

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 212**

51 Int. Cl.:

G01S 13/78 (2006.01)

H03G 3/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2010** **E 10196621 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015** **EP 2343572**

54 Título: **Dispositivo de detección de señales de impulsos con sensibilidad mejorada**

30 Prioridad:

30.12.2009 FR 0906396

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

17.08.2015

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR

72 Inventor/es:

BOULANGER, EMILIE y
LETELLIER, FRANKIE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 543 212 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

Dispositivo de detección de señales de impulsos con sensibilidad mejorada

La presente invención se refiere a un dispositivo de detección de señales de impulsos con sensibilidad mejorada. Esta se puede aplicar de manera más particular al campo de los sistemas de radares secundarios, en particular utilizados en los sistemas de detección y de identificación de aeronaves, y de manera más precisa las cadenas de detección utilizadas en estos sistemas. De manera más general, la presente invención se aplica a las cadenas de recepción de señales de impulsos o de secuencias de impulsos no modulados en fase.

Los radares secundarios, comúnmente designados por las siglas SSR que corresponden a la terminología inglesa de "Secondary Surveillance Radar" se utilizan ampliamente en el campo de la detección de blancos aéreos. Los radares secundarios equipan tradicionalmente las plataformas terrestres fijas, y están a menudo acoplados a los radares primarios. Los radares secundarios también pueden equipar las plataformas terrestres o aéreas móviles. Los radares secundarios también se pueden designar con las siglas IFF, que corresponden a la terminología inglesa de "Identification Friend or Foe", o identificación de amigos o de enemigos. La IFF, inicialmente diseñada para la discriminación entre blancos amigos o enemigos, está ahora disponible en una multitud de formas, utilizadas en particular en la aeronáutica civil, para la detección de aeronaves equipadas con transpondedores. Los transpondedores con los que están equipadas las aeronaves emiten unas señales de forma espontánea de manera periódica, o como respuesta a unas señales de interrogación específicas emitidas por unos radares secundarios o interrogadores. Los radares secundarios o interrogadores captan las señales emitidas por los transpondedores. Una especificidad de las señales emitidas por los transpondedores, denominados SIF por el acrónimo que corresponde a la terminología inglesa "Selective Identification Feature", es que estos se presentan en forma de trenes de impulsos, no modulados en fase. Se emite un cierto número de impulsos, habitualmente delimitados por dos impulsos denominados de "delimitación" previstos para ello, comúnmente designados por el término inglés "brackets": la ausencia o la presencia de impulsos en unos mensajes con una duración determinada, constituye una palabra lógica que contiene algunas informaciones específicas de la aeronave, tales como su identificación, su altitud, etc. Por ejemplo, se puede citar el modo A, en el cual el transpondedor de una aeronave transmite un código de identificación SSR, permitiendo el código en particular asociar, en un sistema de seguimiento de radar, la identificación de una aeronave a una trama de radar. También se puede citar el modo C, en el cual se añade una información de altitud, pudiendo la información por ejemplo mostrarse en una pantalla de control de un centro de control del tráfico aéreo, en asociación con la trama radar correspondiente a la aeronave. En la mayoría de los modos considerados, un transpondedor emite un mensaje compuesto por una secuencia definida por una multitud de impulsos, emitiéndose los impulsos en una frecuencia característica no modulada. La cadena de detección del radar secundario realiza entonces una decodificación de las palabras que le llegan en esta forma, detectando la ausencia o la presencia de unos impulsos comprendidos entre los impulsos de tipo "brackets", que delimitan las palabras.

Sin embargo, la detección puede a veces ser delicada, en particular cuando los blancos son lejanos y/o cuando la señal está muy alterada por el ruido. En estos casos, la relación señal-ruido puede ser muy baja, y puede requerir una muy baja sensibilidad de detección, necesitando de este modo la implementación de unos medios perfeccionados con el objetivo de permitir una detección de blancos que cumplan con las exigencias normativas. Además, la diversidad de los blancos, más o menos alejados del radar secundario, impone a las cadenas de detección que cubran una gran dinámica de entrada, tradicionalmente de entre -22 dBm y -84 dBm.

