

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 076**

51 Int. Cl.:

H04B 1/04 (2006.01)

H04B 1/52 (2015.01)

H03F 1/32 (2006.01)

H04B 1/525 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2011** **E 11174034 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015** **EP 2410656**

54 Título: **Método y sistema para la caracterización de la distorsión de señal y la compensación de la predistorsión por medio de un acoplamiento mutuo en un sistema de emisión/recepción de radiofrecuencia**

30 Prioridad:

22.07.2010 US 841383

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

01.10.2015

73 Titular/es:

RAYTHEON COMPANY (100.0%)
870 Winter Street
Waltham, MA 02451-1449, US

72 Inventor/es:

BOE, ERIC N.;
FRASCHILLA, JOHN y
LEWIS, WILLIAM L.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 547 076 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

Método y sistema para la caracterización de la distorsión de señal y la compensación de la predistorsión por medio de un acoplamiento mutuo en un sistema de emisión/recepción de radiofrecuencia

Antecedentes de la invención

5 La resolución y el contraste de la escena de un sistema de radar de formación de imágenes se determinan por la capacidad del sistema para restringir dentro de un solo píxel de resolución la respuesta primaria del retorno de un blanco puntual. Idealmente, la energía de retorno proveniente de un dispersor puntual estaría contenida dentro de una celda de resolución sin energía en ninguna otra celda, pero esto requeriría una ventana de tiempo de observación infinita. Como compromiso práctico, los sistemas de radar están diseñados para aumentar al máximo la
10 energía de retorno de los blancos puntuales dentro de una celda de resolución, al mismo tiempo que reducir al mínimo la energía de retorno restante en la totalidad del resto de celdas de resolución. Esto requiere reducir al mínimo las distorsiones de formas de onda y de impulsos, que se producen en los trayectos de la señal de un sistema, ya que dichas distorsiones pueden provocar que la energía de retorno se distribuya por múltiples celdas de resolución. Se conoce un sistema para reducir efectos de la interferencia, por ejemplo, a partir del documento US
15 2009/0068965 A1.

Todos los elementos del trayecto de la señal de RF de un sistema de radar pueden comunicar potencialmente distorsiones de fase, de amplitud y de retardo de tiempo a la señal, y la distorsión comunicada da como resultado de forma no deseable que la señal se extienda sobre un intervalo más amplio de frecuencias y tiempo. Se han buscado
20 previamente varios planteamientos para reducir esta distorsión de la forma de onda. Uno de los planteamientos consiste simplemente en especificar y fabricar todos los componentes de hardware de RF a unas tolerancias tan ajustadas que su contribución total a la distorsión permanezca dentro de niveles permisibles. Esto resulta caro, y no garantiza que el hardware cumpla todos los requisitos bajo todas las condiciones de funcionamiento.

Otro de los planteamientos, si las características de la distorsión comunicada se conocen por adelantado del funcionamiento normal, consiste en aplicar un factor de predistorsión inversa complementaria a la transmisión y/o
25 recepción de una señal operativa, con el fin de compensar la distorsión comunicada. La disponibilidad de sintetizadores programables de formas de onda en excitadores y de procesadores de señal digital en receptores, o asociados a estos últimos, permite la aplicación de dicha predistorsión, aunque para determinar qué tipo de factor compensatorio aplicar, la distorsión se debe caracterizar y medir por adelantado. Uno de los planteamientos para dicha medición de la distorsión implica el uso de una señal de bucle de retorno de calibración que se genera en el
30 excitador, y se encamina mediante una circuitería de distribución especial a través de partes de la red de distribución de RF de la antena y de vuelta hacia el receptor para observar la distorsión generada total. Este planteamiento puede caracterizar la distorsión a la que contribuyen ciertas partes del trayecto de la señal del sistema, aunque no puede caracterizar la distorsión a la que contribuye la circuitería activa en la cadena de transmisión/recepción de la antena, y por ello se deben continuar manteniendo tolerancias ajustadas en todos esos componentes de la antena.
35 Este planteamiento introduce también una nueva fuente de distorsión, concretamente la propia circuitería de distribución especial.

Otro de los planteamientos conlleva el uso de señales externas de prueba y de referencia generadas y/o analizadas por equipos de prueba del sistema independientes. Este planteamiento puede tener la capacidad de caracterizar la
40 distorsión a la que contribuye la cadena de transmisión/recepción de la antena, aunque requiere la disponibilidad del equipo externo de prueba del sistema en cualquier momento y en cualquier lugar que se desee la calibración, lo cual resulta poco práctico para aplicaciones tales como las militares y las aeroespaciales. Este planteamiento introduce además una nueva fuente de distorsión, concretamente el propio equipo de prueba externo.

Sumario de la invención

Realizaciones de la presente invención ofrecen un planteamiento novedoso para caracterizar y compensar la
45 distorsión por el trayecto de la señal, aprovechando dos características que se encuentran normalmente en los sistemas de transmisión/recepción de RF que usan antenas de radar de barrido electrónico o "ESA", y también otros sistemas. En primer lugar, estos sistemas normalmente poseen la capacidad simultánea de transmitir señales desde su conjunto electrónico de transmisión y los elementos radiantes de la antena al mismo tiempo que recibir señales a través de los elementos de recepción de su antena y su conjunto electrónico de recepción. En segundo lugar, estos
50 sistemas presentan el fenómeno conocido como "acoplamiento mutuo" entre múltiples elementos de antena, en donde una parte de la señal que se está transmitiendo desde un elemento radiante se acopla directamente de vuelta a un elemento de recepción. Normalmente este fenómeno se ha considerado como una molestia, aunque realizaciones de la presente invención sacan provecho del fenómeno de acoplamiento mutuo para caracterizar la distorsión por el trayecto de la señal y para usar esta caracterización con el fin de generar una predistorsión inversa
55 complementaria, obteniendo así una respuesta impulsional y un rendimiento del sistema mejorados sin necesidad de equipos externos y dedicados de prueba y medición.

