

50 Según realizaciones particulares adicionales, las diferentes salidas del amplificador para las filas, AmpRow(i), y para las columnas, AmpCol (j), representan las salidas del detector para ser digitalizadas.

5 Según realizaciones particulares adicionales, una primera cadena de resistores interconecta las salidas de todas las filas, AmpRow (i) y una segunda cadena de resistores interconecta las salidas de todas las columnas, AmpCol (j); los extremos de las cadenas de resistores permiten extraer directamente, en tiempo real, la posición "x" y la "y" por medio del algoritmo COG. Se puede disponer un circuito de adición para sumar las señales obtenidas en los diferentes puntos de interconexión de la cadena de resistores para las filas, AmpRow (i) y para las columnas, AmpCol (j), que representa el segundo momento y es una función de la DOI, en el interior del cristal continuo acoplado al dispositivo de salida matricial.

10 Según realizaciones particulares adicionales, el dispositivo de salida matricial se selecciona entre SiPMA, PSPMTs y conjuntos de APD. Se puede disponer un circuito de adición para sumar las señales obtenidas en los diferentes puntos de interconexión de la cadena de resistores para las filas, AmpRow (i) y para las columnas, AmpCol (j), que representa el segundo momento y es una función de la DOI, en el interior del cristal continuo acoplado al dispositivo de salida matricial.

15 Según realizaciones particulares adicionales, el dispositivo de salida matricial está acoplado a cristales centelleadores monolíticos continuos, o centelleadores pixelados. Se puede disponer un circuito de adición para sumar las señales obtenidas en los diferentes puntos de interconexión de la cadena de resistores para las filas, AmpRow (i) y para las columnas, AmpCol (j), que representa el segundo momento y es una función de la DOI, en el interior del cristal continuo acoplado al dispositivo de salida matricial.

Según realizaciones particulares adicionales del dispositivo que comprende la red de lectura se selecciona entre un SiPMA, PSPMTs y conjuntos APDs.

20 De acuerdo con una realización preferida del dispositivo que comprende la red de lectura, el dispositivo de salida matricial está acoplado a cristales centelleadores monolíticos continuos, preferiblemente el MOD es un SiPMA que está acoplado a un cristal monolítico.

25 La presente invención se refiere también al uso de la topología de red de lectura previamente definida, o al uso de un dispositivo definido previamente, en un procedimiento para la obtención de imágenes generadas por fuentes de rayos gamma.

Según realizaciones particulares, la invención se refiere al uso de la topología de red de lectura definida, o al uso del dispositivo anteriormente definido, en el que el dispositivo comprende una matriz de dispositivos fotomultiplicadores basados en silicio conectados a cristales centelleadores monolíticos o a cristales de centelleo pixelados.

30

Breve descripción de los dibujos.

En las figuras "GND" significa una conexión a tierra.

- **Fig. 1** es un esquema de la disposición de pines de un dispositivo de salida matricial, generalmente conocido, con "m" filas y "n" columnas.
- 35 • **Fig. 2a** muestra un ejemplo de un PSPMT, con 8 filas x 8 columnas, mientras que la **Fig. 2b** muestra un ejemplo de un SiPMA con 16 filas x 16 columnas. Ambos representan dispositivos de salida matriciales estándar (MOD).
- **Fig. 3a** y **Fig. 3b** son dos circuitos de polarización típicos para SiPMs.
- 40 • **Fig. 4a** es un circuito con la topología típica (estado de la técnica) de un filtro activo, incluyendo componentes pasivos conectados desde la entrada, Source (i,l) (Fuente (i, j)) a la entrada negativa del Amplificador Operacional (OpAmp), etiquetado como AmplifierA, y un componente de retroalimentación pasiva conectado desde la salida OpAmp a la entrada negativa del OpAmp.
- 45 • **Fig. 4b** es un ejemplo del uso de un solo OpAmp para mezclar las múltiples señales de entrada (Fuente (i, 1) ... Fuente (i, n)), sin interferencia entre sí, y filtrando activamente estas señales de entrada, produciendo una única salida amplificada para cada fila, AmpRow (i). El funcionamiento de este circuito es similar al descrito en la Fig. 4a, pero los componentes pasivos en la parte izquierda desde el "punto medio del filtro activo" están distribuidos a lo largo de toda la matriz, por lo tanto vamos a dividir este circuito para la descripción como si estuviera conformado por dos partes: la parte izquierda del filtro activo, que corresponde a lo que llamamos los circuitos de filtrado, y la parte derecha del filtro activo,

correspondiente a la circuitería del OpAmp, AmplifierA, con su resistor del lazo de retroalimentación, R_feedback.

- 5 • **Fig. 4c** es un ejemplo del uso de un solo OpAmp para mezclar las múltiples señales de entrada (Fuente (1, j) ... Fuente (m, j)), sin interferencia entre sí, y filtrando activamente estas señales de entrada, produciendo una única salida amplificada para cada columna, AmpCol (j). Este circuito se divide en dos partes de una manera similar a la Fig. 4b.
- **Fig. 4d** es un diagrama simplificado de la parte derecha del circuito de la Fig. 4c
- **Fig. 4e** es un diagrama simplificado de la parte derecha del circuito de la Fig. 4b.
- 10 • **Fig. 5a** es un diagrama de bloques del bloque de filtrado, que se utiliza como un bloque de construcción básico de la topología de red lectura compuesta por un par de circuitos de filtrado (que constituyen la parte izquierda de los filtros activos), que proporcionan salidas divididas en filas y columnas para la etapa de amplificación posterior y en la parte derecha de los filtros activos.
- 15 • **Fig. 5b y Fig. 5c** son dos ejemplos de los bloques de filtrado. El primero de ellos usa un par de circuitos de filtrado con la configuración de un condensador en serie con un resistor, y el segundo usa un par de circuitos de filtrado con la configuración de un condensador en serie con un inductor.
- **Fig. 6** es el diagrama de bloques general de la topología de red de lectura de filtrado, propuesta en la presente invención.
- **Fig. 7** es el diagrama esquemático de una de red de lectura de filtrado propuesta utilizando un par de circuitos CR de filtrado para conformar el bloque de filtrado.
- 20 • **Fig. 8** es el diagrama esquemático de una de red de lectura de filtrado propuesta utilizando un par de circuitos CL de filtrado para conformar el bloque de filtrado.
- **Fig. 9** es el diagrama esquemático una de red de lectura, de filtrado, propuesta utilizando un par de circuitos CR de filtrado para conformar el bloque de filtrado, que comprende además cadenas de resistores en terminales de Columnas y Filas, para aplicar el algoritmo de COG y reducir el número de salida de las columnas + filas a solamente 4 señales.
- 25 • **Fig. 10** es el diagrama esquemático de una red de lectura, de filtrado, propuesta utilizando un par de circuitos CL de filtrado para conformar el bloque de filtrado, que comprende además cadenas de resistores en terminales de Columnas y Filas, para aplicar el algoritmo de COG y reducir el número de salida de las columnas + filas a solamente 4 señales.
- 30 • **Fig. 11** es el diagrama esquemático de una red de lectura, de filtrado, propuesta utilizando un par de circuitos CR de filtrado para conformar el bloque de filtrado, que comprende dos cadenas de resistores en terminales de Columnas y Filas: la primera cadena de resistores para aplicar el algoritmo de COG y reducir el número de salida de columnas + filas a sólo 4 señales, y la segunda cadena de resistores para obtener una variable dependiente de la profundidad de interacción (DOI) dada por una señal adicional.
- 35 • **Fig. 12** es el diagrama esquemático de una red de lectura, de filtrado, propuesta, utilizando un par de circuitos CL de filtrado para conformar el bloque de filtrado, que comprende dos cadenas de resistores en terminales de Columnas y Filas: la primera cadena de resistores para aplicar el algoritmo de COG y reducir el número de salida de Filas + Columnas a sólo 4 señales, y la segunda cadena de resistores para obtener una variable dependiente de la profundidad de interacción (DOI) dada por una señal adicional.
- 40

En las figuras las iniciales o leyendas que aparecen tienen los siguientes significados:

- R = Fila (Row)
- C = Columna (Column)
- F = Salida de filtro (Filter output)
- 45 S = Fuente (Source)
- R_f = Resistencia de realimentación (R_feedback)
- R_o = Resistencia de salida (R out)
- AR = Amplificador de filas (Amplifier Row)
- AC = Amplificador de columnas (Amplifier Column)
- 50 DOI = Profundidad de interacción (Depth of Interaction)

Descripción detallada de la invención

GLOSARIO

MOD: Es el acrónimo Dispositivo de Salida Matricial (*Matrix Output Device*) y tiene el mismo significado convencional que en el estado de la técnica.

