

19

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 989 150**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/44 (2006.01)
H01Q 9/04 (2006.01)
H01Q 13/28 (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 1/28 (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01)
H01Q 1/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2020** **PCT/US2020/028723**
87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2020** **WO20214933**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2020** **E 20725001 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024** **EP 3956945**

54 Título: **Unidad de antena seleccionable por fase y antena, subsistema, sistema y método relacionados**

30 Prioridad:

19.04.2019 US 201916389782

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.11.2024

73 Titular/es:

ECHODYNE CORP (100.0%)
12112 115th Ave NE
Kirkland, Washington 98034, US

72 Inventor/es:

DRISCOLL, TOM;
LANDY, NATHAN INGLE;
WORL, ROBERT TILMAN;
YUEN, FELIX D.;
RENNEBERG, CHARLES A. y
TZANIDIS, YIANNI

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 989 150 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

Unidad de antena seleccionable por fase y antena, subsistema, sistema y método relacionados

5 Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Resumen

10 Una antena de matriz de fase, o matriz de fase, se configura para dirigir uno o más haces de señal electromagnética estrechos sobre una región prescrita de espacio al desplazar la fase de una señal de referencia en una cantidad respectiva en cada uno de una multitud de elementos de antena radiantes. Típicamente, una matriz de fases incluye, para cada elemento de antena, un circuito de desplazamiento de fase respectivo, o cambiador de fase, para realizar tal desplazamiento de fase.

15 Desafortunadamente, aunque típicamente ofrece un rendimiento y agilidad de direccionamiento del haz incomparables, una matriz de fases típicamente sufre de limitaciones significativas de costo, tamaño, peso y potencia (C-SWAP) debidas, en gran parte, a los desplazadores de fase. Por ejemplo, aunque un cambiador de fase de baja pérdida puede mantener el consumo de energía de una antena a un nivel aceptable para una aplicación dada, tal cambiador de fase es típicamente voluminoso (es decir, grande y pesado) y costoso. Y aunque un cambiador de fase de tamaño reducido puede cumplir con las especificaciones de costo, tamaño y peso para una aplicación dada, tal cambiador de fase típicamente exhibe una alta pérdida de señal y, por lo tanto, típicamente requiere un amplificador de potencia correspondiente en el nodo de entrada del cambiador de fase o en el nodo de salida; la inclusión de un amplificador de potencia por cambiador de fase no solo puede provocar que el consumo de energía de la matriz de fases supere un nivel especificado, sino que también puede compensar, al menos parcialmente, las reducciones en el costo, tamaño y peso que proporciona el cambiador de fase de baja pérdida.

20 Una modalidad de una matriz de antenas que soluciona uno o más de los problemas anteriores con una matriz de fase se configura para ajustar la fase de una señal respectiva radiada o recibida por cada elemento de antena sin un desplazador de fase convencional. Por lo tanto, una modalidad de tal conjunto de antenas puede tener métricas de C-SWAP significativamente menores mientras mantiene las métricas de rendimiento más altas de un conjunto de antenas faseadas.

25 Una modalidad de una unidad de antena de tal red de antena incluye al menos un medio de transmisión, un elemento de antena, dispositivos de conmutación y acopladores de señal. El elemento de antena incluye al menos una sección que comprende puntos de excitación y puertos de señal cada uno eléctricamente aislado entre sí y de cada uno de la al menos una sección. Los dispositivos de conmutación se configuran cada uno para acoplar una respectiva de uno de los puertos de señal a un respectivo punto de excitación de una de las al menos una sección en respuesta a una respectiva señal de control, y los acopladores de señal se configuran cada uno para acoplar una respectiva de uno de los puertos de señal a una respectiva localización de un respectivo medio de transmisión.

30 Durante un modo de transmisión, al tocar una versión de transmisión de una onda de referencia desde una de múltiples localizaciones diferentes de un medio de transmisión, y al excitar un punto de excitación correspondiente del elemento de antena con la onda de referencia tocada, tal unidad de antena puede permitir la selección de la fase de la señal que excita el elemento de antena, y, por lo tanto, puede permitir la selección de la fase de la señal que irradia el elemento de antena. Y la unidad de antena puede incluir un sintonizador de fase, tal como una reactancia ajustable, para permitir un control aún más fino de la fase de la señal radiada.

35 De manera similar, durante un modo de recepción, al excitar un elemento de antena con una señal recibida, y al acoplar la señal recibida desde un punto de recepción seleccionable del elemento de antena a un correspondiente de múltiples localizaciones de un medio de transmisión, tal unidad de antena puede permitir la selección de la fase de la señal que el elemento de antena genera y en respuesta a la cual el medio de transmisión genera una versión de recepción de la onda de referencia. Y la unidad de antena puede incluir un sintonizador de fase, tal como una reactancia ajustable, para permitir un control aún más fino de la fase de la señal en respuesta a la cual el medio de transmisión genera la versión de recepción de la onda de referencia.

40 Al permitir la selección de la fase de la señal durante los modos de transmisión y recepción, una modalidad de una unidad de antena puede omitir un desplazador de fase convencional y aun así puede configurarse de manera que una antena que incluye la unidad de antena pueda tener una separación de red mínima d_1 que se acerca a la separación práctica máxima teórica de $\lambda/2$ (al menos en una dimensión de una matriz de antenas, tal como la dimensión del azimut), donde λ es la longitud de onda de la onda de referencia en el medio en el cual una antena que incluye la unidad de antena se configura para radiar. Por ejemplo, si una antena se configura para irradiar en el aire, entonces la longitud de onda puede aproximarse como la longitud de onda en el espacio libre λ_0 porque cada una de la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica del aire son aproximadamente iguales a la permeabilidad y permitividad de un vacío, respectivamente.

45 Además, una antena que incluye una modalidad de unidad de antena tal como se describió anteriormente puede ser

más adecuada para algunas aplicaciones que una red de fase convencional. Por ejemplo, una matriz de barrido de un sistema de radar tradicional puede ser demasiado densa y puede escanear un campo de visión (FOV) demasiado lentamente, y el sistema de radar puede ser demasiado costoso, para su uso en un automóvil autónomo (autoconducción). De manera similar, una matriz de fase de un sistema de radar tradicional puede ser demasiado densa, y el sistema de radar puede ser demasiado caro, demasiado pesado y demasiado exigente en energía, para su uso en un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tal como un dron.

El documento GB2520920 A describe una antena de barrido de haz para generar y dirigir un haz de radiación directa. La antena de barrido de haz comprende un guía de onda con una estructura dieléctrica artificial controlada. El guía de onda comprende capacitores distribuidos periódicamente y una capa de rejilla metálica fija en las paredes del guía de onda. El dieléctrico artificial se conecta a la capa de rejilla mediante agujeros de paso plurales y los respectivos dispositivos de conmutación electrónicos se alinean con las respectivas aberturas en la capa de rejilla de manera que, durante el uso, la constante dieléctrica de la capa de dieléctrico artificial es controlada por los interruptores. Esto cambia la constante de propagación de la onda guiada que interactúa con las aberturas para producir un haz direccional que puede escanearse en el plano de propagación de la onda guiada.

El documento US2016/011307 A1 describe un sistema de detección de objetos para, por ejemplo, un sistema de evitación de colisiones de vehículos, que utiliza una matriz de elementos de desplazamiento de fase basada en metamaterial para generar un haz de exploración al variar la capacitancia efectiva de cada estructura de metamaterial que forma la matriz para controlar las fases de sus señales de salida de radiofrecuencia de manera que la onda electromagnética combinada generada por las señales de salida se refuerza en la dirección deseada y se suprime en direcciones no deseadas para producir el haz de exploración. Las estructuras de metamaterial se configuran para resonar a la misma frecuencia de onda de radio que una señal de entrada incidente (radiación), de manera que cada estructura de metamaterial emite una señal de salida asociada por medio de la dispersión controlada de la señal de entrada. Una capacitancia variable se aplica a cada estructura de metamaterial, por ejemplo, mediante el uso de varicap que se ajustan por medio de tensiones de control de fase, para producir los patrones de fase de salida deseados. Las estructuras de metamaterial se construyen mediante el uso de tecnología de fabricación de película metálica o PCB de bajo costo.

El documento US2004/227667 A1 describe una antena que tiene al menos un elemento principal y una pluralidad de elementos parásitos. Al menos algunos de los elementos tienen elementos de acoplamiento o dispositivos asociados con ellos, los elementos de acoplamiento o dispositivos son ajustables para controlar de esta manera el grado de acoplamiento entre elementos adyacentes. Controlar el grado de acoplamiento permite dirigir un lóbulo asociado con la antena.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es una vista en planta de una unidad de antena de una matriz de antenas, de conformidad con una modalidad.

La Figura 2 es una vista lateral cortada de la unidad de antena de la Figura 1 y de un medio de transmisión, de conformidad con una modalidad.

La Figura 3 es un diagrama de la unidad de antena y el medio de transmisión de la Figura 2, e incluye un gráfico de un campo eléctrico generado entre el medio de transmisión y un elemento de antena de la unidad de antena, de conformidad con una modalidad.

La Figura 4 es un diagrama de la unidad de antena de la Figura 3, e incluye un gráfico de un campo eléctrico entre el medio de transmisión y el elemento de antena para una localización de acoplamiento de señal seleccionada correspondiente, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es un guía de ondas.

La Figura 5 es un diagrama de la unidad de antena de las Figuras 3 - 4, e incluye un gráfico de un campo eléctrico entre el medio de transmisión y el elemento de antena para otra localización de acoplamiento de señal seleccionada correspondiente, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es un guía de ondas.

La Figura 6 es un diagrama de la unidad de antena de la Figura 3, e incluye un gráfico de un campo eléctrico entre el medio de transmisión y el elemento de antena para una localización de acoplamiento de señal seleccionada correspondiente, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es una micro tira.

La Figura 7 es un diagrama de la unidad de antena de las Figuras 3 y 6, e incluye un gráfico de un campo eléctrico entre el medio de transmisión y el elemento de antena para otra localización de acoplamiento de señal seleccionada correspondiente, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es una micro tira.

La Figura 8 es una vista en planta de una unidad de antena de una matriz de antenas, de conformidad con otra modalidad.

5 La Figura 9 es una vista en planta de una unidad de antena de una matriz de antenas, de conformidad con aún otra modalidad.

10 La Figura 10 es una vista lateral en corte de una porción de una matriz de antena que incluye una o más de las unidades de antena de las Figuras 1 - 9, y que incluye al menos una estructura de ajuste, tal como un sintonizador de fase, cada una dispuesta en un medio de transmisión entre porciones de una unidad de antena respectiva, de conformidad con una modalidad.

15 La Figura 11 es una vista lateral en corte de una porción de una matriz de antena que incluye una o más de las unidades de antena de las Figuras 1 - 9, y que incluye al menos una estructura de ajuste, tal como un sintonizador de fase, cada una dispuesta en un medio de transmisión entre un par respectivo de unidades de antena, de conformidad con una modalidad.

20 La Figura 12 es una vista lateral en corte de una matriz de antenas que incluye una o más de las unidades de antena de las Figuras 1 - 9, donde cada una de al menos una de las unidades de antena de la matriz de antenas incluye una estructura de sintonización respectiva, tal como un sintonizador de fase, de conformidad con una modalidad.

La Figura 13 es una vista en planta de una unidad de antena de una matriz de antenas, de conformidad con aún otra modalidad.

25 La Figura 14 es una vista lateral en corte de la unidad de antena de la Figura 13 y de un medio de transmisión, e incluye un gráfico de un campo eléctrico entre el medio de transmisión y una de las secciones del elemento de antena de la unidad de antena, de conformidad con una modalidad.

30 La Figura 15 es una vista en planta de un elemento de antena de una unidad de antena, de conformidad con aún otra modalidad.

La Figura 16 es una vista en planta de las capas conductoras de la unidad de antena de la Figura 15, de conformidad con una modalidad.

35 Las Figuras 17 - 18 son vistas de transparencia respectivas de la unidad de antena y algunas de las capas conductoras de la Figura 16, de conformidad con una modalidad.

40 La Figura 19 es una vista en planta de una unidad de antena de una matriz de antenas, de conformidad con aún todavía otra modalidad.

La Figura 20 es una vista lateral cortada de la unidad de antena de la Figura 19 y de un medio de transmisión, de conformidad con una modalidad.

45 La Figura 21 es un diagrama de un subsistema de radar que incluye al menos una estructura de red de antenas que incorpora una o más de las unidades de antena y estructuras de red de antenas de las Figuras 1 - 20, de conformidad con una modalidad.

50 La Figura 22 es un diagrama de un sistema que incluye uno o más de la subsistema de radar de la Figura 21, de conformidad con una modalidad.

Descripción detallada

55 Las palabras "aproximadamente" y "sustancialmente" pueden usarse más abajo para indicar que dos o más cantidades pueden ser exactamente iguales, o pueden estar dentro de $\pm 10\%$ entre sí debido, por ejemplo, a tolerancias de fabricación, u otras consideraciones de diseño, de las estructuras físicas descritas más abajo.

La Figura 1 es una vista en planta de un elemento de antena 30 de una unidad de antena 32, de conformidad con una modalidad.

60 La Figura 2 es una vista lateral de la unidad de antena 32 tomada a lo largo de las líneas A-A de la Figura 1, y de un medio de transmisión 34 al menos parcialmente dispuesto debajo de la unidad de antena, de conformidad con una modalidad.

65 Con referencia a las Figuras 1 - 2 y como se describe adicionalmente más abajo, la unidad de antena 32 se configura para permitir la selección de una fase de una señal de transmisión irradiada por el elemento de antena 32, y para permitir la selección de una fase de una señal que el elemento de antena genera en respuesta a una señal de

recepción recibida por el elemento de antena.

En consecuencia, si se incluye como parte de un arreglo de antenas (en adelante "antena" o "arreglo de antenas"), una modalidad de la unidad de antena 32 puede proporcionar la antena con:

a. métricas de rendimiento (por ejemplo, resolución de dirección del haz), separación de elementos de antena y densidad de componentes que están a la par, respectivamente, con las métricas de rendimiento, separación de elementos de antena y densidad de componentes de una red de fase, y

b. métricas de C-SWAP que son significativamente menores, i.e., mejoró significativamente, en comparación con las métricas de C-SWAP de una matriz de fase.

Es decir, una modalidad de la unidad de antena 32 puede impartir a la antena una o más de las mejores características de una matriz de fase y mitigar una o más de las peores características de una matriz de fase. Por ejemplo, tal antena puede tener una separación de red d_1 , que se aproxima $\lambda_0/2$ (por ejemplo, $d_1 \approx 0,4 \lambda_0$), y donde λ_0 es una longitud de onda de una onda de referencia 36 que el medio de transmisión 34 se configura para transportar, y, por lo tanto, es una longitud de onda de señales que la antena se configura para transmitir y recibir, en el medio, en este caso aire, en el que la antena se configura para radiar. Y la separación de la red d_1 es la separación entre elementos de antena 30 inmediatamente adyacentes medida desde una ubicación (por ejemplo, el borde derecho) de uno de los elementos de antena a la misma ubicación relativa (por ejemplo, el borde derecho) del otro de los elementos de antena.

Aún con referencia a las Figuras 1 - 2, además del elemento de antena 30, la unidad de antena 32 incluye puertos de señal 38₁ - 38₄, dispositivos de activación de unidades de antena y selección de fase 40₁ - 40₄, puntos de excitación 42₁-42₄, una región intermedia 44 entre el elemento de antena 30 y el medio de transmisión 34, las vías de referencia 46 y los acopladores de señal 48₁ - 48₄ (solo los acopladores 48₃ - 48₄ visible en la Figura 2). Como se describe a continuación, los puertos de señal 38₁ - 38₄ corresponden a diferentes fases de señal de señales que el elemento de antena 30 se configura para transmitir y recibir, las diferentes fases de señal se separan por $360^\circ/(\text{número de puertos de señal}) = 360^\circ/4 = 90^\circ$. Es decir, los puertos de señal 38₁ - 38₄ respectivamente corresponden a las siguientes fases relativas de las señales que el elemento de antena 30 se configura para transmitir y recibir: 0°, 90°, 270° y 180°.

El elemento de antena 30 es un elemento de antena de parche conductor, que es, idealmente, un conductor plano que tiene un ancho w en una dimensión x de propagación de la onda de referencia 36, y que tiene una longitud $l \approx \lambda_m/2$ en una dimensión y ortogonal a la dimensión de propagación de la onda de referencia, donde λ_m es la longitud de onda de la onda de referencia en la región intermedia 44. Un diseñador puede establecer el ancho w impartir, a la unidad de antena 32, características particulares tales como la impedancia en un punto de excitación particular 42. Pero el ancho w es típicamente distinto de un múltiplo entero de l para evitar que el elemento de antena 30 irradie y reciba a lo largo de los bordes del elemento de antena que se encuentran en la dimensión y .

El medio de transmisión 34 puede ser cualquier tipo de medio de transmisión adecuado, tal como una microcinta o una guía de onda. En una modalidad, el medio de transmisión 34 incluye un límite conductor superior 50 y un límite conductor inferior 52, que son, idealmente, planos. El medio de transmisión 34 se describe adicionalmente más abajo en conjunción con las Figuras 4-7.

La onda de referencia 36 es típicamente una sinusoidal, y tiene dos versiones. Una versión de transmisión durante un modo de transmisión de una antena que incluye la unidad de antena 32, y una versión de recepción durante un modo de recepción de la antena. La onda de referencia 36 se describe adicionalmente a continuación en conjunción con las Figuras 4-7.

Los puertos de señal 38₁ - 38₄ cada uno incluye un respectivo conductor interno 54₁ - 54₄ y una respectiva región de aislamiento 56₁ - 56₄, que se configura para aislar eléctricamente el conductor interno respectivo del elemento de antena conductor 30.