Realizaciones de la presente invención usan el acoplamiento mutuo para transportar una parte de la energía transmitida, inmediatamente de vuelta al trayecto de recepción del sistema, donde la misma puede ser capturada y

analizada, y a partir de dicho resultado se puede calcular un conjunto de predistorsiones y el mismo se puede alimentar de vuelta hacia el generador de formas de onda del excitador y/o a procesadores de la señal en el receptor o a cualquier otro lugar de la cadena de recepción y procesado. Las compensaciones de predistorsión resultantes corrigen la distorsión observada a la que contribuyen todos y cada uno de los elementos del trayecto de la señal de transmisión y recepción del sistema, incluyendo los elementos de transmisión y recepción de su antena, lo cual permite una precisión mucho mayor de la predistorsión de las formas de onda y, por lo tanto, unas imágenes con calidad superior. El uso del hardware operativo propio del sistema, según la presente invención, para generar, transmitir, recibir, adquirir y procesar la señal de referencia y calibración elimina la necesidad de equipos de prueba externos, y elimina también el error adicional introducido al usar hardware externo para generar o analizar la señal de referencia.

Según una realización, la presente invención se refiere a un método para caracterizar la distorsión en un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia. En este método, se genera una señal de referencia de radiofrecuencia, dicha señal se transmite a través de un trayecto de transmisión que es también utilizable para transmitir una señal operativa, y se recibe a través de un trayecto de recepción que es utilizable también para recibir una señal operativa. Esa señal se propaga también a través de un campo de acoplamiento mutuo desde un elemento radiante de una antena a un elemento de recepción de una antena, siendo utilizables también dichos elementos con una señal operativa. La señal también se adquiere y analiza para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia (por ejemplo, una señal con predistorsión según es transmitida, o una forma de onda idealizada sin aplicación de predistorsión en el lado de transmisión) y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma (por ejemplo, la señal recibida después de un procesado adicional) según se adquieran a partir de un acoplamiento mutuo.

Según otras realizaciones, el método incluye además determinar una compensación de predistorsión que tiende a reducir al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo. De acuerdo con una de dichas realizaciones, el método incluye además aplicar la compensación de predistorsión determinada a por lo menos una de la generación de una señal operativa o el procesado de una señal operativa recibida. De acuerdo con otra de entre dichas realizaciones, el método incluye aplicar la compensación de predistorsión determinada a una señal de referencia, propagar la señal de referencia con predistorsión a través del sistema, y determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiera a partir del acoplamiento mutuo. Según una de dichas realizaciones, el método incluye además repetir iterativamente por lo menos una vez la determinación de una compensación de predistorsión que tiende a reducir al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo, aplicar dicha compensación de predistorsión determinada iterativamente a por lo menos uno de entre una generación de una señal de referencia iterativa o un procesado de una señal de referencia iterativa recibida, propagar dicha señal de referencia con predistorsión iterativa a través del sistema, y determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia iterativa recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.

Según otra realización, el trayecto sobre el cual se propaga la señal de referencia a través del sistema después de ser generada y antes de ser adquirida es, dejando de lado cualquier trayecto entre el elemento radiante de antena y el elemento receptor de antena, sustancialmente el mismo que un trayecto sobre el cual se propaga una señal operativa a través del sistema después de ser generada y antes de ser adquirida.

Según una realización, una forma de onda de la señal de referencia o transformación de la misma (por ejemplo, dicha forma de onda con cualquier predistorsión aplicada en el lado de transmisión) se usa como forma de onda de la señal operativa. Según otra realización, la señal de referencia seleccionada para ser usada comprende una forma de onda que enfatiza al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o transformación de la misma según se adquiera a partir del acoplamiento mutuo.

Según otra realización, el método incluye además cambiar por lo menos una vez el trayecto de la señal a través del sistema, y generar otra señal de referencia de radiofrecuencia. Esa señal se transmite a través de un trayecto de transmisión que es utilizable también para transmitir una señal operativa, y se recibe a través de un trayecto de recepción que es utilizable también para recibir una señal operativa. Esa señal se propaga también a través de un campo de acoplamiento mutuo desde un elemento radiante de antena a un elemento receptor de antena, siendo utilizables también dichos elementos con una señal operativa. La señal también se adquiere y analiza para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal recibida o transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo, y el sistema determina un promedio de conjunto (*ensemble average*) de las diferencias asociadas a cada uno de una pluralidad de trayectos de la señal entre una o más formas de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o transformación de la misma según se adquiere a partir de un acoplamiento mutuo.

Según una realización, la presente invención se refiere a un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia que comprende un excitador con capacidad de producir una señal de referencia de radiofrecuencia, un lado de

- transmisión que comprende por lo menos un trayecto de señal de transmisión que comprende un elemento radiante de antena, siendo utilizables dicho trayecto de señal de transmisión y dicho elemento radiante de antena para transmitir señales operativas, un lado de recepción que comprende por lo menos un trayecto de señal de recepción que comprende un elemento receptor de antena, siendo utilizables dicho trayecto de señal de recepción y dicho elemento receptor de antena para recibir señales operativas, en donde por lo menos un elemento receptor de antena está dispuesto en el campo de acoplamiento mutuo de por lo menos un elemento radiante de antena, un receptor de señales con capacidad de adquirir una señal, y circuitería configurada para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.
- 5
- 10 Según otras realizaciones, el sistema incluye circuitería configurada para determinar una compensación de predistorsión que tiende a reducir al menos un aspecto de la diferencia determinada entre una forma de onda deseada y una forma de onda según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo. De acuerdo con una de dichas realizaciones, el sistema incluye además circuitería de aplicación configurada para aplicar la compensación de predistorsión determinada a la generación de una forma de onda de la señal.
- 15 Según otra realización, el sistema incluye una pluralidad de trayectos de señal, y la circuitería está configurada para determinar un promedio de conjunto de las diferencias asociadas a cada uno de una pluralidad de trayectos de la señal entre una o más formas de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.

Breve descripción de los dibujos

- 20 La FIG. 1 es una vista esquemática de un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia según la presente invención.
- La FIG. 2 es un diagrama de flujo que esboza un método según la presente invención para caracterizar la distorsión a la que contribuyen elementos en el trayecto de la señal y determinar y aplicar una predistorsión inversa complementaria con el fin de compensar dicha distorsión caracterizada.
- 25 La FIG. 3 es un diagrama de flujo que esboza un método según la presente invención para caracterizar la distorsión a la que contribuyen elementos en diversos emparejamientos de trayectos de la señal de transmisión-recepción en un sistema que posee una pluralidad de dichos emparejamientos, y determinar y aplicar una predistorsión inversa complementaria sobre la base del promedio de conjunto de dichas distorsiones caracterizadas.
- 30 La FIG. 4 es un conjunto de representaciones de ganancia con respecto a frecuencia, que muestran un perfil de retorno de la señal sin compensar, una predistorsión del lado de transmisión aplicada a esa señal, una predistorsión del lado de recepción aplicada a esa señal, y el perfil de señal compensado resultante.