De entre las soluciones técnicas conocidas del estado de la técnica, una técnica especialmente ventajosa consiste en utilizar un amplificador logarítmico, capaz de cubrir una gran dinámica de entrada, y de explotar una salida del amplificador logarítmico, denominada salida RSSI o también salida "video", designando las siglas RSSI la expresión inglesa "Received Signal Strength Intensity" o intensidad de la potencia de la señal recibida. La salida RSSI restituye de este modo una señal de tipo envolvente, representativa del nivel de recepción. La salida RSSI del amplificador logarítmico está entonces conectada a un convertidor analógico-digital de alta resolución para un tratamiento digital de los datos.

El documento EP 0 560 658 describe un procedimiento y un dispositivo de detección de mezclas de impulsos recibidos por un radar secundario, que opera mediante un análisis de fase. El análisis de fase realizado por el dispositivo descrito en el documento D1, consiste en estimar la distancia de fase entre la señal suministrada por el canal suma de una cadena de recepción de un radar secundario que comprende una antena de recepción mono impulso y la señal proporcionada por el canal diferencia de esta.

El documento WO 2010/139502 describe un proceso de control de fase en el caso de recepción de interrogaciones/respuestas en modo S que busca verificar la coherencia de fase entre varios impulsos de interrogación /respuesta.

Un objetivo de la presente invención es resolver al menos los inconvenientes mencionados con anterioridad, proponiendo un dispositivo de detección de señales de impulsos con una sensibilidad mejorada, que permite detectar unas señales de impulso que presentan una baja relación señal-ruido.

Una ventaja de la invención es que se puede implementar en los dispositivos ya conocidos de detección de señales de impulsos.

Otra ventaja de la invención es que al tratarse la invención de unas señales no moduladas, se puede reducir la banda pasante de la señal específicamente para el tratamiento implementado por el dispositivo del que es objeto la invención.

Para ello, la invención tiene por objeto un dispositivo para radar secundario de detección de señales de impulsos no moduladas en fase o de secuencias de impulsos con una frecuencia determinada, que comprende al menos un amplificador que recibe una señal de radiofrecuencia, y que restituye al menos una primera señal representativa de la envolvente de la señal de entrada, y una segunda señal normalizada, caracterizado porque consta de un módulo de estimación de la estabilidad de la fase que comprende unos medios de estimación de la fase de la señal de radiofrecuencia que mide la fase de dicha segunda señal normalizada con respecto a una señal periódica de referencia, restituyendo dichos medios de estimación una información de fase de la señal, unos medios de análisis para evaluar la estabilidad temporal de la fase, estando dichos medios de análisis configurados para evaluar las variaciones de la fase en una ventana temporal determinada aguas arriba de un instante dado.

Los medios están configurados, por ejemplo, para evaluar las variaciones de la fase en una ventana temporal determinada aguas arriba de un instante dado con respecto a un patrón de referencia definido, detectándose la presencia de un impulso característico si la fase es estable de acuerdo con unos criterios determinados. En una forma de realización de la invención, el dispositivo de detección se puede caracterizar porque el amplificador es un amplificador logarítmico.

En una forma de realización de la invención, el dispositivo de detección de señales se puede caracterizar porque los medios de estimación de la fase de la señal de radiofrecuencia los implementa un módulo de pretratamiento que transpone la señal normalizada en banda de base, descomponiendo un demodulador la señal normalizada en componentes en fase y en cuadratura, filtrándose las componentes con unos filtros de paso bajo con unas frecuencias de corte superiores a la frecuencia determinada de las secuencias de impulsos, determinando un módulo de estimación de fase por tanto el valor de la fase de la señal de radiofrecuencia igual al arco-tangente de la relación entre las componentes en cuadratura y en fase $\arctan(Q/I)$, evaluando un módulo de análisis la estabilidad de la fase durante una ventana temporal de duración determinada.

En una forma de realización de la invención, el dispositivo de detección de señales se puede caracterizar porque el módulo de pretratamiento, el demodulador, los filtros de paso bajo, el módulo de estimación de fase y el módulo de análisis realizan unos tratamientos digitales, tras la conversión de las señales analógicas con un convertidor analógico-digital.