Los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ son impedancias electrónicamente controlables, o dispositivos de conmutación, que se acoplan cada uno entre un respectivo conductor interno 54 y un respectivo punto de excitación 42; los ejemplos de los dispositivos de activación incluyen diodos PIN u otros tipos, y otros dispositivos semiconductores tales como transistores. Por ejemplo, si cada uno de uno o más de los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ es una respectiva diodo PIN, entonces el ánodo de cada diodo se acopla a un respectivo conductor interno 54, y el cátodo de cada diodo se acopla a un respectivo punto de excitación 42. Además, cada dispositivo de activación de la unión PIN 40 se configura para recibir, a través del respectivo conductor interno 54, una respectiva tensión de polarización de CC; es decir, el conductor interno actúa como un nodo de control para acoplar o desacoplar el puerto de señal correspondiente 38 del punto de excitación correspondiente 42. En respuesta a una tensión de polarización de CC positiva (por ejemplo, +3,0 Voltios (V)) en el conductor interno 54, el dispositivo de activación de la diodo PIN 40 se polariza hacia adelante y, por lo tanto, presenta una impedancia de acoplamiento inductiva, que acopla eléctricamente de manera efectiva el puerto de señal respectivo 38 al punto de excitación

respectivo 42, al menos a la frecuencia de la onda de referencia 36; inversamente, en respuesta a una tensión de polarización de CC negativo (por ejemplo, -3,0 V) en el conductor interno 54, el dispositivo de activación de la diodo PIN 40 tiene una polarización inversa y, por lo tanto, presenta una impedancia de bloqueo capacitiva, que desacopla efectivamente el puerto de señal respectivo del punto de excitación respectivo al menos a la frecuencia de la onda de referencia. Por ejemplo, el sesgo del dispositivo de activación de la diodo PIN 40₁ con una tensión de polarización de CC positivo de +3,0 V, y polarizando los dispositivos de activación de la diodo PIN restantes 40₂ - 40₄ con tensiones de desplazamiento de CC negativos de -3,0 V, acopla el puerto de señal 38₁ al elemento de antena 30 y desconecta los puertos de señal restantes 38₂ - 38₄ del elemento de la antena. La unidad de antena 32 puede incluir una estructura de circuito configurada para acoplar una tensión de control/polarización a un conductor interno 54 al superponer la tensión de control/polarización sobre la porción de la onda de referencia 36 acoplada al conductor interno, y configurada para desacoplar la onda de referencia del circuito que genera la tensión de control/polarización. Una modalidad de tal estructura de circuito se describe a continuación junto con las Figuras 15 - 18. Además, mientras que está polarizado positivamente (hacia adelante), un dispositivo de activación de diodo PIN 40 conduce una corriente de polarización de CC desde el circuito de polarización de CC (no se muestra en las Figuras 1 - 1); por lo tanto, aunque se diseña la unidad de antena 32 de manera que una tensión de polarización de CC negativo corresponde a un estado de acoplamiento de señal de un dispositivo de activación de diodo PIN, se diseña la unidad de antena de manera que una tensión de polarización de CC positivo corresponde a un estado de acoplamiento de señal de un dispositivo de activación de diodo PIN reduce la carga en el circuito de polarización de CC porque no más de un dispositivo de activación de diodo PIN por elemento de antena 30 está conduciendo una corriente de polarización en cualquier momento dado. Además, las distancias entre los puertos de señal 38 y los puntos de excitación 42 no se representan necesariamente a escala. Por ejemplo, si un dispositivo de activación 40 es un dispositivo de montaje en superficie tal como un diodo de montaje en superficie, entonces la distancia entre el conductor interno correspondiente 54 y el punto de excitación correspondiente 42 puede ser eléctricamente pequeña, por ejemplo, del orden de aproximadamente $\lambda_m/50$, donde λ_m es la longitud de onda de la onda de referencia viajera 36 en la región intermedia 44.

Cada punto de excitación 42₁ - 42₄ es una ubicación respectiva del elemento de antena 30 en la que una señal de la correspondiente de uno de los puertos de señal 38₁ - 38₄ unidades, i.e., excita, el elemento de antena durante un modo de transmisión (mientras el correspondiente de los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ está activo), y en el cual una señal recibida por el elemento de antena impulsa, i.e., activa, el puerto de señal correspondiente durante un modo de recepción (mientras el dispositivo de activación correspondiente está activo). Cada punto de excitación 42 puede localizarse en cualquier ubicación respectiva adecuada del elemento de antena 30. Por ejemplo, la localización de cada punto de excitación 42 puede seleccionarse de manera que el puerto de señal correspondiente 38, mientras se selecciona, "ve" una impedancia del elemento de antena que permite que el elemento de antena 30 funcione en un modo resonante o casi resonante, y las impedancias de cada puerto de señal correspondiente, dispositivo de activación, y punto de excitación pueden ajustarse para reducir o eliminar las reflexiones de señal.

La región intermedia 44 se ubica entre el elemento de antena 30 y el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34, y puede formarse a partir de cualquier material adecuado tal como un material dieléctrico.

Las vías de referencia conductoras 46 acoplan y- bordes de dimensión 58 (los bordes no radiantes como se describen a continuación en conjunción con la Figura 3) del elemento de antena 30 al límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34 de manera que haya aproximadamente 0 Voltios (V) de CC entre el elemento de antena y el límite conductor superior. Y si el límite superior conductor 50 se acopla a una tensión de referencia tal como tierra (i.e., 0 V de CC), luego las vías 46 se configuran para acoplar el elemento de antena a la misma tensión de referencia a través del límite superior conductor. Además, el paso de las vías 46 es suficientemente pequeño (i.e., la separación entre las vías inmediatamente adyacentes $\ll \lambda_m$) de manera que las vías se configuran para aislar, eléctricamente, la unidad de antena 32 de unidades de antena adyacentes en la dimensión x. Tal aislamiento eléctrico, a veces llamado aislamiento de jaula de Faraday, se configura para reducir las magnitudes de, o para eliminar, los modos electromagnéticos no deseados en los que podría funcionar de cualquier otra manera la unidad de antena 32.

Los acopladores de señal 48₁ - 48₄ (solo los acopladores 48₃ y 48₄ son visibles en la Figura 2) cada una incluye una respectiva iris 60 y una respectiva sonda 62. Cada iris 60₁ - 60₄ es una abertura respectiva en el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34, y puede tener cualquier tamaño adecuado; por ejemplo, el tamaño de una iris puede seleccionarse de manera que la iris, o la combinación de la iris y la sonda correspondiente 62, tenga una impedancia particular a la frecuencia de la onda de referencia 36. Cada sonda 62 es un miembro conductor, tal como un alambre, que se extiende desde una ubicación respectiva 64 dentro del medio de transmisión 34, a través de una iris correspondiente 60, a través de la región intermedia 44, y hacia un conductor interno 54 de un puerto de señal correspondiente 38; alternativamente, el conductor interno y la sonda pueden ser uno en la misma estructura. Además, debido a las limitaciones de fabricación, cada una de una o más de las sondas 62 puede extenderse hasta, e incluso hacia dentro, el límite inferior conductor 52 del medio de transmisión 34. En tal modalidad, puede formarse, en el límite inferior conductor, una abertura respectiva alineada con cada sonda que se extiende para que la sonda no entre en contacto con el límite inferior conductor porque tal contacto puede degradar la capacidad de la sonda para acoplar la onda de referencia 36 al puerto respectivo 38. Y, cada una de una o más de las sondas 62 puede no entrar en contacto con un respectivo conductor interno 54, sino que puede haber, entre la sonda y el conductor

interno, un espacio que se configura para acoplar capacitivamente la sonda al conductor interno. En tal modalidad, un diseñador diseña la unidad de antena 32 de manera que la capacitancia de este espacio, junto con las impedancias inductivas del conductor interno correspondiente 54 y el dispositivo de activación 40 mientras se polariza en un estado de acoplamiento, forman un circuito resonante en serie de manera que mientras el dispositivo de activación se polariza en un estado de acoplamiento, existe, al menos teóricamente, una impedancia de cero entre la sonda 62 y el punto de excitación correspondiente 42 a la frecuencia de la onda de referencia 36. Alternativamente, un diseñador puede diseñar la unidad de antena 32 de manera que la impedancia entre la sonda 62 y el punto de excitación correspondiente 42, mientras el dispositivo de activación correspondiente 40 se polariza en un estado de acoplamiento, coincida aproximadamente con la impedancia del elemento de antena 30 en el punto de excitación correspondiente 42 para limitar o eliminar las reflexiones de señal.

La sonda 62₃ y la sonda 62₄ y, por lo tanto, las ubicaciones 64₃ y 64₄, se separan por una distancia $d_2 \approx \lambda_m/4$ de manera que la diferencia de fase entre la onda de referencia 36 en la sonda 62₃ y la onda de referencia en la sonda 62₄ es aproximadamente 90°; es decir, la trayectoria eléctrica entre las sondas 62₃ y 62₄ tiene una longitud que es equivalente a aproximadamente $\lambda_m/4$. Dicho de otra manera, debido a los efectos parasitarios (por ejemplo, una o más impedancias parásitas), la distancia real d_2 que produce una diferencia de fase de la onda de referencia de 90° entre las sondas 62₃ y 62₄ puede diferir de $\lambda_m/4$ en hasta 30 % de $\lambda_m/4$ o más. De manera similar, la sonda 62₁ y la sonda 62₂ (no visible en la Figura 2) y, por lo tanto, las ubicaciones 64₁ y 64₂ (tampoco visibles en la Figura 2) se separan por una distancia $d_2 \approx \lambda_m/4$ de manera que la diferencia de fase entre la onda de referencia 36 en la sonda 62₁ y la onda de referencia en la sonda 62₂ es aproximadamente 90°; es decir, la trayectoria eléctrica entre las sondas 62₃ y 62₄ tiene una longitud que es equivalente a aproximadamente $\lambda_m/4$ teniendo en cuenta los efectos parasitarios, donde "aproximadamente" en esta instancia significa hasta el 30 % de $\lambda_m/4$ o más. Y, como se describe a continuación, debido a las propiedades de radiación del elemento de antena 30, la diferencia de fase entre las sondas 62₁ y 62₄ es aproximadamente 180°, como es la diferencia de fase entre las sondas 62₂ y 62₃. Estas diferencias de fase producen las fases relativas de 0°, 90°, 270° y 180° en los puertos de señal 38₁ - 38₄ como se describió anteriormente.

La Figura 3 es una vista lateral en corte de la unidad de antena 32 y el medio de transmisión 34 tomada a lo largo de las líneas B - B de la Figura 1, e incluye, al superponer la unidad de antena, gráficos de la corriente I , la tensión V , y el campo eléctrico $\vec{E}$ generada por la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Aunque la corriente I , tensión V , y el campo eléctrico $\vec{E}$ se describen para un modo de transmisión durante el cual el elemento de antena 30 irradia una señal 76 (Figura 2), la corriente I , tensión V , y el campo eléctrico $\vec{E}$ son respectivamente similares para un modo de recepción durante el cual el elemento de antena recibe una señal de una ubicación remota y alimenta la señal al medio de transmisión 34 a través de uno seleccionado de los puertos de señal 38₁ - 38₄ (Figura 1).

Como se describió anteriormente, la longitud l del elemento de antena 30 en la dimensión y se establece en aproximadamente $\lambda_m/2$ de manera que el elemento de antena funciona en un modo resonante (l no pueden ajustarse exactamente a $\lambda_m/2$ de manera que la parte real de la impedancia del elemento de antena tiene un valor mínimo, u otro valor particular, que puede facilitar el funcionamiento en modo resonante).

Durante un modo de transmisión resonante, el elemento de antena 30 se excita con una señal de uno de los puertos de señal 38, y, en respuesta a esta señal de excitación, genera una corriente I que es cero en los extremos radiantes 78 de los elementos de la antena y que fluctúa entre $\pm I_{\max}$ en una línea central 80 del elemento de antena, la línea central que se extiende en la dimensión x (hacia dentro y fuera de la página de la Figura 5). Si la onda de referencia 36 (Figura 4) es sinusoidal, entonces la corriente I es una media senoide que tiene, en la línea central 80, una amplitud que fluctúa sinusoidalmente entre $+I_{\max}$ y $-I_{\max}$.

Además, en respuesta a la señal de excitación, el elemento de antena 30 genera, entre este y el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34, una tensión V que es cero en la línea central 80 y que fluctúa entre $\pm V_{\max}$ en los extremos radiantes 78 del elemento de antena. Además, la tensión V en cualquier punto en un lado de la línea central 80 es de 180° fuera de fase con la tensión V en un punto correspondiente simétricamente en el otro lado de la línea central. Si la onda de referencia 36 (Figura 4) es sinusoidal, entonces la tensión V es una media senoide que, en los bordes 78, tiene amplitudes respectivas que fluctúan sinusoidalmente entre $+V_{\max}$ y $-V_{\max}$, y entre $-V_{\max}$ y $+V_{\max}$, respectivamente. Y debido al campo eléctrico $\vec{E}$ está en unidades de voltios por metro (V/m), la magnitud de $\vec{E}$ sigue la magnitud de la tensión V .

Debido a que la corriente I que fluye en el elemento de antena 30 se cancela efectivamente por una corriente de igual magnitud y polaridad opuesta (i.e., 180° fuera de fase) que fluye por debajo del elemento de la antena en el límite superior conductor 50, la corriente I no induce la señal 76 (Figura 2) que irradia el elemento de antena.

Además, debido a que la tensión V se limita a la región intermedia 44 entre el elemento de antena 30 y el límite 50, la tensión V tampoco induce la señal 76 que irradia el elemento de antena.

Pero, el campo eléctrico $\vec{E}$ tiene uno o más componentes marginales 82 que irradian desde los bordes del elemento

de antena 78 en la dimensión y. Debido a que los componentes 82 de $\vec{E}$ que los dos bordes 78 generan están en fase, estos componentes se suman constructivamente; por lo tanto, son estos componentes marginales que añaden constructivamente de $\vec{E}$ que forma la señal 76 (Figura 2) que radia el elemento de antena 30.

Las Figuras 4-5 son vistas laterales cortadas de la unidad de antena 32 y el medio de transmisión 34 tomadas a lo largo de las líneas B - B de la Figura 1, e incluyen, al superponer la unidad de antena, los gráficos 90 y 92 de los campos eléctricos $\vec{E}$, que corresponden respectivamente a la sonda de señal 62₁ que está activa y la sonda de señal 62₄ que es activa, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es una guía de ondas que soporta solo un TE₁₀ modo de propagación a la frecuencia y longitud de onda de la onda de referencia 36.

Debido a que la onda de referencia 36 se propaga a lo largo del medio de transmisión 34 en solo una TE₁₀ modo, la fase y amplitud de la onda de referencia son las mismas en dos puntos cualesquiera, tales como 64₁ y 64₄, que están en un mismo plano y-z en lados opuestos de, y equidistantes de, la línea central 80.

Por lo tanto, con referencia a la Figura 4, en respuesta a la activación de la sonda 62₁ para acoplar la onda de referencia 36 en la localización 64₁ al elemento de antena 30 a través del puerto de señal 38₁ (Figura 1), como se muestra por el gráfico 90, el campo eléctrico $\vec{E}$ tiene una polaridad definida por la polaridad de la onda de referencia en la localización 64₁.

Y, como se describió anteriormente junto con la Figura 3, en la región intermedia 44 en el otro lado de la línea central 80 desde la sonda activa 62₁, por ejemplo, en la sonda 62₄, como se muestra por el gráfico 90, el campo eléctrico $\vec{E}$ tiene una polaridad opuesta.

Consecuentemente, la diferencia de fase entre las sondas 62₁ y 62₄, y, por lo tanto, entre los puertos de señal 38₁ y 38₄ (Figura 1) es 180° como se describió anteriormente en conjunción con la Figura 1.

De manera similar, con referencia a la Figura 5, en respuesta a la activación de la sonda 62₄ para acoplar la onda de referencia 36 en la localización 64₄ al elemento de antena 30 a través del puerto de señal 38₄, el campo eléctrico $\vec{E}$, como se muestra por el gráfico 92, tiene una polaridad definida por la polaridad de la onda de referencia 36 en la localización 64₄.

Pero debido a la amplitud y la polaridad de la onda de referencia 36 en la ubicación 64₄ son los mismos que la amplitud y la polaridad, respectivamente, de la onda de referencia en la localización 64₁, la fase de $\vec{E}$, como se muestra por el gráfico 92, en el lado derecho de la línea central 80 ahora es el mismo que la fase que $\vec{E}$ tuvo en el lado izquierdo de la línea central mientras que la sonda 62₁ fue activo (ver el lado izquierdo del gráfico 90 de la Figura 4), y la fase de $\vec{E}$ en el lado izquierdo de la línea central es ahora la misma que la fase de $\vec{E}$ en el lado derecho de la línea central mientras la sonda 62₁ fue activo (ver el lado derecho del gráfico 90 de la Figura 4).

En consecuencia, el cambio entre una sonda activa 62₁ y una sonda activa 62₄ cambios, en 180°, la fase de la $\vec{E}$ componentes 82, y, por lo tanto, la fase de la señal 76 (Figura 2), que radia el elemento de antena 30.

Un análisis similar muestra que el cambio entre una sonda activa 62₂ (no visible en las Figuras 4-5) y una sonda activa 62₃ (no visible en las Figuras 4-5) también desplaza la fase de la señal 76 (Figura 2) en 180°.

Por lo tanto, estos análisis respaldan además que los puertos de señal 38₁ - 38₄ respectivamente corresponden a las fases relativas 0°, 90°, 270° y 180° de la señal irradiada 76 como se describió anteriormente en conjunción con la Figura 1.

Las Figuras 6-7 son vistas laterales cortadas de la unidad de antena 32 y el medio de transmisión 34 tomadas a lo largo de las líneas B - B de la Figura 1, e incluyen, al superponer la unidad de antena, los gráficos 90 y 92 del campo eléctrico $\vec{E}$, que los gráficos correspondientes respectivamente corresponden a la sonda de señal 62₁ que está activa y la sonda de señal 62₄ que es activa, de conformidad con una modalidad en la que el medio de transmisión es una microcinta en la que la onda de referencia 36 tiene una amplitud constante y una fase constante en la dimensión y.

Un análisis similar al análisis detallado anteriormente junto con las Figuras 4-5 muestra que incluso si el medio de transmisión 34 es una microcinta, los puertos de señal 38₁ - 38₄ respectivamente corresponden a las fases relativas 0°, 90°, 270° y 180° de la señal irradiada 76 como se describió anteriormente en conjunción con la Figura 1.

Con referencia a las Figuras 1 - 7, el funcionamiento de la unidad de antena 32 se describe durante un modo de transmisión de una antena a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces principales de radar.

Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) controla un generador de señales (no se muestra en las Figuras 1 - 7) para generar una versión de transmisión de la onda de referencia 36 como una sinusoidal que tiene

una frecuencia adecuada f y longitud de onda λ . Por ejemplo, para una aplicación de radar, la versión de transmisión de la onda de referencia 36 puede tener una frecuencia en un intervalo aproximado de 5 Gigahercios (GHz) - 110 GHz.

5 A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina si activar o desactivar la unidad de antena 32. Por ejemplo, el circuito de control basa esta determinación en si la unidad de antena 32 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

10 Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina que la unidad de antena 32 debe estar inactiva, entonces genera, en cada uno de los conductores internos 56₁ - 56₄ de los puertos de señal 38₁ - 38₄, una respectiva tensión de control (por ejemplo, una tensión de control de polarización de CC) que provoca los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ para desacoplar los conductores internos de los puntos de excitación respectivos 42₁ - 42₄ de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.

15 Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina que la unidad de antena 32 debe estar activa, entonces determina cuál de las fases relativas 0°, 90°, 270° y 180° impartir a la señal 76 que se radiará por el elemento de antena 30.

