

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 497**

51 Int. Cl.:

G01S 7/28 (2006.01)

G01S 13/02 (2006.01)

G01S 13/42 (2006.01)

G01S 13/66 (2006.01)

G01S 13/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2012 E 12164336 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2511731**

54 Título: **Sistema de radar digital asistido por fotones**

30 Prioridad:

15.04.2011 IT TO20110336

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

07.06.2017

73 Titular/es:

**LEONARDO S.P.A. (100.0%)
Piazza Monte Grappa 4
Roma, IT**

72 Inventor/es:

**PIERNO, LUIGI;
DISPENZA, MASSIMILIANO;
GATTA, ALESSANDRO;
FIORELLO, ANNAMARIA;
SECCHI, ALBERTO y
RICCI, MASSIMO**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 615 497 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de radar digital asistido por fotones

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de radar digital asistido por fotones y, en particular, a un radar multimisión y multifuncional equipado con una antena de barrido electrónico activa (AESA), a la que se hará referencia en la siguiente descripción sin perderse en la generalidad.

10

Estado de la técnica

Como se conoce, por ejemplo, a partir del documento US 5.117.239, los sistemas de radar comprenden una antena configurada para recibir y transmitir señales de RF (radiofrecuencia); una sección de transmisión conectada a la antena y configurada para generar y transmitir señales de RF mediante la antena; y una sección de recepción conectada a la antena y configurada para recibir y procesar señales de RF recibidas de la antena, para cambiarlas a banda base o a una frecuencia intermedia, y convertirlas en señales digitales correspondientes, que después se procesan adecuadamente.

15

20

En particular, la sección de transmisión comprende un generador de formas de onda (WC), configurado para generar una señal de modulación constituida por una onda pulsada; y un modulador, configurado para modular una portadora con la señal de modulación y suministrar la señal de RF generada así a la antena para su transmisión.

25

La sección de recepción comprende en cambio un convertidor analógico-digital (ADC) configurado para recibir las señales de RF recibidas por la antena o las señales de banda base o de frecuencia intermedia correspondientes y convertirlas en señales digitales; y un procesador digital de señales (DSP) configurado para recibir y procesar las señales digitales suministradas por el convertidor analógico-digital y procesarlas adecuadamente.

30

La conversión analógica-digital de las señales de RF recibidas por la antena incluye un muestreo de las mismas mediante una señal de muestreo suministrada por un dispositivo electrónico de reloj adecuado. Actualmente, la frecuencia máxima de muestreo que se puede alcanzar es del orden de unos pocos GHz debido, principalmente, a las interferencias electromagnéticas a las cuales son propensos los convertidores analógico-digitales durante la operación de los mismos y a las limitaciones de rendimiento de los dispositivos electrónicos utilizados, y por lo tanto este tipo de arquitectura de conversión analógica-digital de hecho no se puede utilizar en todas aquellas aplicaciones en las que se necesita un muestreo del orden de varias decenas de GHz.

35

40

A tal fin, se ha sugerido el uso de dispositivos electrónicos analógicos en lugar de dispositivos digitales en la sección receptora. Sin embargo, tal solución no es práctica por que el comportamiento no lineal y el ruido de fase alto introducidos por los dispositivos electrónicos analógicos causan una limitación del rendimiento de los sistemas de radar tanto en términos de recepción de señal como en términos de procesamiento de datos coherentes.

Objeto y sumario de la invención

45

La presente invención proviene de la idea de utilizar convertidores analógico-digitales asistidos por fotones conocidos en sistemas de radar, en los que una señal eléctrica analógica que se va a convertir en digital se convierte primero en una señal óptica correspondiente, después se muestrea ópticamente y después se reconvierte en una señal eléctrica digital correspondiente.

50

En este tipo de convertidores analógico-digitales, la señal electrónica analógica modula una portadora óptica pulsada constituida por impulsos de luz de duración del orden de picosegundos (10-12 s), siendo esta una operación que corresponde a un muestreo óptico de la señal eléctrica analógica, y la señal óptica así generada se convierte entonces en una señal eléctrica digital mediante dispositivos de conversión electroópticos adecuados, normalmente fotodiodos.

55

Se describen ejemplos de convertidores analógico-digitales asistidos por fotones en el documento US 6.771.201 y en Pierno, L. et al: "A photonic ADC for radar and EW applications based on modelocked laser", Reunión temática internacional sobre fotónica de microondas (2008), organizada conjuntamente con la conferencia de fotónica de microondas de Asia-Pacífico 2008. MWP/APMP 2008., IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE. UU., 9 de septiembre de 2008 (9/9/2008), páginas 236-239, XP031358081, ISBN: 978-1-4244-2168-8.

60

Por lo tanto, el solicitante ha realizado un estudio exhaustivo destinado a identificar una arquitectura de las secciones de recepción y transmisión que al aprovechar las características de los convertidores analógico-digitales asistidos por fotones, permite mejorar el rendimiento de los sistemas de radar en su conjunto.

65

Según la presente invención, se proporciona un sistema de radar digital asistido por fotones, como se reivindica en las reivindicaciones adjuntas.

En términos generales, en el sistema de radar digital asistido por fotones según la presente invención se utiliza una señal óptica de reloj generada por un dispositivo láser de modo único bloqueado (dispositivo MLL) en el convertidor analógico-digital asistido por fotones tanto para llevar a cabo la conversión analógica-digital asistida por fotones como se ha descrito anteriormente como para sincronizar ventajosamente una pluralidad de dispositivos electrónicos presentes en el sistema de radar digital asistido por fotones.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra, esquemáticamente, un sistema de radar digital asistido por fotones, elaborado según dicta la presente invención;
 la figura 2 muestra, esquemáticamente, un convertidor analógico-digital asistido por fotones utilizado en el sistema de radar digital asistido por fotones mostrado en la figura 1;
 la figura 3 muestra, esquemáticamente, una primera arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones, elaborada según dicta la presente invención;
 la figura 4 muestra, esquemáticamente, una segunda arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones elaborada según dicta la presente invención;
 la figura 5 muestra, esquemáticamente, una tercera arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones elaborada según dicta la presente invención;
 la figura 6 muestra, esquemáticamente, una cuarta arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones elaborada según dicta la presente invención;
 la figura 7 muestra, esquemáticamente, una quinta arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones elaborada según dicta la presente invención; mientras
 la figura 8 muestra, esquemáticamente, una sexta arquitectura del sistema de radar digital asistido por fotones elaborada según dicta la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferentes de la invención

La presente invención se describirá ahora en detalle con referencia a las figuras adjuntas con el fin de permitir que un experto en la técnica la elabore y la utilice. Diversos cambios en las realizaciones descritas serán inmediatamente evidentes para un experto en la técnica y los principios genéricos descritos pueden aplicarse a otras realizaciones y aplicaciones sin apartarse, por ello, del alcance de protección de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, la presente invención no debe considerarse limitada a las realizaciones descritas e ilustradas, sino que en vez de eso confiere el alcance más amplio de protección, de acuerdo con los principios y características descritas y reivindicadas en el presente documento.