5 *Circuito de filtrado*: Es aquí un bloque de circuito mínimo con una conexión de entrada y una conexión de salida, que puede ser seleccionado a partir de dos modelos, el primer modelo que incluye un condensador en serie con un resistor y el segundo modelo incluye un condensador en serie con un inductor.

10 *Bloque de filtrado*: Es un componente básico de la topología de red de lectura y de sus realizaciones. Está compuesto por un par de circuitos de filtrado similares, uno utilizado para generar una señal de salida para ser procesada como contenedor de información de la fila, y el otro utilizado para generar una señal de salida que se va a procesar como contenedor de información de la columna.

Topología de red de Lectura: Es un diagrama de bloques genérico de una red electrónica, que podría generar múltiples realizaciones de circuitería específicas con un funcionamiento similar.

15 Después de revisar todas las redes de lectura disponibles para Dispositivos de Salida Matriciales (MOD) y probarlas, se proporciona una nueva topología de red de lectura, específicamente para superar los problemas relacionados con el alto nivel de ruido de los SiPMs, que operan de manera apropiada con los requisitos de un bloque detector conformado por un cristal de centelleo monolítico más un SiPMA. Por supuesto, esta nueva topología de red de lectura (que puede generar distintas configuraciones de red de lectura) puede funcionar bien también (y mejor), con los MODs que no son tan restrictivos como los SiPMAs. Cada descripción y cada forma de realización de la presente invención con respecto a SiPMA se asume que es aplicable en general a cualquier MOD.

20 Con el fin de tratar adecuadamente las señales de salida ruidosas de los SiPMA, en la presente invención se propone una topología de red de lectura, de filtrado, genérica, para Dispositivos de Salida Matriciales, caracterizada por la propagación de un bloque de filtrado básico, que es replicado a lo largo de todas las salidas matriciales, cada bloque de filtrado contiene un par de circuitos de filtrado conectados a cada salida SiPM por una conexión de entrada común, proporcionando dos salidas separadas, simétricas y filtradas – una por cada bloque de filtrado -. Estas salidas filtradas están además agrupadas por columnas y filas para luego ser inyectadas en entradas del circuito amplificador, para obtener señales de salida filtradas y amplificadas activamente, lo suficientemente buenas para reproducir la posición planar de impacto del rayo gamma en un cristal monolítico y la DOI, si es necesario.

25 En cuanto a la Fig. 1, representa el esquema de la disposición de pines de un Dispositivo de Salida Matricial general (MOD) con "m" filas y "n" columnas, que es el objetivo de la solución propuesta por la presente invención. Las salidas matriciales son fuentes de corriente, por lo tanto, éstas son marcadas en consecuencia y enumeradas en la forma típica matricial como Source (i,j) (Fuente (i, j), donde "i" varía de 1 a "m" y "j" varía de 1 a "n" . "m" es el número de filas y "n" es el número de columnas.

35 Fig. 2a es un PSPMT con 8 filas y 8 columnas (64 salidas), mientras que la Fig. 2b es un SiPMA con 16 filas y 16 columnas (256 salidas). Ambos son ejemplos de dispositivos de salida matricial y tienen conjuntos de salida como se muestra en la Fig. 1, que pueden beneficiarse de la presente invención con el fin de reducir el número de canales electrónicos necesarios para reproducir las coordenadas de los rayos gamma detectados en los centelleadores acoplados a estos MODs.

40 Cada elemento matricial del SiPMA es un SiPM que requiere su propia polarización como se puede ver en la Fig. 3a y Fig. 3b. El elemento SiPM, D_{ij} , tiene un símbolo de diodo. Se inclina con la polaridad invertida de V_{cc} a través de un resistor limitador de $R_p(ij)$. El condensador $C_p(i,j)$, tiene carga suficiente para proporcionar la corriente de salida cuando el SiPM se abre después de que aparezca un suceso nuclear. La salida marcada como Source (i,j) (Fuente (i, j)) en el circuito de la figura. 3a requiere una conexión de modo de corriente de baja impedancia, mientras que la misma salida en el circuito de la fig. 3b requiere conexión a modo de tensión, ya que este último incluye el resistor $R_g(ij)$, que drena la corriente SiPM, produciendo una fuente de tensión en lugar de una corriente.

45 Nuestro objetivo es proporcionar una red de lectura para manejar las incontables salidas de los MODs (etiquetadas en forma Source (i, j) en la Fig. 1, donde "i" varía de 1 a "m" y "j" varía de 1 a "n", siendo "m" el

número de filas y "n" el número de columnas) y ser capaz de reproducir las coordenadas originales del impacto en el centelleador, y hacerlo incluso para dispositivos muy ruidosos, tales como SiPMA.

5 En la presente invención se utiliza ampliamente, por simplicidad, el concepto de SiPMA como un ejemplo específico de un MOD, pero en todos los casos debe entenderse que es aplicable en general a cualquier tipo de MOD.

Una buena manera de filtrar las salidas SiPMA incontables podría ser incluir el filtrado activo en cualquier salida, Source (i, j), pero esto normalmente implicará el uso de un circuito replicable (como el de la Fig. 4a) con el mismo número de OpAmps (m x n), lo que aumenta el espacio de circuito, y los requisitos de energía, sin tener en cuenta el costo. Además, el número de salidas filtradas es el mismo que el número de entradas (m x n), de tal manera que, si queremos reducirlos, debemos incluir una red de lectura adicional (como Popov, etc). Por eso, se propone un circuito alternativo en lugar de reproducir el circuito de la figura. 4a, para todas salidas del MOD, Source (i, j).

15 Como se sabe en el estado de la técnica, una reducción de número de señal a filas más columnas es posible si se aplica una mezcla adecuada de señales, evitando interferencias mutuas. Para hacer eso, tenemos que sumar las señales filtradas de filas comunes en un lado (Fig. 4b), y las columnas comunes en el otro lado (Fig. 4c). Aprovechando la ventaja de la baja impedancia de la entrada negativa del OpAmp (etiquetado como AmplifierA en ambos circuitos) en una configuración de filtro activo; hemos observado que es posible hacer el proceso de suma (evitando interferencias entre sí) en el punto medio del filtro activo, utilizando un único OpAmp para filtrar activamente todas las señales entrantes de varios filtros de la Parte izquierda que comparten OpAmp, mediante la inyección de sus corrientes juntas en la entrada negativa de baja impedancia del OpAmp (Fig. 4b y Fig. 4c), que además sumará las corrientes de todas las señales entrantes. Este circuito comparte el OpAmp etiquetado como AmplifierA, y el componente pasivo en el lazo de retroalimentación del OpAmp, etiquetado como R_feedback, a la vez que incluye componentes pasivos separados en el lado de entrada (Ci1r, Ci2r, ..., CinR en la Fig. 4b y C1jc, C2jc, ..., Cmjc en la Fig. 4c), recibiendo todas las señales ruidosas separadas (Source (i, 1), a Source (i, n) en la Fig. 4b y Source (1, j), a Source (m, j) en la Fig. 4c) e inyectando sus corrientes juntas (sumadas) en la entrada negativa del único OpAmp etiquetado como AmplifierA en ambos casos.

20 Como se ha explicado, esta funcionalidad del circuito hace que parezca como si los filtros activos separados estuviesen conectados a cada salida del MOD, por lo tanto, en las descripciones a continuación vamos a asumir la existencia de filtros conectados entre cada salida del MOD y las filas amplificadas específicas: AmpRow (i) en la Fig. 4b, y columnas amplificadas: AmpCol (j) en la Fig. 4c, sin distinguir que éstas están compartiendo parte del circuito.

