

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 323**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/26 (2006.01)

H01Q 1/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2010 PCT/IB2010/054322**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2012 WO12038783**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2010 E 10774277 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2619847**

54 Título: **Métodos, aparatos de prueba y dispositivos para eliminar los efectos del acoplamiento transversal en los conjuntos de antenas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.06.2018

73 Titular/es:
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
164 83 Stockholm, SE

72 Inventor/es:
MCGOWAN, NEIL y
DEANE, PETER

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 674 323 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

Métodos, aparatos de prueba y dispositivos para eliminar los efectos del acoplamiento transversal en los conjuntos de antenas

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere, en general, a métodos, aparatos de prueba y transceptores, y, más particularmente, a dispositivos y técnicas para eliminar los efectos del acoplamiento cruzado que se producen en los conjuntos de antenas.

Antecedentes

- 10 El desarrollo de transceptores de radio de tamaño cada vez menor y la demanda cada vez mayor de capacidad en los últimos años ha favorecido la aparición de conjuntos de antenas de pequeño tamaño. En comparación con una sola antena, un conjunto de antenas tiene características de rendimiento mejoradas, tales como el rechazo de interferencias y la dirección del haz sin mover físicamente la apertura. Las velocidades de transmisión más altas, el número creciente de usuarios y otras nuevas demandas solicitadas a los conjuntos de antenas hacen que la dirección de los efectos de acoplamiento cruzado entre elementos de antena sea aún más importante.

- 15 Un conjunto de antenas tal como el ilustrado en la Figura 1, en general, consiste en múltiples elementos (o columnas) de antena poco espaciados #1, #2, ..., #n, que, típicamente, tienen una distancia d de aproximadamente 0,5 longitudes de onda entre elementos de antena (cuya distancia para las frecuencias del sistema de comunicación de radio de 0,5 GHz a 5 GHz está en el rango de 3 cm a 30 cm). La dirección de propagación de interés es perpendicular (es decir, dirección y) en el plano (es decir, el plano que incluye los ejes x y z) de los elementos de antena #1, #2, ..., #n.

- 20 El acoplamiento mutuo es un fenómeno electromagnético que ocurre entre elementos radiantes electromagnéticos espacialmente cercanos. Debido a la cercanía de los elementos de antena, los efectos del acoplamiento mutuo en un conjunto de antenas pueden ser importantes. Cuando un elemento de antena transmite una señal electromagnética, los elementos vecinos resonantes (o columnas) irradian energía de acuerdo con la señal transmitida. De forma similar, cuando un elemento de antena (o columna) recibe una señal electromagnética, una parte de la energía de la señal recibida se vuelve a radiar a los elementos (o columnas) vecinos. En muchas áreas diferentes que usan conjuntos de antenas, por ejemplo, desde el uso convencional de antenas hasta su empleo moderno en áreas exóticas tales como sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), sistemas de diversidad, imágenes médicas y sistemas de radar, la manera de tener en cuenta estos efectos del acoplamiento mutuo es importante.

- 25 Los cálculos teóricos clásicos pueden usarse para determinar un patrón de haz esperado en un plano perpendicular al plano del conjunto de antenas en la dirección de interés. Dichos cálculos se usan en el diseño de conjuntos de antenas y, típicamente, suponen que los efectos del acoplamiento mutuo son inexistentes o son tan pequeños que pueden despreciarse. Desgraciadamente, esta suposición se vuelve cada vez más imprecisa a medida que los elementos del conjunto están menos separados y operan en un entorno de aire en movimiento. Recientemente, se han realizado muchos intentos para reducir o compensar los efectos del acoplamiento mutuo.

- 30 Algunos métodos que han sido propuestos para explicar estos acoplamientos mutuos, en general, dan como resultado un diseño de compromiso. El diseño de compromiso se logra mediante reiteradas iteraciones y pruebas. Las concesiones que afectan a las especificaciones críticas de la antena son inevitables debido a los cambios de diseño implementados para evitar el acoplamiento mutuo. Típicamente, las variables de diseño empleadas para tener en cuenta el acoplamiento mutuo incluyen el diseño del elemento radiante, el espaciado entre columnas, los desplazamientos entre columnas y los formadores de haz. Este enfoque convencional para explicar el acoplamiento mutuo de elementos individuales de un conjunto de antenas tiene el inconveniente de que estos métodos son aproximaciones y, al final, a pesar del tiempo de diseño de antena más largo, los conjuntos de antenas siguen plagados de impedimentos de acoplamiento mutuo residuales.

- 35 Una determinación precisa de los coeficientes del acoplamiento mutuo no es sencilla. Aunque se espera que los coeficientes del acoplamiento mutuo y los coeficientes del acoplamiento mutuo de transmisión sean similares, pueden diferir significativamente debido a las diferentes distribuciones de corriente que ocurren en los elementos de antena (o columnas). La medición directa del acoplamiento mutuo no es práctica para un diseño típico del conjunto de antenas.

Además, aunque los efectos del acoplamiento mutuo son los efectos del acoplamiento cruzado más frecuentemente considerados, estos efectos pueden no ser los únicos que perjudican el rendimiento. Por lo tanto, tener en cuenta los efectos del acoplamiento mutuo (que pueden ser medidos o estimados) aún puede dejar otros efectos de degradación de la calidad no contabilizados.

- 55 En consecuencia, sería deseable proporcionar dispositivos, sistemas y métodos que eviten los problemas e inconvenientes descritos anteriormente.

Compendio

Los métodos y dispositivos para eliminar los efectos del acoplamiento cruzado se proporcionan basándose en la transmisión de señales de compensación (que son una combinación lineal de señales de datos con coeficientes de acoplamiento cruzado) a fin de recapturar la posición y el nivel de las posiciones nulas teóricamente calculadas.

5 Algunos de los métodos y dispositivos tienen la ventaja de que los coeficientes del acoplamiento cruzado determinados experimentalmente para un conjunto de antenas que tiene un diseño particular son utilizables para todas las demás redes de antenas que tienen un diseño similar. Los coeficientes del acoplamiento cruzado tienen en cuenta el acoplamiento mutuo entre los elementos de antena y otros fenómenos de elementos cruzados, tales como los efectos de borde.

10 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo, un aparato para determinar los coeficientes del acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de elementos de antena incluye un bloque de multiplexación, una o más antenas de medición y un procesador. El bloque de multiplexación está configurado para recibir señales de datos para ser transmitidas a través de los elementos de antena y emitir a al menos uno de los elementos de antena una señal de suma que incluye (i) una señal de datos, cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, cada una de las señales de datos en la combinación lineal ponderada por un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos. Las una o más antenas de medición están situadas en posiciones correspondientes a puntos teóricos nulos que se producen cuando se transmiten uno o más conjuntos de datos predeterminados por medio de las señales de datos, estando calculadas las posiciones sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena. El procesador está configurado para recibir mediciones de una potencia total recibida en cada una de las antenas de medición y las señales de datos, para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado para minimizar la potencia total recibida por las una o más antenas de medición cuando los uno o más conjuntos de datos predeterminados son transmitidos, y para transmitir los coeficientes del acoplamiento cruzado ajustados al bloque de multiplexación.

De acuerdo con otra realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para determinar los coeficientes del acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de elementos de antena. El método incluye recibir señales de datos para ser transmitidas a través de los elementos de antena y emitir a al menos uno de los elementos de antena, una señal de suma de (i) una señal de datos de entre las señales de datos, cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de las señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas distintos del al menos un elemento de antena, estando ponderada cada una de las señales de datos de la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos. El método incluye además medir la potencia total recibida en una o más antenas de medición situadas en posiciones correspondientes a puntos teóricos nulos que se producen cuando se transmiten uno o más conjuntos de datos predeterminados por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena, y ajustar los coeficientes del acoplamiento cruzado para minimizar la potencia total recibida por las una o más antenas de medición, respectivamente, cuando los uno o más conjuntos predeterminados de datos son transmitidos por medio de las señales de datos.

Según otra realización a modo de ejemplo, un método para compensar los efectos de elementos cruzados incluye recibir señales de datos para ser transmitidas a través de los elementos de antena y emitir a al menos uno de los elementos de antena, una señal de suma que incluye (i) una señal de datos, cuya señal de datos está designada para el al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos de la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos. Los coeficientes del acoplamiento cruzado entre todos los pares de elementos de antena del conjunto de antenas están predeterminados para minimizar la potencia total en puntos nulos teóricos que se producen cuando los conjuntos de datos predeterminados son transmitidos por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos del elemento cruzado.