Con referencia a la figura 1, el número de referencia 1 indica en su conjunto un sistema de radar digital asistido por fotones que comprende esencialmente: una antena 2; una sección de transmisión 3 conectada a la antena 2 y configurada para generar y transmitir señales de RF SF1 mediante la propia antena 2; y una sección de recepción 4 conectada a la antena 2 y configurada para recibir y procesar las señales de RF SF2.

La antena 2 es del tipo de barrido electrónico activo, también conocida como “red de antenas en fase”, que comprende una pluralidad de subredes de antenas configuradas para generar un haz de antena que escanea el espacio para permitir llevar a cabo múltiples funciones de radar, tales como, por ejemplo, vigilancia del espacio aéreo y/o funciones de seguimiento de blancos y/o funciones de guía de misiles y/o funciones de guerra electrónica (EW).

En particular, la red de antenas en fase puede comprender una antena fija o una antena giratoria que se acopla a un bastidor o base de soporte (no mostrada) mediante elementos giratorios electromecánicos, por ejemplo, una articulación giratoria (del tipo conocido y no mostrada), estructurada para girar la antena con respecto a la base de soporte alrededor de un eje de revolución predeterminado (no mostrado), preferentemente un eje vertical.

Según una realización preferente mostrada en la figura 1, la sección de transmisión 3 comprende un generador de formas de onda 5 configurado para generar una onda pulsada constituida por una señal eléctrica de modulación SWG que comprende una secuencia de impulsos de radar de transmisión eléctrica; y un mezclador 6 que se configura para recibir en la entrada una portadora de transmisión eléctrica STALO y la señal de modulación SWG para generar la señal de RF SF1 que se va a transmitir mediante la antena 2.

En particular, el generador de formas de onda 5 se configura para recibir como entrada una señal eléctrica de reloj CK1 y cronometrar la generación de los impulsos de transmisión eléctrica que componen la señal eléctrica de modulación SWG basándose en la señal eléctrica de reloj CK1 recibida.

El mezclador 6 se conecta a la salida de un filtro 7, por ejemplo, un filtro de paso de banda, que a su vez se configura para recibir una señal eléctrica de reloj CK2 como entrada y filtra adecuadamente la propia señal electrónica de reloj CK2 para suministrar la portadora de transmisión STALO al modulador 6.

Con referencia a la realización mostrada en la figura 1, la sección de recepción 4 comprende un convertidor

análogo-digital asistido por fotones 8, que recibe una señal eléctrica analógica SE2, eco de la señal de RF SF2, desde la antena 2 mediante un filtro 10 de tipo preselector de paso de banda, que lleva a cabo un muestreo óptico de la señal eléctrica analógica SE2 para obtener una señal óptica muestreada SO1 y convierte la señal óptica muestreada SO1 en una señal eléctrica digital correspondiente.

5 En otras palabras, el convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 se configura para modular mediante la señal eléctrica analógica SE2 una portadora óptica pulsada constituida por impulsos de luz del orden de picosegundos (10^{-12} s) para obtener un muestreo óptico de la propia señal analógica SE2, que opera en un dominio de señal eléctrica analógica SE2 de alta frecuencia, es decir, que está comprendido en una primera banda de frecuencias, que se indica a continuación como "banda ancha" asociada a la banda operativa global del sistema de radar 1 y que corresponde a un intervalo de frecuencia comprendido entre aproximadamente 0 y 20-40 GHz, preferentemente 0-35 GHz;

- 15 - convertir la señal óptica muestreada SO1, obtenida a partir del muestreo, en una señal eléctrica analógica muestreada SEC;
- digitalizar la señal eléctrica analógica muestreada SEC para obtener una señal eléctrica digital SED, que opera tanto en el dominio de las señales ópticas SO1 como en el dominio de las señales eléctricas analógicas muestreadas SEC, a una frecuencia intermedia comprendida en una segunda banda de frecuencias, indicada a continuación como "banda instantánea", asociada a la banda operativa de hecho disponible en recepción.

20 En la descripción anterior cabe destacar que si la señal analógica de la banda de operación SE2 es una banda estrecha fraccionada, las extensiones de la banda instantánea pueden ser incluso inferiores a la banda de operación para algunas funciones.

25 En tal caso, el convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 reduce el muestreo de la señal analógica SE2, obteniéndose así la señal óptica muestreada SO1 de las bandas intermedias. Implícitamente, el convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 lleva a cabo una conversión descendente en la "banda instantánea" de la señal eléctrica analógica muestreada SEC.

30 La sección de recepción 4 está provista además de una unidad de procesamiento que comprende, por ejemplo, un procesador digital de señales 9, que se configura para recibir y procesar adecuadamente la señal eléctrica digital SED.

35 En la realización preferente mostrada en las figuras 1 y 2, el convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 comprende un dispositivo láser de modo bloqueado 11, que se configura para generar la señal óptica de reloj SS que comprende una secuencia de impulsos de luz, teniendo cada uno una duración del orden de picosegundos (10^{-12} s); y una fase de conversión analógica-digital asistida por fotones 21, que comprende, a su vez, un convertidor de muestreo electroóptico 12 que recibe la señal eléctrica analógica SE2 y la señal óptica de reloj SS de entrada y emite una señal eléctrica analógica muestreada SEC; y un convertidor electrónico analógico-digital 13, que recibe la señal eléctrica analógica muestreada SEC de entrada, y se configura para convertir la señal electrónica analógica muestreada SEC en la señal eléctrica digital SED.

45 En particular, el convertidor de muestreo electroóptico 12 se configura para modular una portadora óptica pulsada que corresponde a la señal óptica de reloj SS basándose en la señal eléctrica analógica SE2 para generar la señal óptica SO1 muestreada que comprende los muestreos ópticos asociados a la señal eléctrica analógica SE2 y convierte la propia señal óptica muestreada SO1 en la señal eléctrica analógica muestreada SEC que comprende las muestras eléctricas asociadas a las muestras ópticas.

50 Según la realización preferente mostrada en la figura 2, el dispositivo de conversión de muestreo electroóptico 12 está provisto de una unidad de modulación electroóptica 14, que comprende preferentemente un modulador Mach-Zender, que tiene una entrada óptica conectada a la salida del dispositivo laser de modo bloqueado 11 mediante un medio óptico 15 para recibir la señal óptica de reloj SS; una señal eléctrica conectada al filtro 10 para recibir la señal eléctrica analógica SE2; y una salida que genera la señal óptica muestreada SO1.

55 En particular, la unidad de modulación electroóptica 14 se configura para modular la portadora óptica pulsada basándose en la señal eléctrica analógica SE2 para generar la señal óptica muestreada SO1.

60 En la descripción anterior cabe destacar que la portadora óptica pulsada SS utilizada por la unidad de modulación electroóptica 14 puede tener una frecuencia inferior a la frecuencia de señal de radar SF2, si es banda estrecha fraccionada, y por lo tanto la señal de radar SF2 puede someterse a una reducción de muestreo. Esto es posible manteniendo una alta dinámica de la señal eléctrica analógica muestreada SEC, gracias a la alta estabilidad temporal de la portadora óptica pulsada SS (fluctuación rms $<10^{-14}$ s).