25 Después de la asunción del párrafo anterior y por simplicidad, en la explicación siguiente de las figuras vamos a suprimir la polarización y los componentes del lazo de retroalimentación en los circuitos OpAmp, de forma que la parte derecha de los circuitos en las Fig. 4b y Fig. 4c, a partir del "punto medio del filtro activo" marcado, será reemplazado, respectivamente, por los diagramas de las Fig. 4E y Fig. 4d. Al mismo tiempo, cada línea de circuito de componentes pasivos horizontalmente desplegado en la parte izquierda de los circuitos de la Fig. 4b y Fig. 4c, desde el "punto medio del filtro activo" marcado, será nombrado como "circuito de filtrado" en la descripción, a continuación. Además, este circuito de filtrado puede ser del tipo (CijrRijr o CijcRijc) mostrado en la Fig. 5b o (CijrLijr o CijcLijc) mostrado en la Fig. 5c, y por lo tanto representado como cajas genéricas - Fijc, Fijr in Fig. 5a - también.

30 En la presente invención, se propone una topología de red de lectura, de filtrado, genérica, para Dispositivos de Salida Matricial, compuesta por la expansión de un "bloque de filtrado" básico a lo largo de las salidas de la matriz completa, trabajando en conjunto con un conjunto de circuitos de amplificación que cumplen con lo siguiente:

- 35 1. Si el tamaño de la matriz del MOD es "m" filas y "n" columnas, (m x n), como aquel cuya disposición de pines se muestran en la Fig. 1, entonces podemos conformar la red de lectura completa expandiendo el bloque de filtrado a lo largo de las salidas matriciales Source(i, j), con la condición de que la variable "i" varía de 1 a "m", mientras que "j" varía de 1 a "n". La Fig. 6 representa el diagrama de una forma de realización general de la red de lectura propuesta.
- 40 2. El bloque de filtrado contiene un par de circuitos de filtrado (Fig. 5a), que se pueden conectar a cualquier salida MOD por la conexión de entrada común que se puede ver en la esquina superior izquierda,
- 45
- 50

marcada como Source (i, j), extrayendo dos salidas separadas, simétricas y filtradas etiquetadas como Col. (j) en la esquina superior derecha y Row (i) en la esquina inferior izquierda.

3. Como puede verse en la Fig. 6, el número "n" de señales de salida diferentes generadas por el mismo número de circuitos de filtrado para las filas (Fijr), etiquetadas como Row (i), son conectadas entre sí y después son inyectadas en la entrada de baja impedancia de los amplificadores, similar a la de la Fig. 4e, (la parte derecha del filtro activo en la Fig. 4b) y representadas en el lado derecho del diagrama de la Fig. 6, en donde las señales de salida amplificadas y filtradas correspondientes están etiquetadas como AmpRow (i).
4. En una forma similar al punto 3 anterior, (hablando de la Fig. 6) el número "m" de señales de salida diferentes generadas por el mismo número de circuitos de filtrado para columnas (Fijc), etiquetadas como Columna (j), son conectadas entre sí y después inyectadas en la entrada de baja impedancia de los amplificadores, similar a la de la Fig. 4d, (la parte derecha del filtro activo en la Fig. 4c) y representadas en la parte inferior del diagrama de la Fig. 6, en la que las correspondientes señales de salida filtradas y amplificadas están etiquetadas como AmpCol. (j).
5. Lo que consideramos "las salidas de la red de lectura" en la Fig. 6, son las salidas amplificadas relacionadas con todas las Filas y Columnas matriciales, siendo Filas + Columnas igual al número de canales de salida de la red de lectura. Estas salidas se encuentran en los lados inferiores y derecho de los esquemas de la Fig. 6, así como en la Fig. 7 y la Fig. 8, y están etiquetadas como AmpRow (i) y AmpCol. (j).
6. Se requiere una electrónica de adquisición y de digitalización apropiada para los canales "m + n" y software específico, para procesar todas las señales digitalizadas y proporcionar la posición planar de los rayos detectados (γ o X) y la DOI, si es necesario.

Como resultado del funcionamiento de la red de lectura descrita en la Fig. 6, los circuitos de filtrado que trabajan junto con los circuitos de OpAmp conforman un equivalente "red de filtro activo" con la capacidad para atenuar las señales ruidosas que alcanzan las entradas de la red de lectura de las salidas del MOD, Source (i, j), mientras que las señales reales de los sucesos nucleares pasan a través de los circuitos sin atenuación y son dirigidas simétricamente sólo a su "salida Row (i)" específica y su "salida Columna (j)" específica, sin interferir entre sí y adicionalmente amplificadas para generar las señales amplificadas y filtradas correspondientes AmpRow (i) y AmpCol. (j).

Los circuitos de filtrado más simples y eficaces para conformar el bloque de filtrado mencionado en la descripción general anterior, son el filtro CR presentado en la Fig. 5b y el filtro de CL presentado en la Fig. 5c. Tales combinaciones reducen la variación de desplazamiento causado por las variaciones de temperatura y ruido procedente de la electrónica. En todas las descripciones anteriores, el diagrama de la fig. 5a puede ser reemplazado por los circuitos mostrados en la figura. 5b y Fig. 5c. De esta manera vamos a describir realizaciones específicas de la presente invención.

En la realización preferida, el circuito de filtrado está compuesto por un condensador en serie con un resistor, para conformar el bloque de filtrado mostrado en la Fig. 5b. Es fácil obtener el nuevo circuito a partir de la Fig. 6, sustituyendo el bloque de filtrado general (Fig. 5a), asociado a cada Source (i, j), por el circuito de filtrado "basado en CR" específico de la Fig. 5b. El resultado es el esquema de la Fig. 7. Las señales de salida de un MOD específico, Source (i, j), se dividen simétricamente en dos componentes que no interfieren entre sí, ni con cualquier otra señal que llega desde una salida de MOD diferente. Uno de los dos componentes es tratado por el "filtro de paso alto" creado por los componentes pasivos Cijr, Rijr y R_Feedback y el amplificador con la salida AmpCol (j), (ver Fig. 4c también). La frecuencia de corte del filtro viene dada por el parámetro $Cijr \times R_Feedback$, aunque la ganancia máxima está limitada por la relación $R_Feedback / Rijr$, para aumentar la estabilidad del circuito. El otro, de los dos componentes, es tratado por el "filtro de paso alto" creado por los componentes pasivos Cijr, Rijr y R_Feedback y el amplificador con la salida AmpRow (i), (ver Fig. 4b también). La frecuencia de corte del filtro viene dada por el parámetro $Cijr \times R_Feedback$, aunque la ganancia máxima está limitada por la relación $R_Feedback / Rijr$, para aumentar la estabilidad del circuito.

En una realización alternativa, el circuito de filtrado está compuesto por un condensador en serie con un inductor, para conformar el bloque de filtrado que se muestra en la Fig. 5c. Es fácil obtener el nuevo circuito a partir de la Fig. 6, sustituyendo el bloque de filtrado general (Fig. 5a), asociado a cada Source (i, j), por el circuito de filtrado "basado en CL" específico de la Fig. 5c. El resultado es el esquema de la Fig. 8. Las señales de salida de un MOD específico, Source (i, j), se dividen simétricamente en dos componentes que no interfieren

entre sí, ni con cualquier otra señal que llega desde una salida de MOD diferente. Uno de los dos componentes de la señal es tratado por el "filtro de paso de banda" creado por los componentes pasivos C_{ijr} , R_{ijr} y $R_{Feedback}$ y el amplificador con la salida $AmpCol(j)$. La frecuencia central del filtro viene dada por el parámetro $C_{ijr} \times L_{ijr}$. Afortunadamente, L_{ijc} tiene la resistencia parásita $R(L_{ijc})$ que limita la ganancia máxima está limitada a la relación $R_{Feedback} / R(L_{ijr})$, para aumentar la estabilidad del circuito. El otro, de los dos componentes de la señal, es tratado por el "filtro de paso de banda" creado por los componentes pasivos C_{ijr} , R_{ijr} y $R_{Feedback}$ y el amplificador con la salida $AmpRow(i)$. La frecuencia central del filtro viene dada por el parámetro $C_{ijr} \times L_{ijr}$. Y la ganancia máxima está limitada a la relación $R_{Feedback} / R(L_{ijr})$, para aumentar la estabilidad del circuito, siendo $R(L_{ijr})$ la resistencia parásita del inductor L_{ijr} .