20 A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) activa el diodo 40 asociado con la fase relativa que el circuito de control determinó impartir a la señal 76, y desactiva los otros diodos. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa 270° a la señal 76, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54₃, una señal de control (por ejemplo, una tensión de control de corriente continua) que tiene un valor que activa el dispositivo de activación (por ejemplo, diodo PIN) 40₃ para acoplar el conductor interno 54₃ al punto de excitación 42₃, y genera, en los conductores internos 54₁, 54₂, y 54₄, señales de control respectivas que tienen valores que desactivan estos dispositivos de activación para desacoplar los conductores internos 54₁, 54₂, y 54₄ desde los puntos de excitación 42₁, 42₂, y 42₄, respectivamente.

30 Luego, la sonda 62 asociada al dispositivo de activación activado 40 acopla la versión de transmisión de la onda de referencia 36 en la ubicación respectiva 64 al punto de excitación asociado 42 a través del dispositivo de activación activado para excitar el elemento de antena 30. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 4 - 7) determina impartir la fase relativa 270° a la señal 76, entonces la sonda 62₃ acopla la versión de transmisión de la onda de referencia 36 en la localización 64₃ al punto de excitación 42₃ a través del diodo activado 40₃.

35 A continuación, el elemento de antena excitado 30 irradia, en respuesta a la señal en el punto de excitación 42 asociado con el dispositivo de activación 40 activado, la señal 76 que tiene la fase relativa asociada con el punto de excitación. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 4- 7) activa el dispositivo de activación 40₃, luego el elemento de antena 30 irradia la señal 76 que tiene una fase relativa de 270°.

40 El circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de transmisión de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer que una antena que incluye la unidad de antena 32 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de transmisión dirija cada uno de un haz de transmisión principal desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

45 Aún con referencia a las Figuras 1 - 7, se describe el funcionamiento de la unidad de antena 32 durante un modo de recepción de una antena a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces de recepción principales de radar.

50 Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina si activar o desactivar la unidad de antena 32. Por ejemplo, el circuito de control basa esta determinación en si la unidad de antena 32 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz de recepción que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

55 Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina que la unidad de antena 32 debe estar inactiva, entonces genera, en cada uno de los conductores internos 54₁ - 54₄ de los puertos de señal respectivos 38₁ - 38₄, una señal de control respectiva que provoca uno correspondiente de los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ para desacoplar el conductor interno de uno correspondiente de los puntos de excitación 42₁ - 42₄ de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.

60 Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) determina que la unidad de antena 32 debe estar activa, entonces el circuito de control determina cuál de las fases relativas 0°, 90°, 270°, y 180° impartir a la señal (no se muestra en las Figuras 1 - 7) a recibir por el elemento de antena 30.

65 A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) activa el dispositivo de activación 40

asociado con la fase relativa que el circuito de control determinó para impartir a la señal recibida (no se muestra en las Figuras 1 - 7), y desactiva los otros dispositivos de activación. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa de 90° a la señal recibida, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54₂, una señal de control que tiene un valor que provoca que el dispositivo de activación 40₂ para acoplar el conductor interno 54₂ al punto de excitación 42₂, y genera, en los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄, señales de control respectivas que tienen valores que hacen que estos dispositivos de activación desacoplen los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄ desde los puntos de excitación 42₁, 42₃, y 42₄, respectivamente.

Luego, el elemento de antena 30 acopla la señal recibida (no se muestra en las Figuras 1 - 7) a la localización 64 del medio de transmisión 34 asociado con el dispositivo de activación activado 40 a través del punto de excitación correspondiente 42, el dispositivo de activación activado, el conductor interno correspondiente 54, y la sonda correspondiente 62, para generar una versión de recepción de la onda de referencia 36 (las señales recibidas por todos los elementos de antena activos 30 se combinan en el medio de transmisión para formar la versión recibida de la onda de referencia). Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 4 - 7) determina impartir la fase relativa 90° a la señal recibida, entonces el elemento de antena 30 acopla la señal recibida a la localización 64₂ a través del punto de excitación 42₂, el dispositivo de activación activado 40₂, el conductor interno 54₂, y la sonda correspondiente 62₂, para generar la versión de recepción de la onda de referencia 36.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) recibe la versión de recepción de la onda de referencia 36 a través de un puerto (no se muestra en las Figuras 1 - 7) del medio de transmisión 34, y analiza la versión de recepción de la onda de referencia. Por ejemplo, si el circuito de control y la antena que incluye el elemento de antena 32 son parte de un subsistema de radar, entonces el circuito de control analiza la versión de recepción de la onda de referencia 36 para determinar si un objeto se encuentra en una trayectoria del uno o más haces de recepción de radar (no se muestran en las Figuras 1 - 7).

El circuito de control (no se muestra en las Figuras 1 - 7) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de recepción de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer por etapas la antena que incluye la unidad de antena 32 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de recepción para dirigir cada uno de los uno o más haces de recepción principales desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a las Figuras 1 - 7, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 32. Por ejemplo, la unidad de antena 32 puede tener más o menos de cuatro vías de fase (una vía de fase incluye un punto de excitación 42 y el dispositivo de activación correspondiente 40, el puerto de señal 38, la sonda 62 y el iris 60) para proporcionar más o menos de cuatro fases a una señal 76 que se irradia por un elemento de antena 30 y a una señal que se recibe por el elemento de antena. Además, una o más de las unidades de antena 32 pueden configurarse para impartir un número diferente de fases a las señales radiadas y recibidas que una o más de las unidades de antena. Además, una o más de las unidades de antena 32 pueden configurarse para impartir diferentes valores de fases a las señales radiadas y recibidas que una o más de las otras unidades de antena. Además, el ancho w del elemento de antena 30 puede ser aproximadamente igual a la longitud l de manera que el elemento de antena se configura para irradiar y recibir señales a lo largo de los bordes 58 además de configurarse para irradiar y recibir señales a lo largo de los bordes 78; en tal modalidad, las vías 46 pueden omitirse, o pueden alejarse del elemento de antena 30 a lo largo de la x de manera que las vías no se acoplan eléctricamente desde el elemento de antena, aunque se necesitaría al menos otra trayectoria de acoplamiento entre el elemento de antena y el límite conductor superior 50 para permitir que las corrientes de control/polarización fluyan a través de los dispositivos 40 entre los respectivos conductores internos 54 y los respectivos puntos de excitación 42. Por ejemplo, tal configuración del elemento de antena 30 puede soportar una antena que se configura para irradiar y recibir señales polarizadas circularmente. Además, aunque se describe que se extiende a través de una iris 60 hacia dentro del medio de transmisión 34, cada una de una o más de las sondas 62 puede extenderse hacia dentro, pero no a través, de una respectiva iris, o puede terminar a una distancia por encima de la iris. Además, además de configurarse para permitir el control de la fase de una señal irradiada o recibida por el elemento de antena 30, la unidad de antena 32 puede configurarse para permitir el control de la amplitud de la señal irradiada o recibida por el elemento de antena. Además, debido a que la amplitud de la onda de referencia 36 típicamente disminuye a medida que se propaga a lo largo del medio de transmisión 34, para mantener las amplitudes de las señales radiadas 76 y de las señales recibidas uniformes a lo largo de una hilera de unidades de antena 32, un diseñador puede "cónico" las unidades de antena. Por ejemplo, un diseñador puede estrechar los tamaños de las iris 60 o las impedancias de las sondas 62 de manera que las impedancias de los acopladores 48 disminuyan de manera estrecha en la dimensión de propagación de la onda de referencia (la x en las Figuras 3-9) a partir de un extremo delantero del medio de transmisión 34 (es decir, el extremo que tiene un puerto de señal acoplado a un generador de onda de referencia y receptor) hasta un extremo de terminación del medio de transmisión. Se describen ejemplos de tal estrechamiento en Solicitud de patente provisional de Estados Unidos núm. 62/572,043. Además, un extremo de terminación del medio de transmisión 34 puede terminarse en una impedancia que coincide aproximadamente con la impedancia característica del medio de transmisión para reducir o eliminar las reflexiones de la onda de referencia 36 en el extremo de terminación. Además, las sondas 62₁ y 62₄ pueden disponerse a diferentes distancias de la línea central 80, y las sondas 62₂ y 62₃ pueden disponerse a diferentes distancias de la línea central. Además, uno o más de los puertos de señal 38 pueden omitirse, y los nodos de cada uno de un dispositivo de activación correspondiente 40

pueden acoplarse a una sonda respectiva 62 en una ubicación fuera (i.e., fuera de), el elemento de antena 30. Además, cuando los dispositivos de activación 40 son diodos PIN, cada uno de uno o más de los diodos puede invertirse, de manera que el cátodo se acopla al puerto de señal 38 y el ánodo se acopla al punto de excitación 42; en tal alternativa, la polaridad de la tensión de desplazamiento de CC para los estados acoplados y desacoplados se invertiría. Además, una o más modalidades descritas a continuación en relación con las Figuras 8-18 pueden ser aplicables al elemento de antena 30 y la unidad de antena 32.

La Figura 8 es una vista en planta de un elemento de antena 100 de una unidad de antena 102, de conformidad con otra modalidad. En la Figura 8, los componentes comunes a las Figuras 1 - 7 se etiquetan con números de referencia similares.

Al igual que la unidad de antena 32 de la Figura 1, la unidad de antena 100 se configura para impartir, a una señal radiada o recibida, una de múltiples fases. Por ejemplo, la unidad de antena 100, como la unidad de antena 32, se configura para impartir a una señal radiada o recibida una de las cuatro fases relativas 0° , 90° , 270° y 180° .

Pero a diferencia del elemento de antena de una única sección 30 de la Figura 1, el elemento de antena 100 incluye múltiples secciones 104, una sección por puerto de señal 38. Por ejemplo, el elemento de antena 100 tiene cuatro puertos de señal $38_1 - 38_4$ y cuatro secciones $104_1 - 104_4$, una sección por puerto de señal.

Cada sección 104 es un conductor que es, idealmente, plana, y, juntas, las secciones ocupan un área de aproximadamente $w \times l$, que es el mismo área que ocupa el elemento de antena 30 de la Figura 1.

Debido a que el elemento de antena 100 incluye una sección 104 por puerto de señal 38, la señal de control (por ejemplo, una tensión de control de polarización de CC donde los dispositivos de activación 40 son diodos PIN) pueden aplicarse a la sección en sí en lugar de al respectivo conductor interno 54. Un circuito configurado para aplicar la señal de control a la sección 104 puede ser menos complejo, y puede incluir menos componentes, que un circuito configurado para aplicar la señal de control al respectivo conductor interno 54 como se describió anteriormente junto con las Figuras 1 - 7.

Además, debido a que cada sección 104 tiene una longitud $l_s \approx \lambda_m/4$ en la dimensión y (λ_m es la longitud de onda de la onda de referencia en el medio que está inmediatamente por debajo del elemento de antena 100), cada sección se configura para irradiar/recibir a lo largo de sus respectivos bordes 106 de una manera similar a la manera en la que un elemento de antena de cuarto de longitud de onda (por ejemplo, una antena F invertida plana (PIFA)) se configura para irradiar/recibir. La radiación y recepción de un elemento de antena de un cuarto de longitud se describe más abajo en relación con la Figura 14.

Además, cada sección 104 tiene un ancho w_s en la dimensión x , y un diseñador puede ajustar w_s , por ejemplo, para ajustar la impedancia de la sección en el punto de excitación respectivo 42.

El funcionamiento de la unidad de antena 102 puede ser similar al funcionamiento de la unidad de antena 32 de la Figura 1 como se describió anteriormente en relación con las Figuras 1 - 7, excepto que solo la unidad de antena activa 104 irradia y recibe señales de una manera similar a la manera en que un elemento de antena resonante de cuarto de longitud plana irradia y recibe señales.

Aún con referencia a la Figura 8, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 102. Por ejemplo, una o más modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1 - 7 y descritas a continuación en relación con las Figuras 9-18 pueden ser aplicables al elemento de antena 100 y a la unidad de antena 102.

La Figura 9 es una vista en planta de un elemento de antena 110 de una unidad de antena 112, de conformidad con otra modalidad. En la Figura 9, los componentes comunes a las Figuras 1 - 8 se etiquetan con números de referencia similares.

El elemento de antena 110 puede ser una antena de una sola sección similar al elemento de antena 30 de la Figura 1; alternatively, el elemento de antena 110 puede incluir múltiples secciones 114 (que se muestran parcialmente en línea de puntos), que pueden ser similares a las secciones de antena 104 del elemento de antena 100 de la Figura 8.

Al igual que las unidades de antena 32 y 102 de las Figuras 1 y 8, respectivamente, la unidad de antena 112 puede impartir, a una señal radiada o recibida, una de múltiples fases. Por ejemplo, la unidad de antena 110, como las unidades de antena 32 y 102, puede impartir, a una señal radiada o recibida, una de las cuatro fases relativas 0° , 90° , 270° , y 180° .

Pero a diferencia de los elementos de antena 30 y 100 de las Figuras 1 y 8, respectivamente, el elemento de antena 110 se configura para irradiar y recibir señales a lo largo de los bordes de la dimensión y 118. Configurar el elemento de antena 110 para irradiar y recibir señales a lo largo de la y -los bordes de dimensión 116 pueden reducir las magnitudes de los componentes de señal no polarizados

cruzados que el elemento de antena 110 puede generar y recibir en comparación con las magnitudes de los componentes de señal no polarizados cruzados que pueden generarse y recibirse por un elemento de antena configurado para irradiar y recibir señales a lo largo de sus bordes de dimensión x.

5 Como se describió anteriormente junto con las Figuras 3-7, para las unidades de antena 32 y 102 de las Figuras 1 y 8, respectivamente, son las distribuciones de campo eléctrico (por ejemplo, de los gráficos 90 y 92) en la dimensión y debajo de los elementos de la antena 30 y 100 que proporcionan la diferencia de fase de 180° entre los puertos de señal 38_1 y 38_4 , y entre los puertos de señal 38_2 y 38_3 .

10 Pero debido a que el elemento de antena 110 se configura para irradiar y recibir señales a lo largo de su dimensión y 116, la distribución de campo eléctrico por debajo del elemento de antena a lo largo de la dimensión y no proporciona una diferencia de fase de 180° entre los puertos de señal 38_1 y 38_4 , y entre los puertos de señal 38_2 y 38_3 .

15 Para proporcionar una diferencia de fase de 180° entre los puertos de señal 38_1 y 38_4 , y entre los puertos de señal 38_2 y 38_3 , de la unidad de antena 112, en lugar de un medio de transmisión que se dispone debajo del elemento de antena 110, se disponen dos medios de transmisión 120 y 122 (que se muestran en línea de puntos) debajo del elemento de antena y se configuran para transportar ondas de referencia respectivas que tienen, idealmente, la misma frecuencia pero que están, idealmente, a 180° fuera de fase entre sí. El medio de transmisión 120 se encuentra debajo de la porción del elemento de antena 110 en el que se encuentran los puertos de señal 38_1 y 38_2 se disponen, y el medio de transmisión 122 yace debajo de la porción del elemento de antena en el que los puertos de señal 38_3 y 38_4 se disponen. Además, cada medio de transmisión 120 y 122 puede ser similar al medio de transmisión 34 descrito anteriormente en relación con las Figuras 2-7. De manera similar, cada onda de referencia respectivamente transportada por los medios de transmisión 120 y 122 puede ser similar a la onda de referencia 36 descrita anteriormente junto con las Figuras 2-7.

25 El elemento de antena 110 tiene una longitud $l \approx \lambda_m/2$ en la dimensión x, y tiene, en la dimensión y, un ancho w que puede tener cualquier valor adecuado, por ejemplo, para hacer que el elemento de antena tenga una impedancia particular en uno de los puntos de excitación 42 (λ_m es la longitud de onda de la onda de referencia en el medio que está inmediatamente por debajo del elemento de antena 110).

30 Y si el elemento de antena 110 es multiseccional, entonces cada sección 114 tiene una longitud $l_s \approx \lambda_m/4$ larga en la dimensión x, y se configura para irradiar/recibir a lo largo de sus respectivos bordes 124 de una manera similar a la manera en que un elemento de antena plano de cuarta longitud (por ejemplo, una antena F invertida plana (PIFA)) se configura para irradiar/recibir. La radiación y recepción de un elemento de antena plano de cuarta longitud de onda se describe a continuación en conjunción con la Figura 14. Además, cada sección de la antena 114 tiene un ancho w_s en la dimensión y, y un diseñador puede ajustar w_s , por ejemplo, para ajustar la impedancia de la sección de antena en el punto de excitación respectivo 42.

40 El funcionamiento de la unidad de antena 112 puede ser similar al funcionamiento de la unidad de antena 32 de la Figura 1 como se describió anteriormente en relación con las Figuras 1 - 7, o puede ser similar al funcionamiento de la unidad de antena 102 de la Figura 8 si el elemento de antena 110 incluye las secciones 114, excepto que el elemento de antena 110, o la sección de antena activa 114, irradia y recibe señales a lo largo de su bordes de la dimensión y 116/124 en lugar de a lo largo de sus bordes de la dimensión x.

45 Aún con referencia a la Figura 9, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 112. Por ejemplo, una o más modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1 - 8 y más abajo en relación con las Figuras 10- 18 pueden ser aplicables al elemento de antena 110 y a la unidad de antena 112.

50 La Figura 10 es una vista lateral parcial en corte de una antena 130, que se configura para proporcionar más de cuatro opciones de fase por unidad de antena 132, de conformidad con una modalidad. En la Figura 10, los componentes comunes a las Figuras 1 - 9 se etiquetan con números de referencia similares.

55 La antena 130 incluye un número de unidades de antena 132 (tres unidades de antena en hilera que se muestran en la Figura 10) dispuestas sobre uno o más medios de transmisión 134. Por ejemplo, la antena 130 puede incluir un medio de transmisión 134 por hilera 136 de unidades de antena 132 tal como se describió anteriormente junto con las Figuras 1 - 8. Cada una de las unidades de antena 132 puede ser similar a una de las unidades de antena 32, 102, o 112 de las Figuras 1, 8, y 9, respectivamente, y el medio de transmisión 134 puede ser similar al medio de transmisión 34 de las Figuras 2-7. Alternativamente, la antena 130 puede incluir dos medios de transmisión por hilera 136 de unidades de antena 132, donde los dos medios de transmisión se construyen y localizan de manera similar a los medios de transmisión 120 y 122 de la Figura 8, y se configuran para transportar ondas de referencia 138 de igual magnitud y polaridad opuesta.

60 Una o más estructuras de ajuste 140 (solo una estructura de ajuste que se muestra en la Figura 12) se disponen en cada uno de los uno o más medios de transmisión 134, y permiten el ajuste de la diferencia de fase entre las sondas 62_4 y 62_3 , y de la diferencia de fase entre las sondas 62_1 y 62_2 (no visible en la Figura 10), a otro que 90° . Si solo hay

una estructura de ajuste 140 entre las sondas 62₁ y 62₂ y entre las sondas 62₃ y 62₄, luego la estructura de sintonización puede configurarse para proporcionar la misma diferencia de fase entre las sondas 62₁ y 62₂ como lo proporciona entre las sondas 62₄ y 62₃. Alternativamente, disponer dos estructuras de sintonización 140 (solo una estructura de sintonización visible en la Figura 10) debajo de la unidad de antena 132 permite que un circuito de control (no se muestra en la Figura 10) establezca la diferencia de fase entre las sondas 62₁ y 62₂ y la diferencia de fase entre las sondas 62₄ y 62₃ a valores diferentes.