65 El dispositivo de conversión de muestreo electroóptico 12 está provisto además de una unidad de detección electroóptica 16, que se acopla ópticamente a la unidad de modulación electroóptica 14, mediante un medio óptico 15, para recibir en este último la señal óptica muestreada SO1 y, a diferencia del convertidor descrito en el

documento US6771201, se configura para convertir la señal óptica muestreada SO1 en la señal eléctrica analógica muestreada SEC que opera con convertidores electrónicos ADC 13 disponibles a frecuencias de banda instantáneas.

5 Según la realización preferida mostrada en la figura 2, la unidad de detección electroóptica 16 puede estar provista de al menos un convertidor electroóptico que comprende un fotodiodo (no mostrado), que está controlado por un medio electrónico de control (no mostrado) para cronometrar la conversión de la señal óptica muestreada SO1 en la señal eléctrica analógica muestreada SEC.

10 El convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 comprende además un filtro 20, por ejemplo, un filtro de paso bajo *antialiasing* de Nyquist que recibe como entrada la señal eléctrica de muestreo SEC y filtra esta última en la banda instantánea para introducirla en el convertidor electrónico analógico-digital 13.

15 Según la realización preferida mostrada en las figuras 1 y 2, la señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo bloqueado 11, además de utilizarse convenientemente por el sistema de radar 1 como portadora óptica pulsada para obtener la señal óptica muestreada SO1 por modulación, se utiliza ventajosamente para obtener las señales eléctricas de reloj CK1, CK3, CK4 utilizadas por el generador de formas de onda 5, por el convertidor electrónico analógico-digital 13 y por el procesador digital de señales 9, respectivamente.

20 A tal fin, el sistema de radar 1 comprende una serie de unidades de detección electroópticas 22, 23 y 24 que tienen una entrada conectada ópticamente a la salida del dispositivo láser de modo bloqueado 11 mediante un medio óptico 15 para generar la señal óptica de reloj SS, y emitir las señales eléctricas de reloj CK1, CK3 y CK4 respectivas, que se van a suministrar al generador de formas de onda 5, al convertidor electrónico analógico-digital 13, y al procesador digital de señales 9, respectivamente.

25 En otras palabras, el generador de formas de onda 5, el convertidor electrónico analógico-digital 13 y el procesador digital de señales 9 operan, es decir, se cronometran, independientemente entre sí, basándose en las señales eléctricas de reloj CK1, CK3 y CK4 correspondientes, respectivamente, cada una de las cuales se obtiene a partir de la señal óptica de reloj SS, preferentemente, pero no necesariamente mediante una adaptación/reducción de frecuencia adecuada.

30 En este caso concreto, la unidad de detección electroóptica 22 se conecta al dispositivo láser de modo bloqueado 11 mediante un dispositivo divisor de frecuencia 22a (división 1:N), que se configura para recibir como entrada la señal óptica de reloj SS para emitirla a una frecuencia reducida, apropiada así para generar la señal eléctrica de reloj CK1 que se va a suministrar al generador de formas de onda 5.

35 Según la realización preferente mostrada en la figura 1, la señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo bloqueado 11, además de ser utilizada por el sistema de radar 1 como portadora óptica pulsada de la señal óptica SO1 y referencia de reloj para generar señales eléctrica de reloj CK1, CK3 y CK4, se utiliza convenientemente para generar la señal eléctrica de reloj CK2 utilizada para generar la portadora de transmisión eléctrica STALO para suministrar al modulador 6.

40 A tal fin, el sistema de radar 1 comprende otra unidad de detección electroóptica 25, que tiene una entrada conectada ópticamente a la salida del dispositivo láser de modo bloqueado 11, mediante un medio óptico 15 para recibir la señal óptica de reloj SS, y emite la portadora eléctrica STALO que suministra al modulador 6, mediante el filtro 7.

45 En la descripción anterior cabe destacar que la arquitectura de las unidades de detección electroópticas 22, 23, 24 y 25 es sustancialmente similar a la unidad de detección electroóptica 16, es decir, puede estar provista de un convertidor electroóptico que comprende un fotodiodo configurado para convertir (de manera conocida y, por tanto, no descrita en detalle) los impulsos de luz en impulsos eléctricos que tienen una frecuencia reducida adecuada según la sincronización del dispositivo electrónico al que se suministran, mientras que el medio óptico 15 puede elaborarse mediante guías de ondas que comprenden filtros ópticos para transmitir la señal óptica de reloj SS.

50 En la descripción anterior, cabe destacar que la frecuencia de la señal eléctrica de reloj CK2 utilizada para generar la portadora eléctrica STALO que se va a introducir en el mezclador 6 es diferente de la frecuencia de la señal óptica de reloj SS (las dos señales no pueden ser múltiples) para asegurar una correcta ejecución del muestreo óptico mediante una unidad de modulación electroóptica 14 y la unidad de detección electroóptica 16.

55 La sección de recepción 4 del sistema de radar 1 descrita anteriormente puede elaborarse ventajosamente según diferentes arquitecturas, en cada una de las cuales se utiliza una señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo único bloqueado 11 presente en el convertidor analógico digital asistido por fotones 8 tanto para llevar a cabo la conversión analógico-digital asistida por fotones de la señal eléctrica de muestreo SE2 analógica en la señal digital SED como para generar las señales eléctricas de reloj CK1, CK2, CK3 y CK4.

60 Las figuras 3 y 4 muestran, esquemáticamente, dos posibles arquitecturas asistidas por fotones diferentes de la

sección de recepción 4 de un sistema de radar 1, en la que la antena de barrido electrónico activa 2 comprende una pluralidad de subredes de antenas 29 conectadas al procesador digital de señales 9 mediante un convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 que comprende el dispositivo láser de modo bloqueado 11 que genera la señal óptica de reloj SS y una pluralidad de fases de conversión analógica-digital asistidas por fotones 21, cada una de las cuales conecta una subred de antena 29 relativa al procesador digital de señales 9 y está adaptada para recibir una portadora óptica pulsada obtenida basándose en la señal óptica de reloj obtenida basándose en la señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo único bloqueado 11.

En particular, la arquitectura de la sección de recepción 4 mostrada en la figura 3 presenta una aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en los denominados sistemas de radar 1 "multimisión", es decir, sistemas equipados con una antena multicanal 2 receptora de barrido electrónico activa y conocida como "radares M-AESA" (red multimisión de barrido electrónico activa, M-AESA).

En la realización preferente mostrada en la figura 3, la antena 2 comprende una parte de antena giratoria indicada por el número de referencia 30, en la que están alojadas las subredes de antenas 29; y una parte de antena fija, indicada por el número de referencia 31, que acomoda el procesador digital de señales 9, y puede estar dispuesta bajo la parte giratoria 30 para formar la base de soporte de la propia antena giratoria o, alternativamente, puede estar dispuesta en una parte remota con respecto a la propia parte de antena giratoria 30.