En una forma de realización de la invención, el dispositivo de detección de señales se puede caracterizar porque el módulo de análisis evalúa la estabilidad de la fase, contando el número H de muestras, de entre una multitud de muestras de la señal de fase aguas arriba de una muestra en un instante t_n de fase φ_0 , cuya fase φ_k está comprendida en un patrón de referencia definido por un valor umbral determinado ξ alrededor de la fase φ_0 .

En una forma de realización de la invención, el dispositivo de detección de señales puede comprender un módulo de detección que realiza la detección de impulsos característicos a partir de la primera señal restituida por el amplificador, y se puede caracterizar porque el módulo de estimación de la fase confirma la presencia de un impulso detectado por el módulo de detección si la fase es estable, o invalida de la presencia de un impulso detectado en caso contrario.

Se mostrarán otras características y ventajas de la invención con la lectura de la descripción, dada a título de ejemplo, realizada en relación con los dibujos adjuntos que representan:

- la figura 1, el diagrama de bloques de una cadena de detección de señales de impulsos conocida del estado de la técnica;
- la figura 2, el diagrama de bloques de una cadena de detección de señales de impulsos de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;
- la figura 3, el diagrama de bloques de una cadena de tratamiento asociada a un dispositivo de detección de señales de impulsos, de acuerdo con una forma de realización de la invención;
- la figura 4, una curva que ilustra la evolución temporal de una señal representativa de la fase de la señal recibida por un dispositivo de detección, de acuerdo con una forma de realización de la invención;
- la figura 5, el diagrama de bloques global de un dispositivo de detección de señales de impulsos de acuerdo con una forma de realización de la invención.

La figura 1 presenta el diagrama de bloques de una cadena de detección de señales de impulsos conocida del estado de la técnica.

Una cadena 10 de detección de señales de impulsos no moduladas en fase puede, en particular, comprender un amplificador 11 que recibe en la entrada una señal de radiofrecuencia, y que restituye una señal de tipo RSSI representativa de la intensidad de la señal recibida. Un módulo 12 de detección de impulso recibe en la entrada la

señal de tipo RSSI. El módulo de detección puede comprender unos bloques de filtrado y un bloque de análisis, que operan por ejemplo directamente sobre unas señales analógicas, o bien implementarse en un circuito digital tras la conversión mediante un convertidor analógico-digital de las señales analógicas que hay que tratar.

De una manera típica y en sí misma conocida del estado de la técnica, el amplificador 11 puede ser un amplificador de tipo logarítmico. Están disponibles, por ejemplo, unos amplificadores logarítmicos en el mercado en forma de componentes electrónicos estándar, denominados COTS, de acuerdo con las siglas que designan la expresión inglesa "Commercial Off The Shelf". El amplificador 11 también se puede implementar en forma de un circuito integrado, así como los diversos elementos de la cadena 10 de detección. Los amplificadores logarítmicos comprenden habitualmente una salida de tipo RSSI, así como una salida del tipo comúnmente designada "limited", que restituye una señal normalizada, es decir cuya amplitud es independiente de la potencia de la señal en la entrada del receptor. La salida normalizada se utiliza habitualmente cuando el amplificador está integrado en una cadena de detección de señales moduladas en fase. La salida normalizada está, por el contrario, poco explotada cuando el amplificador logarítmico se utiliza en una cadena de detección de señales de impulsos no moduladas en fase.

El principio de la presente invención se basa en la explotación de la señal restituida por la salida normalizada de un amplificador de tipo logarítmico, con el fin de extraer de este unas informaciones de fase de la señal de entrada, por ejemplo en relación con una señal periódica de referencia. La información de fase se analiza entonces de tal modo que detecte la presencia de impulsos en la señal de entrada, o bien invalide o confirme la presencia de un impulso diagnosticado por el módulo 12 de detección de impulso, apoyándose de una manera en sí misma conocida sobre el análisis de la potencia de la señal de entrada.