De acuerdo con otra realización a modo de ejemplo, se proporciona un transceptor configurado para compensar los efectos de elementos cruzados en un conjunto de antenas que incluye una pluralidad de elementos de antena. El transceptor incluye un bloque de multiplexación configurado para recibir señales de datos para ser transmitidas a través de los elementos de antena y para emitir a al menos uno de los elementos de antena, una señal de suma que incluye (i) una señal de datos, cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos en la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos. Los coeficientes de acoplamiento cruzado entre todos los pares de elementos de antena del conjunto de antenas están predeterminados para minimizar la potencia total en puntos nulos teóricos que se

producen cuando los conjuntos predeterminados de datos son transmitidos por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos cruzados.

Breve descripción de los dibujos

5 Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de la memoria descriptiva, ilustran una o más formas de realización y, junto con la descripción, explican estas formas de realización. En los dibujos:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un conjunto de antenas;

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un transceptor de acuerdo con una realización a modo de ejemplo;

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un método para compensar los efectos de elementos cruzados en un conjunto de antenas de acuerdo con una realización a modo de ejemplo.

10 La Figura 4 es un diagrama esquemático de un aparato para determinar coeficientes de acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas de acuerdo con una realización a modo de ejemplo;

La Figura 5 es un diagrama esquemático de una configuración de prueba de acuerdo con una realización a modo de ejemplo;

15 La Figura 6 es un gráfico que ilustra un patrón de antena no compensado, un patrón de antena teórico y un primer error como funciones de un ángulo de acimut;

La Figura 7 es un gráfico que ilustra un patrón de antena después de la compensación de los efectos de acoplamiento en un elemento de antena vecino más cercano, el patrón de antena teórico, y un segundo error como funciones del ángulo de acimut;

20 La Figura 8 es un gráfico que ilustra un patrón de antena después de la compensación de los efectos de acoplamiento en más que el elemento de antena vecino más cercano, el patrón de antena teórico, y un tercer error como funciones del ángulo de acimut;

La Figura 9 es un gráfico que ilustra un patrón de antena medido de una columna central de un conjunto de tres antenas, ambos sin corrección usando coeficientes de acoplamiento cruzado y cuando se usa la corrección, de acuerdo con una realización a modo de ejemplo; y

25 La Figura 10 es un diagrama de flujo de un método para determinar coeficientes de acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de elementos de antena.

Descripción detallada

30 La siguiente descripción de las realizaciones a modo de ejemplo se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican los mismos o similares elementos. La siguiente descripción detallada no limita la invención. Por el contrario, el alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas. Las siguientes realizaciones están explicadas, por sencillez, con respecto a la terminología y la estructura de un sistema de comunicación por radio que usa una red de antenas. Sin embargo, las formas de realización que se explicarán a continuación no están limitadas a estos sistemas, sino que pueden ser aplicadas a otros sistemas de comunicación inalámbricos que se ven afectados por los efectos de elementos cruzados.

35 La referencia en toda la memoria descriptiva a "una realización" significa que una característica, estructura o característica particular descrita en conexión con una realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, la aparición de la frase "en una realización" en varios lugares a lo largo de la memoria descriptiva no necesariamente se refiere a la misma realización. Además, las características, estructuras o características particulares pueden ser combinadas de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones.

40 Para eliminar los efectos de los elementos cruzados, en cada elemento de antena de un conjunto de antenas se transmite una señal que incluye una señal principal destinada a ser transmitida por ese elemento de antena, y una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena. La combinación lineal es una suma de términos cruzados, siendo cada término una señal de datos designada para otro elemento de antena del conjunto de antenas, ponderada mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el elemento de antena y el otro elemento de antena que emite la señal de datos respectiva. Los coeficientes del acoplamiento cruzado entre todos los pares de elementos de antena del conjunto de antenas están predeterminados para minimizar la potencia total en puntos nulos teóricos calculados sin considerar los efectos de elementos cruzados.

50 Con fines ilustrativos y no limitativos, una realización a modo de ejemplo de un bloque de multiplexación 100, conectado a un conjunto de antenas 110 que tiene cuatro elementos de antena (A_1 , A_2 , A_3 y A_4) se ilustra en la Figura 2. Los transceptores que tienen una estructura similar pueden proporcionar señales de transmisión a cualquier número N (mayor de dos) de elementos de antena.

- 5 Cada una de las señales de datos S1, S2, S3 y S4 es proporcionada a un conjunto de cuatro multiplexores dentro de un bloque de multiplexado 105. Por lo tanto, S1 es recibido por M₁₁, M₁₂, M₁₃, M₁₄, S2 es recibido por M₂₁, M₂₂, M₂₃, M₂₄, S3 es recibido por M₃₁, M₃₂, M₃₃, M₃₄, y S4 es recibido por M₄₁, M₄₂, M₄₃, M₄₄. Las señales de datos se dividen o replican para ser suministradas al conjunto respectivo de multiplexor dentro o fuera (tal como se ilustra en la Figura 2) del transceptor 100.
- 10 Cada uno de los multiplexores M_{ik} (donde i = 1 a 4 y k = 1 a 4) genera una señal de datos ponderada D_{ik} igual a la señal de datos de entrada S_i multiplicada por un peso correspondiente w_{ik}. Los pesos diagonales w₁₁, w₂₂, w₃₃, y w₄₄ son unitarios. Los pesos fuera de la diagonal w₁₂, w₁₃, ..., w₄₃ tienen en cuenta los efectos de elementos cruzados, y están predeterminados para minimizar una potencia total en puntos nulos teóricos que se producen cuando se transmiten conjuntos predeterminados de datos por medio de las señales de datos. Los puntos nulos teóricos se calculan para los conjuntos predeterminados de datos que se transmiten por medio de las señales de datos S1, S2, S3 y S4, sin considerar los efectos de elementos cruzados. Los pesos son números complejos, caracterizados, por ejemplo, por una magnitud y una fase. Los aparatos y métodos empleados para determinar los pesos se describirán en detalle.
- 15 Los pesos w_{ik} (donde i = 1 a 4 y k = 1 a 4) pueden ser almacenados de manera semipermanente en los multiplexores, o pueden ser almacenados en una memoria 120 a partir de la cual se proporcionan los pesos a los multiplexores M_{ik} cuando el bloque de multiplexación 105 está activado. En general, puede haber varios conjuntos de pesos correspondientes a diferentes frecuencias de las señales de datos. El uso de diferentes conjuntos de pesos para diferentes rangos de frecuencia conduce a un mejor rendimiento. La memoria 120 puede estar dentro del transceptor 100 (tal como se ilustra en la figura 2) o puede ser una memoria externa.
- 20 El transceptor 100 también puede incluir una interfaz 130 utilizable para actualizar los pesos almacenados en la memoria 120. Alternativamente, el bloque de multiplexación 100 puede incluir una interfaz diferente (no mostrada) utilizable para proporcionar y/o actualizar los pesos w_{ik} almacenados de manera semipermanente en los multiplexores M_{ik}.
- 25 El bloque de multiplexación 105 incluye además cuatro circuitos de suma: Σ₁, Σ₂, Σ₃ y Σ₄. Cada uno de los circuitos de suma Σ_k (k = 1 a 4) recibe señales de datos ponderadas D_{ik} de un subconjunto de los multiplexores M_{ik} (i = 1 a 4). El circuito de suma Σ_k agrega las señales de datos ponderadas recibidas para emitir una señal E_k. La señal E_k es igual a la suma de una señal de datos S_k (desde w_{kk} es unitario), y una combinación lineal de las otras señales de datos de entrada (es decir, las señales de datos ponderadas).
- 30 Las señales de salida E_k (k = 1 a 4) son transmitidas hacia los elementos de antena A_k, respectivamente. Entre el bloque de multiplexación 105 y el conjunto de antenas 110, dentro o fuera (como se ilustra en la figura 2) del transceptor 100, un bloque de procesamiento posterior 140 puede incluir componentes para realizar un procesamiento adicional (por ejemplo, conversión de frecuencia, modulación y amplificación) de las señales E_k antes de ser emitidas por los elementos de antena A_k. El bloque de procesamiento posterior 140 procesa cada señal (E1, E2, E3, E4) individualmente (es decir, este procesamiento posterior no implica combinar las señales).
- 35 Un transceptor 100 que incluye el bloque de multiplexación 105 compensa los efectos del acoplamiento cruzado aplicando señales de compensación en elementos de antena distintos de un elemento de antena para el que está destinada una señal de datos S. Las señales de compensación aplicadas son iguales a la señal de datos S multiplicada por un peso complejo w que caracteriza el par del elemento de antena para el que está destinada una señal de datos S y el otro elemento de antena en el que se aplica una señal de compensación respectiva. Debido al efecto compuesto de las señales de compensación, el haz está formado como si solo el elemento de antena para el que se desea transmitir una señal de datos S radia, sin efectos de elementos cruzados (por ejemplo, acoplamiento mutuo).
- 40 Si un transceptor proporciona señales de transmisión a un número N (mayor de dos) de elementos de antena, el transceptor incluirá multiplexores N × N M_{ik} (donde i = 1 a N y k = 1 a N), y N circuitos sumadores Σ_k (k = 1 a N).
- 45 Un transceptor, que tiene una estructura similar al transceptor 100 en la Figura 2, y está conectado a un conjunto de antenas con N elementos de antena, puede llevar a cabo un método 200 para compensar los efectos de elementos cruzados. En la Figura 3 se ilustra un diagrama de flujo del método 200. Se pueden implementar diversas realizaciones que llevan a cabo el método 200 en hardware, software o en una combinación de los mismos.
- 50 El método 200 incluye, en S210, recibir señales de datos (por ejemplo, S1, ..., SN) para ser transmitidas a través de N elementos de antena. En S220, el método 200 incluye además emitir a al menos uno de los N elementos de antena (por ejemplo, el elemento de antena i), una señal de suma que incluye (a) una señal de datos (es decir, S_i), cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, y (b) una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos en la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado de entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos (es decir, Σ_{k=1}
- 55 → N; k ≠ i w_{ik} S_k).