La sección de recepción 4 de la antena multicanal de barrido electrónico activa 2 mostrada en la figura 3 tiene una arquitectura en la que cada una de las fases de conversión analógica-digital asistida por fotones 21 asociadas a las subredes de antenas 29 han alojado la unidad de modulación electroóptica 14 respectiva en la parte de antena giratoria 30, mientras que los componentes restantes, es decir, la unidad de detección electroóptica 16 y el convertidor analógico-digital electrónico 13 se disponen en la parte de antena fija 31.

En particular, la arquitectura de la sección receptora 4 de la antena multireceptora de barrido electrónico activa incluye que el dispositivo láser de modo bloqueado 11 esté alojado en la parte de antena giratoria 30, mientras que la unidad de detección electroóptica 23 que genera las señales eléctricas de reloj CK3 que se van a suministrar a los convertidores analógico-digitales electrónicos 13 esté alojada en la parte de antena fija 31.

La arquitectura de la sección de recepción 4 de la antena multireceptora de barrido electrónico activa 2 incluye además que la señal óptica muestreada SO1 generada por cada unidad de modulación electroóptica 14 y la señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo bloqueado 11 se comunican a la unidad de detección electroóptica 16 y a la unidad de detección electroóptica 23, respectivamente, mediante el medio óptico 15 dispuesto en la articulación giratoria 32 acoplada a la parte de antena giratoria 30 y/o a la parte de antena fija 31.

Además, cabe destacar que las señales eléctricas de muestreo SEC son ventajosamente procesadas por el procesador digital de señales 9 que se dispone en una posición remota con respecto a la posición de la parte de antena giratoria 30, mientras que el flujo de impulsos de luz que forman la señal óptica muestreada SO1 y atraviesan el medio óptico 15 en la articulación giratoria 32 se puede obtener mediante técnicas de modulación del tipo de Multiplexación por Dominio de Longitud de onda.

En cambio, la arquitectura de la sección de recepción 4 mostrada en la figura 4 presenta una aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en los sistemas de radar M-AESA 1 provistos de una antena multireceptora de barrido electrónico activa 2 de tipo fijo, provista de una parte de antena fija 31.

En particular, la arquitectura mostrada en la figura 4 difiere de la arquitectura mostrada en la figura 3 por que la parte de antena fija 31 aloja: las subredes de antenas 29, el dispositivo láser de modo bloqueado 11 y la conversión analógico-digital asistida por fotones 21 asociada a las subredes de antenas 29.

En la descripción anterior cabe destacar que las arquitecturas mostradas en las figuras 3 y 4 están convenientemente adaptadas para utilizarse en sistemas de radar M-AESA por que permiten obtener el haz de antena asociado a las subredes de antenas 29 directamente en el dominio eléctrico digital, convenientemente utilizando una única señal óptica de reloj en el "extremo frontal" de la antena, disponible gracias a la presencia del dispositivo láser de modo bloqueado 11 contenido en el convertidor analógico-digital asistido por fotones 8.

La figura 5 ilustra, esquemáticamente, una arquitectura diferente de la sección de recepción 4 de un sistema de radar 1, en la que la antena multireceptora de barrido electrónico activa comprende un dispositivo formador de haz de RF analógico 33 que opera en el dominio de señal de RF, que recibe como entrada las señales eléctricas analógicas SE2 asociadas a las señales de RF SF2 recibidas desde las subredes de antenas 29 y se configura para combinar las propias señales eléctricas analógicas SE2 (de manera conocida y, por tanto, no descritas en detalle) para emitir tres señales eléctricas analógicas Σ , Δ_z y Δ_e , que indican la forma angular (forma gaussiana, etc.), el ángulo oscilante o de azimut y el ángulo de elevación del haz de antena, respectivamente.

La arquitectura mostrada en la figura 5 incluye además un convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 provisto de tres fases de conversión analógica-digital asistidas por fotones 21 que reciben en entrada la señal óptica

de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo bloqueado 11 y las tres señales analógicas Σ , Δz y Δel , y emiten las señales eléctricas Σ , Δz y Δel en el formato digital para alimentarse al procesador digital de señales 9 que las procesa para determinar la información de radar requerida.

5 De manera similar a la arquitectura mostrada en la figura 3, la arquitectura mostrada en la figura 5 presenta una aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en los sistemas de radar M-AESA 1 provistos de una parte de antena giratoria 30, una parte de antena fija 31 y una articulación giratoria 32.

10 En particular, la parte de antena giratoria 30 aloja las subredes de antenas 29 y el dispositivo formador de haz de RF analógico 33, mientras que la parte de antena fija 31 aloja el dispositivo láser de modo bloqueado 11, las tres fases de conversión analógico-digital asistidas por fotones 21, la unidad de detección electroóptica 23 configurada para proporcionar las señales eléctricas de reloj CK3 a cada convertidor eléctrico analógico-digital 13 basándose en la señal óptica de reloj SS producida por el dispositivo láser de modo bloqueado 11; y el procesador digital de señales 9.

15 Las señales de haz Σ , Δz y Δel generadas por el dispositivo formador de haz de RF analógico 33 se suministran al convertidor analógico-digital asistido por fotones 8 mediante el medio eléctrico (no mostrado) dispuesto en la articulación giratoria 32.

20 De manera similar a las arquitecturas mostradas en la figura 4, la arquitectura de la sección receptora 4 mostrada en la figura 6 presenta una aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en los sistemas de radar M-AESA 1 provistos únicamente de una parte de antena fija 31.

25 En particular, la arquitectura mostrada en la figura 6 difiere de la arquitectura mostrada en la figura 5 por que, por una parte, no incluye el uso de una articulación giratoria y, por otra parte, la parte de antena fija 31 también aloja la unidad de detección electroóptica 22, el dispositivo láser de modo bloqueado 11 y las tres conversiones analógico-digitales asistidas por fotones 8, además de las subredes de antenas 29 y el dispositivo formador de haz RH analógico 33.

30 La figura 7 muestra, esquemáticamente, una arquitectura diferente de la sección de recepción 4 de un sistema de radar 1, ventajosamente, pero no exclusivamente aplicable en aplicaciones de radar de banda ancha instantáneas, tales como, por ejemplo, aplicaciones electrónicas de guerra o sistemas de antenas M-AESA.

35 En particular, en la arquitectura mostrada en la figura 7, la fase de conversión analógico-digital asistida por fotones 21 comprende una unidad de detección de conmutación de entrelazado 40, que se configura para: recibir en entrada la señal óptica muestreada SO1 generada por la unidad de modulación electroóptica 14 basándose en una frecuencia de muestreo asociada a la señal óptica de reloj SS; e implementa una paralelización de la señal óptica muestreada SO1 para obtener/emitar una pluralidad de señales eléctricas analógicas de muestreo SEC que tienen frecuencias inferiores a la frecuencia óptica de muestreo.

40 La unidad de detección de conmutación de entrelazado 40 suministra las señales eléctricas analógicas de muestreo SEC a una pluralidad de convertidores electrónicos analógico-digitales 13 que las convierten en señales eléctricas digitales SED. Tales convertidores electrónicos ADC pueden tener una banda operativa que es la décima parte de la del muestreo contenido en SO1.