En la realización preferida de la presente invención, el SiPMA (o MOD en general) está acoplado ópticamente a un cristal de centelleo monolítico. Las entradas de la red de lectura (Source (i, j)) (utilizando el circuito de la Fig. 7), "i" varía de 1 a m; "j" varía de 1 a n) están conectadas a las salidas matriciales del SiPMA (como se ve en la Fig. 1 también etiquetada como (Source (i, j)), y los dos tipos de salidas de componentes de circuito de filtrado (divididos en filas y columnas) están conectados a las entradas de baja impedancia de los amplificadores que completan la función de filtro activo de la red. las señales amplificadas, etiquetadas como $AmpRow(i)$ y $AmCol(j)$; (i varía de 1 a m y "j" varía de 1 a n) alcanzan un número igual a la suma de las columnas y filas, y pueden ser posteriormente procesadas analógicamente o digitalmente para obtener la posición planar de impacto del rayo gamma en el cristal de centelleo monolítico y el DOI, si es necesario. En esta realización preferida, lo que consideramos "las salidas de la red" son las salidas de los amplificadores relacionados con todas las Filas y Columnas matriciales, siendo Filas + Columnas igual al número de canal de salida de la red de lectura. Estas salidas se encuentran en la parte inferior y los lados derechos del esquema en la Fig. 7, y etiquetados como $AmpRow(i)$ y $AmpCol(j)$.

Una realización alternativa se puede obtener a partir de una forma de realización preferida anterior, sustituyendo el circuito de la Fig. 7 por el circuito de la Fig. 8. El SiPMA está acoplado ópticamente a un cristal de centelleo monolítico. Las entradas de red de lectura (Source (i, j)) (utilizando el circuito de la Fig. 8), "i" varía de 1 a m; "j" varía de 1 a n) están conectadas a las salidas matriciales del SiPMA (como se ve en la Fig. 1 también etiquetada como (Source (i, j)), y los dos tipos de salidas de componentes del circuito de filtrado (divididos en filas y columnas) están conectados a las entradas de baja impedancia de los amplificadores que completan la función de filtro activo de la red. Las señales amplificadas, etiquetadas como $AmpRow(i)$ y $AmpCol(j)$; (i varía de 1 a m y "j" varía de 1 a n) alcanzan un número igual a la suma de las columnas y filas), y pueden ser posteriormente procesadas analógicamente o digitalmente para obtener la posición planar de impacto del rayo gamma en el cristal monolítico y la DOI, si es necesario. Las salidas de la red se encuentran también aquí en la parte inferior y los lados derechos del esquema de la Fig. 8, y etiquetadas como $AmpRow(i)$ y $AmpCol(j)$.

En ambos casos, las realizaciones preferidas o alternativas, se requiere una electrónica de adquisición de digitalización apropiada para los "m + n" canales, y software específico para procesar todas las señales y proporcionar la posición planar del rayo detectado (gamma o X) y la DOI si es necesario.

En realizaciones alternativas (Fig. 9 y la Fig. 10), a partir de las formas de realización preferidas y alternativas anteriores de la Fig. 7 y la Fig. 8; y en base a la técnica anterior (es decir Popov), las señales amplificadas ($AmpRow(i)$ y $AmpCol(j)$) pueden ser conectadas a un par de cadenas de resistores divisorias (una para Filas, que se muestra en el lado derecho, y la otra para Columnas, que se muestra en la parte inferior) para reducir la cantidad de salidas a 4 y poder aplicar el algoritmo del COG. La cadena de resistores establecida para calcular la coordenada X, situada en la parte inferior, está marcada como $R0x, R1x, R2x, \dots, RNx$, y las salidas en sus bordes están marcadas como "X-" y "X+". De manera similar, la cadena de resistores establecida para calcular la coordenada Y, situada en el lado derecho, está marcada como $R0y, R1y, R2y, \dots, Rmy$, y las salidas en sus bordes están marcadas como "Y-" e "Y+".

El valor para la posición X puede ser calculado como $X = (X+) - (X-) / ((X+) + (X-))$ y el valor para la posición "Y" puede ser calculado como $Y = (Y+) - (Y-) / ((Y+) + (Y-))$.

Suponiendo que un cristal continuo de centelleo está acoplado al SiPMA, los rayos gamma que inciden sobre el centelleador producirán una distribución de la luz sobre el SiPMA, activando muchos SiPMs cada vez, lo que permite obtener, no sólo las coordenadas planas donde los rayos gamma alcanzan el centelleador, sino también la DOI del rayo gamma dentro del centelleador. Esta tarea se puede hacer en tiempo real, aplicando el procesamiento analógico descrito por [Christoph] y digitalizando sólo una señal que representa la DOI, o

puede llevarse a cabo la lectura y la digitalización de las señales individuales de cada fila y columna y la determinación de la forma de la luz y su correspondiente DOI.

- 5 En configuraciones alternativas (Fig. 11 y Fig. 12), partiendo de las dos realizaciones alternativas anteriores de la Fig. 9 y Fig. 10; y en base a la técnica anterior (es decir Christoph), pueden ser conectadas un par adicional de cadenas de resistores (uno para Filas, que se muestra en el lado derecho, y el otro para Columnas, que se muestra en la parte inferior) por el lado de entrada a los nodos de ambas cadenas de resistores anteriores (unidos a todas las salidas AmpRows (i) y AmpCol. (j)) y pueden ser conectadas por el lado de salida a un circuito de adición electrónica (con la etiqueta AmpB) que suma todos los voltajes en aquellos nodos, para obtener analógicamente una señal adicional que representa la DOI y etiquetada como señal DOI.
- 10 En esta última configuración sólo 5 señales son digitalizadas para proporcionar la posición tridimensional del impacto del rayo gamma. (X +, X-, Y +, Y-, y DOI de la señal).

REIVINDICACIONES

1. Una topología de red de lectura para un dispositivo de salida matricial con un número de salidas dadas por la combinación cruzada de "m" filas y columnas "n", etiquetadas como Source (i, j), donde "i" varía de 1 a m y "j" varía de 1 a n, que comprende un bloque de filtrado básico, replicado para todas las salidas matriciales, y asignado por separado a cada una; cada bloque de filtrado contiene un par de circuitos de filtrado que tienen una conexión de entrada común a su salida matricial asignada y que proporcionan dos salidas separadas, simétricas y filtradas, etiquetadas como Col. (j) y Row (i); todas las salidas de Fila (i) que proceden de la misma fila "i", pero de diferentes columnas están conectadas entre sí a la entrada de baja impedancia de un amplificador vinculado a la fila "i", que completa el filtrado activo y la topología de mezcla de toda la ruta, produciendo la salida AmpRow(i) correspondiente, y todas las salidas de Columna (j) procedentes de la misma columna "j", pero diferentes filas, están conectadas juntas a la entrada de baja impedancia de un amplificador vinculado a la columna "j", que completa el filtrado activo y la topología de mezcla de toda la ruta, produciendo la salida AmpCol (j) correspondiente; la topología completa de la red de lectura aparece revelada expandiendo "i" y "j" en sus respectivos intervalos.
2. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que el bloque de filtrado está formado por un par de circuitos de filtrado CR.
3. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que el bloque de filtrado está formado por un par de circuitos de filtrado CL.
4. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que las diferentes salidas comunes de los bloques de filtrado, para filas, Fila (i), y para columnas, Columna (j), están conectadas a circuitos amplificadores de los tipos "de carga" o "de corriente", con impedancia de entrada baja, en comparación con la impedancia del circuito de filtrado, siendo al menos 10 veces inferior.
5. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que las diferentes salidas comunes de los bloques de filtrado, para filas, Fila (i), y para columnas, Columna (j), están conectadas a las entradas negativas de los circuitos amplificadores y se utiliza un resistor en el lazo de retroalimentación entre la salida OpAmp y su entrada negativa.
6. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que la totalidad de las diferentes salidas comunes de los Bloques de filtrado, para filas, Fila (i), y para columnas, Columna (j), representa la totalidad de las salidas del detector que van a ser digitalizadas.
7. La topología de red de lectura según la reivindicación 1, en la que las diferentes salidas del amplificador para las filas, AmpRow(i), y para columnas, AmpCol (j), representan las salidas del detector para ser digitalizadas.
8. La topología de red de lectura según la reivindicación 7, en la que, una primera cadena de resistores interconecta las salidas de todas las filas, AmpRow (i) y una segunda cadena de resistores interconecta las salidas de todas las columnas, AmpCol (j); los extremos de las cadenas de resistores permiten extraer directamente, en tiempo real, la posición "x" y la "y" por medio del algoritmo COG.
9. La topología de red de lectura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el dispositivo de salida matricial está seleccionado entre SiPMA, PSPMTs y conjuntos de APD.
10. La topología de red de lectura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en la que el dispositivo de salida matricial está acoplado a cristales de centelleo continuos monolíticos, o centelleadores pixelados.
11. La topología de red de lectura de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 o 10, en la que se dispone un circuito de adición para sumar las señales obtenidas en los diferentes puntos de interconexión de la cadena de resistores para filas, AmpRow (i) y para columnas, AmpCol (j), que representa el segundo momento y es una función de la DOI, dentro del cristal continuo acoplado al dispositivo de salida matricial.
12. Un dispositivo que comprende la topología de red de lectura definida en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la red de lectura se selecciona entre un SiPMA, PSPMTs y conjuntos de APD.
13. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12 en el que el dispositivo de salida matricial está acoplado a cristales centelleadores monolíticos continuos.
14. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12 en el que la red de lectura es un SiPMA que está acoplado a un cristal monolítico.