En general, los efectos de elementos cruzados, tales como el acoplamiento mutuo, son relativamente iguales para los conjuntos de antenas que tienen el mismo diseño. Por ejemplo, se ha observado que las impedancias mutuas (que caracterizan el acoplamiento mutuo) medidas de diferentes conjuntos de antenas del mismo diseño tienen valores sustancialmente iguales. Por lo tanto, una vez que se establecen los pesos utilizados para compensar los efectos de elementos cruzados para un diseño particular, se pueden usar para todos los demás conjuntos de antenas del mismo diseño.

La figura 4 es un diagrama esquemático de un aparato 300 para determinar los coeficientes del acoplamiento cruzado en un conjunto 310 de antenas, de acuerdo con una realización a modo de ejemplo. El conjunto 310 de antenas incluye cuatro elementos de antena, pero cuatro es simplemente un número ilustrativo y no pretende ser limitativo.

El aparato 300 incluye un bloque de multiplexación 320 configurado para recibir señales de datos (S1, S2, S3, S4) para ser transmitidas a través de los elementos de antena del conjunto de antenas 310, y para emitir a al menos uno de los elementos de antena (por ejemplo, el elemento de antena i) una señal de suma (Ei) que incluye (a) una señal de datos (Si), cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, y (b) una combinación lineal de señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos en la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado de entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos (es decir, $\sum_{k=1 \rightarrow N; k \neq i} W_{ik} S_k$).

Un bloque de procesamiento posterior 330 puede procesar adicionalmente las señales Ei individualmente antes de que las señales sean emitidas a través de los elementos de antena.

El aparato 300 incluye además una o más antenas de medición 340, 345, 350 y 355, que están situadas en posiciones (por ejemplo, z1, z2, z3, z4) correspondientes a puntos teóricos nulos. Los puntos nulos son posiciones en las que la amplitud de un haz electromagnético debido a las señales de datos S1, S2, S3 y S4 es mínima (por ejemplo, cero). Los puntos nulos se calculan en base a ecuaciones electromagnéticas bien conocidas sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena. La cantidad de puntos nulos puede ser igual o mayor que la cantidad de antenas, dependiendo de las señales de entrada. En general, los puntos nulos se pueden formar de muchas maneras utilizando diferentes datos transmitidos por medio de las señales S1 ... SN. Para una antena de tres columnas, se pueden usar tres puntos nulos, para una antena de cuatro columnas, se pueden usar cuatro o cinco puntos nulos, etc.

Lo suficientemente lejos de la ubicación del conjunto 310 de antenas, los puntos nulos teóricos pueden caracterizarse por ángulos acimutales $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ y θ_4 con un plano del conjunto de antenas (cuyo origen es el centro del conjunto de antenas) tal como se ilustra en la Figura 5. Una convención de ángulo acimutal frecuentemente utilizada es 0° en la dirección del eje y con ángulos positivos en el sentido de las agujas del reloj en el plano x-y en la Figura 1 mirando hacia abajo en el eje z. Usando esta convención, para un conjunto de antenas de tres columnas, los nulos pueden estar, por ejemplo, ubicados en ángulos acimutales a aproximadamente +38°, 0° y -38°.

El aparato 300 puede incluir una pluralidad de antenas, cada una de las cuales está situada en uno de los puntos nulos teóricos. Alternativamente, el aparato 300 puede incluir una única antena que es colocada sucesivamente en cada posición de los puntos nulos teóricos. El aparato puede incluir un conjunto de medición de posición 400 configurado para permitir la localización de las posiciones correspondientes a los puntos nulos teóricos con respecto al conjunto de antenas.

El aparato 300 incluye además un procesador configurado para recibir mediciones de la potencia recibida en cada una de las antenas de medición (o la misma antena en diferentes posiciones) y las señales de datos, para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado para minimizar la potencia total. La obtención de los coeficientes de acoplamiento cruzado es un proceso iterativo, los coeficientes de acoplamiento cruzado recién ajustados son transmitidos al bloque de multiplexación 320. El procesador puede incluir un correlador 370 y un ajustador 380.

El correlador 350 puede estar configurado para recibir las medidas de la potencia total recibida en cada una de las (una o más) antenas de medición 340, 345, 350 y 355 y las señales de datos S1, S2, S3 y S4. El correlador 370 puede estar configurado para generar valores de potencia normalizados calculados en función de la potencia total y de las señales de datos.

El ajustador 380 puede estar configurado para recibir los valores de potencia normalizados del correlador 370, para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado usando los valores de potencia normalizados. El ajustador 380 también puede estar configurado para emitir los coeficientes de acoplamiento cruzado ajustados al bloque de multiplexación 320.

El procesador puede ser implementado como una combinación de software y hardware. Para obtener una combinación óptima de coeficientes de acoplamiento cruzado cuando se consideran, por ejemplo, K mediciones nulas y N columnas, se puede aplicar secuencialmente un método descendente multivariante para minimizar una función multiobjetivo de $N * (N-1)$ variables:

$$\text{Minimizar } \sum_{k=1}^K \left\{ \alpha_k \left| Y_k(w_1, w_2, \dots, w_{N*(N-1)}) \right|^2 \right\}$$

donde Y_k es la amplitud de la señal de orden k capturada en una antena de medición y α_k es un parámetro de énfasis de medición opcional. Las variables de optimización, que están relacionadas con los coeficientes de acoplamiento cruzado, son:

$$w_1 = w_{r1} + j w_{i1}$$

$$w_2 = w_{r2} + j w_{i2}$$

⋮

$$w_{N*(N-1)} = w_{rN*(N-1)} + j w_{iN*(N-1)}$$

5

Basado en un método de descenso, la actualización de peso $w_{k,yo}$ en la iteración n es:

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \mu_i$$

dónde w_{yo} es el peso $i = 1, 2, \dots, N * (N-1)$, μ_{yo} es la constante de convergencia. Se pueden ajustar uno o más pesos al mismo tiempo. Los pesos se actualizan mediante un método iterativo.

10 La constante de convergencia μ_{yo} determina la velocidad a la cual convergerá la optimización. Cuanto mayor es la constante de convergencia, más rápido convergerá el algoritmo.

15 La Figura 6 es un gráfico que ilustra un patrón de antena no compensada 500, un patrón de antena teórico 510 y un primer error 520 (que es la diferencia entre 500 y 510) como funciones del ángulo de acimut θ . La figura 7 es un gráfico que ilustra un patrón de antena 530 después de la compensación de los efectos del acoplamiento en el elemento de antena vecino más cercano (es decir, después de los pasos 1 y 2 anteriores), el patrón de antena teórico 510 y un segundo error 540 (es decir, la diferencia entre 530 y 510) como funciones del ángulo acimutal θ . La Figura 8 es un gráfico que ilustra un patrón de antena 550 después de la compensación de los efectos del acoplamiento en más que el elemento de antena vecino más cercano (es decir, después de los pasos 1, 2, 3 y 4 anteriores), el patrón de antena teórico 510 y un tercer error 560 (es decir, la diferencia entre 550 y 510) como funciones del ángulo acimutal θ . Los gráficos en las Figuras 6, 7 y 8 se generan mediante una simulación por ordenador, a partir de la cual se puede ver la capacidad de compensar los efectos del acoplamiento mutuo.