La figura 2 presenta el diagrama de bloques de una cadena de detección de señales de impulsos de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

Una cadena 20 de detección de señales de impulsos comprende, por ejemplo, de una manera similar a la cadena de detección conocida descrita más arriba en referencia a la figura 1, un amplificador 11 atacado por la señal de radiofrecuencia de entrada, explotando un módulo 12 de detección de impulso la salida RSSI del amplificador 11, de tipo amplificador logarítmico en el ejemplo ilustrado en la figura. En el ejemplo de realización de la invención, la salida normalizada del amplificador 11 se convierte mediante un convertidor 21 analógico-digital; por supuesto, también se puede no recurrir a un convertidor, y realizar unos tratamientos analógicos directamente sobre la señal analógica. Un tratamiento digital presenta, en particular, la ventaja de presentar unos costes de desarrollo y de actualización más bajos. El tratamiento puede, por ejemplo, implementarse en unos componentes con una frecuencia de funcionamiento rápida, por ejemplo en unos componentes de lógica programable, comúnmente designados por el término FPGA que designa la expresión inglesa "Field Programmable Gate Array", o bien en unos circuitos lógicos específicos comúnmente designados por el término ASIC. De manera ventajosa, se puede disponer un filtro adicional, por ejemplo un filtro digital aguas abajo del convertidor digital-analógico. Este filtro digital permite reducir la anchura de la banda pasante, requerida en particular para garantizar la detección de los flancos ascendentes de los impulsos.

La presente invención propone explotar la señal de la salida normalizada del amplificador 11, con el fin de extraer de esta una información en cuanto a la fase de la señal de entrada. En efecto, tal y como se describe en detalles a continuación en referencia a la figura 4, en presencia de un ruido, en particular de un ruido blanco gaussiano, la relación señal-ruido de la señal recibida puede ser demasiado baja para permitir la detección de impulsos mediante el análisis de la salida RSSI del amplificador. Por el contrario, la fase de la señal de entrada, por ejemplo en relación a una señal periódica de referencia, está globalmente poco afectada por el ruido. De este modo, una señal representativa de la fase de la señal de entrada presenta, cuando solo hay presente ruido, una gran variabilidad, entre 0 y 2π ; por el contrario, en presencia de un impulso, la señal representativa de la fase de la señal de entrada presenta una variabilidad más baja, en torno a una fase φ_0 aleatoria comprendida entre 0 y 2π . De este modo, la apreciación de la estabilidad de la señal representativa de la fase permite la detección de impulsos.

La figura 3 presenta el diagrama de bloques de una cadena de tratamiento asociada a un dispositivo de detección de señales de impulsos, de acuerdo con una forma de realización de la invención.

La señal procedente de la salida normalizada del amplificador 11, en referencia a las figuras 1 y 2, tras la conversión eventual por el convertidor 21 analógico-digital, puede atacar la entrada de un módulo 30 de pretratamiento, seguido de un módulo 31 de estimación de fase, seguido de un módulo 32 de análisis.

El módulo 31 de estimación de fase permite restituir una información de fase de la señal procedente de la salida normalizada del amplificador, con respecto a una señal de referencia. En el ejemplo ilustrado en la figura, el módulo 30 de pretratamiento permite la transposición en banda de base de la señal procedente de la salida normalizada del amplificador, mediante una descomposición en componentes en fase (I) y cuadratura (Q), por medio de un demodulador 301 I/Q. El demodulador 301 I/Q puede en particular comprender, de una manera también en sí misma conocida, un oscilador local 3011 que emite una señal periódica de referencia. Cada una de las componentes se puede por tanto filtrar con un filtro 302, 303 de paso bajo. Los filtros 302, 303 de paso bajo permiten conservar únicamente las frecuencias que corresponden a las señales útiles esperadas. Por ejemplo, la frecuencia de emisión

por los transpondedores que funcionan en uno de los modos mencionados con anterioridad, es tradicionalmente de 1.090 MHz. De este modo se puede, por ejemplo, diseñar los filtros 302, 303 de paso bajo de tal modo que su frecuencia de corte sea del orden de entre 2 y 4 MHz. La transposición en banda de base hace que la estimación de la fase sea más sencilla. El filtrado de la señal transpuesta con los filtros 302, 303 de paso bajo tiene también como efecto permitir el rechazo de las líneas de imagen procedentes de la transposición I/Q.