Descripción detallada

- Realizaciones de acuerdo con la presente invención se refieren a un método y un sistema para un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia que utiliza una señal de referencia y saca provecho de la propiedad de acoplamiento mutuo de múltiples elementos de antena para caracterizar la distorsión de la señal introducida por varios trayectos de la señal, incluyendo el conjunto electrónico y otros elementos de dichos trayectos de la señal los cuales son atravesados también por una señal operativa entre su generación y su recepción durante el funcionamiento normal del sistema, determina predistorsiones inversas complementarias para compensar la distorsión caracterizada, y aplica esa compensación a cadenas de la señal del lado de transmisión y/o del lado de recepción. La generación y adquisición de la señal de referencia la llevan a cabo el mismo excitador y receptor, respectivamente, que se usan para el funcionamiento normal, permitiendo que los aspectos de distorsión de la señal se caractericen sin necesidad de equipos externos dedicados de prueba y medición.
- 35
- 40
- 45 En una realización de acuerdo con la presente invención, según se representa en la FIG. 1, el lado de transmisión del sistema de transmisión/recepción incluye un excitador 102 que contiene un generador 104 de formas de onda. El excitador y su generador de formas de onda están conectados a un trayecto común 106 de la señal de transmisión, que incluye cualquier conjunto electrónico común 108 de transmisión en ese trayecto de la señal. El trayecto de la señal en el lado de transmisión se puede conectar a múltiples trayectos de la señal de transmisión que accionan varios elementos radiantes de antena, de los cuales en la FIG. 1 se muestran dos ejemplos, un conjunto electrónico 110 de transmisión y un trayecto 112 de señal de transmisión que se conecta al elemento radiante 114 de antena, y un conjunto electrónico 116 de transmisión y un trayecto 118 de señal de transmisión que se conecta al elemento radiante 120 de antena. El lado de recepción del sistema incluye por lo menos un trayecto de señal de recepción, y puede incluir múltiples de estos trayectos, que se alimenta desde varios elementos de recepción de antena, de los cuales en la FIG. 1 se muestran dos ejemplos, un elemento receptor 122 de antena conectado al trayecto 124 de señal de recepción y al conjunto electrónico 126 de recepción, y un elemento receptor 128 de antena conectado al trayecto 130 de señal de recepción y al conjunto electrónico 132 de recepción. Los múltiples trayectos de señal de recepción y conjuntos electrónicos se conectan a cualquier conjunto electrónico común 134 de recepción y trayecto común 136 de señal de recepción, los cuales a su vez se conectan al receptor 138 de señales. El receptor de señales se conecta a su vez a un procesador 140 de señales y datos, el cual se conectan al generador 104 de
- 50
- 55

formas de onda en el excitador 102. Los elementos receptores de antena están dispuestos en un campo 142 de acoplamiento mutuo del primer elemento radiante 114 de antena y un campo 144 de acoplamiento mutuo del segundo elemento radiante 120 de antena. Aunque en la FIG. 1 se representan dos trayectos de la señal del lado de transmisión y dos del lado de recepción, se pueden fijar trayectos de señal adicionales, además de estos dos, o bien al lado de transmisión o bien al lado de recepción, con sus elementos de antena respectivos dispuestos también dentro del campo o campos de acoplamiento mutuo.

Los términos “fijado”, “conectado”, “que conecta”, “que acciona”, “alimentación” o “alimentado” tal como se usan en la presente pueden incluir cualquier forma de los dos elementos, a los que se ha hecho referencia, que están en comunicación mutua, tal como una conexión eléctrica, electrónica, óptica, de RF, o de guía de ondas, directa o indirecta, o cualquier otra forma de fijación o asociación que fomente la comunicación de señales o datos. Debe indicarse también que el excitador, el receptor, el procesador de señales y datos, y otros conjuntos electrónicos y/o módulos se pueden implementar y pueden funcionar en el dominio analógico y/o digital, utilizando circuitería eléctrica y/u óptica y/o miembros mecánicos especializados, ordenadores de propósito especial, ASICs y/o microprogramas, y/u ordenadores de propósito general programados con software de propósito especial.

De acuerdo con una realización de un método para implementar la presente invención en un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia, según se representa en la FIG. 2, el trayecto de la señal y el conjunto electrónico 110, 112 del lado de transmisión y el trayecto de la señal y el conjunto electrónico 124, 126 del lado de recepción están conectados (202) al excitador y al receptor de señales, respectivamente, o están habilitados de otra manera para propagar una señal. El generador 104 de formas de onda dentro del excitador 102 genera (204) una señal de referencia de alta resolución, idealizada, inicial. En caso de que no sea ya conocido para el procesador 140 de datos y señales, datos referentes a la forma de onda de la señal según ha sido generada son proporcionados (206) a dicho procesador 140 de datos y señales. La señal de referencia se propaga (208) a través de los trayectos 106, 112 de señal en el lado de transmisión del sistema, que incluye cualquier conjunto electrónico 108, 110 de dichos trayectos, y al elemento radiante 114 de antena asociado. La mayor parte de la señal se radia al espacio, aunque una pequeña fracción se acopla mutuamente (210) a través del campo 142 de acoplamiento mutuo en otros elementos de la antena, tales como los elementos receptores 122 y 128 de antena. A continuación, la señal acoplada mutuamente se propaga (212) a través de trayectos 124, 136 de la señal en el lado de recepción del sistema, incluyendo cualquier conjunto electrónico 126, 134 de dichos trayectos de la señal. La señal se propaga hacia el receptor 138 de señales donde es adquirida y digitalizada (214) por el receptor. La señal adquirida digitalizada se proporciona al procesador 140 de señales y datos, donde su forma de onda se compara con la forma de onda de la señal según ha sido transmitida y se analiza (216) de otras maneras para caracterizar diferencias, es decir, aspectos de distorsión, por ejemplo distorsión de fase, distorsión de amplitud, y retardo de tiempo, que hayan sido introducidos por diversos elementos del hardware y los conjuntos electrónicos, incluyendo los elementos de antena, localizados en los trayectos de señal del lado de transmisión y el lado de recepción del sistema.