45 Los convertidores electrónicos analógico-digitales 13 operan basándose en las señales eléctricas de reloj CK3 obtenidas mediante una unidad de detección electroóptica 23, que puede configurarse, a su vez, para gestionar la secuencia de impulsos ópticos de alta velocidad de la señal óptica de reloj SS generada por el dispositivo láser de modo bloqueado 11 mediante técnicas de modulación del tipo WDM (Multiplexación por División de Longitud de onda) o del tipo TDM (Multiplexación por División de Tiempo).

50 La figura 8 muestra una posible aplicación de la arquitectura mostrada en la figura 7 en un sistema de radar 1 provisto de una antena multireceptora de barrido electrónico activa 2 que comprende una pluralidad de subredes de antenas 29.

55 Las subredes de antenas 29 se conectan al procesador digital de señales 9 mediante una pluralidad de fases de conversión analógico-digital asistidas por fotones 21, cada una de las cuales está provista de una unidad de detección de conmutación de entrelazado 40.

60 En la descripción anterior merece la pena especificar que la sección de recepción 4 del sistema de radar 1 ilustrada en la figura 8, gracias a la configuración descrita anteriormente, permite reducir ventajosamente la velocidad de muestreo del convertidor electrónico analógico-digital de muestreo 13 y, por tanto, obtener una dinámica mejor, es decir, un mejor número efectivo real de bits ENOB en la salida de los propios convertidores electrónicos analógico-digitales 13.

65 El sistema de radar descrito anteriormente es extremadamente ventajoso por que, además de llevar a cabo la

digitalización completa de la señal de radar de RF en una banda ancha, permite utilizar la señal óptica de reloj generada por el dispositivo MLL presente en el convertidor analógico-digital asistido por fotones para obtener las señales eléctricas de reloj presentes en el propio sistema de radar. El uso de la señal óptica de reloj determina además una reducción drástica de la interferencia electromagnética con respecto a los sistemas de radar conocidos.

- 5 Por último, resulta evidente que se pueden hacer cambios y variaciones a lo que se ha descrito e ilustrado anteriormente sin apartarse del alcance de protección de la presente invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de radar digital asistido por fotones (1) que comprende:

- 5 - una antena de barrido electrónico activa (2);
- una sección de transmisión (3) conectada a la antena (2) y configurada para generar y transmitir señales de RF (SF1) a través de la antena (2); y
- una sección de recepción (4) conectada a la antena (2) y configurada para recibir y procesar señales eléctricas analógicas (SE2) asociadas a señales de RF recibidas (SF2);

10 comprendiendo la sección de transmisión (3):

- un generador de formas de onda (5) configurado para generar una señal de modulación eléctrica en la forma de una onda pulsada (SWG); y
- 15 - un modulador (6) configurado para recibir una portadora de transmisión eléctrica (STALO) y la señal eléctrica de modulación (SWG) y modular la portadora de transmisión (STALO) mediante la señal de modulación (SWG), generando así una señal de radiofrecuencia (SF1) que se va a transmitir a través de la antena (2);

caracterizado por que la sección de recepción (4) comprende:

- 20 - un medio de conversión analógico-digital asistido por fotones (8) configurado para convertir las señales eléctricas analógicas (SE2) en señales eléctricas digitales (SED) correspondientes; y
- un medio de procesamiento de señales digitales (9) configurado para recibir y procesar las señales eléctricas digitales (SED);

25 en el que el medio de conversión analógico-digital asistido por fotones (8) comprende:

- un dispositivo láser de modo bloqueado (11) configurado para generar una señal óptica de reloj (SS); y
- un medio electrónico de conversión analógico-digital (13);
- 30 el medio electrónico de conversión analógico-digital (13), el generador de formas de onda (5), el modulador (6) y el medio de procesamiento de señales digitales (9) están configurados para operar basándose en las señales eléctricas de reloj (CK3), (CK1), (CK2), (CK4) respectivas generadas basándose en la señal óptica de reloj (SS).

35 2. Un sistema según la reivindicación 1, en el que el medio de conversión analógico-digital asistido por fotones (8) comprende al menos una fase de conversión analógico-digital asistida por fotones (21) que comprende:

- al menos una unidad de modulación (14) configurada para modular una portadora óptica pulsada obtenida basándose en la señal óptica de reloj (SS) mediante una señal eléctrica analógica (SE2) asociada a una señal de RF (SF2) recibida por la antena (2), generando así una señal óptica muestreada (SO1) que contiene muestras de la señal eléctrica analógica (SE2) recibida por la antena (2);
- 40 - al menos una unidad de detección electroóptica (16) configurada para convertir una señal óptica muestreada (SO1) en una señal eléctrica analógica muestreada (SEC) correspondiente;
- al menos un convertidor electrónico analógico-digital (13) configurado para convertir la señal eléctrica analógica muestreada (SEC) en una señal digital eléctrica (SED) correspondiente para el medio de procesamiento de señales digitales (9).
- 45

50 3. Un sistema según la reivindicación 1, en el que una frecuencia de la señal óptica de reloj (SS) es inferior a, y no un submúltiplo de, una frecuencia de una señal de RF (SF2) recibida; estando el medio de conversión analógico-digital asistido por fotones (8) configurado para submuestrear la señal eléctrica analógica (SE2) correspondiente, para llevar a cabo una conversión descendente de la banda de frecuencia instantánea de la señal eléctrica analógica muestreada (SEC) y obtener la señal óptica muestreada (SO1) con una banda de frecuencia intermedia.

55 4. Un sistema según las reivindicaciones 2 o 3, en el que la antena (2) está diseñada para alojar al menos una unidad de modulación electroóptica (14) operable para generar la señal óptica muestreada (SO1), y al menos un dispositivo de entrelazado (40) configurado para recibir la señal óptica muestreada (SO1) desde la unidad de modulación electroóptica (14); paralelizar la señal óptica muestreada (SO1) para emitir una pluralidad de señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) con frecuencias inferiores a una frecuencia de la señal óptica de reloj (SS); y suministrar las señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) a los convertidores electrónicos analógico-digitales (13) correspondientes operables para convertir las señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) en señales de radar eléctricas digitales (SED) correspondientes.

60

65 5. Un sistema según las reivindicaciones 2 o 3, en el que la antena (2) es una red de antenas en fase que comprende una base de antena fija (31) y una parte de antena (30) montada de manera rotatoria sobre la base de antena (31) y que comprende una pluralidad de subredes de antenas (29), cada una de las cuales se configura para emitir una señal eléctrica analógica (SE2) asociada a una señal de RF (SF2) correspondiente recibida por la subred de antena (29);

diseñándose la parte de antena (30) para alojar el dispositivo láser de modo bloqueado de manera operable para generar la señal óptica de reloj (SS);
la base de antena (31) está diseñada para alojar:

- 5 - una pluralidad de unidades de detección electroópticas (16) configuradas para recibir señales ópticas muestreadas (SO1) desde las unidades de modulación electroóptica (14) correspondientes a través de un medio óptico (15) dispuestos en una articulación giratoria (32) asociada a la parte de antena (30) y para convertir las señales ópticas muestreadas (SO1) en señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) correspondientes;
- 10 - una pluralidad de convertidores electrónicos analógico-digitales (13) configurados para operar basándose en las señales eléctricas de reloj (CK3) correspondientes obtenidas basándose en la señal óptica de reloj (SS) para convertir las señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) asociadas a las señales ópticas muestreadas (SO1), en señales eléctricas digitales (SED) respectivas; y
- 15 - un medio de procesamiento de señales digitales (9) configurado para procesar las señales eléctricas digitales (SED).