Cada una de las una o más estructuras de ajuste 140 puede ser de cualquier tipo adecuado y tener cualquier configuración adecuada. Por ejemplo, una o más de las una o más estructuras de ajuste 140 pueden ser un varactor, que es un diodo que tiene una capacitancia que varía en respuesta a los cambios en la tensión de polarización inversa aplicada a través del diodo.

Cada una de las estructuras de sintonización 140 tiene al menos un nodo de control 142 configurado para recibir una señal de control para controlar el desplazamiento de fase que la estructura de sintonización imparte a la onda de referencia. Por ejemplo, si una estructura de sintonización 140 es un varactor y el miembro superior conductor 50 del medio de transmisión 134 se mantiene a una tensión de referencia tal como tierra, entonces el nodo de control 142 puede acoplarse al ánodo del varactor a través de una abertura o puerto de señal en el miembro inferior conductor 52 del medio de transmisión. Un circuito de control (no se muestra en la Figura 10) puede configurarse para generar, en el nodo de control 142, una señal de control. Por ejemplo, cuando la estructura de sintonización 140 es un varactor, entonces un circuito de control puede configurarse para generar, en el nodo de control 142, una tensión de control que es menor que la tensión en el miembro 50 para polarizar inversamente el varactor, y puede configurarse para ajustar esta tensión de control de manera digital o continua/análoga para ajustar la capacitancia del varactor, y, por lo tanto, para ajustar el desplazamiento de fase que el varactor imparte a la onda de referencia entre las sondas 62₄ y 62₃ (y posiblemente también entre las sondas 62₁ y 62₂). Dicho de otra manera, al variar la reactancia de la estructura de sintonización 140, el circuito de control puede variar la longitud de la trayectoria eléctrica entre las sondas 62₄ y 62₃ (y posiblemente también entre las sondas 62₁ y 62₂).

Aún con referencia a la Figura 10, el funcionamiento de una unidad de antena 132 y del medio de transmisión 134 de la antena 130 se describe durante un modo de transmisión de la antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena 130 es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces de radar de transmisión principales.

Un circuito de control (no se muestra en la Figura 10) controla un generador de señales (no se muestra en la Figura 10) para generar la versión de transmisión de la onda de referencia 138 como una sinusoidal que tiene una frecuencia adecuada f y la longitud de onda λ . Por ejemplo, para una aplicación de radar, la onda de referencia 138 puede tener una frecuencia en un intervalo aproximado de 5 GHz - 110 GHz.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina si activar o desactivar la unidad de antena 132. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 132 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

Si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que la unidad de antena 132 debe estar inactiva, entonces el circuito de control genera, en cada uno de los conductores internos 56₁ - 56₄ de los puertos de señal 38₁ - 38₄ (no visible en la Figura 10) una señal de control respectiva que provoca que los dispositivos de activación 40₁ - 40₄ (no visible en la Figura 10) para desacoplar los conductores internos de los respectivos puntos de excitación 42₁ - 42₄ (no visible en la Figura 10) de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.

Pero si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que la unidad de antena 132 debe estar activa, entonces el circuito de control determina qué fase impartir a la señal 76 que se irradiará por un elemento de antena 144 de la unidad de antena 132.

Debido a las fases relativas en los puertos de señal 38₁ - 38₄ están a 90° entre sí, el ajuste de la estructura de afinación 140 genera cuatro fases relativas que son diferentes de 0°, 90°, 270° y 180° pero que aún están a 90° entre sí. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que debe impartir una fase relativa de 168° a la señal 76, entonces el circuito de control genera, en el nodo de control 142, una señal de control que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 añada 78° a la desviación de fase entre las sondas 62₄ y 62₃ de manera que las fases relativas en los puertos de señal 38₁ - 38₄ son, efectivamente, 78°, 168°, 348° y 258°. Este ejemplo supone que la estructura de ajuste 140 no genera también un desplazamiento de fase entre las sondas 62₁ y 62₂.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) genera una señal de control que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 genere un desplazamiento de fase entre las sondas 62₄ y 62₃ de manera que la fase en uno de los puertos de señal 38₁ - 38₄ es la fase que se debe impartir a la señal 76. Por ejemplo, si la fase que se imparte a la señal 76 es de 107°, entonces el circuito de control genera la señal de control

que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 añada 17° a la desviación de fase entre las sondas 62_4 y 62_3 de manera que las fases relativas en los puertos de señal $38_1 - 38_4$ son 17° , 107° , 287° y 197° .

Luego, el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) activa el dispositivo de activación 40 (Figuras 1, 8 y 9) asociado con la fase relativa que el circuito de control determina para impartir a la señal 76, y desactiva los otros dispositivos de activación. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa 107° a la señal 76, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54_2 , una señal de control que tiene un valor que activa el dispositivo de activación 40_2 para acoplar el conductor interno 54_2 al punto de excitación 42_2 , y genera, en los conductores internos 54_1 , 54_3 , y 54_4 , señales de control respectivas que tienen valores que desactivan estos dispositivos de activación para desacoplar los conductores internos 54_1 , 54_3 , y 54_4 desde los puntos de excitación 42_1 , 42_3 , y 42_4 , respectivamente.

A continuación, la sonda 62 asociada con el dispositivo activado 40 acopla la onda de referencia 138 en la ubicación respectiva 64 al punto de excitación asociado 42 a través del dispositivo activado para excitar el elemento de antena 144. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que se debe impartir la fase relativa 107° a la señal 76, entonces la sonda 62_2 (no visible en la Figura 10) acopla la onda de referencia 138 en la localización 64_2 (no visible en la Figura 10) al punto de excitación 42_2 a través del dispositivo activado 40_2 .

Luego, el elemento de antena excitado 144 irradia, en respuesta a la señal en el punto de excitación 42 asociado con el dispositivo activado 40, la señal 76 que tiene la fase relativa asociada con el punto de excitación. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 10) activa el dispositivo 40_2 , luego el elemento de antena 144 irradia la señal 76 que tiene una fase relativa de 107° .

El circuito de control (no se muestra en la Figura 10) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de transmisión de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer que una antena que incluye la unidad de antena 132 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de transmisión dirija cada uno de un haz de transmisión principal desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a la Figura 10, el funcionamiento de la unidad de antena 132 se describe durante un modo de recepción de la antena 130, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces principales de recepción del radar.

Un circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina si activar o desactivar la unidad de antena 132. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 132 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz de recepción que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

Si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que la unidad de antena 132 debe estar inactiva, entonces el circuito de control genera, en cada uno de los conductores internos $54_1 - 54_4$ de los puertos de señal respectivos $38_1 - 38_4$ (por ejemplo, Figura 9) una señal de control respectiva que desacopla el conductor interno del respectivo de los puntos de excitación $42_1 - 42_4$ de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.

Pero si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que la unidad de antena 132 debe estar activa, entonces el circuito de control determina qué fase relativa impartir a la señal (no se muestra en la Figura 10) para recibirla por el elemento de antena 144.

Debido a las fases relativas en los puertos de señal $38_1 - 38_4$ están a 90° entre sí, al ajustar la estructura de afinación 140 se generan cuatro fases relativas que son diferentes de 0° , 90° , 180° y 270° pero que aún mantienen la separación de 90° . Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina que debe impartir una fase de 168° a la señal 76, entonces el circuito de control genera una señal de control que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 añada 78° a la desviación de fase entre las sondas 62_4 y 62_3 de manera que las fases relativas en los puertos de señal $38_1 - 38_4$ son 78° , 168° , 328° y 258° , respectivamente.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) genera, en el nodo de control 142, una señal de control que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 genere un desplazamiento de fase entre las sondas 62_4 y 62_3 de manera que la fase en uno de los puertos de señal $38_1 - 38_4$ es la fase que se debe impartir a la señal recibida por el elemento de antena 144. Por ejemplo, si la fase que se imparte a la señal recibida es de 107° , entonces el circuito de control genera la señal de control que tiene un valor que hace que la estructura de sintonización 140 añada 17° a la desviación de fase entre las sondas 62_4 y 62_3 de manera que las fases en los puertos de señal $38_1 - 38_4$ son 17° , 107° , 287° y 197° , respectivamente.

Luego, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 10) activa el dispositivo de activación 40 asociado con la fase relativa que el circuito de control determinó para impartir a la señal recibida (no se muestra en la Figura 10), y desactiva los otros dispositivos de activación. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa

107° a la señal recibida, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54₂, una señal de control que tiene un valor que provoca el dispositivo de activación 40₂ para acoplar el conductor interno 54₂ al punto de excitación 42₂, y genera, en los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄, señales de control respectivas que tienen valores que hacen que estos dispositivos desacoplen los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄ desde los puntos de excitación 42₁, 42₃, y 42₄, respectivamente.

A continuación, el elemento de antena 144 acopla la señal recibida (no se muestra en la Figura 10) a la localización 64 del medio de transmisión 134 asociado con el dispositivo de activación activado 40 a través del punto de excitación correspondiente 42, el dispositivo activado, el conductor interno correspondiente 54, y la sonda correspondiente 62, para generar la versión de recepción de la onda de referencia 138 (las señales recibidas por todos los elementos de antena activos 144 se combinan en el medio de transmisión para formar la versión de recepción de la onda de referencia). Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) determina impartir la fase relativa 107° a la señal recibida, entonces el elemento de antena 144 acopla la señal recibida a la localización 64₂ (no visible en la Figura 10) a través del punto de excitación 42₂, el dispositivo activado 40₂, el conductor interno 54₂, y la sonda correspondiente 62₂, para generar la onda de referencia 138.

Luego, el circuito de control (no se muestra en la Figura 10) recibe la versión de recepción de la onda de referencia 138 a través de un puerto (no se muestra en la Figura 10) del medio de transmisión 134, y analiza la onda de referencia. Por ejemplo, si el circuito de control y la antena que incluye el elemento de antena 144 son parte de un subsistema de radar, entonces el circuito de control analiza la versión de recepción de la onda de referencia para determinar si un objeto se encuentra en una trayectoria del uno o más haces de recepción de radar (no se muestran en la Figura 10).

El circuito de control (no se muestra en las Figuras 10) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de recepción de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer por etapas la antena que incluye la unidad de antena 132 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de recepción para dirigir cada uno de los uno o más haces de recepción principales desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a la Figura 10, se contemplan modalidades alternativas de la antena 130 y la unidad de antena 132. Por ejemplo, los tipos adecuados de la estructura de sintonización 140 que no son un varactor incluyen un diodo que no es varactor, estructuras y dispositivos ferromagnéticos, estructuras y dispositivos piezoeléctricos, y estructuras y dispositivos de cristal líquido. Además, una o más de las modalidades descritas anteriormente junto con las Figuras 1 - 9 y más abajo en conjunción con las Figuras 11 - 18 pueden ser aplicables a la antena 130 o la unidad de antena 132.

La Figura 11 es una vista lateral parcial en corte de una antena 150, que se configura para proporcionar un desplazamiento de fase entre una señal que se irradia/recibe por un elemento de antena 152 y una señal que se irradia/recibe por otro elemento de antena en una misma hilera 136 de unidades de antena, de conformidad con una modalidad. En la Figura 11, los componentes comunes a las Figuras 3-12 se etiquetan con números de referencia similares.

La antena 150 es similar a la antena 130 de la Figura 10, excepto que la antena 150 incluye al menos una estructura de sintonización 140 (por ejemplo, un diodo varactor) dispuesto entre las unidades de antena adyacentes 154 en lugar de entre las sondas 62 de una misma unidad de antena.

Ubicar la estructura de sintonización 140 en el medio de transmisión 134 entre unidades de antena adyacentes 154 permite variar la diferencia de fase de la onda de referencia entre las unidades de antena adyacentes, y, por lo tanto, permite variar la diferencia de fase entre una señal irradiada/recibida por el elemento de antena 152 de una de las unidades de antena y una señal irradiada/recibida por el elemento de antena de la otra de las unidades de antena. Dicho de otra manera, al variar la reactancia de la estructura de sintonización 140, un circuito de control (no se muestra en la Figura 11) puede variar la longitud de la trayectoria eléctrica entre las unidades de antena adyacentes 154.

La capacidad de variar la diferencia de fase entre las señales que se emiten/reciben por las diferentes unidades de antena 154 puede permitir que un circuito de control (no se muestra en la Figura 11) dirija uno o más haces de transmisión/recepción principales con una resolución más fina en comparación con una antena que carece de la capacidad de variar la diferencia de fase entre las señales que se emiten/reciben por las diferentes unidades de antena.

En un ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 11) hace que la estructura de sintonización 140 cambie la fase de la onda de referencia 138 en 20°, entonces la estructura de sintonización cambia efectivamente las fases de las señales en todos los puertos de señal 38₁ - 38₄ (no se muestra en la Figura 11) de la unidad de antena "corriente abajo" 154 de manera que efectivamente, las fases desplazadas en los puertos de señal respectivos son 20°, 110°, 290° y 200°, respectivamente.

Aún con referencia a la Figura 11, se contemplan modalidades alternativas de la antena 150 y la unidad de antena 154. Por ejemplo, si la antena 150 incluye dos medios de transmisión paralelos tales como los medios de transmisión 120 y 122 de la Figura 9, entonces la antena puede incluir, entre un par de unidades de antena adyacentes 154, al menos una estructura de sintonización respectiva 140 por cada medio de transmisión; cada una de tales estructuras de sintonización puede configurarse para un control independiente por un circuito de control (no se muestra en la Figura 11). Además, la antena 150 puede incluir una estructura de sintonización 140 más dispuesta entre los pares respectivos de unidades de antena adyacentes 154 como se describió en conjunto con la Figura 11, y también puede incluir una o más estructuras de sintonización cada una dispuesta entre las sondas 62 de una misma unidad de antena respectiva como se describió anteriormente en conjunto con la Figura 10. Además, una o más de las modalidades descritas anteriormente junto con las Figuras 1-10 y más abajo junto con las Figuras 12 - 18 pueden ser aplicables a la antena 150 o una o más de las unidades de antena 154.

La Figura 12 es una vista lateral parcial en corte de una antena 160, que se configura para proporcionar un desplazamiento de fase a una señal que se irradia/recibe por un elemento de antena 162, de conformidad con una modalidad. En la Figura 12, los componentes comunes a las Figuras 1-11 se etiquetan con números de referencia similares.

La antena 160 es similar a las antenas 130 y 150 de las Figuras 10 - 11, excepto que la antena 160 incluye al menos una unidad de antena 164 que tiene una estructura de sintonización 166 acoplada al elemento de antena 162. La estructura de ajuste 166 puede ser similar a la estructura de ajuste 140 de las Figuras 10-11 (por ejemplo, la estructura de sintonización 166 puede ser un diodo varactor).

El acoplamiento de la estructura de sintonización 166 al elemento de antena 162 permite que un circuito de control (no se muestra en la Figura 12) varíe, directamente, la fase de una señal irradiada/recibida por el elemento de antena. Por ejemplo, si la estructura de sintonización 166 es un varactor, entonces el ánodo del varactor puede configurarse para actuar como un nodo de control 168, que se acopla al circuito de control a través de un puerto de control 167 dispuesto en, o adyacente a, la unidad de antena 164; por ejemplo, el puerto de control 167 se forma en la capa inferior conductora 52 del medio de transmisión 134 y tiene un conductor interno 169, y la estructura del puerto de control puede ser similar a uno de los puertos de señal 38. La estructura de sintonización desplaza la fase de la señal que se irradia/recibe por el elemento de antena 162 al cargar el elemento de antena con una reactancia que tiene un valor correspondiente al valor de la tensión de control. Alternativamente, el nodo de control de la estructura de sintonización 166 puede ser el elemento de antena 162, y, donde la estructura de sintonización es un varactor, el ánodo del varactor puede acoplarse a una tensión de referencia tal como tierra; es decir, el circuito de control puede aplicar la tensión de control directamente al elemento de antena de manera que la estructura de sintonización cambia la fase de la señal que se irradia/recibe por el elemento de antena al cargar el elemento de antena con una reactancia que tiene un valor correspondiente al valor de la tensión de control.

La capacidad de variar, directamente, la fase de señales radiadas/recibidas por una o más unidades de antena 162 puede permitir que un circuito de control (no se muestra en la Figura 12) dirija uno o más haces principales de transmisión/recepción con una resolución más fina en comparación con una antena que carece de la capacidad de variar la fase de una o más señales radiadas/recibidas por diferentes unidades de antena.

Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en la Figura 12) hace que la estructura de sintonización 166 cambie la fase de la señal radiada/recibida en 20° , entonces la estructura de sintonización cambia efectivamente las fases de las señales en todos los puertos de señal 38₁ - 38₄ (no visible en la Figura 14) en 20° de manera que efectivamente, las fases desplazadas en los puertos de señal respectivos son: 20° , 110° , 290° y 200° , respectivamente.

Aún con referencia a la Figura 12, se contemplan modalidades alternativas de la antena 160 y de la unidad de antena 164. Por ejemplo, en adición a una o más de las estructuras de ajuste 166, la antena 160 puede incluir una estructura de ajuste más 140 dispuesta en el medio de transmisión 134 entre los pares respectivos de unidades de antena adyacentes 164 como se describió anteriormente en relación con la Figura 11, y también puede incluir una o más estructuras de ajuste cada una dispuesta entre las sondas 62 de una misma unidad de antena respectiva como se describió anteriormente en relación con la Figura 10. Además, en lugar de incluir una estructura de sintonización 166 acoplada al elemento de antena 162, cada una de una o más de las unidades de antena 164 puede incluir estructuras de sintonización 166 cada una dispuesta entre una sonda respectiva 62 y un conductor interno correspondiente 54. Además, en lugar de ser un varactor, la estructura de sintonización 166 puede configurarse para alterar la frecuencia resonante efectiva del elemento de antena 162 para impartir un desplazamiento de fase discreto, por ejemplo, 45° , a las señales radiadas y recibidas por el elemento de antena, y, por lo tanto, para impartir, efectivamente, un tercer bit de resolución de fase a la unidad de antena 164. Por ejemplo, en tal modalidad, la estructura de sintonización puede ser un diodo PIN que tiene su cátodo acoplado al elemento de antena 162 y que tiene su ánodo actuando como el nodo de control 168, o un transistor de efecto de campo (FET) que tiene uno de su drenaje/fuente acoplado al elemento de antena, el otro de su drenaje/fuente acoplado a una tensión de referencia tal como tierra, y su puerta actuando como el nodo de control 168. Además, una o más de las modalidades descritas anteriormente junto con las Figuras 1-11 y más abajo junto con las Figuras 13 - 18 pueden ser aplicables a la antena 160 o a una o más de las unidades de antena 164.