Debe indicarse o bien el receptor 138 de señales, o bien el procesador 140 de señales y datos, o bien cualquier otro módulo de procesado o conjunto electrónico puede procesar en primer lugar la señal adquirida, ya sea con una predistorsión compensatoria previamente predeterminada o con cualesquiera otros factores correctores, antes de presentarla para dicha caracterización de la distorsión. Debe indicarse también que la señal adquirida, ya sea con o sin procesado adicional de la señal, se puede comparar con un número ilimitado de formas de onda de referencia. Se podría comparar, por ejemplo, con la forma de onda de la señal de transmisión con cualquier predistorsión de compensación u otros factores correctores del lado de transmisión aplicados. Como ejemplo adicional, se podría comparar con la forma de onda de una señal de transmisión “original” o idealizada sin ninguna predistorsión de compensación u otros factores correctores del lado de transmisión aplicados.

Usando la comparación, el procesador determina (218) un conjunto de características de predistorsión inversa complementaria para compensar la distorsión observada. Asigna (220) qué partes de las características de predistorsión implementar en el lado de transmisión y qué partes implementar en el lado de recepción. Alimenta (222) las características de predistorsión que se van a implementar en el lado de transmisión hacia el generador de formas de onda dentro del excitador, para la construcción de una forma de onda de señal modificada que incorpore dichas características de predistorsión, y alimenta también las características de predistorsión que se van a implementar en el lado de recepción hacia el receptor de señales u otros módulos de la cadena de recepción o procesado de datos con el fin de modificar las características del procesado de la señal que aplican dichos módulos a las señales recibidas. Las predistorsiones resultantes del lado de transmisión y del lado de recepción se pueden usar para un funcionamiento normal (236).

Alternativamente, si se desean (224) mejoras adicionales de la precisión en la compensación de la distorsión, una vez que se ha llevado a cabo una caracterización de la distorsión y se ha aplicado una predistorsión apropiada en el lado de transmisión y/o el lado de recepción, se genera (226) una señal de referencia con predistorsión, modificada mediante una predistorsión apropiada y se repiten (228) la propagación de la señal de referencia y la caracterización de la distorsión para determinar (230) si la compensación de la predistorsión ha resultado satisfactoria y si la señal modificada según ha sido recibida y procesada presenta las características deseadas. En caso negativo, se puede aplicar una predistorsión adicional en el lado de transmisión y/o el lado de recepción (232). Este proceso de caracterización de la distorsión y compensación de la predistorsión se puede repetir iterativamente (234) de manera adicional para mejorar la precisión de la compensación de la predistorsión hasta que la misma resulte satisfactoria, y

la compensación de predistorsión con la mejora de la precisión se puede aplicar a continuación al funcionamiento normal (236).

La distorsión introducida por el trayecto de la señal del sistema aparece en la señal adquirida en forma de diferencias con respecto a la señal que se ha transmitido. En la mayoría de los casos, estas diferencias tendrán cierta dimensión y magnitud diferentes de cero, lo cual representa la distorsión introducida. La finalidad de aplicar la predistorsión inversa complementaria en la generación de la señal y en el procesado de la señal recibida es por lo tanto contrarrestar y reducir, lo más cerca de cero que resulte práctico o deseable, las diferencias entre la señal que se ha adquirido y procesado y la señal original sin predistorsión. Por azar, ocasionalmente tras la caracterización inicial, o después de la aplicación de la predistorsión que se ha descrito anteriormente, se puede observar que estas diferencias son de magnitud cero o prácticamente cero, o al menos de una magnitud suficientemente reducida de manera que son aceptables. Esto permite el uso de una señal procesada, recibida, similar a la señal que se habría obtenido con una señal sin compensación si el trayecto de la señal no contribuyera a ninguna distorsión.

Los aspectos de las distorsiones a compensar pueden incluir cualquier tipo o dominio, por ejemplo aquellos relacionados con la amplitud, la frecuencia, la fase dependiente de la frecuencia, o el retardo de tiempo absoluto. Se pueden caracterizar y compensar simultáneamente múltiples aspectos y distorsiones. En la FIG. 4 se representa un ejemplo sencillo de una distribución introducida por un sistema en el cual se aplica una predistorsión inversa complementaria en el lado de transmisión y el lado de recepción. El sistema de esta muestra tiene una frecuencia central de 9 GHz y una excursión de frecuencia de ± 50 MHz, y un requisito de linealidad de la ganancia sobre el intervalo de frecuencias pertinente de $\pm 0,5$ dB. En la FIG. 4A se representa una gráfica de la ganancia con respecto a la frecuencia observada para un retorno de la señal sin compensación en un sistema no calibrado. En este ejemplo, la ganancia observada 402 permanece en su mayor parte dentro de los límites permitidos 404 de linealidad de la ganancia, entre 19,5 y 20,5 dB. No obstante, cerca de la frecuencia central la ganancia experimenta una excursión 406 por fuera de los límites permitidos, subiendo a 23 dB. Una vez que esta zona de ganancia en exceso ha sido caracterizada, se aplican, en este ejemplo, predistorsiones inversas complementarias tanto en el lado de transmisión como en el lado de recepción. La predistorsión del lado de transmisión se representa en la FIG. 4B. La ganancia 408 de predistorsión a imponer sobre la señal generada es en su mayor parte neutra en 0 dB, aunque en el intervalo de frecuencias en el que la ganancia observada 402 experimenta la excursión 406 por fuera del intervalo permitido 404, sobre la señal que se transmite se impone una contra-excursión de ganancia 410 en bajada hasta -2,0 dB. En la FIG. 4C se representa la predistorsión en el lado de recepción. La ganancia 412 de predistorsión a aplicar en el procesado de la señal recibida es en su mayor parte neutra en 0 dB, aunque en el intervalo de frecuencias en el que la ganancia observada 402 experimenta la excursión 406 por fuera del intervalo permitido 404, en la señal recibida durante el procesado de la señal se aplica una contra-excursión de ganancia 414 en bajada hasta -1,0 dB. En la FIG. 4D se representan los efectos combinados de las predistorsiones del lado de transmisión y el lado de recepción sobre la señal distorsionada. El perfil observado 416 de ganancia compensada ya no incluye una excursión por fuera de los límites permitidos 418 de linealidad de la ganancia. La excursión de ganancia de +3,0 dB sin compensar, cerca de la frecuencia central, se ha reducido 2,0 dB por medio de la predistorsión del lado de transmisión y otro 1,0 dB por medio de la predistorsión del lado de recepción, minimizando o eliminando la excursión de la ganancia.