20 La Figura 9 es un gráfico que ilustra patrones de antena medidos de una columna central de una antena de tres columnas antes de corregir los efectos del acoplamiento 560, y después de corregir los efectos del acoplamiento 570 en base a las técnicas descritas anteriormente. El eje x del gráfico es el ángulo acimutal y el eje y es la ganancia.

25 La Figura 10 es un diagrama de flujo de un método 600 para determinar los coeficientes del acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas que tiene una pluralidad de elementos de antena. El método 600 incluye recibir señales de datos (S610) para ser transmitidas a través de los elementos de antena. El método 600 incluye además la salida (S620) a al menos uno de los elementos de antena, una señal de suma de (i) una señal de datos de entre las señales de datos, cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de las señales de datos designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas distintos del al menos un elemento de antena, estando ponderada cada una de las señales de datos de la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado entre el al menos un elemento de antena y el elemento de antena que emite cada una de las señales de datos. El método 600 incluye además ajustar la potencia total medida (S630) recibida en cada una de las antenas de medición situadas en posiciones correspondientes a puntos teóricos nulos que se producen cuando se transmiten uno o más conjuntos de datos predeterminados por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena. El método 600 también incluye ajustar (S640) los coeficientes del acoplamiento cruzado para minimizar la potencia total recibida por la una o más antenas de medición, respectivamente, cuando los uno o más conjuntos predeterminados de datos son transmitidos por medio de las señales de datos.

30
35
40
45 Los pasos S620, S630 y S640 del método 600 pueden ser llevados a cabo iterativamente hasta que se cumpla un criterio de convergencia predeterminado. Si se usan una pluralidad de antenas de medición, el método 600 puede incluir colocar una antena de medición en cada uno de los puntos nulos teóricos. Alternativamente, el método 600 puede incluir colocar secuencialmente la misma antena de medición en cada uno de los puntos nulos teóricos. En el método 600, cada subconjunto de coeficientes de acoplamiento cruzado entre un elemento de antena y otros elementos de antena puede ser obtenido separadamente de todos los demás coeficientes del acoplamiento cruzado,

realizando S620 como si las señales de datos incluyeran solo una señal de datos única para ser transmitida a través del único elemento de antena.

5 Los métodos, transceptores y aparatos descritos anteriormente proporcionan la capacidad de compensar el acoplamiento cruzado (incluyendo, pero sin estar limitado al acoplamiento mutuo) a la vez que reducen el tiempo de diseño para los conjuntos de antenas, reduciendo el número de iteraciones que de otro modo serían necesarias para lograr un buen rendimiento. Por lo tanto, proporcionan una mayor libertad en la elección del diseño del elemento para optimizar mejor atributos tales como el coste, la capacidad de fabricación y la repetibilidad. Un conjunto de antenas que funciona en modo de compensación se comporta mucho más cerca de un conjunto de antenas teóricas, produciendo así actuaciones predecibles y maximizando el beneficio de usar algoritmos asociados.

10 A diferencia de la medición directa del acoplamiento mutuo solamente, algunos de los métodos y dispositivos descritos anteriormente también representan otros aspectos no ideales en el conjunto de antenas, tales como tolerancias mecánicas, efectos del hardware del equipo de radio real, efectos finitos del plano de tierra, etc.

15 Las realizaciones a modo de ejemplo descritas proporcionan métodos, aparatos de prueba y transceptores que compensan los efectos del acoplamiento que se producen en los conjuntos de antenas. Debe entenderse que esta descripción no pretende limitar la invención. Por el contrario, las realizaciones a modo de ejemplo pretenden cubrir alternativas, modificaciones y equivalentes, que están incluidos en el espíritu y el alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, en la descripción detallada de las realizaciones a modo de ejemplo, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de la invención reivindicada. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá que se pueden practicar diversas realizaciones sin tales detalles específicos.

20 Como también apreciarán los expertos en la técnica, las realizaciones a modo de ejemplo pueden ser incorporadas en un dispositivo de comunicación inalámbrico, una red de telecomunicaciones, como un método o en un producto de programa informático. En consecuencia, las realizaciones a modo de ejemplo pueden tomar la forma de una realización completamente de hardware o una realización que combina aspectos de hardware y software. Además, las realizaciones a modo de ejemplo pueden tomar la forma de un producto de programa informático almacenado en un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene instrucciones legibles por ordenador incorporadas en el medio. Se puede utilizar cualquier medio legible por ordenador adecuado, incluidos discos duros, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD), dispositivos de almacenamiento óptico o dispositivos de almacenamiento magnético, tales como un disquete o cinta magnética. Otros ejemplos no limitativos de medios legibles por ordenador incluyen memorias de tipo flash u otras memorias conocidas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (300) para determinar los coeficientes del acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas (310) que tiene una pluralidad de elementos de antena, comprendiendo el aparato:

5 un bloque de multiplexación (320) configurado para recibir señales de datos (S1, S2, S3, S4) para ser transmitidas a través de los elementos de antena y emitir a al menos uno de los elementos de antena (Ai) una señal de suma que incluye (i) una señal de datos (Si), cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos (Sk, k ≠ i) designadas para otros elementos de antena del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos en la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado (w_{ik}) entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos;

10 una o más antenas de medición (340, 345, 350, 355) situadas en posiciones correspondientes a puntos teóricos nulos (z1, z2, z3, z4) que se producen cuando se transmiten uno o más conjuntos predeterminados de datos por medio de las señales de datos, estando calculadas las posiciones sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena; y

15 un procesador (370, 380) configurado para recibir mediciones de la potencia total recibida en cada una de las antenas de medición y las señales de datos, para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado para minimizar la potencia total recibida por las una o más antenas de medición cuando los uno o más conjuntos de datos predeterminados son transmitidos, y para transmitir los coeficientes del acoplamiento cruzado ajustados al bloque de multiplexación.

20 2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende, además:

un conjunto de medición de posición configurado para permitir ubicar las posiciones correspondientes a los puntos nulos teóricos con respecto al conjunto de antenas.

3. El aparato de la reivindicación 1, en el que las una o más antenas de medición incluyen una antena de medición para cada uno de los puntos nulos teóricos.

25 4. El aparato de la reivindicación 1, en el que una única antena de medición se coloca sucesivamente en al menos dos de los puntos nulos teóricos.

5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el procesador está configurado para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado usando un método iterativo de descenso multivariante.

30 6. El aparato de la reivindicación 5, en el que el método iterativo de bajada multivariante minimiza una función multiobjetivo.

$$\sum_{k=1}^K \left\{ \alpha_k \left| Y_k(w_1, w_2, \dots, w_{N*(N-1)}) \right|^2 \right\}$$

35 donde Y_k (k = 1, K) es la amplitud de una señal de orden k capturada en una de las antenas de medición, K es una cantidad de nulos teóricos, w_i (i = 1, N * (N-1)) son variables de optimización complejas relacionadas con los coeficientes del acoplamiento cruzado, N es el número de columnas, y α_k es un parámetro de énfasis de medición opcional.

7. El aparato de la reivindicación 1, en el que:

el bloque de multiplexación está configurado para emitir una señal de datos única a uno de los elementos de antena y para emitir a uno o más elementos de antena la señal de datos de señal ponderada mediante un coeficiente de acoplamiento cruzado entre el elemento de antena y los uno o más elementos de antena adicionales; y

40 el procesador está configurado para ajustar un subconjunto de los coeficientes del acoplamiento cruzado entre los elementos de una antena y los uno o más elementos de antena adicionales.

8. Aparato según la reivindicación 7, en el que el procesador está configurado para ajustar el subconjunto de los coeficientes del acoplamiento cruzado en un orden que depende de la proximidad de los uno o más elementos de antena distintos del elemento de antena único.

45 9. Aparato según la reivindicación 1, en el que el procesador está configurado para controlar el bloque de multiplexación para emitir sumas respectivas de señales a al menos uno de los elementos de antena, y para ajustar los coeficientes del acoplamiento cruzado iterativamente, hasta que se cumpla un criterio predeterminado.

10. El aparato de la reivindicación 1, en el que el procesador incluye:

un correlador configurado para recibir las medidas de la potencia total recibida en cada una de las una o más antenas de medición y las señales de datos, y para generar valores de potencia normalizados calculados en función de la potencia total y las señales de datos; y

5 un ajustador configurado para recibir los valores de potencia normalizados del correlador, para ajustar los coeficientes de acoplamiento cruzado usando los valores de potencia normalizados, y para enviar los coeficientes de acoplamiento cruzado ajustados al bloque de multiplexación.