6. Un sistema según las reivindicaciones 2 o 3, en el que la antena (2) comprende una parte de antena fija (31) configurada para alojar:

- 20 - el dispositivo láser de modo bloqueado (11);
- una pluralidad de fases de conversión analógico-digitales asistidas por fotones (21) configuradas para recibir las señales eléctricas analógicas (SE2) asociadas a las señales de RF (SF2) recibidas por las subredes de antenas (29); muestrear ópticamente las señales eléctricas analógicas (SE2) para obtener las señales ópticas muestreadas (SO1) correspondientes; convertir las señales ópticas muestreadas (SO1) en las señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) correspondientes; y después convertir las señales eléctricas analógicas muestreadas (SEC) asociadas a las señales ópticas muestreadas (SO1) en señales eléctricas digitales (SED) correspondientes.
- 25

7. Un sistema según las reivindicaciones 2 o 3, en el que la antena (2) es una red de antenas en fase que comprende una base de antena fija (31) y una parte de antena (30) montada de manera rotatoria sobre la base de antena (31) y que comprende una pluralidad de subredes de antenas (29), cada una de las cuales se configura para emitir una señal eléctrica analógica (SE2) asociada a una señal de RF (SF2) correspondiente recibida por la subred de antena (29);

diseñándose la parte de antena (30) para alojar:

- 35 - el dispositivo láser de modo bloqueado (11) operable para generar la señal óptica de reloj (SS);
- un dispositivo formador de haz de RF analógico (33) configurado para recibir las señales eléctricas analógicas (SE2) asociadas a las señales de RF (SF2) que forman el haz de antena y que son recibidas por las subredes de antenas (29); y combinar las señales eléctricas analógicas (SE2) para emitir tres señales eléctricas analógicas (Σ), (Δ_{az}) y (Δ_{el}) que indican la forma angular, de ángulo oscilante o de azimut y del ángulo de elevación del haz de antena, respectivamente; y
- 40 - un medio de conversión analógico-digital asistido por fotones (8) configurado para recibir las tres señales eléctricas analógicas (Σ), (Δ_{az}) y (Δ_{el}) a través de un medio eléctrico alojado en una articulación giratoria (32) asociada a la parte de antena (30); muestrear ópticamente las tres señales eléctricas analógicas (Σ), (Δ_{az}) y (Δ_{el}) para emitir tres señales ópticas muestreadas correspondientes; convertir las tres señales ópticas muestreadas en tres señales eléctricas analógicas (Σ), (Δ_{az}) y (Δ_{el}) correspondientes; y convertir las tres señales eléctricas analógicas (Σ), (Δ_{az}) y (Δ_{el}) en tres señales eléctricas digitales (SED) correspondientes.
- 45