Los sistemas actuales de ESA utilizan antenas que presentan múltiples elementos radiantes y elementos receptores. Tal como se representa en la FIG. 1, cada uno de estos elementos de antena puede estar asociado a un único trayecto de la señal o parte de trayecto de la señal que también puede contener conjuntos electrónicos independientes u otro hardware. Cada uno de estos trayectos de la señal y elementos de antena puede introducir su propia distorsión peculiar única en una señal propagada a través de él. Con el fin de caracterizar la distorsión peculiar de una antena de múltiples elementos en su conjunto, en otra realización de la presente invención el proceso de caracterización de la distorsión se puede repetir para varios trayectos de transmisión y trayectos de recepción seleccionados para la propagación de la señal de referencia a través de dichos diversos emparejamientos de trayectos de transmisión-recepción, y se pueden caracterizar las distorsiones peculiares de dichos diversos emparejamientos. De acuerdo con esta realización, tal como se representa en la FIG. 3, un primer emparejamiento de trayectos de la señal de transmisión y recepción, por ejemplo el trayecto de la señal de transmisión y el conjunto electrónico 110, 112, el elemento radiante 114 de antena, el trayecto de la señal de recepción y el conjunto electrónico 124, 126, y el elemento receptor 122 de antena, se conecta o vincula de otra manera (302), y se genera una señal de referencia y la misma se propaga a través del sistema y se caracteriza (304) la distorsión para el trayecto de la señal del sistema que involucra a dicho primer emparejamiento. El primer emparejamiento se desconecta o desvincula de otra manera (306), y un segundo emparejamiento de trayectos de la señal se conecta o vincula de otra manera (308), por ejemplo el trayecto de la señal de transmisión y el conjunto electrónico 116, 118, el elemento radiante 120 de antena, el trayecto alternativo de la señal de recepción y el conjunto electrónico 130, 132, y el elemento receptor 128 de antena. Se genera una señal de referencia y la misma se propaga a través del sistema, y se caracteriza (310) la distorsión para el trayecto de la señal del sistema que involucra a dicho segundo emparejamiento. El segundo emparejamiento se puede desconectar (312), y el proceso de conexión, generación y propagación de la señal de referencia, caracterización de la distorsión, y desconexión se puede repetir (314) para tantos emparejamientos adicionales de trayectos de la señal como se desee. Se determina (316) un promedio de conjunto de las distorsiones peculiares observadas de la señal pertenecientes a la totalidad de los diversos emparejamientos, y el procesador de la señal genera, asigna y aplica (318) una predistorsión inversa

5 complementaria al lado de transmisión y/o al lado de recepción sobre la base de ese promedio de conjunto. Igual que con el proceso que involucra el emparejamiento único de transmisión-recepción descrito anteriormente, este proceso que involucra múltiples emparejamientos de transmisión-recepción se puede repetir iterativamente (320), o bien por iteraciones basadas en cada emparejamiento, o bien por iteraciones que involucren el promedio de conjunto, para mejorar la precisión de la predistorsión aplicada.

Debe indicarse que las acciones anteriores en cualquiera de las realizaciones descritas no se deben llevar a cabo necesariamente en el orden exacto que se describe en la presente.

10 En una realización de acuerdo con la presente invención, la forma de onda de la señal de referencia que se usa para la caracterización de la distorsión puede ser la forma de onda de la propia señal operativa. En otra realización, la forma de onda de la señal de referencia puede ser una forma de onda de prueba, ideada especialmente, que se selecciona para demostrar y exponer de manera sencilla y clara un aspecto particular de la respuesta y la distorsión de la señal. Aunque en una realización del tipo mencionado, se pueden aplicar predistorsiones a propagaciones subsiguientes de dicha forma de onda de prueba con la finalidad de mejorar la precisión iterativamente de la predistorsión que se va a aplicar, en el funcionamiento normal la predistorsión determinada se aplica a la señal operativa en lugar de a la señal de prueba.

15 Otra ventaja de las realizaciones según la presente invención es que el proceso de caracterización de la distorsión y de la predistorsión de compensación no requiere ninguna reconfiguración significativa del hardware operativo convencional de transmisión/recepción ni ninguna adición sobre este último, solamente la transmisión de una señal de referencia si así se desea en lugar de una señal operativa y quizás una ligera reconfiguración temporal de los flujos de la señal a través del sistema. Las capacidades de procesado de la señal que exigen las realizaciones de esta invención en el procesador de señales y datos no superan o difieren de manera notable a aquellas capacidades requeridas por un procesado normal de señales de radar.

20 Además, al proceso de caracterización y predistorsión es muy breve y ocupa únicamente una fracción muy pequeña del ciclo de trabajo operativo del sistema. Por lo tanto, el proceso se puede realizar periódicamente durante operaciones normales, por ejemplo una vez cada pocos segundos. El proceso también se puede ejecutar bajo demanda, por ejemplo cuando se detecta que el rendimiento del sistema está cambiando o se está deteriorando, o por una orden manual de un operador del sistema.