15. El uso de la topología de red de lectura definida en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 o el uso de un dispositivo definido en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14 en un procedimiento para la obtención de imágenes generadas por fuentes de rayos gamma.
- 5 16. El uso de la topología de red de lectura definida en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 o el uso de un dispositivo definido en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14 en el que el dispositivo comprende dispositivos matriciales fotomultiplicadores de silicio conectados a cristales centelleadores monolíticos o a cristales de centelleo pixelados.

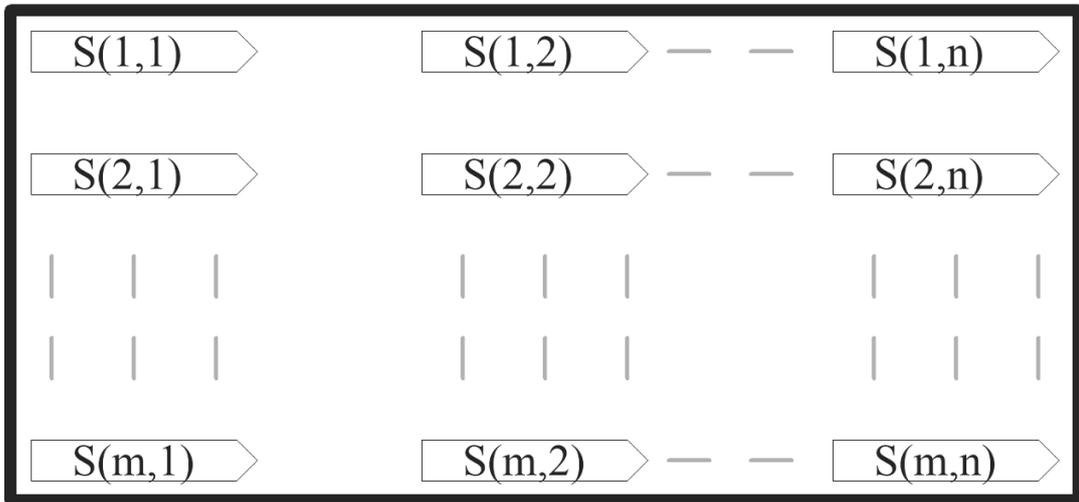


Fig. 1

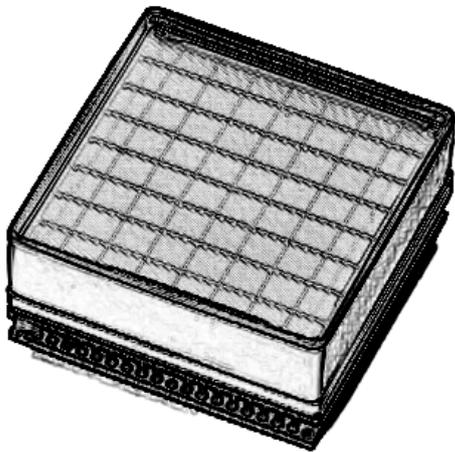


Fig. 2a

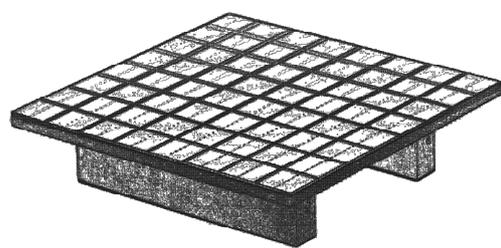


Fig. 2b