La Figura 13 es una vista en planta de un elemento de antena 170 de una unidad de antena 172, de conformidad con una modalidad.

La Figura 14 es una vista lateral de la unidad de antena 172 tomada a lo largo de las líneas A-A de la Figura 13, de un gráfico 174 de un campo eléctrico que se superpone a una porción de la unidad de antena, y de un medio de transmisión 34 (un guía de ondas en una modalidad) dispuesto debajo de al menos una porción de la unidad de antena, de conformidad con una modalidad.

Con referencia a las Figuras 13 - 14, la unidad de antena 172 es similar a la unidad de antena 112 de la Figura 9 excepto que como se describe a continuación, la unidad de antena 172 incluye el elemento de antena 170 que tiene dos secciones 176 y 178, de conformidad con una modalidad en la que cada una de las secciones es una antena F invertida plana respectiva (PIFA).

La longitud l de cada sección de la antena 176 y 178 en la dimensión y se establece en aproximadamente $\lambda_m/4$ de manera que la sección de antena opera en un modo resonante (l no pueden ajustarse exactamente a $\lambda_m/4$ de manera que, por ejemplo, la parte real de la impedancia de la sección de antena tiene un valor mínimo, u otro valor particular, que puede facilitar el funcionamiento en modo resonante).

El ancho w de cada sección de la antena 176 y 178 en la dimensión x puede tener cualquier valor adecuado, por ejemplo, para establecer impedancias de cada sección de la antena en los puntos de excitación 42 a valores particulares que facilitan el funcionamiento resonante de las secciones de la antena.

Además, las secciones de antena 176 y 178 tienen bordes de radiación de señal/recepción de señal respectivos 180 y 182.

En un modo de transmisión, suponiendo que la sección de antena 176 está activa y la sección de antena 178 está inactiva (en una modalidad, solo una sección de antena está activa a la vez), la sección de antena 176 se excita con una señal de uno de los dos puertos de señal $38_1 - 38_2$ asociado con la sección de antena activa, y, en respuesta a esta señal de excitación, la sección de antena genera una corriente I que es cero en el borde de radiación 180 y que fluctúa entre $\pm I_{\max}$ en un borde opuesto no radiante 184, que está acoplado al límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34. Si la versión de transmisión de la onda de referencia 36 es sinusoidal, entonces un perfil de la corriente I es un cuarto sinusoidal que tiene, en el borde 184, una amplitud que fluctúa sinusoidalmente entre $+I_{\max}$ y $-I_{\max}$.

Además, en respuesta a la señal de excitación, la sección de antena activa 176 genera, entre esta y el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34, una tensión V que es cero en el borde no radiador 184 y que fluctúa entre $\pm V_{\max}$ en el extremo de radiación 180. Si la versión de transmisión de la onda de referencia 36 es sinusoidal, entonces el perfil de la tensión V es un cuarto sinusoidal que tiene, en el borde de radiación 180, una amplitud que fluctúa sinusoidalmente entre $+V_{\max}$ y $-V_{\max}$. Y debido al campo eléctrico $\vec{E}$ está en unidades de V/m, la amplitud del campo eléctrico $\vec{E}$ sigue la amplitud de la tensión V .

Debido a que la corriente I que fluye en la sección de antena activa 176 se cancela efectivamente por una corriente de una magnitud igual y de polaridad opuesta que fluye por debajo de la sección de antena en el límite conductor 50, la corriente I no induce la señal 76_1 que la sección de la antena irradia.

Además, debido a que la tensión V se limita a una región intermedia 186 entre la sección de antena 176 y el límite 50, la tensión V tampoco induce la señal 76_1 que la sección de la antena irradia.

Pero el campo eléctrico $\vec{E}$ tiene uno o más componentes marginales 190, que se irradian desde el borde de radiación 180 en la dimensión y . Son estos componentes marginales $\vec{E}$ que forman la señal 76_1 que la sección de antena activa 176 irradia.

Por el contrario, mientras la sección de antena 176 está inactiva y la sección de antena 178 está activa, la última sección de antena irradia componentes de campo eléctrico marginal 192, que forman la señal 76_2 que la sección de antena activa 178 irradia.

Debido a que los componentes de campo eléctrico 190 y 192 tienen polaridades opuestas, son los campos eléctricos asociados con las secciones de la antena 176 y 178 los que proporcionan la diferencia de fase de 180° entre los puertos de señal 38_1 y 38_4 , y entre los puertos de señal 38_2 y 38_3 .

Un análisis correspondiente muestra que, durante un modo de recepción, las secciones de la antena 176 y 178 también se configuran para proporcionar la diferencia de fase de 180° entre los puertos de señal 38_1 y 38_4 , y entre los puertos de señal 38_2 y 38_3 .

Y la aproximadamente separación $\lambda_m/4$ (λ_m longitud de onda de la onda de referencia 36 dentro de la región

intermedia 186) entre los puertos de señal 38₁ y 38₂, y 38₃ y 38₄, en la dimensión x proporciona la diferencia de fase de aproximadamente 90° entre estos pares de puertos de señal como se describió anteriormente en conjunto con las Figuras 1 - 7.

- 5 Con referencia a las Figuras 13 - 14, se describe el funcionamiento de la unidad de antena 172 durante un modo de transmisión de una antena a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad en la que la onda de referencia 36 se propaga a lo largo del medio de transmisión 34 en un TE₁₀ modo. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces principales de radar.
- 10 Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) controla un generador de señales (no se muestra en las Figuras 13 - 14) para generar la onda de referencia 36 como una sinusoidal que tiene una frecuencia adecuada f y longitud de onda λ. Por ejemplo, para una aplicación de radar, la onda de referencia 36 puede tener una frecuencia f en un intervalo aproximado de 5 Gigahercios (GHz) - 110 GHz.
- 15 A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina si activar o desactivar la unidad de antena 172. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 172 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.
- 20 Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina que la unidad de antena 172 debe estar inactiva, entonces genera, en cada uno de los conductores internos 56₁ - 56₄ de los puertos de señal 38₁ - 38₄, una señal de control respectiva que provoca la activación de los dispositivos (por ejemplo, diodos) 40₁ - 40₄ para desacoplar los conductores internos de los puntos de excitación respectivos 42₁ - 42₄ de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.
- 25 Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina que la unidad de antena 172 debe estar activa, entonces determina cuál de las fases relativas 0°, 90°, 180° y 270° impartir a la señal 76 que se radiará por el elemento de antena 170.
- 30 A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) activa el dispositivo de activación 40 asociado con la fase relativa que el circuito de control determinó para impartir a la señal 76, y desactiva los otros dispositivos de activación. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa 270° a la señal 76, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54₃, una señal de control que tiene un valor que activa el dispositivo de activación 40₃ para acoplar el conductor interno 54₃ al punto de excitación 42₃, y genera, en los conductores internos 54₁, 54₂, y 54₄, señales de control respectivas que tienen valores que desactivan estos dispositivos de activación para desacoplar los conductores internos 54₁, 54₂, y 54₄ desde los puntos de excitación 42₁, 42₂, y 42₄, respectivamente.
- 35 Luego, la sonda 62 asociada con el dispositivo activado 40 acopla la onda de referencia 36 en la ubicación respectiva 64 al punto de excitación asociado 42 a través del dispositivo activado para excitar la sección de antena correspondiente 176 o 178 del elemento de antena 170. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina impartir la fase relativa 180° a la señal 76, entonces la sonda 62₄ acopla la onda de referencia 36 en la localización 64₄ al punto de excitación 42₄ a través del dispositivo activado 40₄ de manera que la sección de antena 178 irradiará la señal 76₂.
- 40 A continuación, la sección de antena excitada 176 o 178 del elemento de antena 170 irradia, en respuesta a la señal en el punto de excitación 42 asociado con el dispositivo activado 40, la señal 76 que tiene la fase relativa asociada con el punto de excitación. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) activa el dispositivo 40₄, luego la sección de antena 178 del elemento de antena 170 irradia la señal 76₂ que tiene una fase relativa de 270°.
- 45 El circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de transmisión de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer que una antena que incluye la unidad de antena 172 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de transmisión dirija cada uno de un haz de transmisión principal desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.
- 50 Aún con referencia a las Figuras 13 - 14, se describe el funcionamiento de la unidad de antena 172 durante un modo de recepción de una antena a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces principales de recepción del radar.
- 55 Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina si activar o desactivar la unidad de antena 172. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 172 necesita estar activa o inactiva para el patrón de haz de recepción que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera se controla, para generar.
- 60
- 65

Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina que la unidad de antena 172 debe estar inactiva, entonces genera, en cada uno de los conductores internos 54₁ - 54₄ de los puertos de señal respectivos 38₁ - 38₄, una señal de control respectiva que desacopla el conductor interno del respectivo de los puntos de excitación 42₁ - 42₄ de manera que todos los conductores internos se desacoplan de todos los puntos de excitación.

Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina que la unidad de antena 172 debe estar activa, entonces el circuito de control determina cuál de las fases relativas 0°, 90°, 180° y 270° impartir a la señal (no se muestra en las Figuras 13 - 14) a recibir por el elemento de antena 170.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) activa el dispositivo 40 asociado con la fase relativa que el circuito de control determinó impartir a la señal recibida (no se muestra en las Figuras 13 - 14), y desactiva los otros dispositivos de activación. Por ejemplo, si el circuito de control determina impartir la fase relativa de 90° a la señal recibida, entonces el circuito de control genera, en el conductor interno 54₂, una señal de control que tiene un valor que hace que el dispositivo 40₂ para acoplar el conductor interno 54₂ al punto de excitación 42₂, y genera, en los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄, señales de control respectivas que tienen valores que hacen que los dispositivos 40₁, 40₃, y 40₄ para desacoplar los conductores internos 54₁, 54₃, y 54₄ desde los puntos de excitación 42₁, 42₃, y 42₄, respectivamente.

Luego, el elemento de antena 170 acopla la señal recibida (no se muestra en las Figuras 13 - 14) a la localización 64 del medio de transmisión 34 asociado con el dispositivo activado 40 a través del punto de excitación correspondiente 42, el dispositivo activado, el conductor interno correspondiente 54, y la sonda correspondiente 62, para generar la versión de recepción de la onda de referencia 36 (las señales recibidas por todos los elementos de antena activos 170 se combinan en el medio de transmisión para formar la versión de recepción de la onda de referencia). Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) determina impartir la fase relativa 90° a la señal recibida, entonces la sección de antena 176 del elemento de antena 170 acopla la señal recibida a la localización 64₂ (no visible en las Figuras 13 - 14) a través del punto de excitación 42₂, el dispositivo activado 40₂, el conductor interno 54₂, y la sonda correspondiente 62₂ (no visible en las Figuras 13 - 14) para generar la versión de recepción de la onda de referencia 36.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) recibe la versión de recepción de la onda de referencia 36 a través de un puerto (no se muestra en las Figuras 13 - 14) del medio de transmisión 34, y analiza la onda de referencia. Por ejemplo, si el circuito de control y la antena que incluye el elemento de antena 170 son parte de un subsistema de radar, entonces el circuito de control analiza la versión de recepción de la onda de referencia para determinar si un objeto se encuentra en una trayectoria del uno o más haces de recepción de radar (no se muestran en las Figuras 13 - 14).

El circuito de control (no se muestra en las Figuras 13 - 14) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de recepción de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer que la antena que incluye la unidad de antena 172 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de recepción de manera que se dirija cada uno de uno o más haces de recepción principales desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a las Figuras 13 - 14, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 172. Por ejemplo, las modalidades descritas anteriormente junto con las Figuras 1-12 y más abajo en relación con las Figuras 15 - 18 pueden ser aplicables al elemento de antena 170 o a la unidad de antena 172. Además, una antena que incluye la unidad de antena 172 puede incluir una o más estructuras de sintonización 140 (Figuras 10- 11) y 166 (Figura 12) para permitir la selección de más de cuatro fases relativas para la señal radiada 76 y la señal recibida (no se muestra en las Figuras 13 - 14).

La Figura 15 es una vista en planta de un elemento de antena 200 de una unidad de antena 202, de conformidad con una modalidad.

La Figura 16 es una vista en planta de las capas conductoras de la unidad de antena 202, de conformidad con una modalidad.

Las Figuras 17 - 18 son vistas de transparencia superior e inferior de la unidad de antena 202 y algunas de las capas conductoras de la Figura 16, de conformidad con una modalidad.

Con referencia a la Figura 15, la estructura y operación del elemento de antena 200 y la unidad de antena 202 son respectivamente similares a la estructura y operación del elemento de antena 170 y la unidad de antena 172 de la Figura 13, pero para el cambio en las ubicaciones relativas de los conductores internos 56₁ - 56₄, los puertos de señal 38₁ - 38₄, y las sondas 62₁ - 62₄ (Figura 14) modalidad.

Con referencia a las Figuras 16 - 18, el elemento de antena 200 se forma en una capa conductora 1, el conductor superior 50 del medio de transmisión 34 se forma en una capa conductora 2, una estructura de derivación y señal de control 204 se forma en una capa conductora 3, un conductor inferior 206 del medio de transmisión se forma en una

capa conductora 4, se forman vías conductoras 46 entre el conductor superior del medio de transmisión y el elemento de antena, y las vías 208, que forman paredes del medio de transmisión, se forman entre la capa conductora 1 y el conductor inferior del medio de transmisión. Almohadillas de sonda 210₁ - 210₄ están en la capa 4 y se encuentran en los extremos opuestos de las sondas 62₁ - 62₄ desde los conductores internos 54₁ - 54₄; las señales de control (por ejemplo, señales de control de CC) que seleccionan la fase de la señal elemental transmitida o recibida por el elemento de antena 170 se aplican a las almohadillas de sonda. Y la estructura de señal de derivación y control 204 incluye terminales de derivación 212₁ - 212₄ y líneas de transmisión de derivación 214₁ - 214₄.

Con referencia a las Figuras 15 - 18, se describe el funcionamiento de la unidad de antena 202, de conformidad con una modalidad.

Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 16 - 18) genera una tensión de control, tal como una tensión de CC, que tiene un nivel activo en una de las almohadillas de sonda 210 para activar la unidad de antena 202 para una fase de señal seleccionada, y genera una tensión de control, tal como una tensión de CC, que tiene un nivel inactivo en las almohadillas de sonda restantes 210.

Durante un modo de transmisión o recepción, para evitar que la energía de RF en las sondas 62 se propague al circuito de control (no se muestra en las Figuras 16 - 18), cada par de los terminales de derivación 212 y las líneas de transmisión de derivación 214 proporciona una trayectoria de derivación de RF para la energía de RF en las sondas 62. La energía de RF que se propaga hacia el circuito de control típicamente no se desea porque tal energía de RF puede hacer que la unidad de antena 202, una o más de las otras unidades de antena en la antena, y el circuito de control funcionen mal o de cualquier otra manera de manera no conveniente, e incluso puede dañar el circuito de control.

Por ejemplo, en lugar de propagarse desde la almohadilla de sonda 210₂ a los circuitos de control (no se muestran en las Figuras 15 - 18), la energía de RF en la sonda 62₂ se propaga desde la sonda, a lo largo de la línea de transmisión de derivación 214₂, para el terminal de derivación 212₂, y a uno o ambos del conductor superior 50 y el conductor inferior 206 del medio de transmisión 34, cuyos conductores aparecen como tierra para las señales de RF a la frecuencia de la onda de referencia. El terminal de derivación 212₂ corta efectivamente las señales de RF en el terminal a uno o ambos conductores de RF a tierra 50 y 206. La línea de transmisión 214₂ tiene, entre la sonda 62₂ y el terminal 212₂, una longitud de trayectoria eléctrica de aproximadamente $\lambda_m/4$. En consecuencia, el cortocircuito efectivo a tierra RF en el terminal de derivación 212₂ aparece, en la sonda 62₂, como un circuito abierto de conformidad con la teoría de la línea de transmisión bien establecida. Por lo tanto, el componente de la onda de referencia en la sonda 62₂ tiene una amplitud diferente de cero porque la línea de transmisión 214₂ no carga la sonda, sino porque el componente de la onda de referencia tiene efectivamente una ruta de cortocircuito a tierra de RF a través de la línea de transmisión y el terminal 212₂, aproximadamente toda la energía del componente de la onda de referencia sigue esta ruta de derivación en lugar de propagarse al circuito de control a través de la almohadilla de sonda 210₂.

De manera similar, cada par de un terminal de derivación 212₁, 212₃, y 212₄ y una respectiva línea de transmisión 214₁, 214₃, y 214₄ proporciona una trayectoria de derivación de RF similar para una sonda 62 respectiva₁, 62₃, y 62₄.

La unidad de antena 202 funciona de cualquier otra manera de manera similar a la descrita anteriormente en relación con las Figuras 13 - 14.

Aún con referencia a las Figuras 15 - 18, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 202. Por ejemplo, cada uno de uno o más de los dispositivos 40 puede ser un respectivo de PIN. Además, la estructura de derivación 204 puede tener una topología diferente de la descrita. Además, las modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1-14 y más abajo en relación con las Figuras 19 - 22 pueden ser aplicables al elemento de antena 200 o a la unidad de antena 202.

La Figura 19 es una vista en planta de un elemento de antena 220 de una unidad de antena 222, de conformidad con una modalidad.

La Figura 20 es una vista lateral en corte de la unidad de antena 222 tomada a lo largo de las líneas A-A de la Figura 19, y de un medio de transmisión 34 dispuesto debajo de al menos una porción de la unidad de antena, de conformidad con una modalidad.

Con referencia a las Figuras 19 - 20, una diferencia significativa entre la unidad de antena 222 y las unidades de antena 32, 102, 112, 172, y 202 de las Figuras 1, 8, 9, 3, y 15 es que los acopladores de señal 224₁ y 224₂ de la unidad de antena 222 carecen de sondas conductoras tales como las sondas conductoras 62 de las Figuras 2 - 7, 10 - 12, 4 y 16-18. Es decir, el acoplamiento de señal entre el elemento de antena 220 y el medio de transmisión 34 es a través de las iris 226₁ y 226₂ y regiones intermedias 228₁ y 228₂ entre el elemento de antena y el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34.

Similar al elemento de antena 170 de las Figuras 13 - 14, el elemento de antena 220 tiene dos secciones 230₁ y 230₂, que, en una modalidad, son cada secciones de antena de inversión plana (PIFA) .

Pero a diferencia del elemento de antena 170 de las Figuras 13 - 14, las secciones de antena 230₁ y 230₂ se extienden y se reciben a lo largo de bordes de la dimensión y 232₁ y 232₂ en lugar de a lo largo de los bordes de la dimensión x. Por lo tanto, la envoltura del patrón de haz en la dimensión x de una matriz que incluye múltiples unidades de antena 222 puede tener un perfil más conveniente (por ejemplo, un perfil que tiene menos, o ningún, nulos) en comparación con la envoltura del patrón de haz en la dimensión x de una matriz que incluye múltiples elementos de antena 170.