30 Aunque se han descrito e ilustrado específicamente realizaciones limitadas de la presente invención, resultarán evidentes para aquellos versados en la materia muchas modificaciones, combinaciones y variaciones. Por consiguiente, debe entenderse que un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia construido de acuerdo con los principios de esta invención y un método de caracterización y compensación de distorsión llevado a la práctica de acuerdo con estos mismos principios se pueden materializar de manera diferente a la descrita específicamente en este documento. La invención se define también en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para caracterizar la distorsión en un sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia, que comprende:
- generar una señal de referencia de radiofrecuencia;
- 5 transmitir la señal de referencia a través de un trayecto de transmisión que es utilizable también para transmitir una señal operativa;
- recibir la señal de referencia a través de un trayecto de recepción que es utilizable también para recibir una señal operativa;
- 10 acoplar mutuamente la señal de referencia de un elemento radiante de antena a un elemento receptor de antena, siendo utilizables también dichos elementos con una señal operativa;
- adquirir y analizar la señal de referencia para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo, con el fin de determinar una compensación de predistorsión, y
- 15 aplicar la compensación de predistorsión determinada a por lo menos uno de la generación de una señal operativa o el procesado de una señal operativa recibida.
2. Método de la reivindicación 1, en el que dicha compensación de predistorsión tiende a reducir al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir de un acoplamiento mutuo.
3. Método de la reivindicación 1 ó 2, que comprende además aplicar la compensación de predistorsión determinada a por lo menos uno de la generación de una señal de referencia o el procesado de una señal de referencia recibida, propagar la señal de referencia a través del sistema, y determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.
- 20
4. Método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además repetir iterativamente por lo menos una vez la determinación de una compensación de predistorsión que tiende a reducir al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo, aplicar dicha compensación de predistorsión determinada iterativamente a por lo menos una de la generación de una señal de referencia iterativa o el procesado de una señal de referencia iterativa recibida, propagar dicha señal de referencia iterativa a través del sistema, y determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia iterativa recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.
- 25
- 30
5. Método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el trayecto sobre el cual se propaga la señal de referencia a través del sistema después de ser generada y antes de ser adquirida, dejando de lado cualquier trayecto entre el elemento radiante de antena y el elemento receptor de antena, es sustancialmente el mismo que un trayecto sobre el cual se propaga una señal operativa a través del sistema después de ser generada y antes de ser adquirida.
- 35
6. Método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además usar una forma de onda de la señal de referencia o una transformación de la misma como forma de onda de una señal operativa.
7. Método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además seleccionar para su uso una señal de referencia que comprende una forma de onda que enfatiza al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.
- 40
8. Método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además:
- cambiar por lo menos una vez el trayecto de la señal a través del sistema;
- 45 generar una señal de referencia de radiofrecuencia;
- transmitir la señal de referencia a través de un trayecto de transmisión que es también utilizable para transmitir una señal operativa;
- recibir la señal de referencia a través de un trayecto de recepción que es utilizable también para recibir una señal operativa;
- 50 acoplar mutuamente la señal de referencia de un elemento radiante de antena a un elemento receptor de antena,

siendo utilizables también dichos elementos con una señal operativa;

adquirir y analizar la señal de referencia para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo; y

- 5 determinar un promedio de conjunto de las diferencias asociadas a cada uno de una pluralidad de trayectos de la señal entre una o más formas de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.

9. Sistema de transmisión/recepción de radiofrecuencia que comprende:

un excitador (102) con capacidad de producir una señal de referencia de radiofrecuencia;

- 10 un lado (108, 110, 116) de transmisión que comprende por lo menos un trayecto (106, 112, 118) de señal de transmisión que comprende un elemento radiante de antena, siendo utilizables dicho trayecto de señal de transmisión y dicho elemento radiante de antena (114, 120) para transmitir señales operativas;

- 15 un lado (126, 132) de recepción que comprende por lo menos un trayecto (124, 130) de señal de recepción que comprende un elemento receptor (122, 128) de antena, siendo utilizables dicho trayecto de señal de recepción y dicho elemento receptor (122, 128) de antena para recibir señales operativas;

en donde por lo menos un elemento receptor (122, 128) de antena está dispuesto en las proximidades de por lo menos un elemento radiante (114, 120) de antena permitiendo el acoplamiento mutuo (142, 144);

un receptor (138) de señales con capacidad de adquirir una señal;

- 20 circuitería (140) configurada para determinar una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo para determinar una compensación de predistorsión, y

circuitería configurada para aplicar la compensación de predistorsión determinada a por lo menos uno de la generación de una señal o el procesado de una señal recibida.

- 25 10. Sistema de la reivindicación 9, que comprende además circuitería configurada para determinar una compensación de predistorsión que tiende a reducir al menos un aspecto de una diferencia entre una forma de onda de referencia y una forma de onda de la señal de referencia recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.

- 30 11. Sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, que comprende además una pluralidad de trayectos de la señal, y circuitería configurada para determinar un promedio de conjunto de las diferencias asociadas a cada uno de una pluralidad de trayectos de la señal entre una o más formas de onda de referencia y una forma de onda de una señal recibida o una transformación de la misma según se adquiere a partir del acoplamiento mutuo.