En el ejemplo ilustrado en la figura 3, el módulo 31 de estimación de fase puede, por ejemplo, implementar un cálculo del arco-tangente de la relación entre las componentes en cuadratura y en fase: $\arctan(Q/I)$.

Por supuesto, se pueden implementar otros métodos conocidos de estimación de la fase en un dispositivo de acuerdo con la presente invención. Por ejemplo, se puede citar la utilización de una línea con retardo que permite el cálculo del producto escalar de dos muestras de señales A y B mínimamente distanciados, o incluso la implementación de un algoritmo denominado de Cordic.

La figura 4 presenta una curva que ilustra la evolución temporal de una señal representativa de la fase de la señal recibida por un dispositivo de detección, de acuerdo con una forma de realización de la invención.

Un ejemplo de variación temporal de una señal representativa de la fase de la señal de entrada con respecto a una señal de referencia se ilustra con una curva 40. En presencia de ruido de fondo, la fase varía de manera aleatoria entre 0 y 2π . En presencia de un impulso, la fase se mantiene centrada en un valor ϕ_0 , durante un periodo de tiempo que corresponde sustancialmente a la duración de un impulso de tipo SIF, por ejemplo de 450 ns. El módulo 32 de análisis, en referencia a la figura 3, comprende unos medios de apreciación de la variabilidad de la señal de fase, cuyo ejemplo de implementación se describe a continuación. La apreciación de la variabilidad de fase puede consistir, en el ejemplo en el que el tratamiento se implementa en la cadena de detección de manera digital, en determinar por medio de un contador, para un número N determinado de muestras de fase ϕ_k aguas arriba de una muestra realizada en un instante t_n , el número H de entre estas cuya fase es superior a $\phi_0 + \xi$ o inferior a $\phi_0 - \xi$, siendo ξ un valor umbral seleccionado. El umbral ξ define un patrón de referencia, ilustrado en la figura por una banda horizontal con una anchura 2ξ , que cubre diez muestras distanciadas 50 ns, aguas arriba del instante t_n que corresponde a la muestra de fase ϕ_0 . Por supuesto, se pueden considerar otros métodos de determinación de la variabilidad de la señal de fase, implementados en cadenas de análisis digitales o analógicas. De una manera general, el módulo 32 de análisis aprecia las variaciones de la fase en una ventana temporal determinada aguas arriba de un instante dado, con respecto a un patrón de referencia.

La figura 5 presenta el diagrama de bloques global de un dispositivo de detección de señales de impulso de acuerdo con una forma de realización de la invención.

En un ejemplo de realización de la invención, se puede explotar la información relativa a la fase de la señal de entrada, de tal modo que confirme o invalide la presencia de un impulso detectado por medio de los medios conocidos en sí mismos, basándose en un análisis de la señal RSSI suministrada por el amplificador.