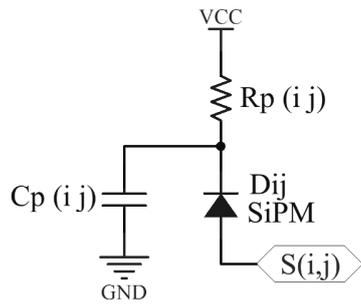


Fig. 3a

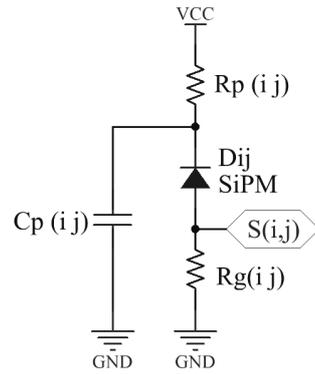


Fig. 3b

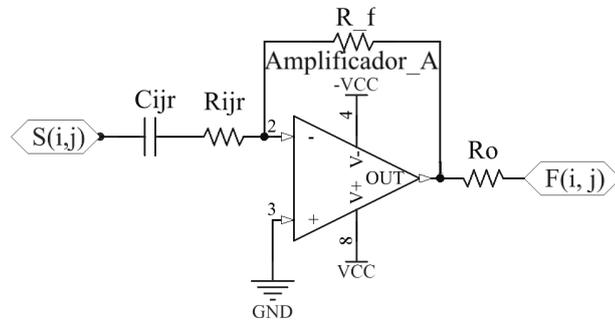


Fig. 4a

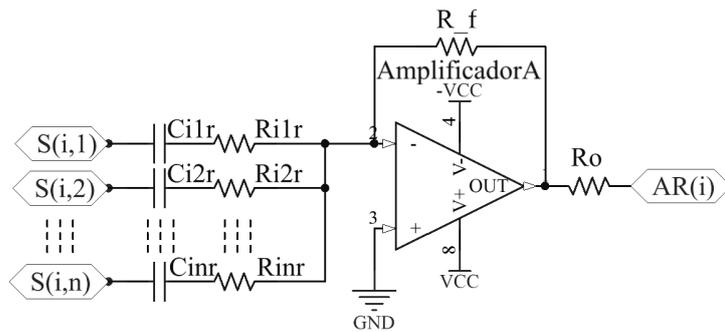


Fig. 4b

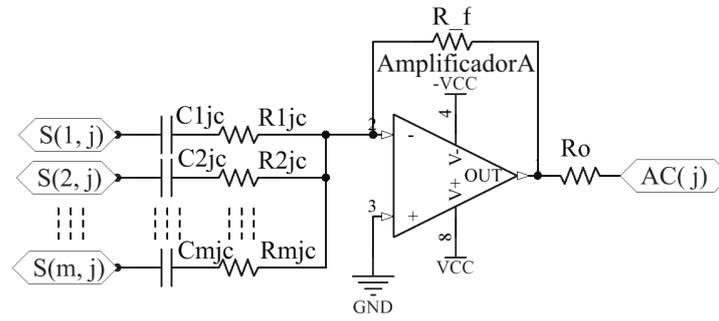


Fig. 4c

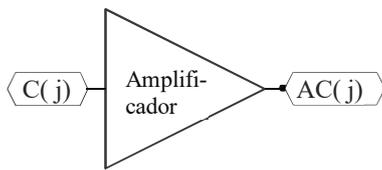


Fig. 4d

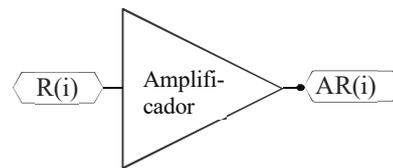


Fig. 4e

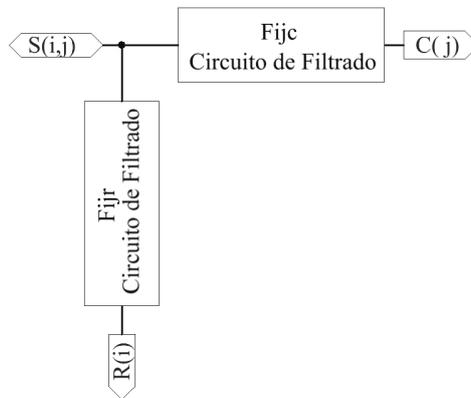


Fig. 5a