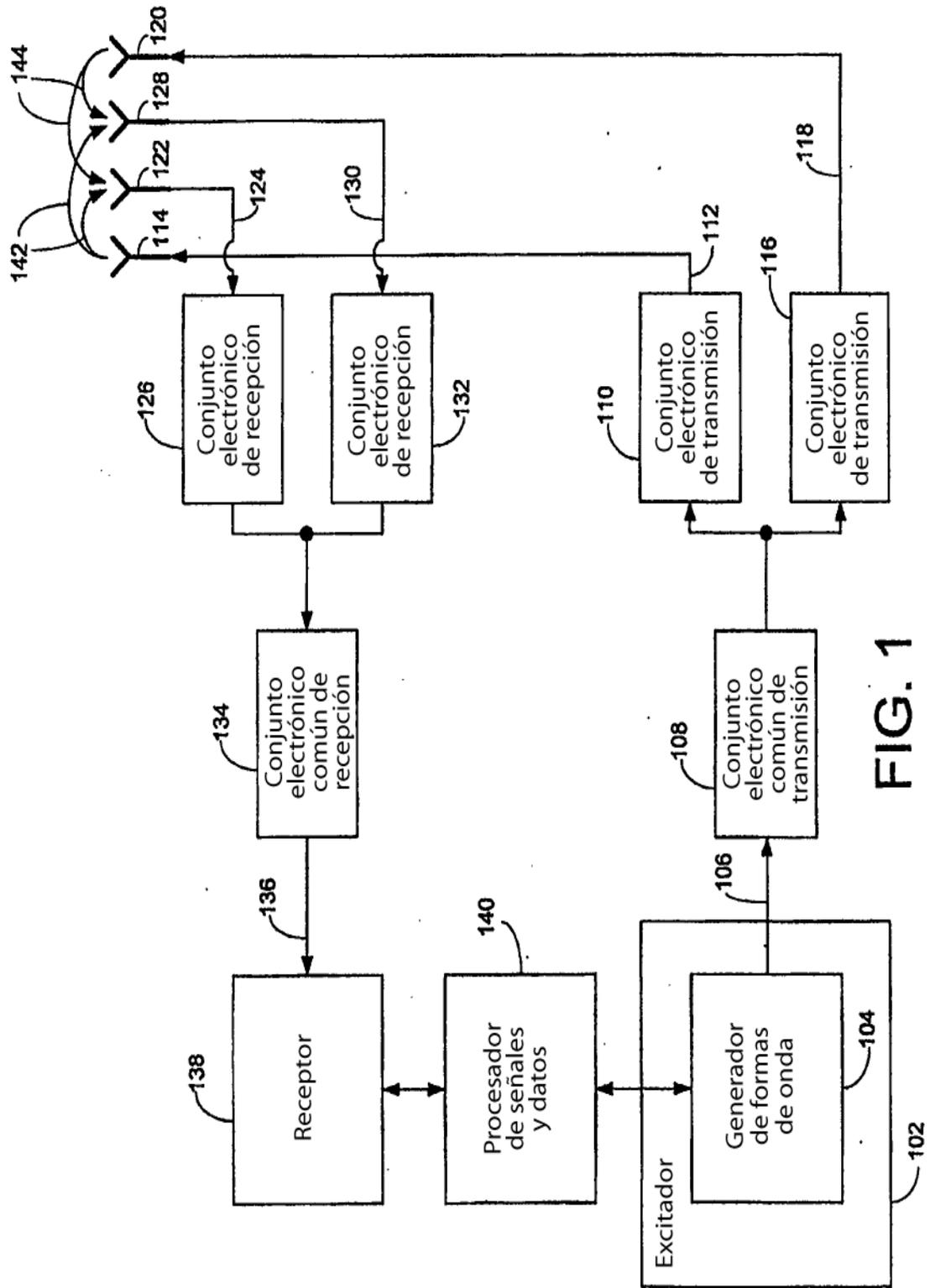


FIG. 1

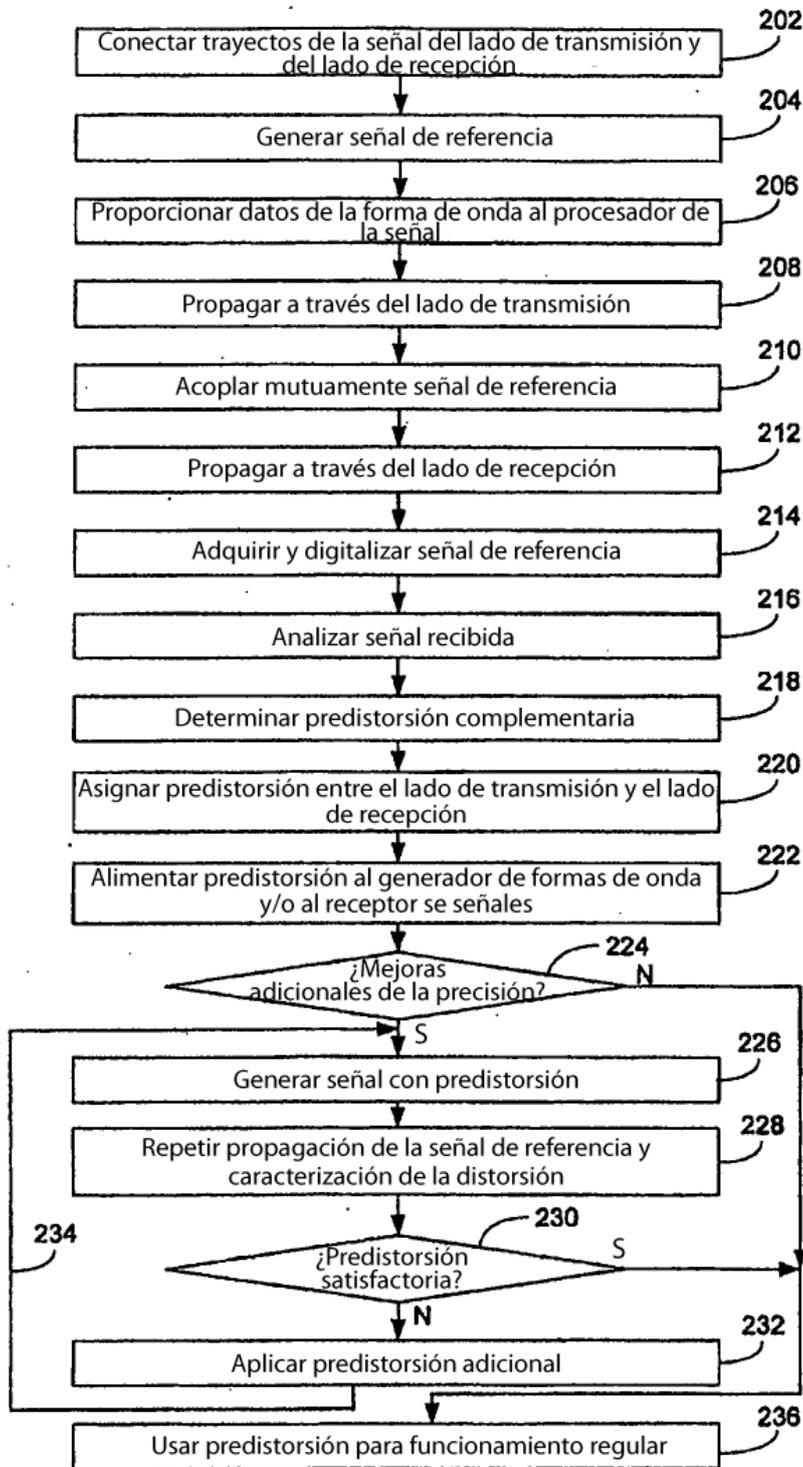


FIG. 2

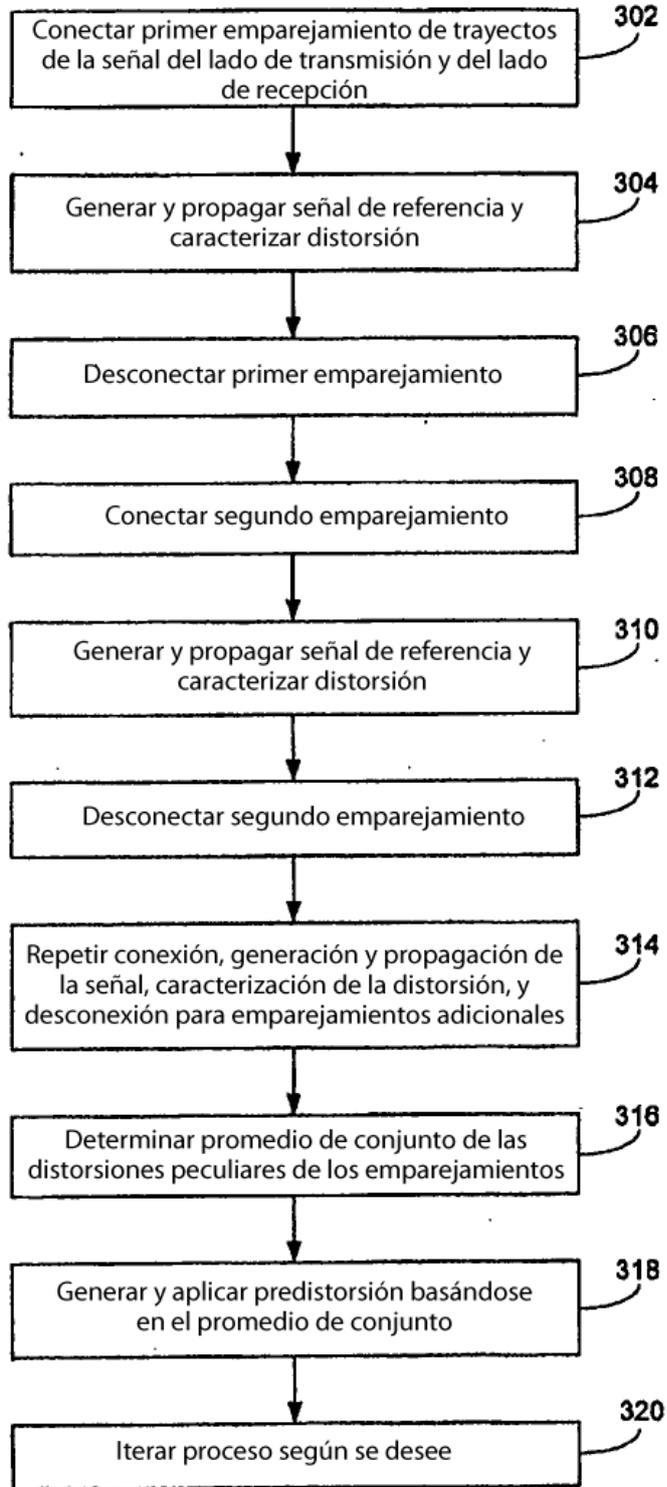


FIG. 3

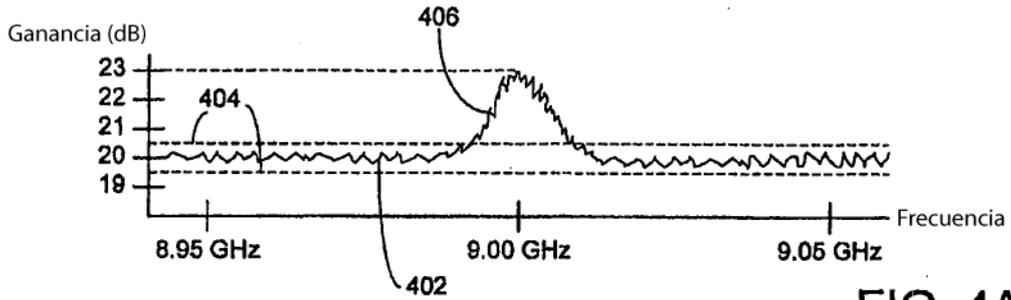