De forma sinóptica, un dispositivo de detección puede comprender el amplificador 11 que recibe en la entrada una señal de radiofrecuencia, comprendiendo el amplificador 11 en particular una salida RSSI que ataca el módulo 12 de detección de impulsos, estando el módulo 12 de detección de impulsos adaptado para diagnosticar basándose en la señal RSSI la presencia de un impulso, y restituir una señal representativa de la presencia o de la ausencia del impulso, siendo por ejemplo esta señal una señal de tipo booleano que adopta un estado lógico dado en presencia de impulso. El amplificador 11 consta también de una salida normalizada que ataca un módulo 50 de estimación de la estabilidad de la fase, que comprende por ejemplo el módulo 30 de pretratamiento, el módulo 31 de estimación de fase y el módulo 32 de análisis, tal como se han descrito con anterioridad en referencia a la figura 3. El módulo 50 de estimación de la estabilidad de fase restituye de este modo en su salida una señal representativa de la estabilidad de la fase de la señal de radiofrecuencia, siendo también esta señal por ejemplo una señal de tipo booleano. Las salidas respectivas del módulo 12 de detección de impulso y del módulo 50 de estimación de la estabilidad de la fase atacan un módulo 51 de confirmación de detección de impulso. Por ejemplo, en una implementación simple mediante tratamientos digitales, el módulo 51 de confirmación de detección realiza una operación de tipo "Y" lógica sobre las dos señales de entrada que, en este ejemplo, son de tipo booleano.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para radar secundario de detección de señales de impulsos no moduladas en fase o de secuencias de impulsos con una frecuencia determinada, que comprende al menos un amplificador (11) que recibe una señal de radiofrecuencia y que restituye al menos una primera señal (RSSI) representativa de la envolvente de la señal de entrada, y una segunda señal normalizada, **caracterizado porque** comprende un módulo (50) de estimación de la estabilidad de la fase que comprende unos medios (31) de estimación de la fase de la señal de radiofrecuencia que mide la fase de dicha segunda señal normalizada con respecto a una señal periódica de referencia, restituyendo dichos medios (31) de estimación una información de fase de la señal, unos medios (32) de análisis para evaluar la estabilidad temporal de la fase, estando dichos medios (32) de análisis configurados para evaluar las variaciones de la fase en una ventana temporal determinada aguas arriba de un instante dado.
2. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los medios están configurados para evaluar las variaciones de la fase en una ventana temporal determinada aguas arriba de un instante dado con respecto a un patrón de referencia.
3. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el amplificador (11) es un amplificador logarítmico.
4. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los medios de estimación de la fase de la señal de radiofrecuencia son implementados por un módulo (30) de pre-procesamiento que transpone la señal normalizada en banda de base, descomponiendo un demodulador (301) la señal normalizada en componentes en fase (I) y en cuadratura (Q), filtrándose las componentes con unos filtros (302, 303) de paso bajo con unas frecuencias de corte superiores a la frecuencia determinada de las secuencias de impulsos, determinando un módulo (31) de estimación de fase por tanto el valor de la fase de la señal de radiofrecuencia igual al arco-tangente de la relación entre las componentes de cuadratura y en fase $\arctan(Q/I)$, evaluando un módulo (32) de análisis la estabilidad de la fase durante una ventana temporal de duración determinada.
5. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** el módulo (30) de pre-procesamiento, el demodulador (301), los filtros (302, 303) de paso bajo, el módulo (31) de estimación de fase y el módulo (32) de análisis realizan procesamientos digitales, tras la conversión de las señales analógicas mediante un convertidor (21) analógico-digital.
6. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el módulo (32) de análisis evalúa la estabilidad de la fase, contando el número (H) de muestras, de entre una multitud de muestras de la señal de fase aguas arriba de una muestra en un instante t_n de fase φ_0 , cuya fase φ_k está comprendida en un patrón de referencia definido por un valor umbral determinado (ξ) en torno a la fase φ_0 .
7. Dispositivo de detección de señales de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, que comprende un módulo (12) de detección que realiza la detección de impulsos característicos a partir de la primera señal (RSSI) restituida por el amplificador (11), **caracterizado porque** el módulo (50) de estimación de la fase confirma la presencia de un impulso detectado por el módulo (12) de detección si la fase es estable, o invalida la presencia de un impulso detectado en caso contrario.