La longitud l de cada sección de la antena 220₁ y 220₂ en la dimensión x se establece en aproximadamente $\lambda_m/4$ de manera que la sección de antena funciona en un modo resonante (l no pueden ajustarse exactamente a $\lambda_m/4$ de manera que, por ejemplo, la parte real de la impedancia de la sección de antena tiene un valor mínimo, u otro valor particular, que puede facilitar el funcionamiento en modo resonante); (λ_m es la longitud de onda de la onda de referencia en las regiones intermedias 228₁ y 228₂).

El ancho w de cada sección de la antena 230₁ y 230₂ en la dimensión y puede tener cualquier valor adecuado, por ejemplo, para establecer las impedancias de cada sección de la antena como se "ve" por las respectivas iris 226₁ y 226₂ y regiones intermedias 228₁ y 228₂ a valores particulares que facilitan el funcionamiento resonante de las secciones de la antena.

Durante un modo de transmisión resonante, suponiendo que la sección de antena 230₁ está activa y la sección de antena 230₂ está inactiva (en una modalidad, solo una sección de la antena es activa a la vez), la sección de antena 230₁ se excita con una señal de la iris 226₁, y, en respuesta a esta señal de excitación, genera una corriente I que es cero en el borde de radiación 232₁ y que fluctúa entre $\pm I_{\max}$ en un borde opuesto no radiante 234₁, que se acopla al límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34 con una o más vías 46. Si la versión de transmisión de la onda de referencia 36 es sinusoidal, entonces un perfil de la corriente I es un cuarto de seno que tiene, en el borde no radiante 234₁, una amplitud que fluctúa sinusoidalmente entre $+I_{\max}$ y $-I_{\max}$, y que tiene una amplitud de cero en el borde de radiación 232₁.

Además, en respuesta a la señal de excitación, la sección de antena activa 230₁ genera, entre este y el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34, una tensión V que es cero en el borde no radiador 234₁ y que fluctúa entre $\pm V_{\max}$ en el borde de radiación 232₁. Si la versión de transmisión de la onda de referencia 36 es sinusoidal, entonces el perfil de la tensión V es un cuarto sinusoidal que tiene, en el borde de radiación 232₁, una amplitud que fluctúa sinusoidalmente entre $+V_{\max}$ y $-V_{\max}$. Y debido a que el campo eléctrico está en unidades de V/m, la amplitud del campo eléctrico $\vec{E}$ sigue la amplitud de la tensión V.

Debido a que la corriente I que fluye en la sección de antena activa 230₁ se cancela efectivamente por una corriente de igual magnitud y polaridad opuesta que fluye por debajo de la sección de la antena en el límite conductor 50, la corriente I no induce la señal 76₁ que la sección de la antena irradia.

Además, debido a que la tensión V se confina a la región intermedia 228₁ entre la sección de antena 230₁ y el límite 50, la tensión V tampoco induce la señal 76₁ que la sección de la antena irradia.

Pero el campo eléctrico $\vec{E}$ tiene uno o más componentes marginales 238₁, que se irradian desde el borde de radiación 232₁ en la dimensión x. Son estos componentes marginales 238₁ de $\vec{E}$ que forman la señal 76₁ que la sección de antena activa 230₁.

De manera similar, mientras que la sección de antena 230₁ es inactiva y la sección de antena 230₂ es activa, la última sección de la antena irradia uno o más componentes de campo eléctrico marginal 238₂, que forman la señal 76₂ que la sección de antena activa 230₂ .

Si las iris 226₁ y 226₂ se separan por, idealmente, $\lambda_m/2$, luego la diferencia de fase entre la versión de transmisión de la onda de referencia 36 en la iris 226₁, y la versión de transmisión de la onda de referencia en la iris 226₂ es, idealmente, 180°.

Además, debido a que los componentes de campo eléctrico 238₁ y 238₂ tienen polaridades opuestas, estos componentes del campo eléctrico proporcionan una diferencia de fase de 180° en las señales 76₁ y 76₂ emitido por las secciones de la antena 230₁ y 230₂.

Por lo tanto, la diferencia de fase efectiva total entre las señales 76₁ y 76₂ es idealmente 180 grados. Como se describe en más detalle a continuación, mientras que la sección de antena 230₁ se activa (por ejemplo, mediante una estructura de ajuste tal como un varactor como se describe a continuación), la sección de la antena proporciona un desplazamiento de fase ajustable entre 0° y -90° (+270°). De manera similar, mientras que la sección de antena 230₂ se activa (por ejemplo, mediante una estructura de ajuste tal como un varactor como se describe a

continuación), la sección de antena proporciona un desplazamiento de fase ajustable entre $+90^\circ$ y 180° .

Un análisis correspondiente muestra que durante un modo de recepción y sin ninguna estructura de sintonización, las secciones de antena 230₁ y 230₂ también se configuran para proporcionar una diferencia de fase efectiva total de 180° entre las señales (no se muestran en las Figuras 19 - 20) que las secciones de antena irradian a las iris 226₁ y 226₂, respectivamente, para la generación de la versión de recepción de la onda de referencia 36.

De manera que la unidad de antena 222 pueda proporcionar fases relativas distintas de 0° y 180° a las señales radiadas 76₁ y 76₂, y a las señales recibidas (no se muestran en las Figuras 19 - 20) por el elemento de antena 220, la unidad de antena incluye estructuras de ajuste opcionales 242₁ y 242₂, tales como varactores, acoplados respectivamente entre cada sección de la antena 230₁ y 230₂ y un nodo de referencia tal como el límite superior conductor 50 del medio de transmisión 34.

Y para activar y desactivar las secciones de la antena 230₁ y 230₂, la unidad de antena 222 incluye los respectivos dispositivos de acoplamiento 244₁ y 244₂, tales como diodos PIN, respectivamente acoplados entre cada sección de antena 230₁ y 230₂ y el límite conductor 50 del medio de transmisión 34.

Con referencia a las Figuras 19 - 20, el funcionamiento de la unidad de antena 222 se describe durante un modo de transmisión de una matriz de antenas a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces de radar de transmisión principales.

Un circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) controla un generador de señales (no se muestra en las Figuras 19 - 20) para generar la versión de transmisión de la onda de referencia 36 como una sinusoidal que tiene una frecuencia adecuada f y longitud de onda λ . Por ejemplo, para una aplicación de radar, la onda de referencia 36 puede tener una frecuencia de 5 Gigahercios (GHz) - 110 GHz.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina si activar o desactivar la unidad de antena 222. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 222 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina que la unidad de antena 222 debe estar inactiva, entonces el circuito de control genera, en cada una de las secciones de antena 230₁ y 230₂, una señal de control respectiva que provoca que los dispositivos de acoplamiento 244₁ - 244₂ para desacoplar las secciones de la antena de los iris 226₁ y 226₂ de manera que ninguna de las secciones de la antena emite una señal.

Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina que la unidad de antena 222 debe estar activa, entonces el circuito de control determina qué fase relativa impartir a la señal 76 que se irradiará por el elemento de antena 220.

A continuación, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina la fase relativa de la señal 76 a radiar.

Luego, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) genera, en una de las secciones de la antena 230₁ y 230₂, una tensión de control que activa la una sección de antena y hace que la estructura de sintonización respectiva 242 cambie la fase de la señal radiada respectiva 76 al valor determinado, y genera en la otra sección de antena una señal de control que desactiva la otra sección de antena. Por ejemplo, si la fase determinada es 160° , entonces el circuito de control genera, en la sección de antena 230₂, una señal de control que hace que el dispositivo de acoplamiento 244₂ para activar la sección de antena 230₂ y que provoca la estructura de sintonización 242₂ para cambiar la fase de la señal 76₂ en -20° a 160° , y genera, en la sección de antena 230₁, una señal de control que hace que el dispositivo de acoplamiento 244₁ para desactivar la sección de la antena 230₁.

A continuación, la iris 226 correspondiente a la sección de la antena activa 230 acopla la versión de transmisión de la onda de referencia 36 a la sección de la antena activa a través de la región 228 correspondiente a la sección de la antena activa. Por ejemplo, si la sección de antena 230₂ es la sección de antena activa, entonces el iris 226₂ acopla la versión de transmisión de la onda de referencia 36 a la sección de antena 230₂ a través de la región intermedia 228₂ para excitar la sección de la antena 230₂ del elemento de antena 220.

Luego, la sección de antena excitada 230 del elemento de antena 220 irradia, en respuesta a la señal desde la iris 226 asociada con la sección de antena activada, la señal 76 que tiene la fase relativa asociada con la sección de antena activa. Por ejemplo, si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) activa la sección de antena 230₂ y controla la estructura de sintonización 242₂ para impartir un desplazamiento de fase de -20° , luego la sección de antena 230₂ del elemento de antena 220 irradia la señal 76₂ que tiene una fase relativa de 160° .

El circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de

radiación de transmisión de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer que una antena que incluye la unidad de antena 222 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de transmisión dirija cada uno de un haz de transmisión principal desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a las Figuras 19 - 20, se describe el funcionamiento de la unidad de antena 222 durante un modo de recepción de una antena a la que pertenece la unidad de antena, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, si la antena es parte de un subsistema de radar, entonces la antena genera uno o más haces principales de recepción del radar.

Primero, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina si activar o desactivar la unidad de antena 222. Por ejemplo, el circuito de control puede basar esta determinación en si la unidad de antena 222 debe estar activa o inactiva para el patrón de haz que el circuito de control se programa, o de cualquier otra manera controla, para generar.

Si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina que la unidad de antena 222 debe estar inactiva, entonces genera, en cada una de las secciones de antena 230₁ y 230₂, una señal de control respectiva que provoca que los dispositivos de acoplamiento (por ejemplo, diodos) 244₁ - 244₂ para desacoplar las secciones de la antena de los iris 226₁ y 226₂ de manera que ninguna de las secciones de la antena acopla una señal recibida a la iris correspondiente.

Pero si el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) determina que la unidad de antena 222 debe estar activa, entonces determina qué fase relativa impartir a la señal (no se muestra en las Figuras 19 - 20) para recibirla por el elemento de antena 220.

Luego, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) genera, en una de las secciones de la antena 230₁ y 230₂, una señal de control que activa la una sección de antena y hace que la estructura de sintonización respectiva 242 cambie la fase de la señal recibida respectiva (no se muestra en las Figuras 19 - 20) al valor determinado, y genera en la otra sección de antena una señal de control que desactiva la otra sección de antena. Por ejemplo, si la fase determinada es -10°, entonces el circuito de control genera, en la sección de antena 230₁, una señal de control que hace que el dispositivo de acoplamiento 244₁ para activar la sección de antena 230₁ y que provoca la estructura de sintonización 242₁ para cambiar la fase de la señal recibida por la sección de antena 230₁ en -10° a -10°, y genera, en la sección de antena 230₂, una señal de control que hace que el dispositivo de acoplamiento 244₂ para desactivar la sección de antena 230₂.

A continuación, la sección de antena activa 230 acopla la señal recibida (no se muestra en las Figuras 19 - 20) a la iris 226 correspondiente a la sección de antena activa 230 a través de la región activa 238 correspondiente a la sección de antena activa. Por ejemplo, si la sección de antena 230₁ es la sección de antena activa, entonces la sección de antena 230₁ acopla la señal que recibe a la iris 226₁ a través de la región intermedia 228₁ para excitar la formación de la versión de recepción de la onda de referencia 36 en el medio de transmisión 34.

Luego, el circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) recibe la versión de recepción de la onda de referencia 36 a través de un puerto (no se muestra en las Figuras 19 - 20) del medio de transmisión 34, y analiza la versión de recepción de la onda de referencia. Por ejemplo, si el circuito de control y la antena que incluye el elemento de antena 200 son parte de un subsistema de radar, entonces el circuito de control analiza la versión de recepción de la onda de referencia 36 para determinar si un objeto se encuentra en una trayectoria del uno o más haces de recepción de radar (no se muestran en las Figuras 19 - 20).

El circuito de control (no se muestra en las Figuras 19 - 20) repite las etapas anteriores para uno o más patrones de radiación de recepción de antena posteriores. Por ejemplo, el circuito de control puede repetir el procedimiento anterior para hacer por etapas la antena que incluye la unidad de antena 222 a través de una secuencia de tiempo de patrones de radiación de recepción para dirigir cada uno de los uno o más haces de recepción principales desde una dirección respectiva a una dirección otra respectiva.

Aún con referencia a las Figuras 19 - 20, se contemplan modalidades alternativas de la unidad de antena 222. Por ejemplo, los dispositivos de acoplamiento 244 pueden omitirse de la unidad de antena 222, y las estructuras de sintonización 242 pueden usarse tanto para ajustar la fase como para activar y desactivar las secciones de antena respectivas 230. Además, las modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1-18 y más abajo en relación con las Figuras 121 - 22 pueden ser aplicables al elemento de antena 220 o a la unidad de antena 222.

La Figura 21 es un diagrama de bloques de una subsistema de radar 260, que incluye un grupo de antenas 262 que tiene una o más de las antenas, tales como las antenas 130, 150, y 160 descritas anteriormente en relación con las Figuras 10 - 12, la una o más antenas que incluyen una o más de las unidades de antena 32, 102, 112, 172, 202, y 222 descritas anteriormente en relación con las Figuras 1 - 9 y 13 - 19, de conformidad con una modalidad.

Además del grupo de antenas 262, el subsistema de radar 260 incluye un transceptor 264, un controlador de

dirección de haz 266, y un controlador maestro 268.

El transceptor 264 incluye un oscilador controlado por voltaje (VCO) 270, un preamplificador (PA) 272, un duplexor 274, un amplificador de bajo ruido (LNA) 276, un mezclador 278, y un convertidor analógico a digital (ADC) 280. El VCO 270 se configura para generar una señal de referencia que tiene una frecuencia $f_0 = c/\lambda_0$, que es la frecuencia para la cual se diseña al menos una de las antenas del grupo de antenas 262. El PA 272 se configura para amplificar la señal del VCO, y el duplexor 274 se configura para acoplar la señal de referencia a las antenas del grupo de antena 262, mediante uno o más alimentadores de señal (no se muestran en la Figura 21), como versiones de transmisión de las respectivas ondas de referencia. Uno o ambos del duplexor 274 y el grupo de antena 272 pueden incluir uno o más de los alimentadores de señal. El duplexor 274 también está configurado para recibir versiones recibidas de las respectivas ondas de referencia de las antenas del grupo de antenas 262, y para proporcionar estas versiones recibidas de las respectivas ondas de referencia a la LNA 276, que está configurada para amplificar estas señales recibidas. El mezclador 278 se configura para desplazar las frecuencias de las señales recibidas amplificadas hacia una banda base, y el ADC 280 se configura para convertir las señales analógicas desplazadas hacia abajo en señales digitales para su procesamiento por el controlador maestro 268.

El controlador de dirección del haz 266 se configura para dirigir los haces (tanto el haz de transmisión como el de recepción) generados por la una o más antenas del grupo de antena 262 generando las señales de control a los puertos de control de las unidades de antena en función del tiempo y la posición del haz principal. Al generar apropiadamente las señales de control, el controlador de dirección de haz 266 se configura para activar, desactivar y generar un desplazamiento de fase para, los elementos de antena de las unidades de antena de conformidad con patrones espaciales y temporales seleccionados.

El controlador maestro 268 se configura para controlar el transceptor 264 y el controlador de dirección de haz 266, y para analizar las señales digitales del ADC 280. Por ejemplo, suponiendo que la una o más antenas del grupo de antenas 262 están diseñadas para operar a frecuencias en un intervalo centrado alrededor de f_0 , el controlador maestro 268 se configura para ajustar la frecuencia de la señal generada por el VCO 270 para, por ejemplo, condiciones ambientales tales como el clima, el número promedio de objetos en el intervalo de la una o más antenas del conjunto de antenas, y la distancia promedio de los objetos desde la una o más antenas, y para conformar la señal a las regulaciones de espectro. Además, el controlador maestro 268 se configura para analizar las señales del ADC 280 para, por ejemplo, identificar un objeto detectado, y determinar qué acción, si la hubiera, que un sistema que incluye, o acoplado a, el subsistema de radar 260 debe tomar. Por ejemplo, si el sistema es un vehículo autónomo o un dron autodirigido, el controlador maestro 268 se configura para determinar qué acción (por ejemplo, frenado, desvío), si la hay, debe tomar el vehículo en respuesta al objeto detectado.

El funcionamiento del subsistema de radar 260 se describe más abajo, de conformidad con una modalidad. Cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador maestro 268, puede almacenar en una memoria, y ejecutar, instrucciones de software/programa para realizar las acciones descritas más abajo. Alternativamente, cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 268, puede almacenar, en una memoria, el microprograma que al cargarse configura uno o más de los componentes del sistema para realizar las acciones descritas más abajo. O cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 268, puede estar cableado para realizar las acciones descritas más abajo.

El controlador maestro 268 genera una tensión de control que hace que el VCO 270 genere una señal de referencia a una frecuencia dentro de un intervalo de frecuencias centrado alrededor de f_0 . Por ejemplo, f_0 puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 Gigahercios (GHz) - 110 GHz.

El VCO 270 genera la señal, y el PA 272 amplifica la señal y proporciona la señal amplificada al duplicador 274.

El duplexor 274 puede amplificar aún más la señal, y acopla la señal amplificada a una o más antenas del grupo de antenas 262 como una versión de transmisión respectiva de una onda de referencia.

Mientras el duplexor 274 acopla la señal a la una o más antenas del grupo de antenas 262, el controlador de dirección de haz 266, en respuesta al controlador maestro 268, genera señales de control a las unidades de antena de la una o más antenas. Estas señales de control hacen que una o más antenas generen y dirijan uno o más haces de transmisión de señal principales. Las señales de control hacen que el uno o más haces de transmisión de señal principales tengan características deseadas (por ejemplo, fase, amplitud, polarización, dirección, ancho de haz de media potencia (HPBW)), y también hacen que los lóbulos laterales tengan características deseadas tales como un nivel de potencia de lóbulo lateral total adecuado y un nivel de lóbulo lateral adecuado (por ejemplo, una diferencia entre las magnitudes de un haz de transmisión de señal principal más pequeño y el lóbulo lateral más grande).

Luego, el controlador maestro 268 hace que el VCO 270 deje de generar la señal de referencia.