FIG. 4A

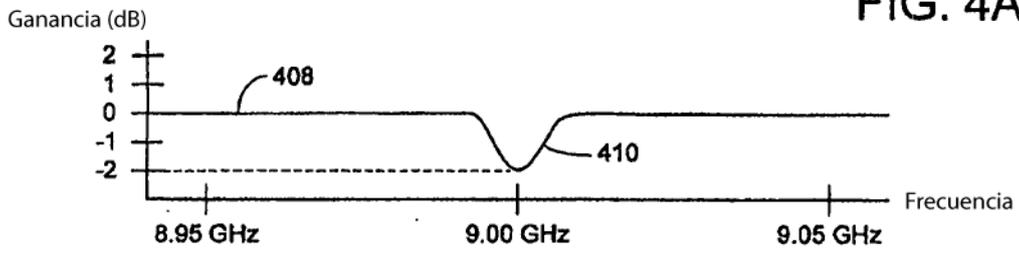


FIG. 4B

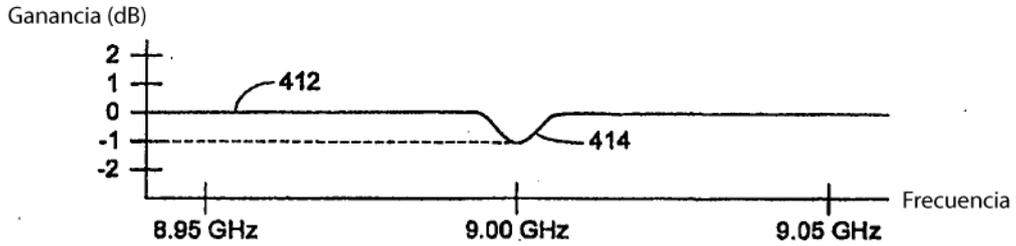


FIG. 4C

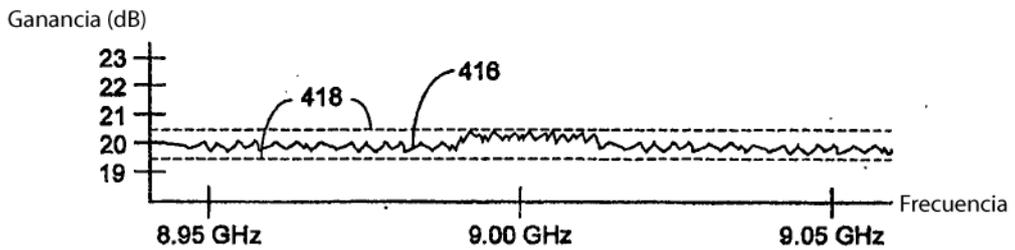


FIG. 4D