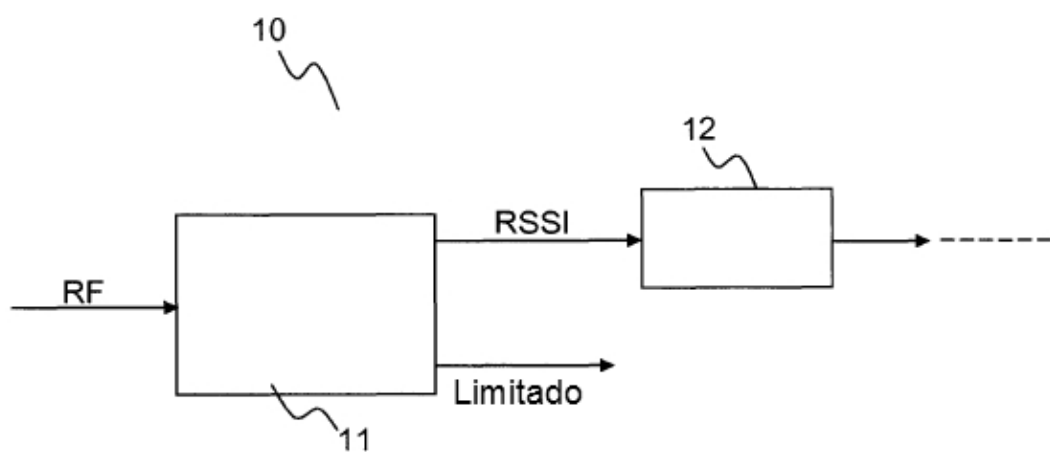


FIG.1

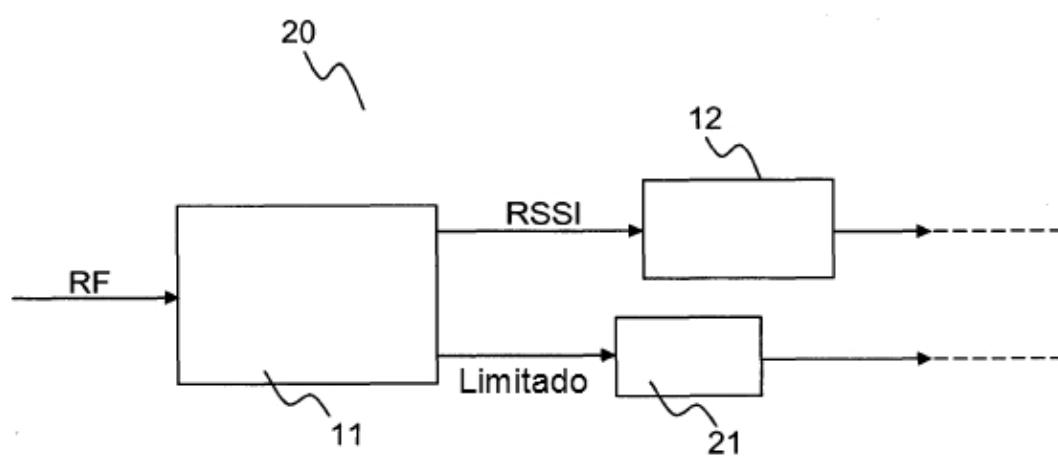


FIG.2

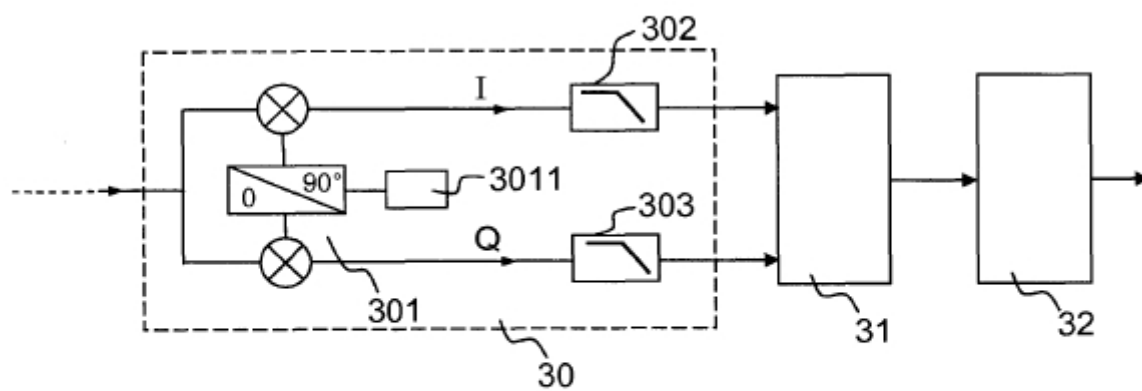