11. El aparato de la reivindicación 1, en el que el bloque de multiplexación está configurado para usar diferentes conjuntos de coeficientes de acoplamiento cruzado para frecuencias de las señales de datos en diferentes rangos de frecuencia.

10 12. El aparato de la reivindicación 1, en el que un número de posición correspondiente a puntos nulos teóricos es igual o mayor que una cantidad de elementos de antena del conjunto de antenas.

13. Un método (600) para determinar los coeficientes de acoplamiento cruzado en un conjunto de antenas (310) que tiene una pluralidad de elementos de antena, comprendiendo el método:

15 recibir (S610) las señales de datos (S1, S2, S3, S4) para ser transmitidas a través de los elementos de antena (A1, A2, A3, A4);

emitir (S620) a al menos uno de los elementos de antena (Ai), una señal de suma de (i) una señal de datos (Si) de entre las señales de datos, cuya señal de datos está designada para el al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de las señales de datos (Sk, k ≠ i) designadas para otros elementos de antena (Ak) del conjunto de antenas distintos del al menos un elemento de antena (Ai), estando ponderada cada una de las señales de datos en la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado (w_{ik}) de entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos;

20

medir (S630) la potencia total recibida en una o más antenas de medición (340, 345, 350, 355) ubicadas en las posiciones (z1, z2, z3, z4) correspondientes a puntos teóricos nulos que ocurren cuando se transmiten uno o más conjuntos de datos predeterminados por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos del acoplamiento de los elementos de antena; y

25

ajustar (S640) los coeficientes del acoplamiento cruzado (w_{ik}) para minimizar la potencia total recibida por las una o más antenas de medición (340, 345, 350, 355), respectivamente, cuando los uno o más conjuntos predeterminados de datos son transmitidos por medio de las señales de datos.

14. Un método (200) para compensar los efectos de elementos cruzados, comprendiendo el método:

30 recibir (S210) las señales de datos para ser transmitidas a través de los elementos de antena; y

emitir (S220) a al menos uno de los elementos de antena (Ai), una señal de suma que incluye (i) una señal de datos (Si), cuya señal de datos está designada para el al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos (Sk, k ≠ i) designadas para otros elementos de antena (Ak) del conjunto de antenas, estando ponderada cada una de las señales de datos de la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado (w_{ik}) entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos,

35

en el que los coeficientes de acoplamiento cruzado entre todos los pares de antena del conjunto de antenas están predeterminados para minimizar una potencia total en puntos nulos teóricos que se producen cuando los conjuntos de datos predeterminados son transmitidos por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos cruzados.

40

15. Un transceptor (100) configurado para compensar los efectos de elementos cruzados en un conjunto de antenas (310) que incluye una pluralidad de elementos de antena, comprendiendo el transceptor:

un bloque de multiplexación (105) configurado para recibir señales de datos (S1, S2, S3, S4) para ser transmitidas a través de los elementos de antena (A1, A2, A3, A4) y para enviar al menos a uno (Ai) de los elementos de antena, una señal de suma (Ei) que incluye (i) una señal de datos (Si), cuya señal de datos está designada para al menos un elemento de antena, e (ii) una combinación lineal de señales de datos (Sk, k ≠ i) designada para otros elementos de antena (Ak) del conjunto de antenas (310), estando ponderada cada una de las señales de datos (Sk) de la combinación lineal mediante un coeficiente respectivo del acoplamiento cruzado (w_{ik}) entre el al menos un elemento de antena y un elemento de antena que emite cada una de las señales de datos,

45

en el que los coeficientes de acoplamiento cruzado (w_{ik}) entre todos los pares de elementos de antena del conjunto de antenas están predeterminados para minimizar una potencia total en puntos nulos teóricos que se producen cuando los conjuntos de datos predeterminados son transmitidos por medio de las señales de datos, estando calculados los puntos nulos teóricos sin considerar los efectos de elementos cruzados.