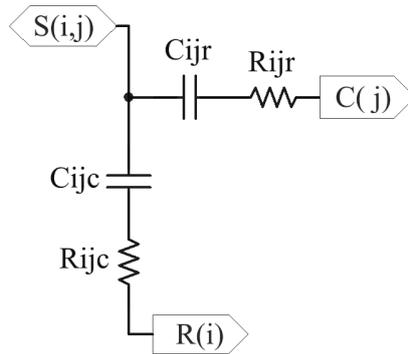


Fig. 5b

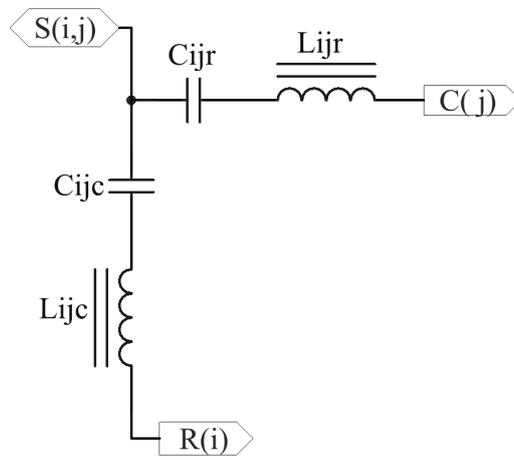


Fig. 5c

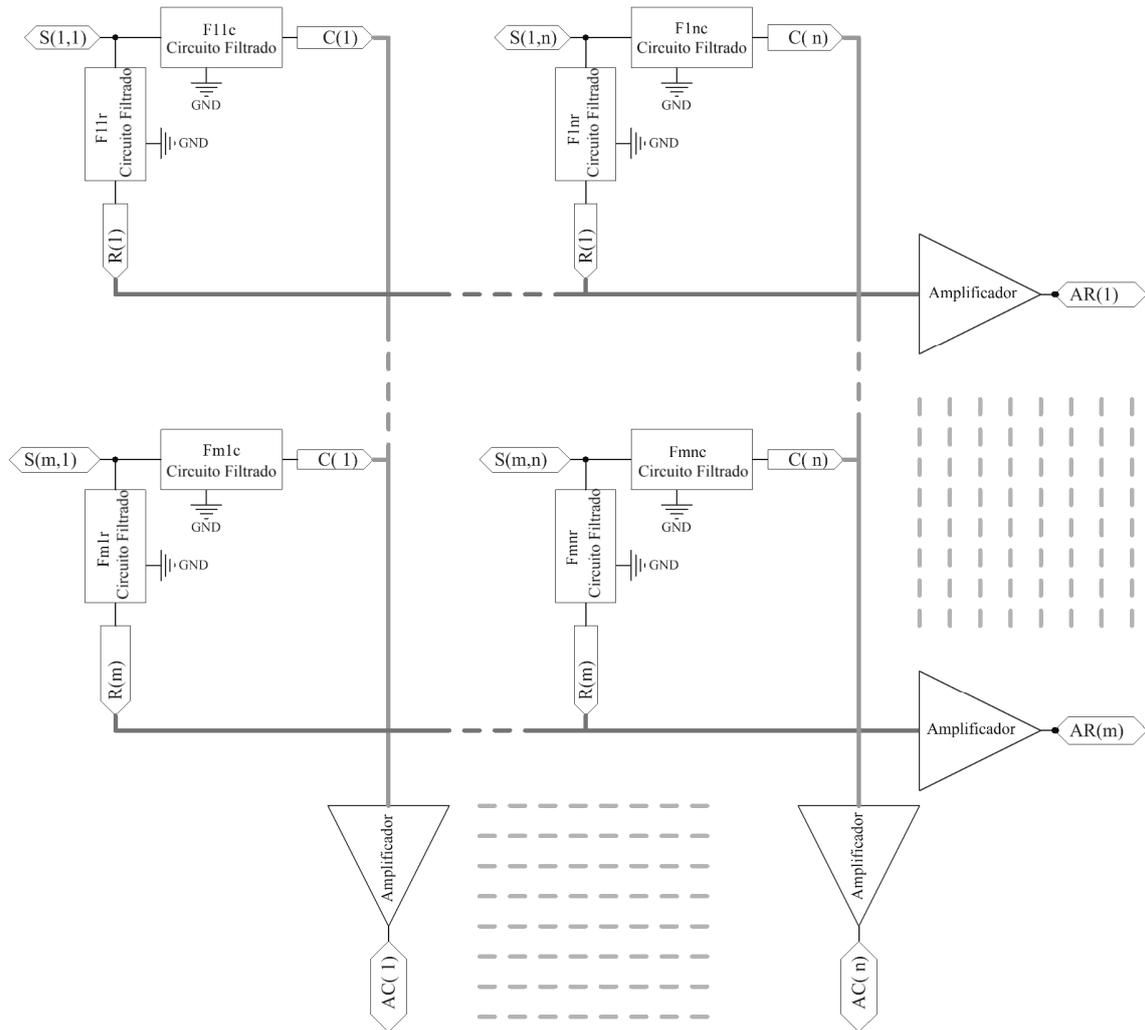


Fig. 6

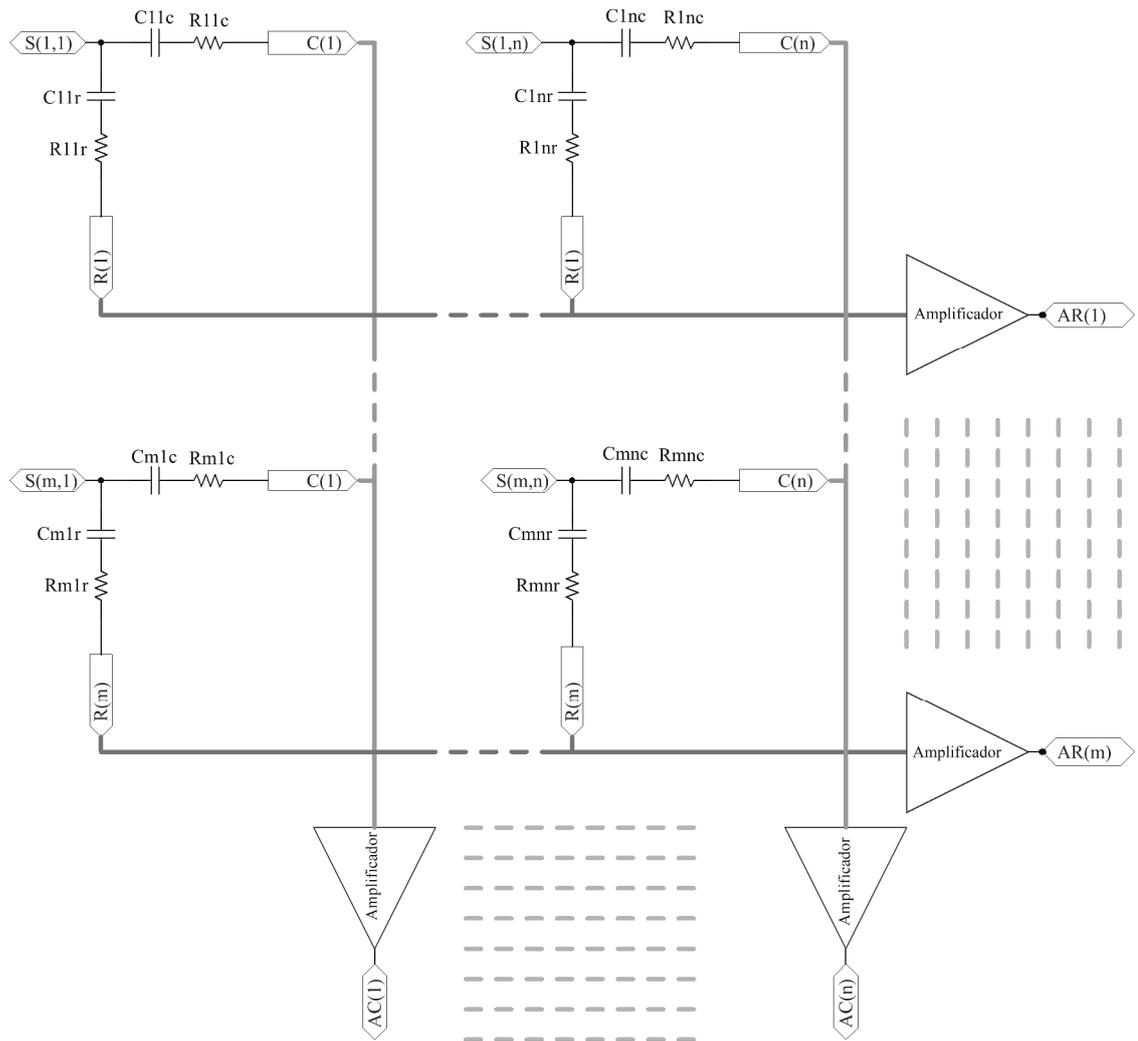


Fig. 7

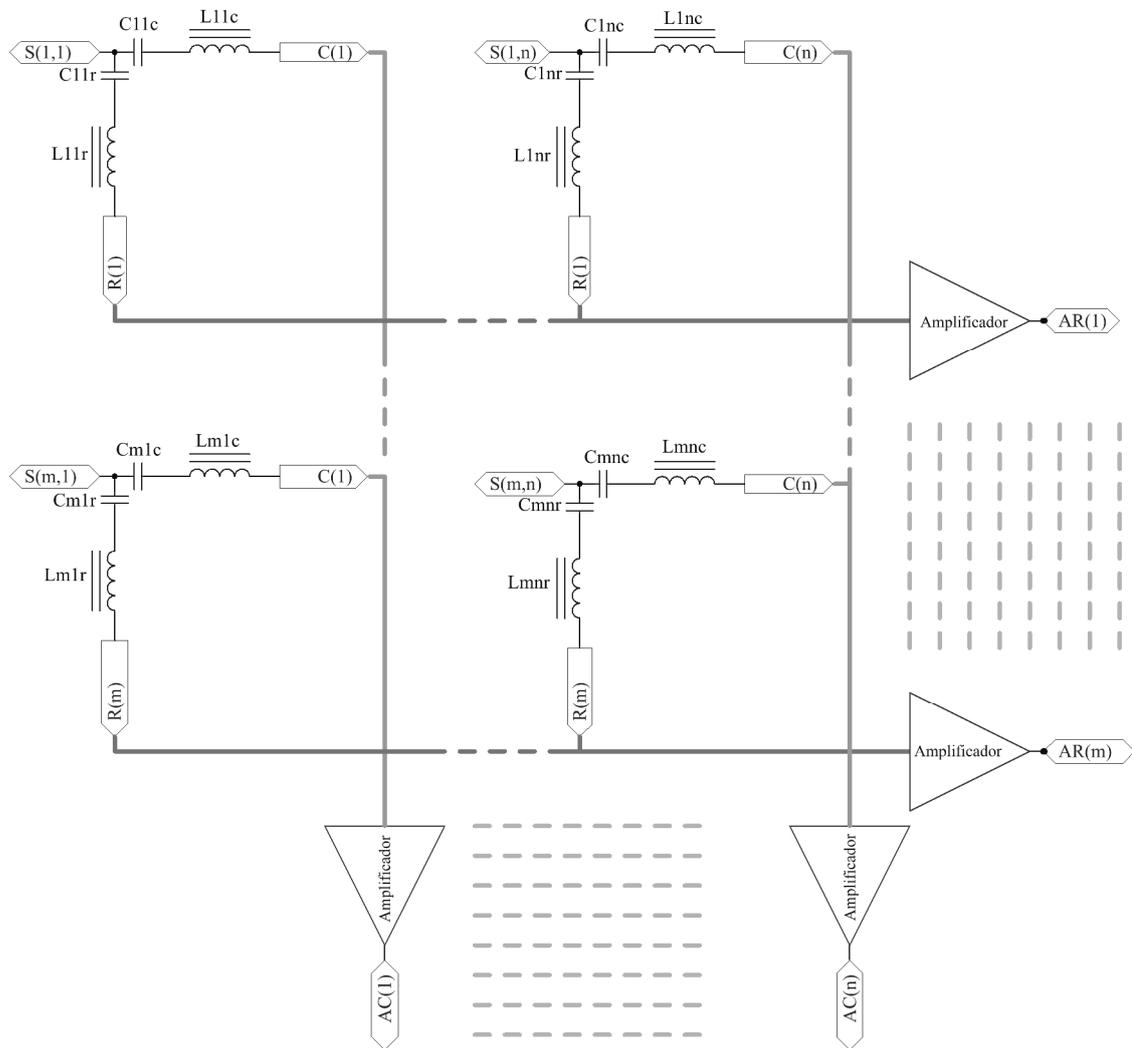


Fig. 8

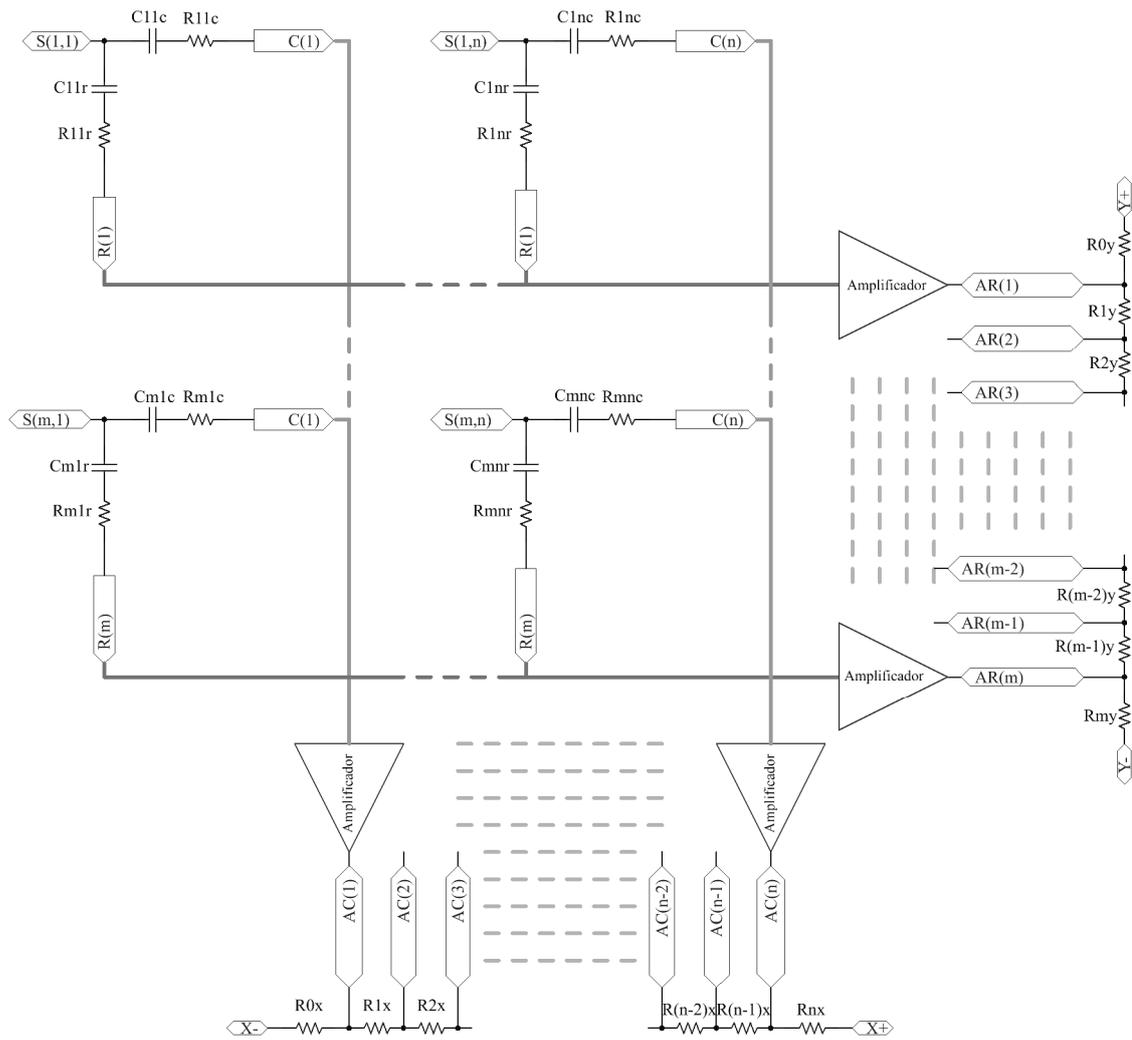


Fig. 9

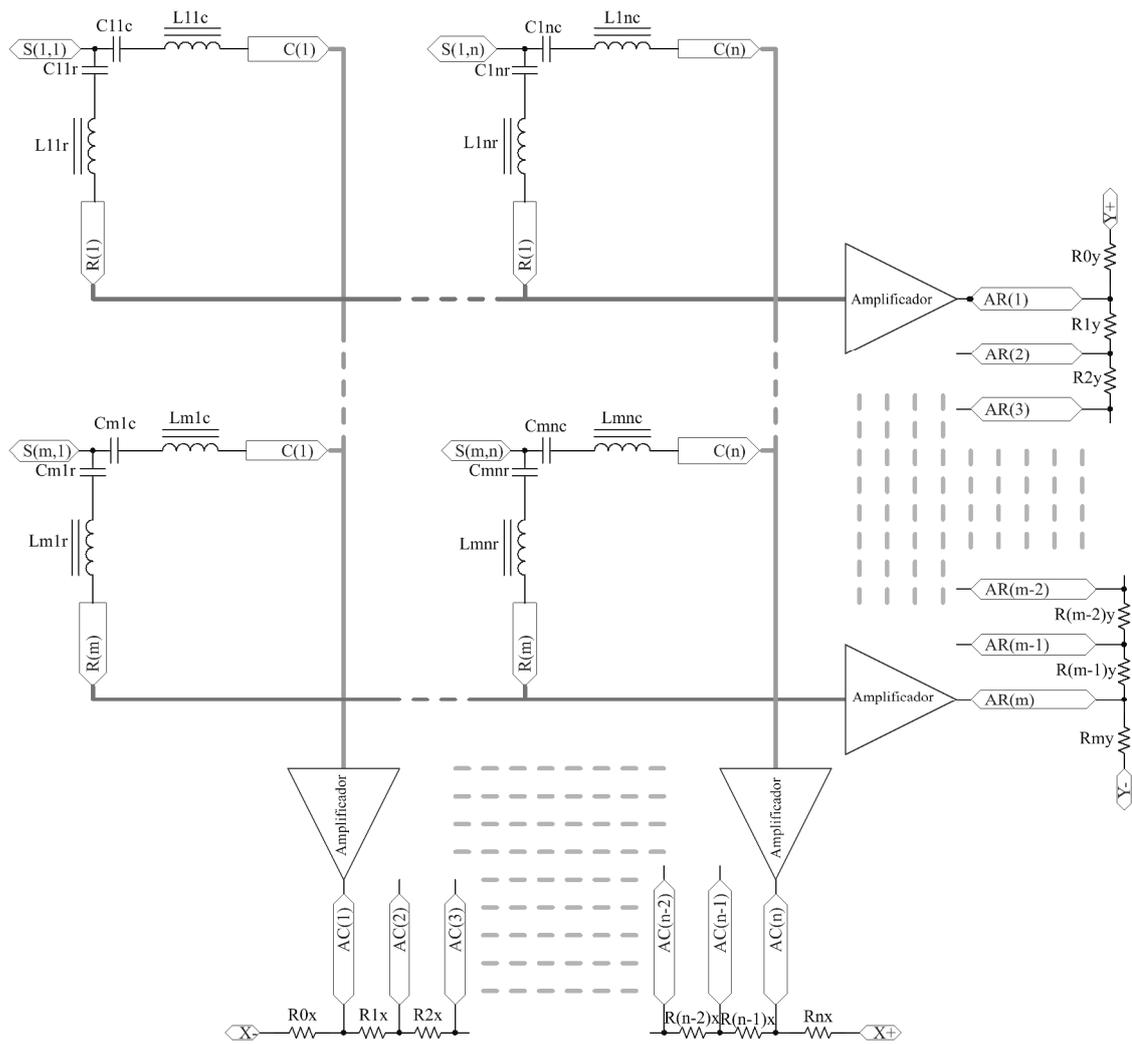


Fig. 10

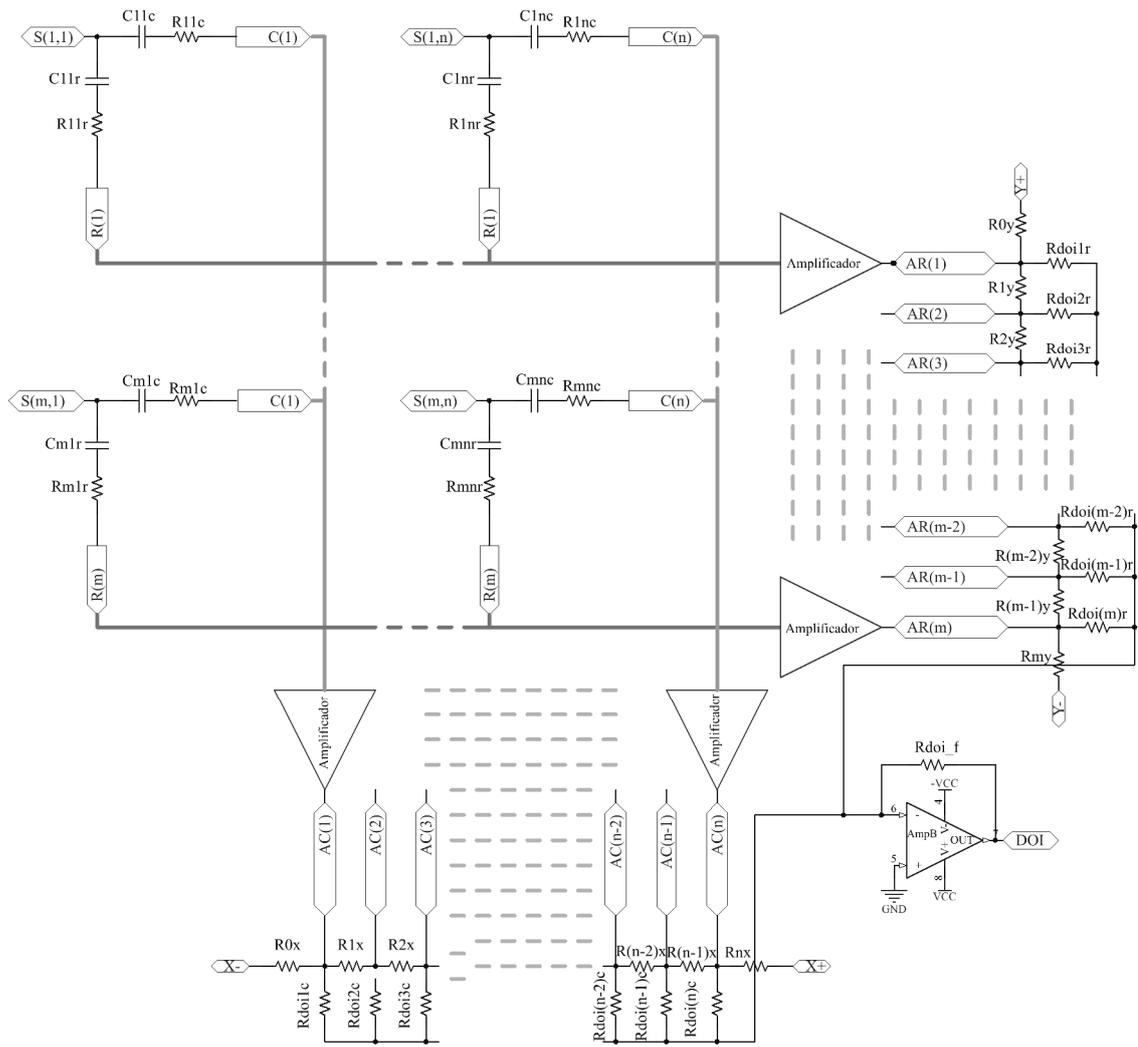


Fig. 11