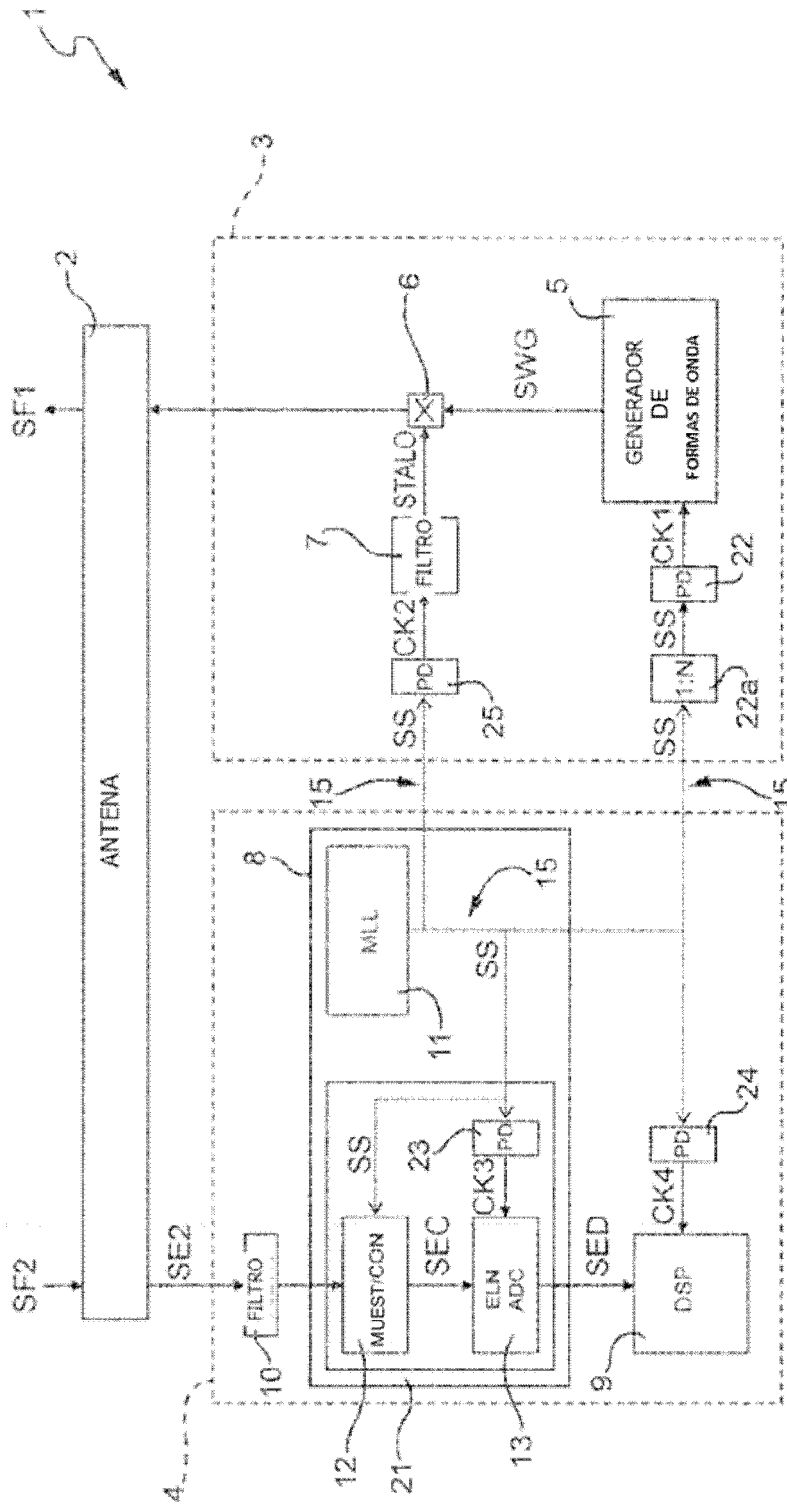


FIG. 1

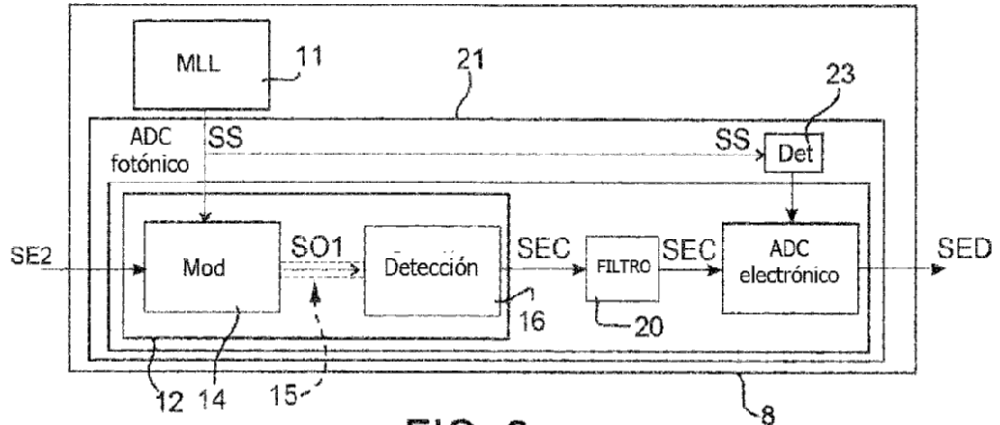


FIG. 2

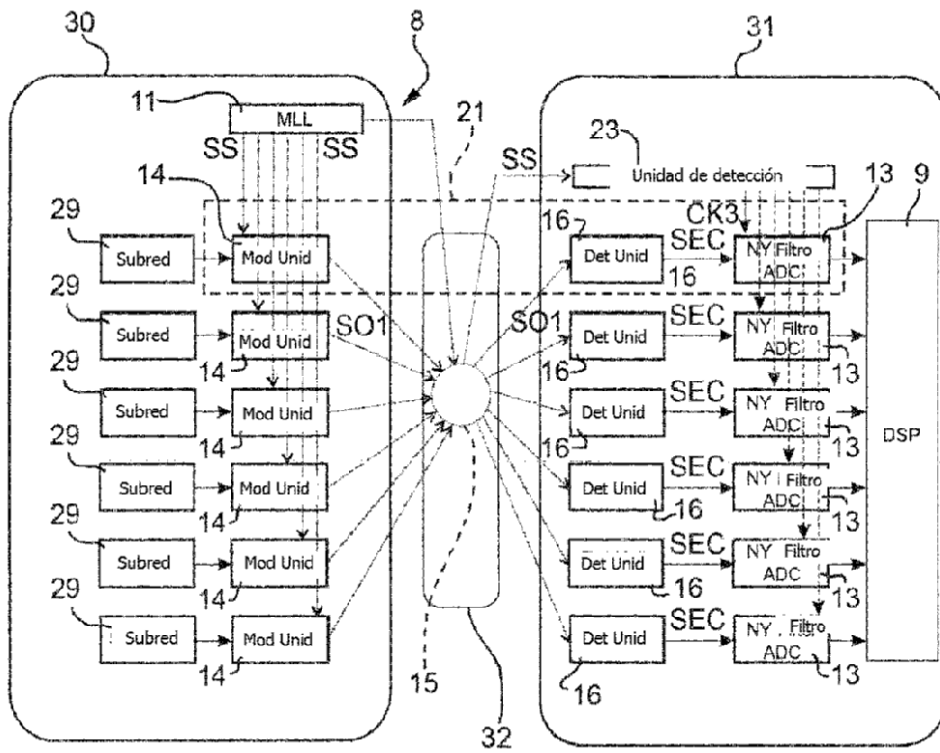


FIG. 3

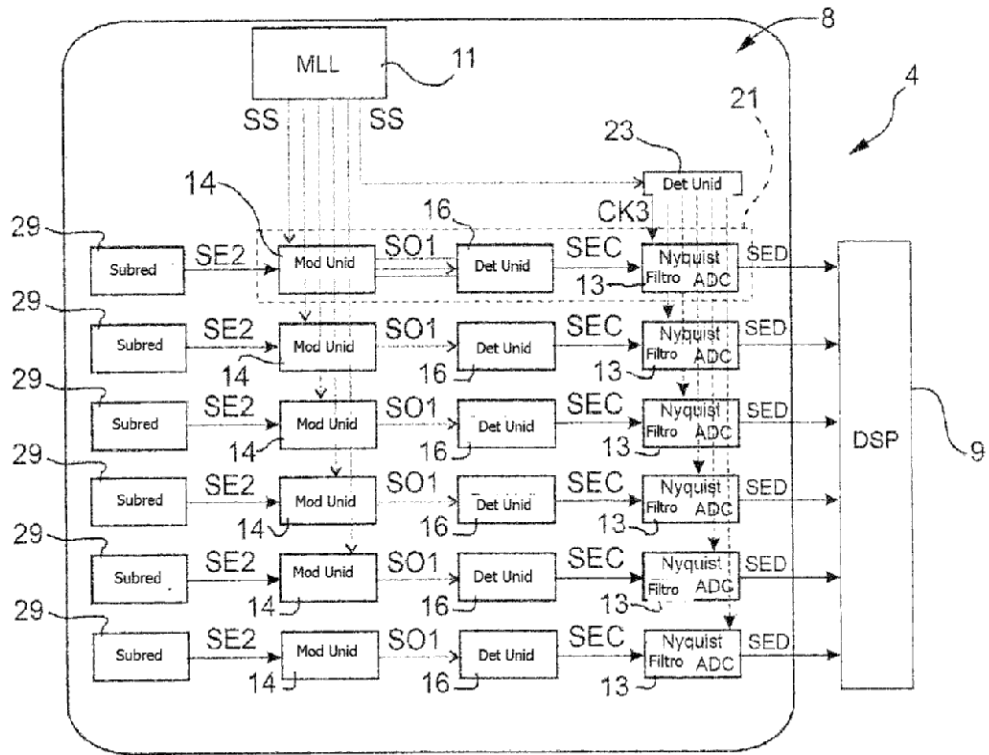


FIG. 4