A continuación, mientras el VCO 270 no genera señal de referencia, el controlador de dirección de haz 266, en respuesta al controlador maestro 268, genera señales de control a las unidades de antena de una o más antenas. Estas señales de control hacen que una o más antenas generen y dirijan uno o más haces de señal de recepción.

principal. Las señales de control hacen que el uno o más haces principales de señal de recepción tengan características deseadas (por ejemplo, fase, amplitud, polarización, dirección, ancho de haz de media potencia (HPBW)), y también hacen que los lóbulos laterales tengan características deseadas tales como un nivel de potencia de lóbulo lateral adecuado y un nivel de lóbulo lateral adecuado. Además, el controlador de dirección del haz 266 puede generar la misma secuencia de señales de control para dirigir el uno o más haces principales de recepción de señal como lo hace para dirigir el uno o más haces principales de transmisión de señal.

Luego, el duplexor 274 acopla las versiones recibidas de las ondas de referencia generadas respectivamente por la una o más antenas del subconjunto de antena 262 al LNA 266.

A continuación, la LNA 272 amplifica las señales recibidas.

Luego, el mezclador 278 convierte hacia abajo las señales amplificadas recibidas desde una frecuencia, por ejemplo, en o cerca de f_0 , a una frecuencia de banda base.

A continuación, el ADC 280 convierte las señales analógicas convertidas hacia abajo en señales digitales.

Luego, el controlador del sistema maestro 268 analiza las señales digitales para obtener información de las señales y determinar qué, si acaso, se debe hacer en respuesta a la información obtenida de las señales.

El controlador del sistema maestro 268 puede repetir el ciclo anterior una o más veces.

Aún con referencia a la Figura 21, se contemplan modalidades alternativas del subsistema de radar 260. Por ejemplo, el subsistema de radar 260 puede incluir uno o más componentes adicionales no descritos anteriormente, y puede omitir uno o más de los componentes descritos anteriormente. Además, las modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1 - 20 y más abajo en relación con la Figura 22 pueden aplicarse al subsistema de radar 260.

La Figura 22 es un diagrama de bloques de un sistema, tal como un sistema de vehículo 290, que incluye el subsistema de radar 260 de la Figura 21, de conformidad con una modalidad. Por ejemplo, el sistema de vehículo 290 puede ser un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tal como un dron, o un automóvil autónomo.

Además del subsistema de radar 260, el sistema de vehículo 290 incluye un conjunto de accionamiento 292 y un controlador de sistema 294.

El conjunto de accionamiento 292 incluye una unidad de propulsión 296, tal como un motor o motor, e incluye una unidad de dirección 298, tal como un timón, flaperón, control de inclinación, o control de guiñada (para, por ejemplo, un UAV o dron), o un volante enlazado a las ruedas direccionables (para, por ejemplo, un coche autónomo).

El controlador del sistema 294 se configura para controlar, y para recibir información de, el subsistema de radar 260 y el conjunto de accionamiento 292. Por ejemplo, el controlador del sistema 294 puede configurarse para recibir ubicaciones, tamaños y velocidades de objetos cercanos desde el subsistema de radar 260, y para recibir la velocidad y la dirección de viaje del sistema de vehículo 290 desde el conjunto de accionamiento 292.

El funcionamiento del sistema de vehículo 290 se describe más abajo, de conformidad con una modalidad. Cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 294, puede almacenar en una memoria, y ejecutar, instrucciones de programa/software para realizar las acciones descritas más abajo. Alternativamente, cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 294, puede almacenar, en una memoria, el microprograma que cuando se carga configura uno o más de los componentes del sistema para realizar las acciones descritas más abajo. O cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 294, puede ser un circuito cableado para realizar las acciones descritas más abajo.

El controlador del sistema 294 activa el subsistema de radar 260, que, como se describió anteriormente en conjunto con la Figura 21, proporciona al controlador del sistema información con respecto a uno o más objetos en las cercanías del sistema de vehículo 290. Por ejemplo, si el sistema de vehículo 290 es un UAV o un dron, entonces el subsistema de radar puede proporcionar información con respecto a uno o más objetos (por ejemplo, aves, aviones y otros UAV/drones), en la trayectoria de vuelo hacia la parte delantera, los lados y la parte trasera del UAV/dron. Alternativamente, si el sistema de vehículo 290 es un automóvil autónomo, entonces el subsistema de radar 260 puede proporcionar información con respecto a uno o más objetos (por ejemplo, otros vehículos, escombros, peatones, ciclistas) en la carretera o fuera de la carretera hacia la parte delantera, laterales y traseras del sistema de vehículos.

En respuesta a la información del objeto del subsistema de radar 260, el controlador del sistema 294 determina qué acción, si la hubiera, debe tomar el sistema de vehículo 290 en respuesta a la información del objeto. Alternativamente, el controlador maestro 268 (Figura 21) de la subsistema de radar puede hacer esta determinación y proporcionársela al controlador del sistema 294.

A continuación, si el controlador del sistema 294 (o el controlador maestro 268 de la Figura 21) determina que debe tomarse una acción, entonces el controlador del sistema hace que el conjunto de accionamiento 292 realice la acción determinada. Por ejemplo, si el controlador del sistema 294 o el controlador maestro 268 determinan que un sistema UAV 290 se cierra a un objeto delante del sistema UAV, entonces el controlador del sistema 294 puede controlar la unidad de propulsión 296 para reducir la velocidad del aire. O, si el controlador del sistema 294 o el controlador maestro 268 determinan que un objeto delante de un sistema de conducción autónoma 290 se está desacelerando, entonces el controlador del sistema 294 puede controlar la unidad de propulsión 296 para reducir la velocidad del motor y aplicar un freno. O si el controlador del sistema 294 o el controlador maestro 268 determinan que se necesita una acción evasiva para evitar un objeto (por ejemplo, otro UAV/dron, un pájaro, un niño que corrió delante del sistema de vehículo) delante del sistema de vehículo 290, entonces el controlador del sistema 294 puede controlar la unidad de propulsión 296 para reducir la velocidad del motor y, para un vehículo de conducción autónoma, para aplicar un freno, y puede controlar la unidad de dirección 298 para maniobrar el sistema de vehículo lejos de o alrededor del objeto.

Aún con referencia a la Figura 22, se contemplan modalidades alternativas del sistema de vehículo 290. Por ejemplo, el sistema de vehículo 290 puede incluir uno o más componentes adicionales no descritos anteriormente, y puede omitir uno o más de los componentes descritos anteriormente. Además, el sistema de vehículo 290 puede ser un sistema de vehículo distinto de un UAV, dron o coche autónomo. Otros ejemplos del sistema de vehículo 290 incluyen una embarcación, una motocicleta, un automóvil que no es autónomo y una nave espacial. Además, un sistema que incluye el subsistema de radar 260 puede ser distinto de un sistema de vehículo. Además, las modalidades descritas anteriormente en relación con las Figuras 1 - 21 pueden aplicarse al sistema de vehículo 290.

A partir de lo anterior se apreciará que, aunque las modalidades específicas se han descrito en la presente descripción con fines de ilustración, pueden realizarse diversas modificaciones sin apartarse del alcance de la descripción tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, cualquier componente u operación descrita puede implementarse/realizarse en hardware, software, firmware, o una combinación de dos o más de hardware, software, y firmware. Además, uno o más componentes de un aparato o sistema descrito pueden haberse omitido de la descripción por claridad o por otra razón. Además, uno o más componentes de un aparato o sistema descrito que se han incluido en la descripción pueden omitirse del aparato o sistema.

REIVINDICACIONES

1. Una unidad de antena (32), que comprende:

- 5 al menos medio de transmisión (34, 120, 122, 134);
un elemento de antena (30) que incluye al menos una sección (104) que comprende puntos de excitación (421, 422, 423, 424) y puertos de señal (38) cada uno aislado eléctricamente entre sí y de cada una de la al menos una sección (104);
10 cada uno de los dispositivos configurado para acoplar un respectivo de los puertos de señal (38) a un respectivo punto de excitación (421, 422, 423, 424) de una de la al menos una sección (104) en respuesta a una señal de control respectiva; y
acopladores (481, 482, 483, 484) configurados cada uno para acoplar un respectivo de los puertos de señal (38) a una ubicación respectiva de un respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134).
- 15 2. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada una de la al menos una sección (104) del elemento de antena (30) incluye un respectivo conductor bidimensional aproximadamente plano.
3. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde:
- 20 cada una de la al menos una sección (104) del elemento de antena (30) incluye al menos una abertura (60₁, 60₂, 60₃, 60₄, 226₁, 226₂); y
cada uno de los puertos de señal (38) incluye un nodo respectivo (142) que se dispone dentro de una respectiva de la al menos una abertura.
- 25 4. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada uno de al menos uno de los dispositivos incluye un diodo respectivo (401, 402, 403, 404).
5. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1 en donde cada uno de al menos uno de los acopladores (481, 482, 483, 484) incluye una abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) en un miembro (50) configurado para ser un límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) configurada para estar aproximadamente en una respectiva de las ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134).
- 30 6. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada uno de al menos uno de los acopladores (481, 482, 483, 484) incluye:
- 35 una abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) en un miembro (50) configurado para ser un límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) configurada para estar en aproximadamente una respectiva de las ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134); y
40 una sonda respectiva (62) que tiene un primer extremo acoplado a uno respectivo de los puertos de señal (38) y que tiene un segundo extremo acoplado a la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262).
- 45 7. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada uno de al menos uno de los acopladores (481, 482, 483, 484) incluye:
- una abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) en un miembro (50) configurado para ser un límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) configurada para estar aproximadamente en una respectiva de las ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134); y
50 una sonda respectiva (62) que tiene un primer extremo acoplado a un respectivo de los puertos de señal (38) y que tiene un segundo extremo que se configura para extenderse hacia el respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134) a través de la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262).
- 55 8. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada uno de al menos uno de los acopladores (481, 482, 483, 484) incluye:
- una abertura respectiva en un primer miembro (50) configurada para ser un límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) configurada para estar aproximadamente en una respectiva de las ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134); y
60 una sonda respectiva (62) que tiene un primer extremo acoplado a un respectivo de uno de los puertos de señal (38) y que tiene un segundo extremo que está configurado para extenderse a través de la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262), hacia el respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), y hacia otra abertura (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) en un segundo miembro (50) configurado para ser otro límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134).
- 65

9. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde cada uno de al menos uno de los acopladores (481, 482, 483, 484) incluye:

una abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) en un miembro (50) configurado para ser un límite del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134), la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262) configurada para estar en aproximadamente una respectiva de las ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134); y

una sonda respectiva (62) que tiene un primer extremo acoplado a un respectivo de los puertos de señal (38) y que tiene un segundo extremo que se extiende a través de la abertura respectiva (601, 602, 603, 604, 2261, 2262).

10. La unidad de antena de la reivindicación 1, en donde el elemento de antena (30) se dispone sobre los acopladores (481, 482, 483, 484).

11. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, que comprende además un sintonizador de fase configurado para alterar una fase de una señal en uno de los elementos de antena (30) y una de las respectivas ubicaciones del respectivo medio de transmisión (34, 120, 122, 134) con relación a una fase de una señal en el otro elemento de antena (30) y la una de las respectivas ubicaciones.

12. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde al menos uno de los respectivos medios de transmisión (34, 120, 122, 134) incluye una microcinta.

13. La unidad de antena (32) de la reivindicación 1, en donde al menos uno de los respectivos medios de transmisión (34, 120, 122, 134) incluye una guía de ondas.

14. Una antena que comprende una matriz de unidades de antena (32) de la reivindicación 1, en donde el elemento de antena (30) de una unidad de antena se separa de un elemento de antena (30) de otra unidad de antena (32) al menos por una distancia aproximadamente igual a la mitad de una longitud de onda de una onda que se configura para transportar al menos uno de los respectivos medios de transmisión (34, 120, 122, 134).

15. Una antena que comprende una matriz de unidades de antena (32) de la reivindicación 1, en donde el elemento de antena (30) de una unidad de antena (32) se separa de un elemento de antena (30) de otra unidad de antena (32) al menos por una distancia que es menor que la mitad de una longitud de onda de una onda que se configura para transportar al menos uno de los respectivos medios de transmisión (34, 120, 122, 134).