FIG.3

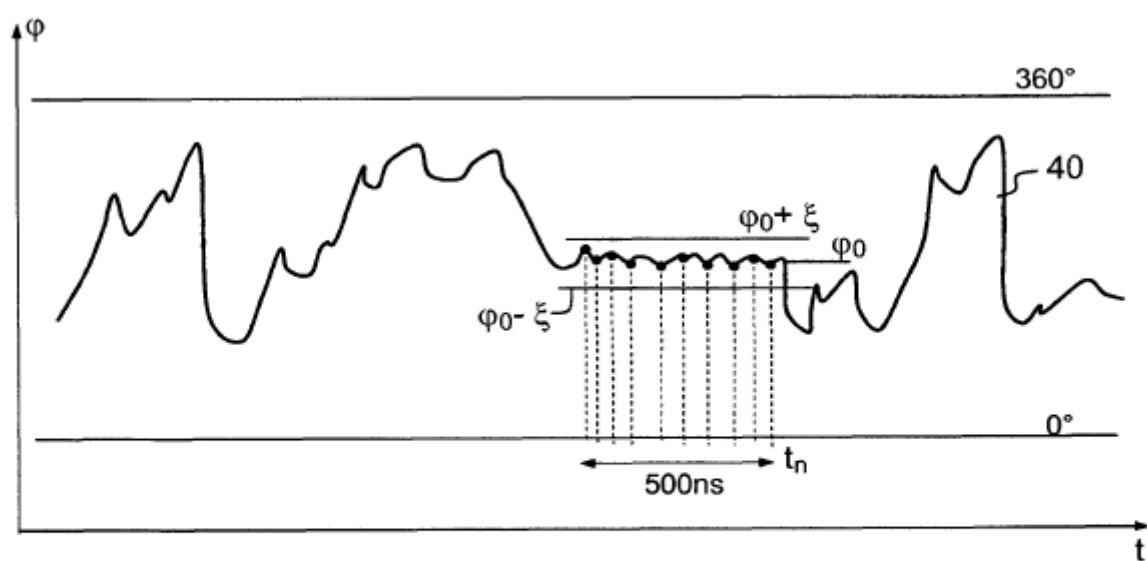


FIG.4

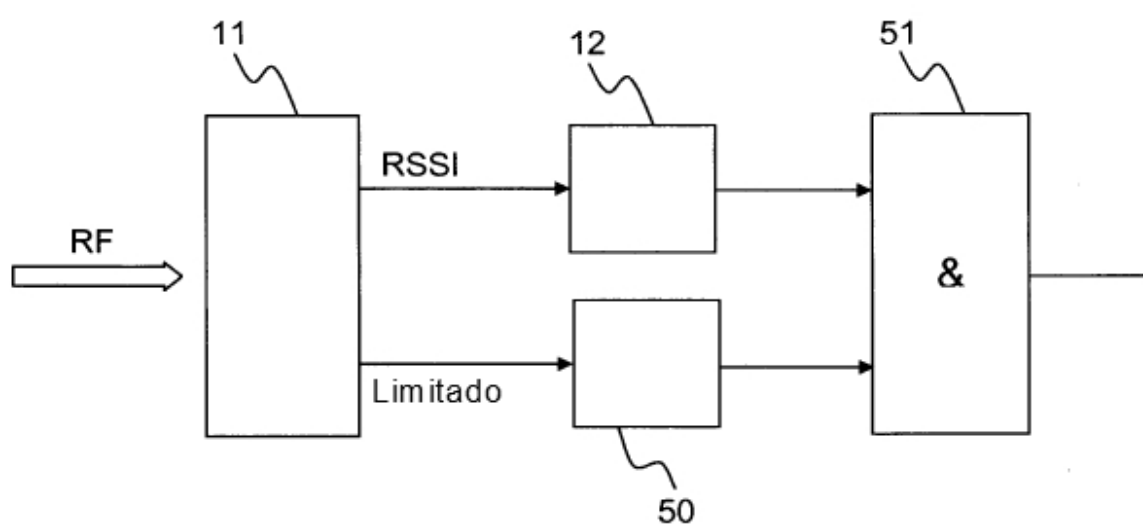


FIG.5