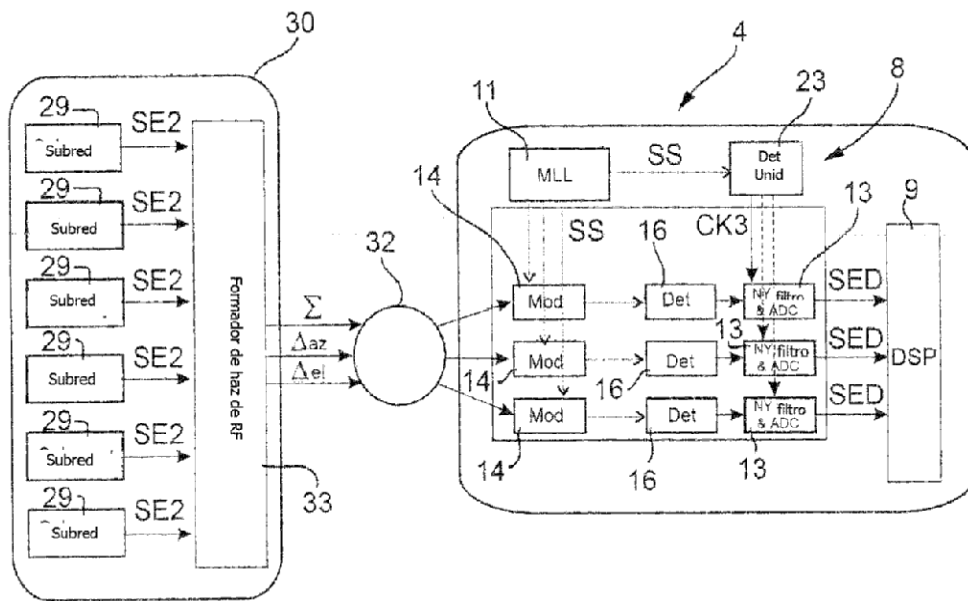


FIG. 5

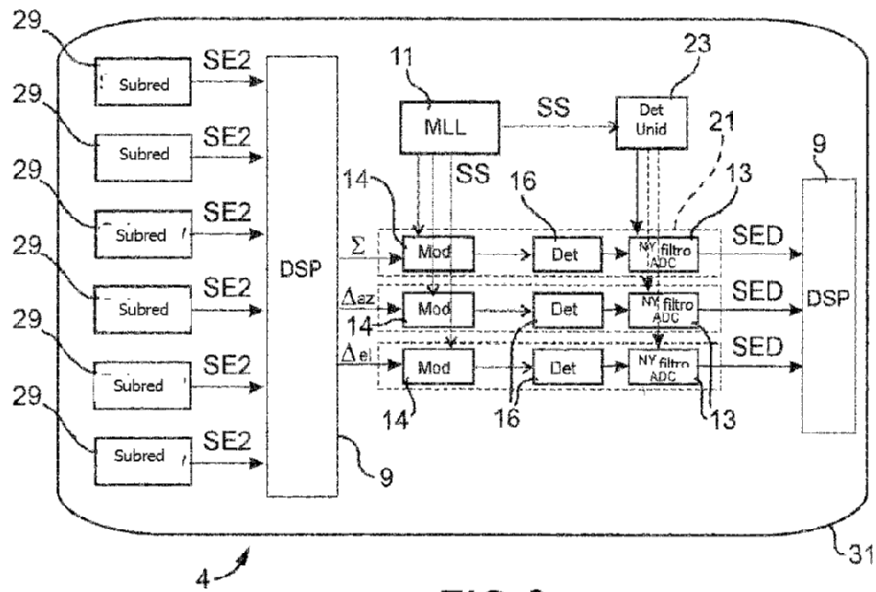


FIG. 6

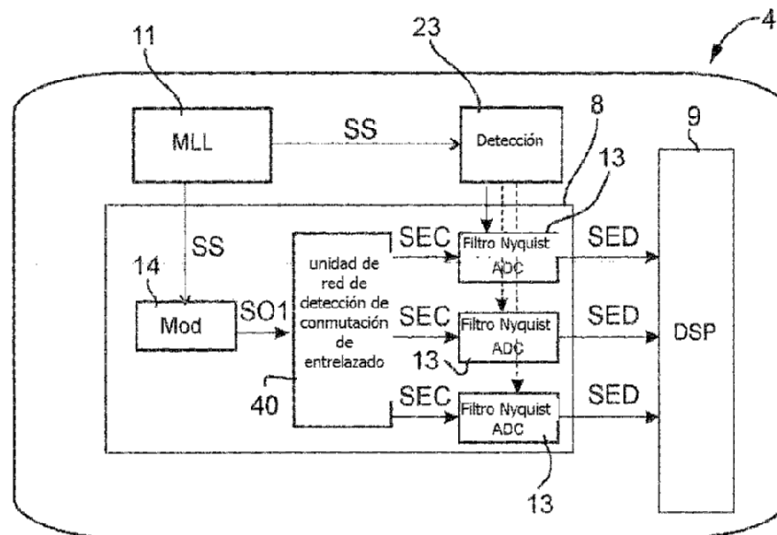


FIG. 7

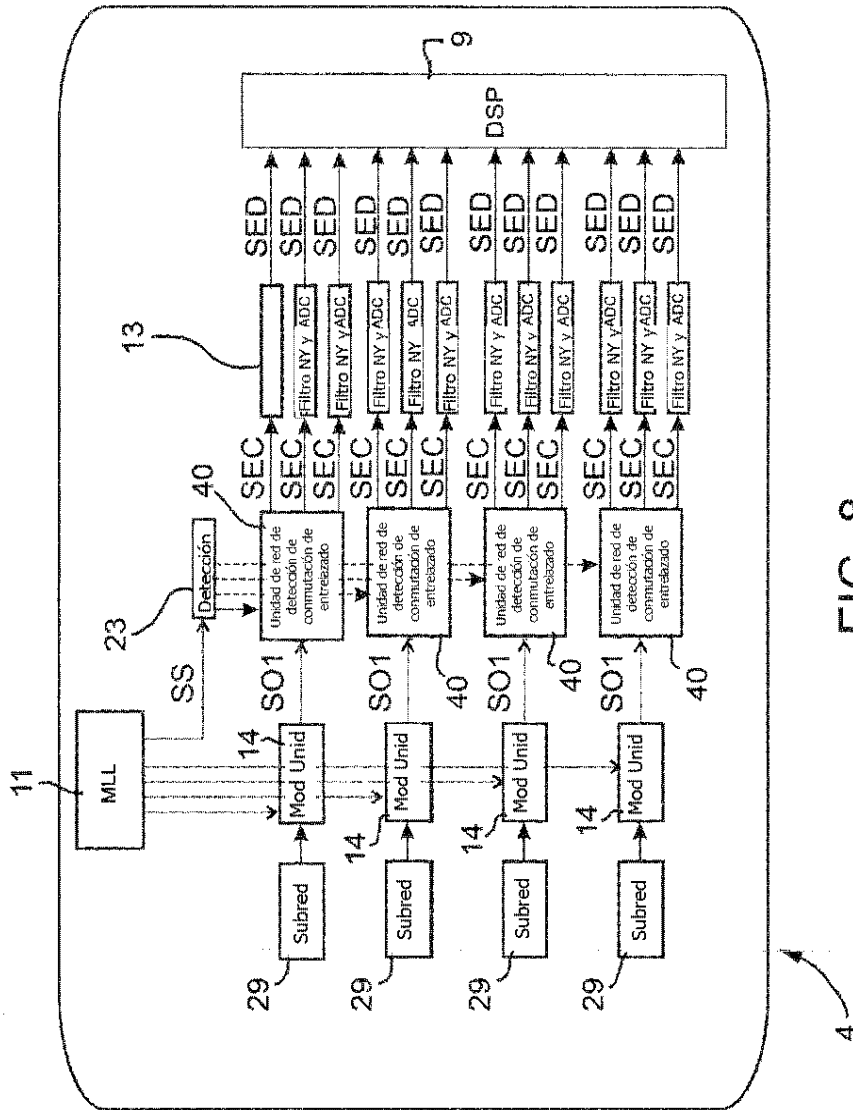


FIG. 8