50

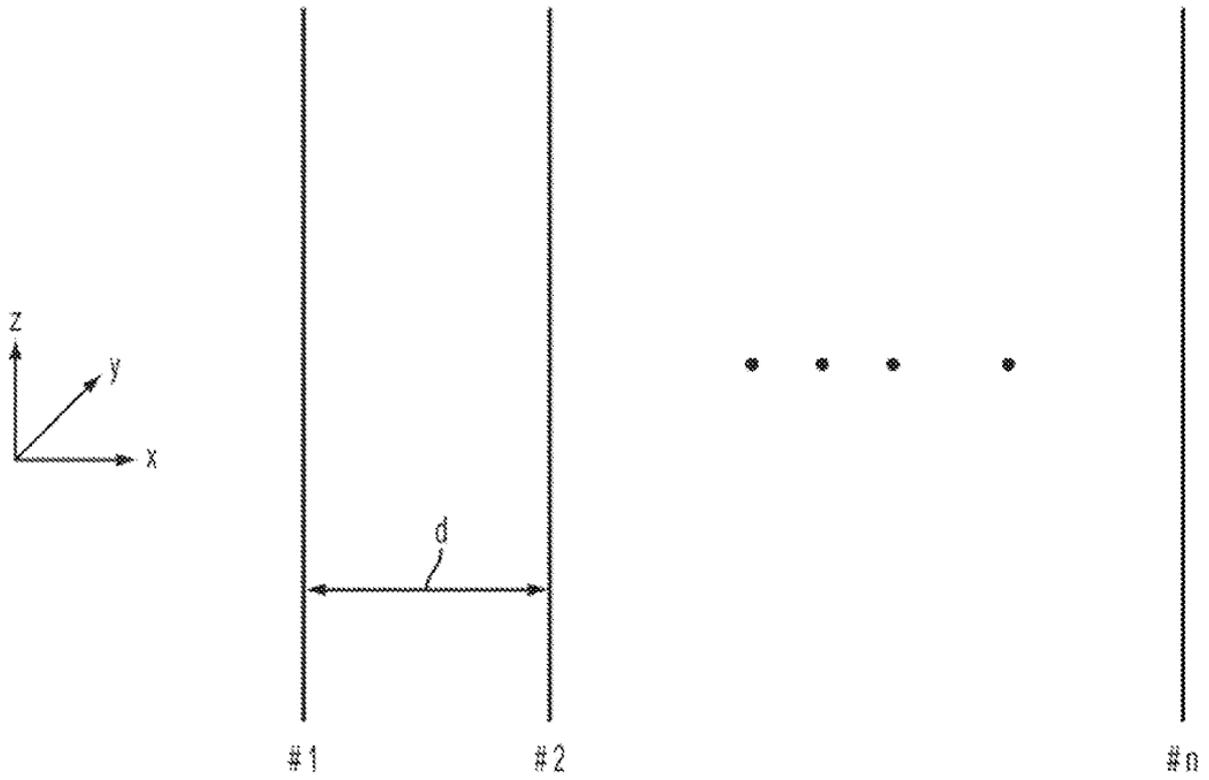


FIG. 1

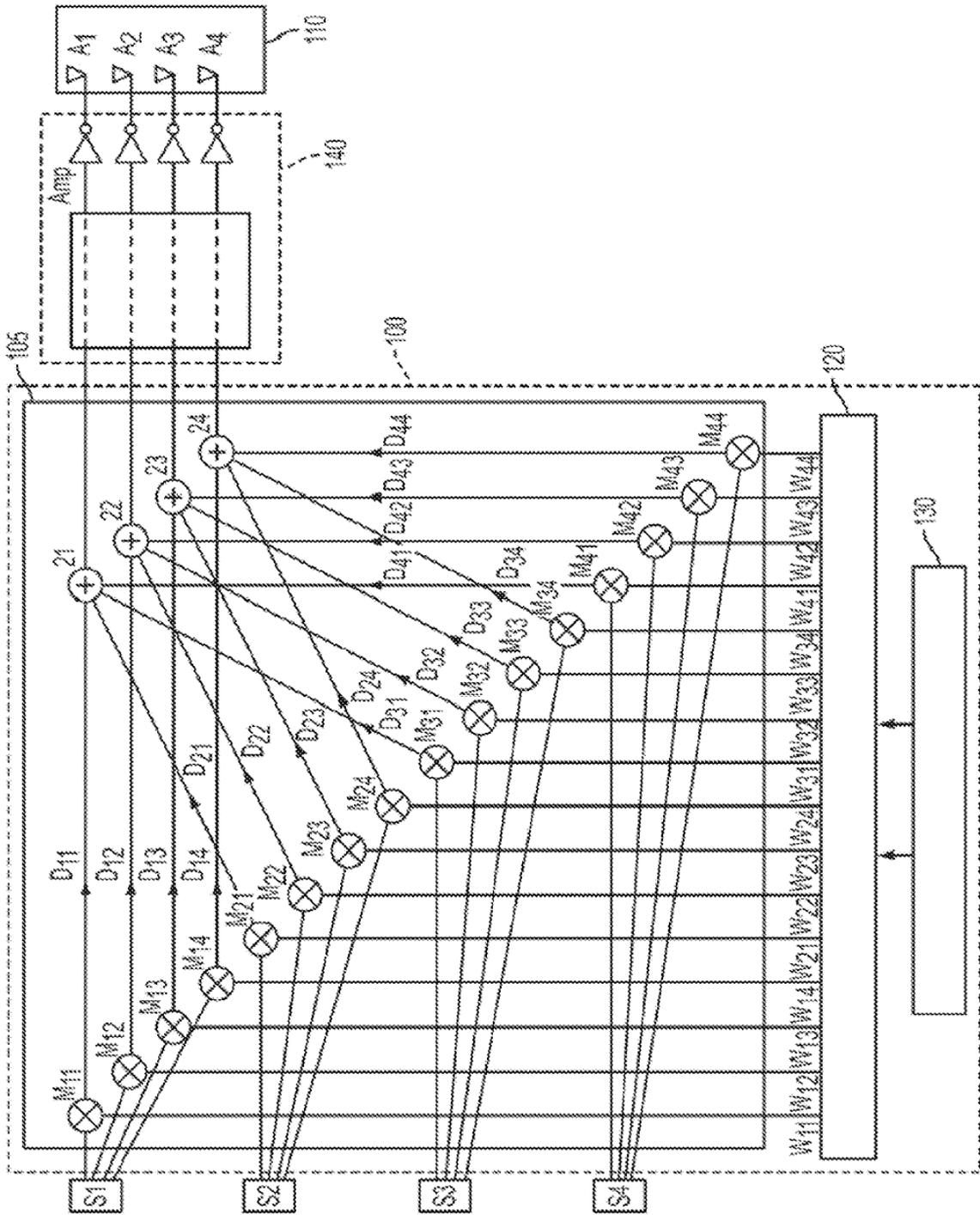


FIG. 2

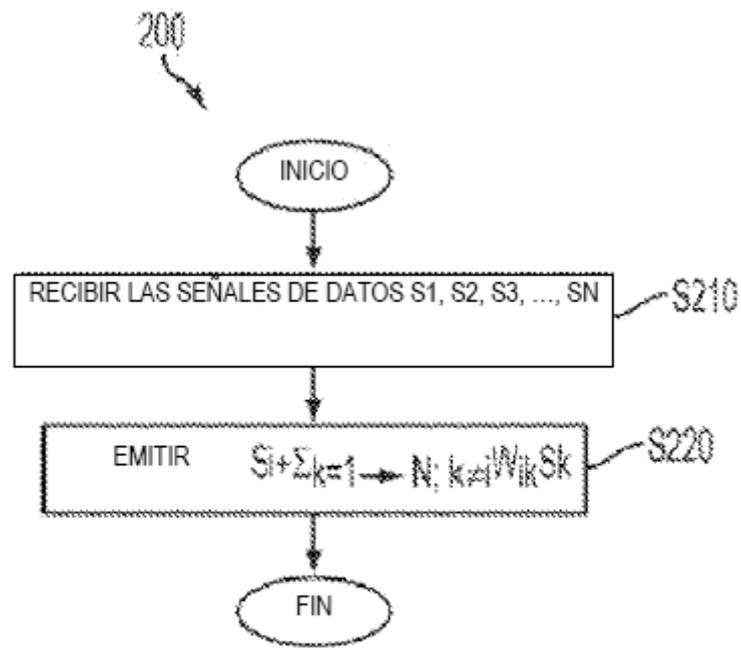


FIG. 3

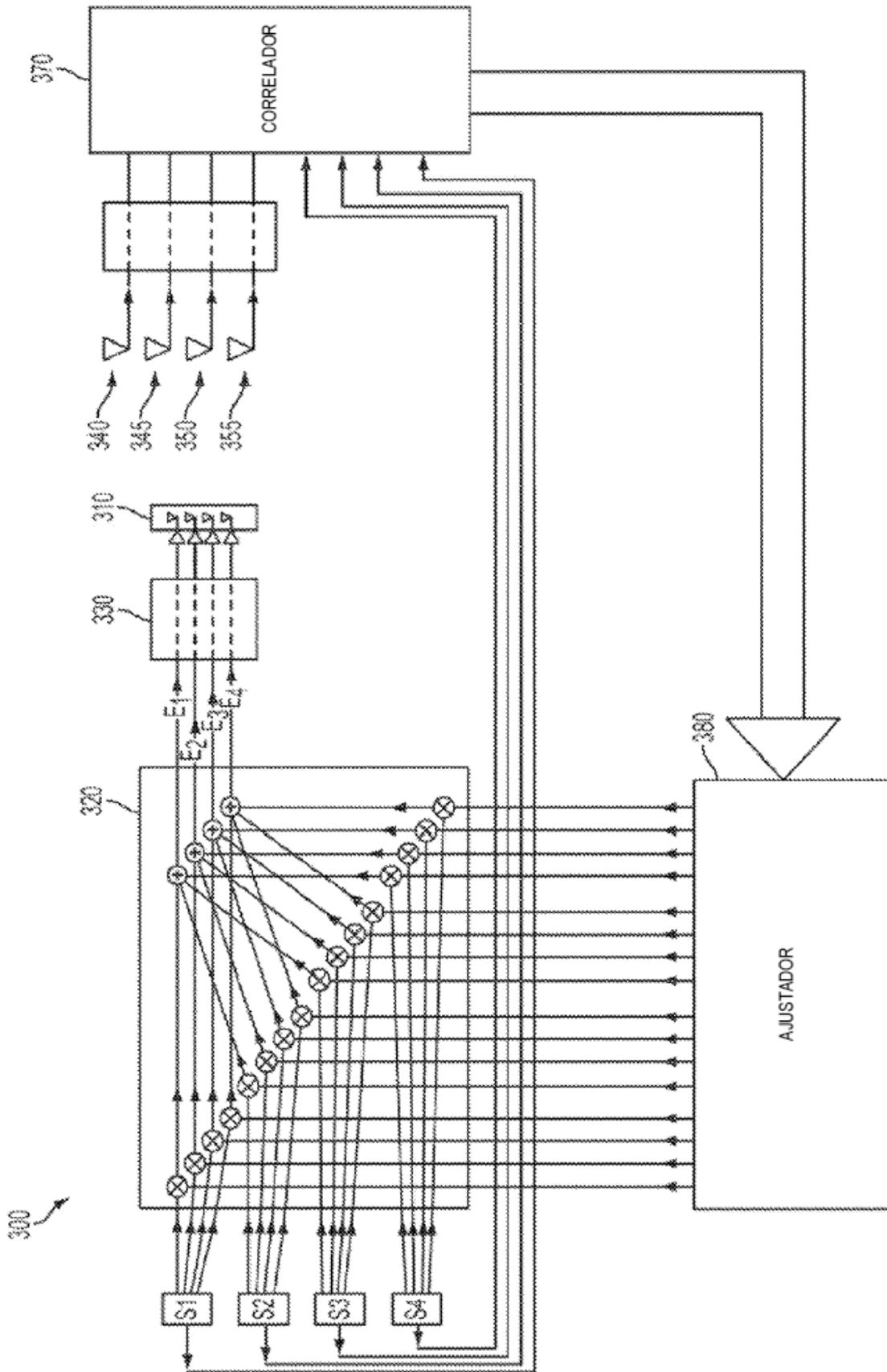


FIG. 4

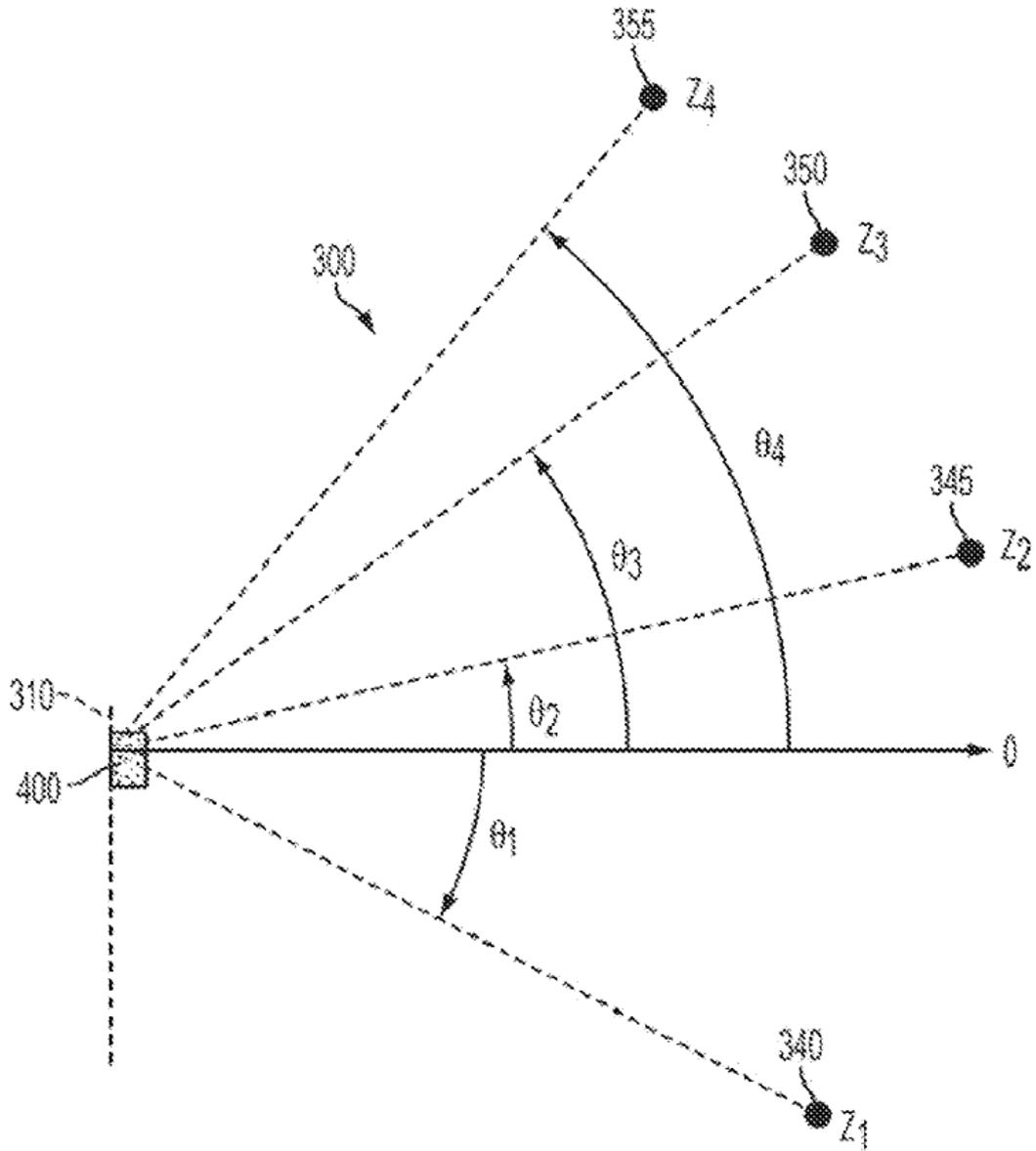


FIG. 5

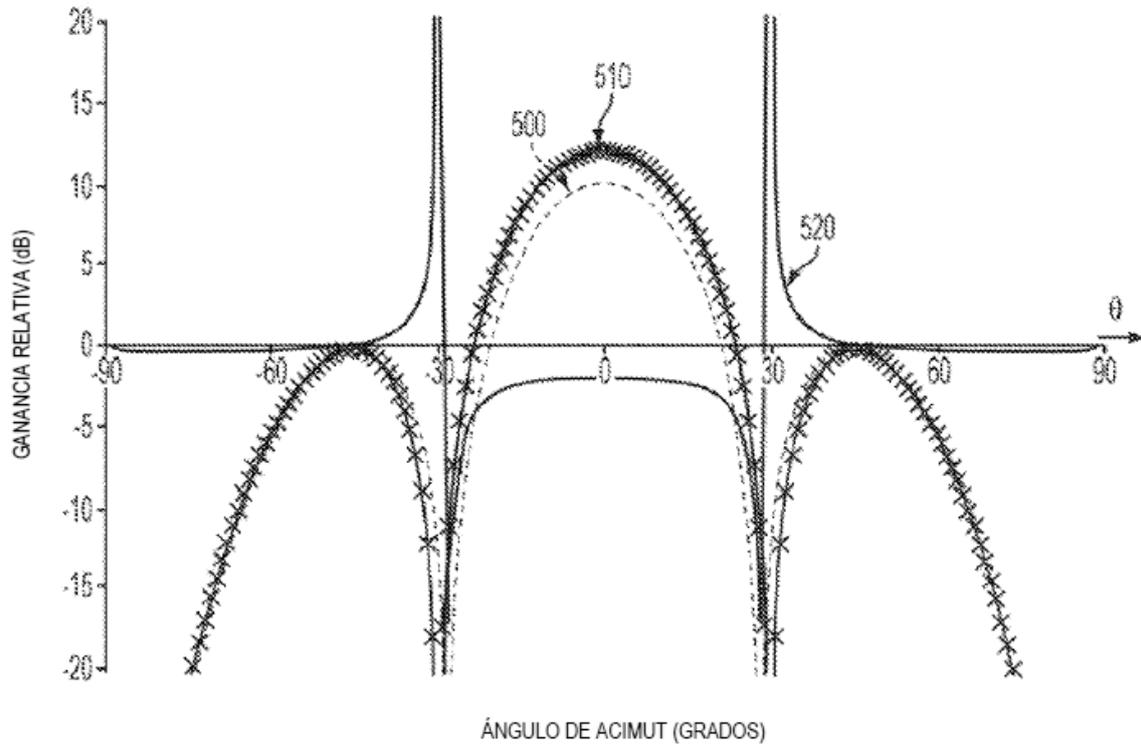


FIG. 6

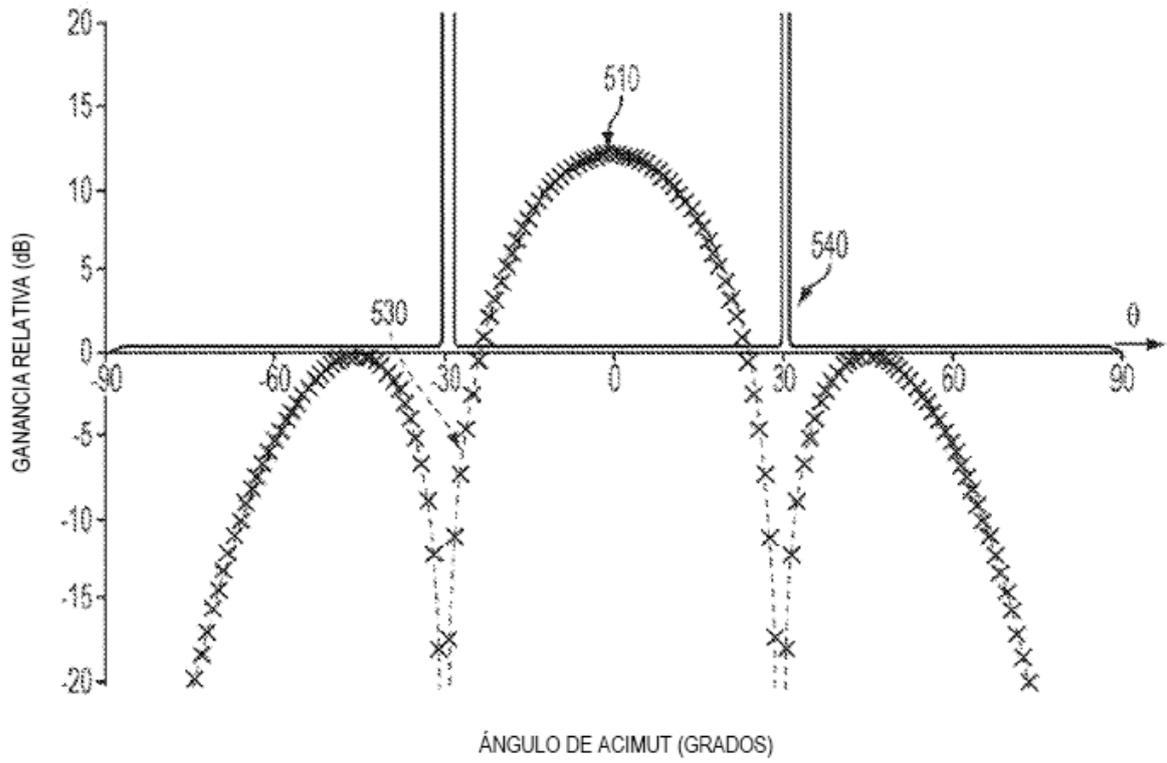


FIG. 7

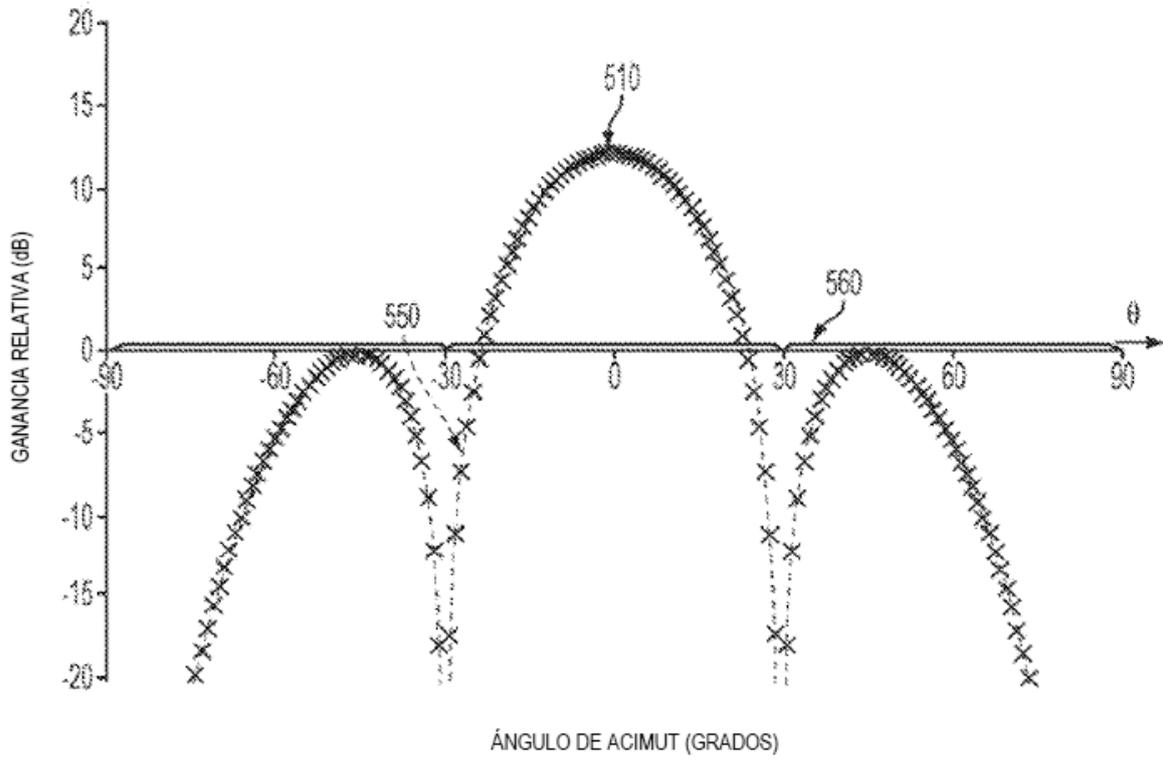


FIG. 8

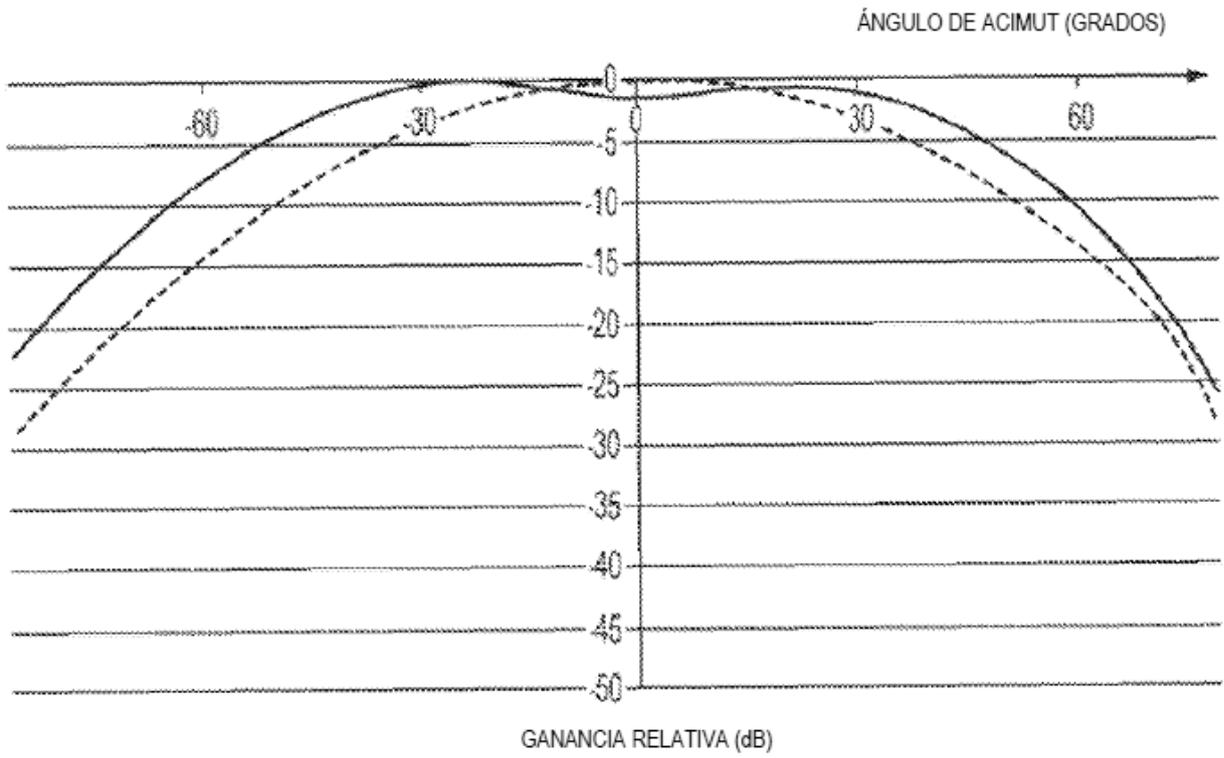


FIG. 9

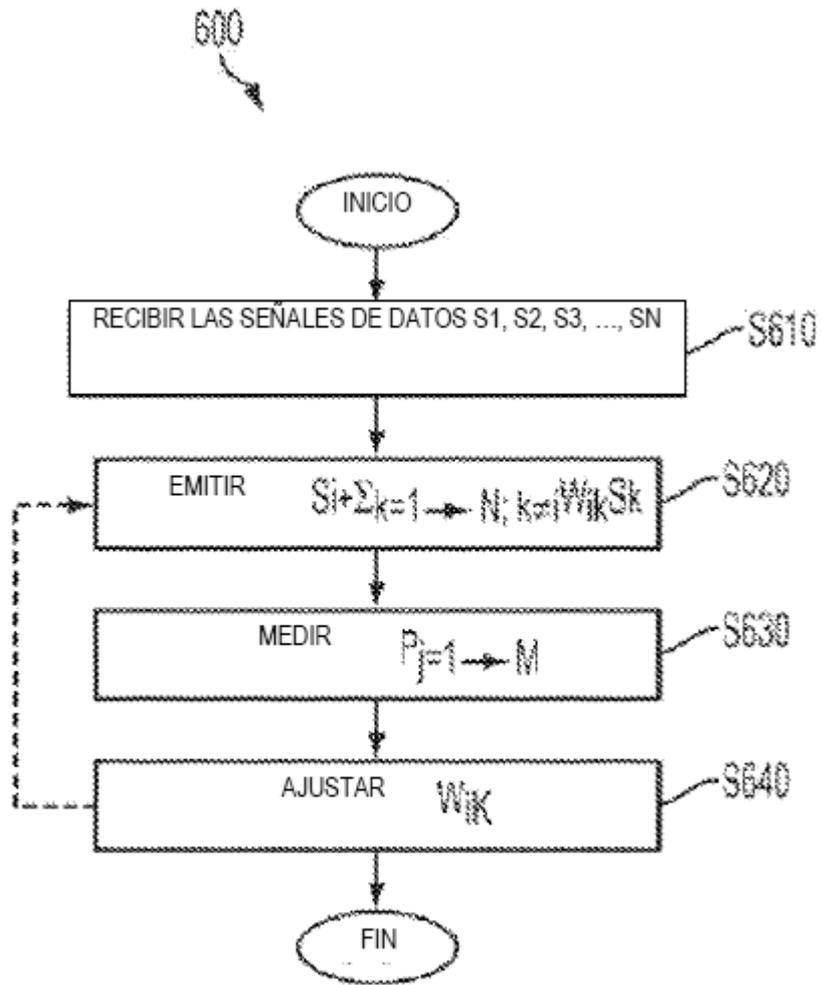


FIG. 10