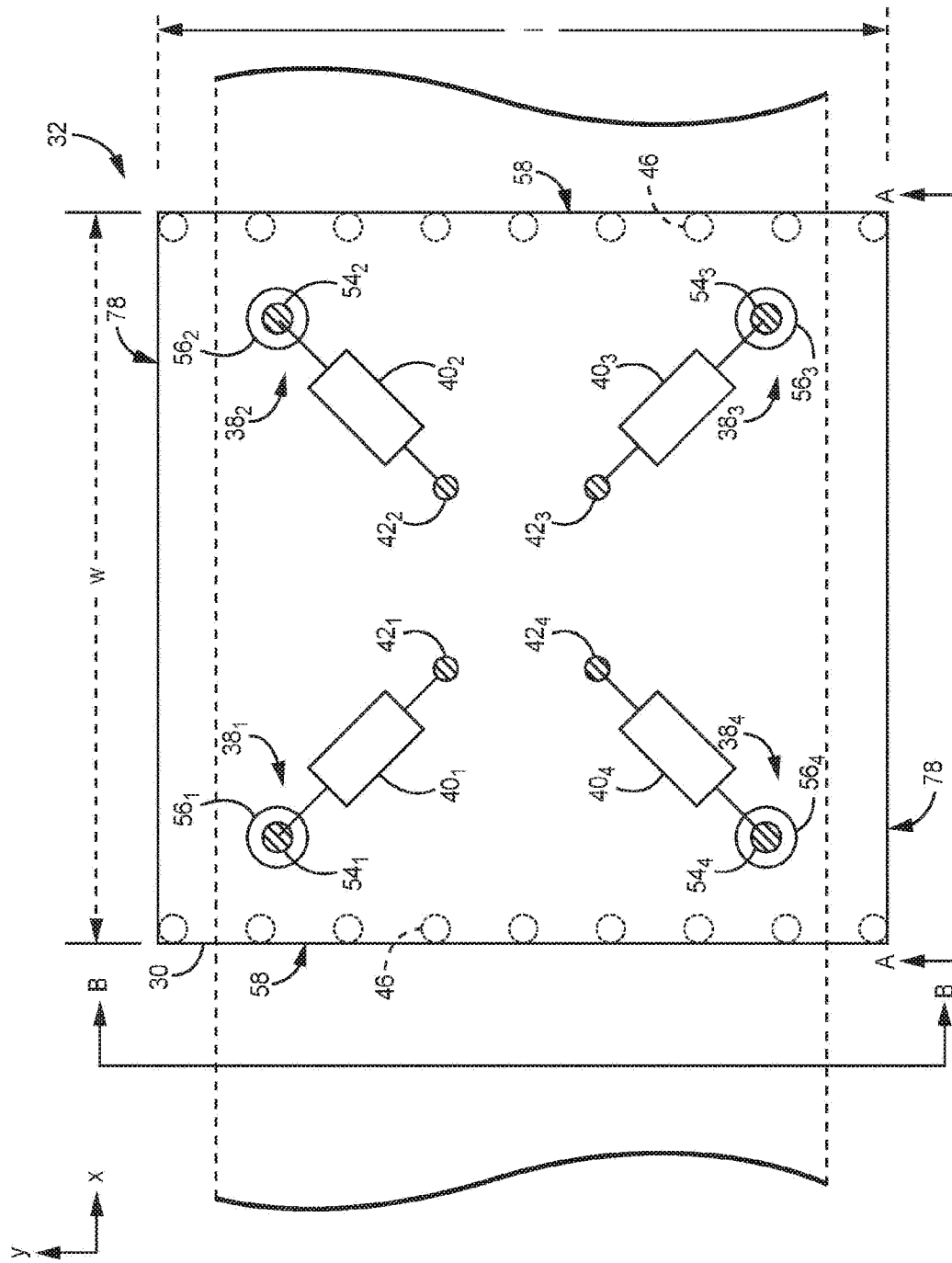


FIGURA 1

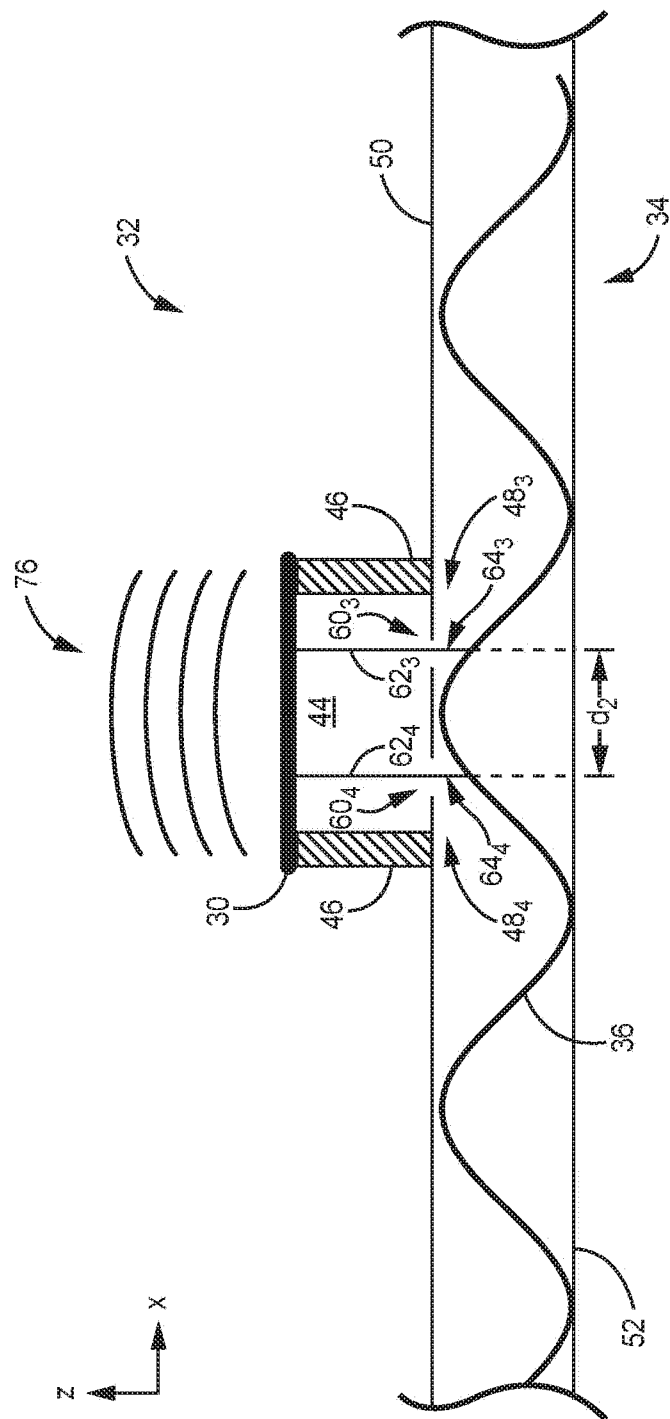


FIGURE 2

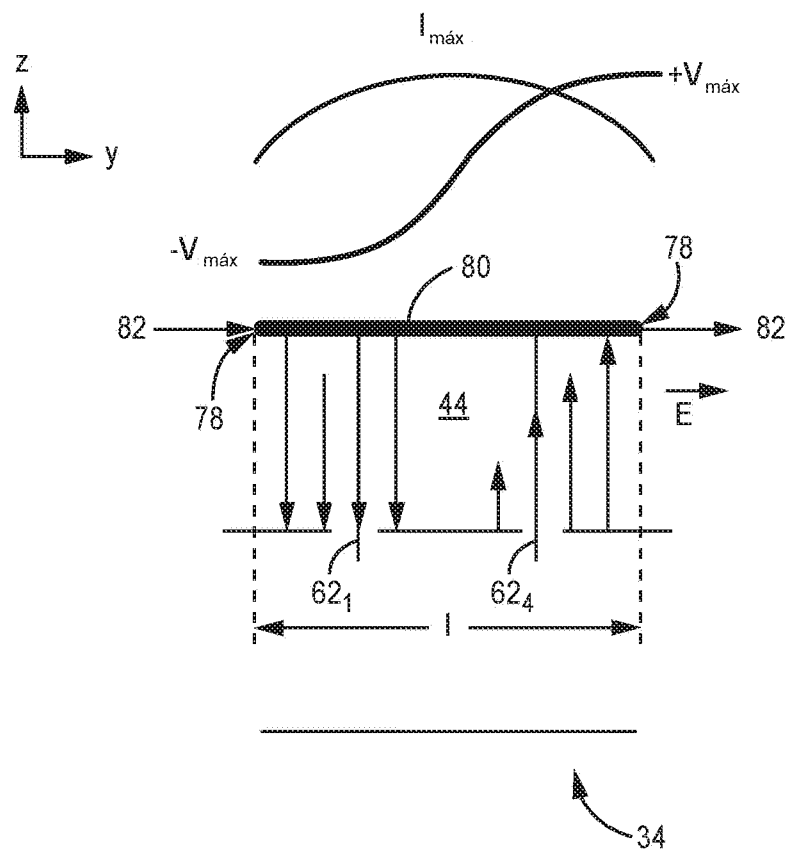


FIGURA 3

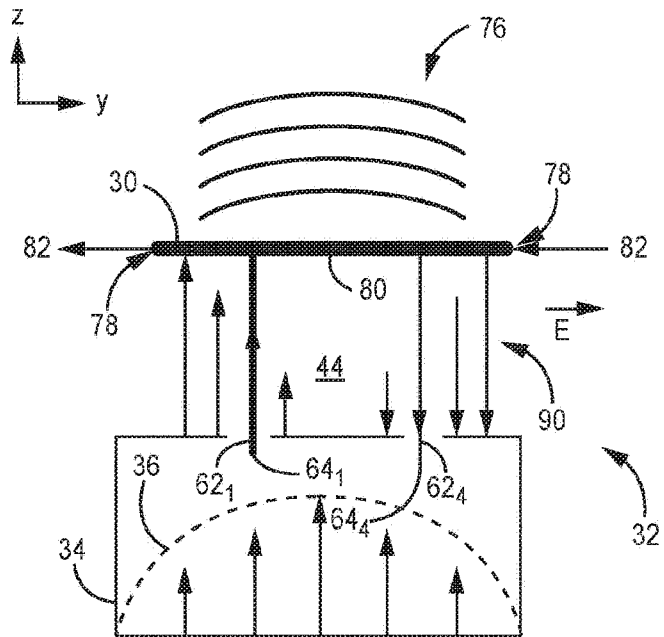


FIGURE 4

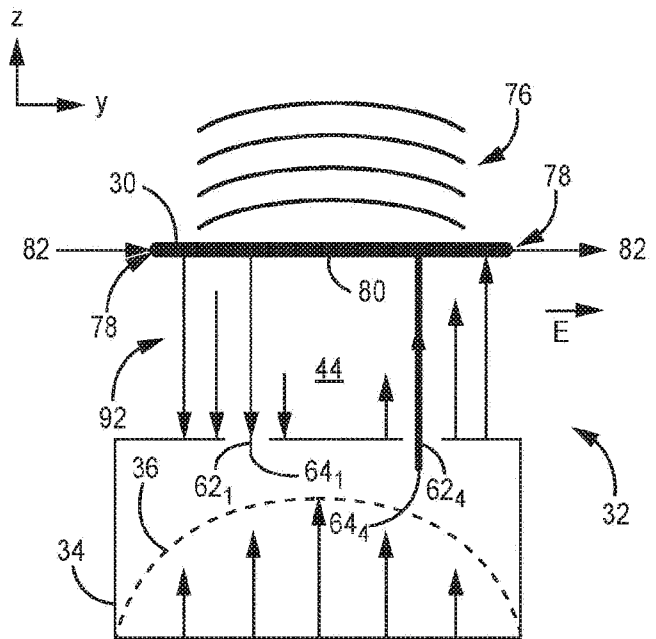


FIGURE 5

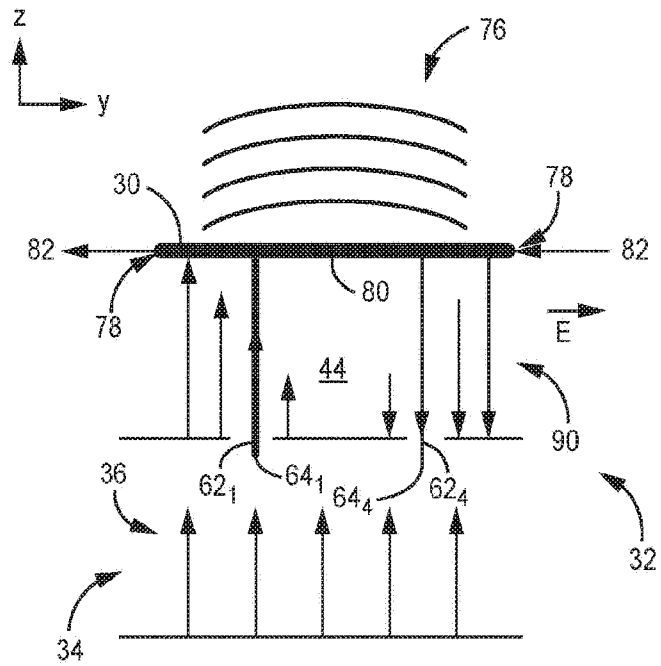
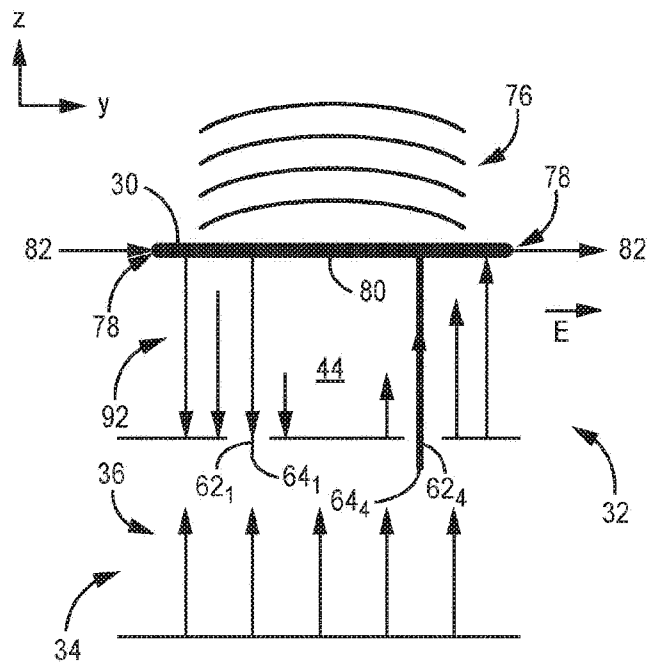
**FIGURA 6**

FIGURA 7

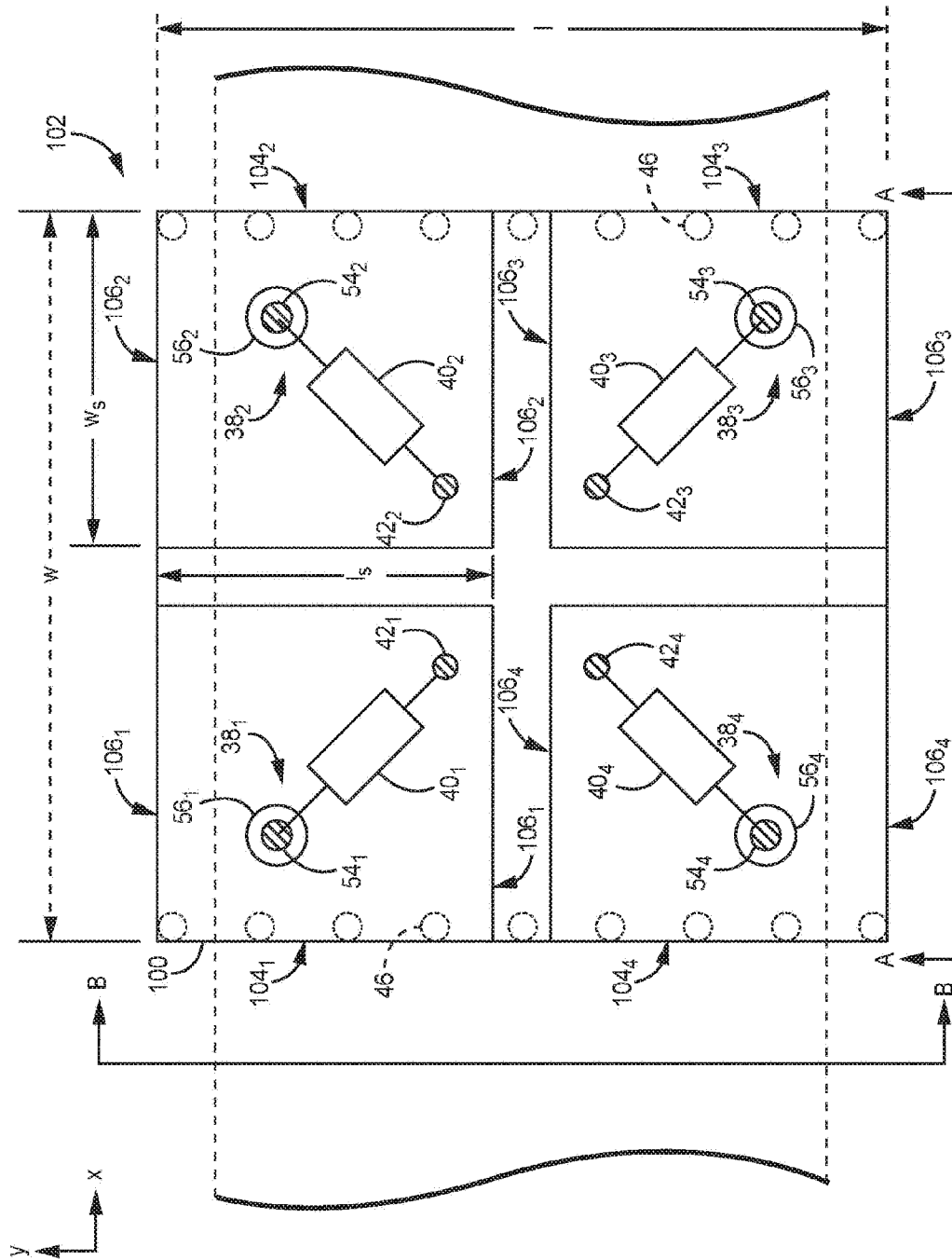


FIGURE 8

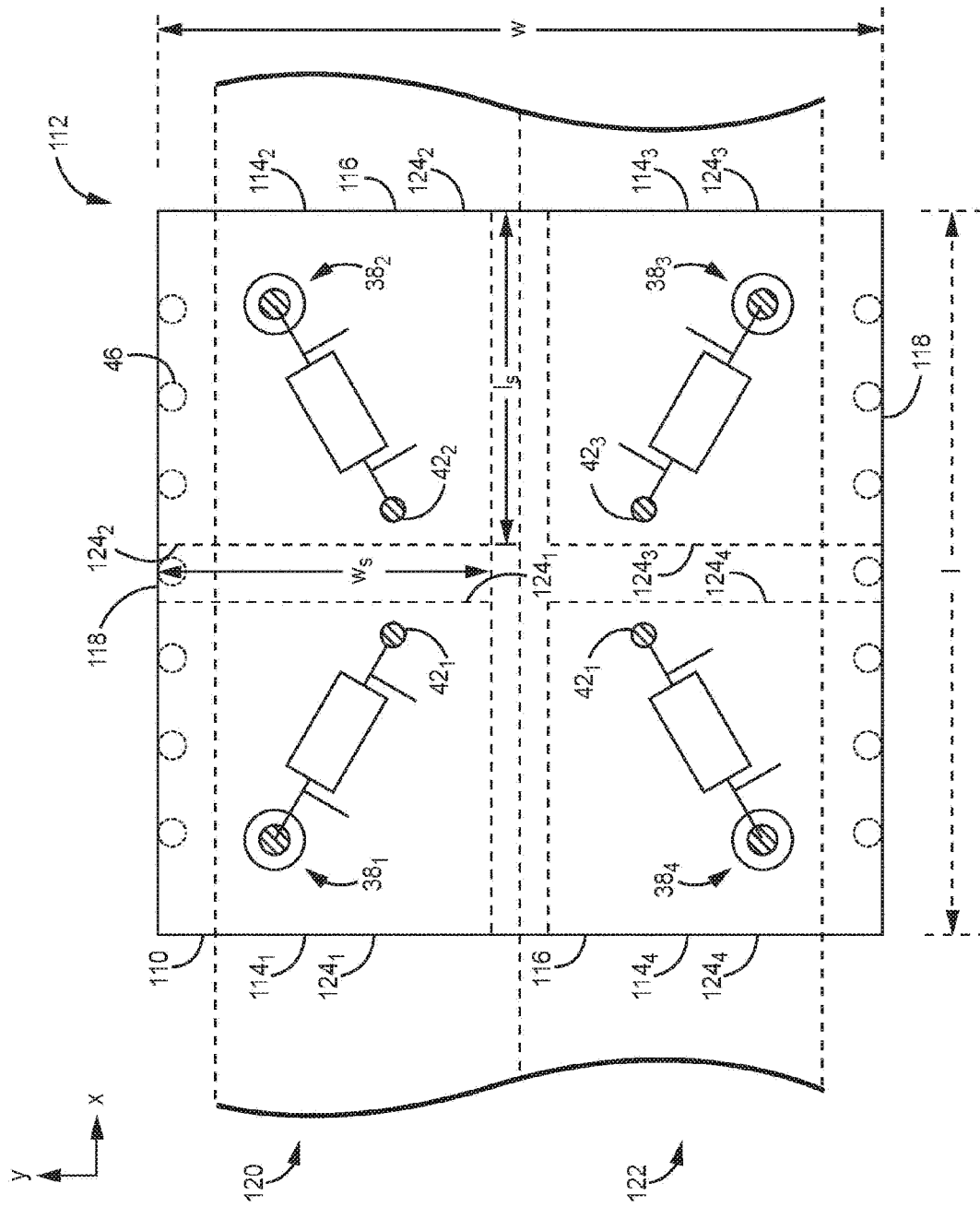


FIGURA 9

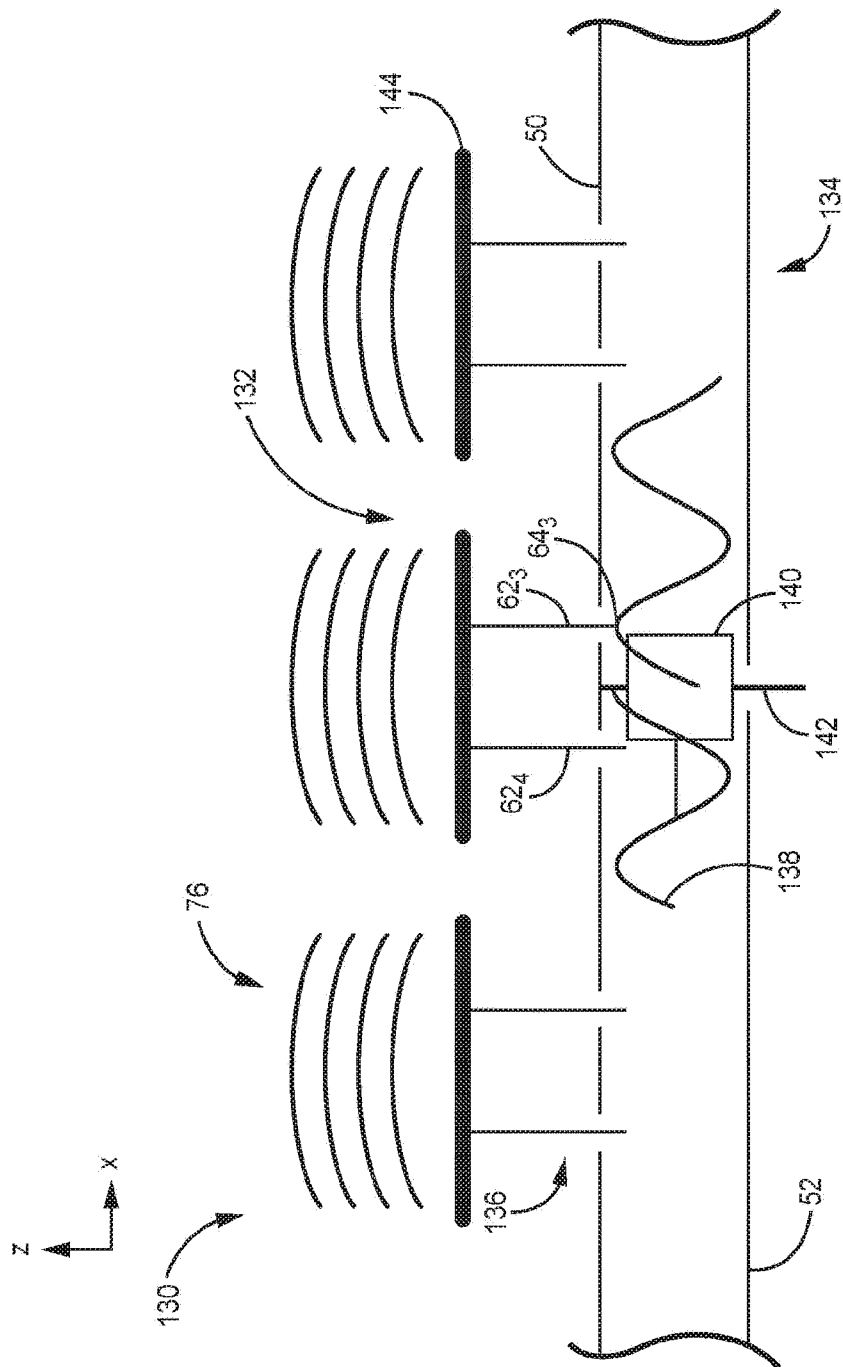


FIGURE 10

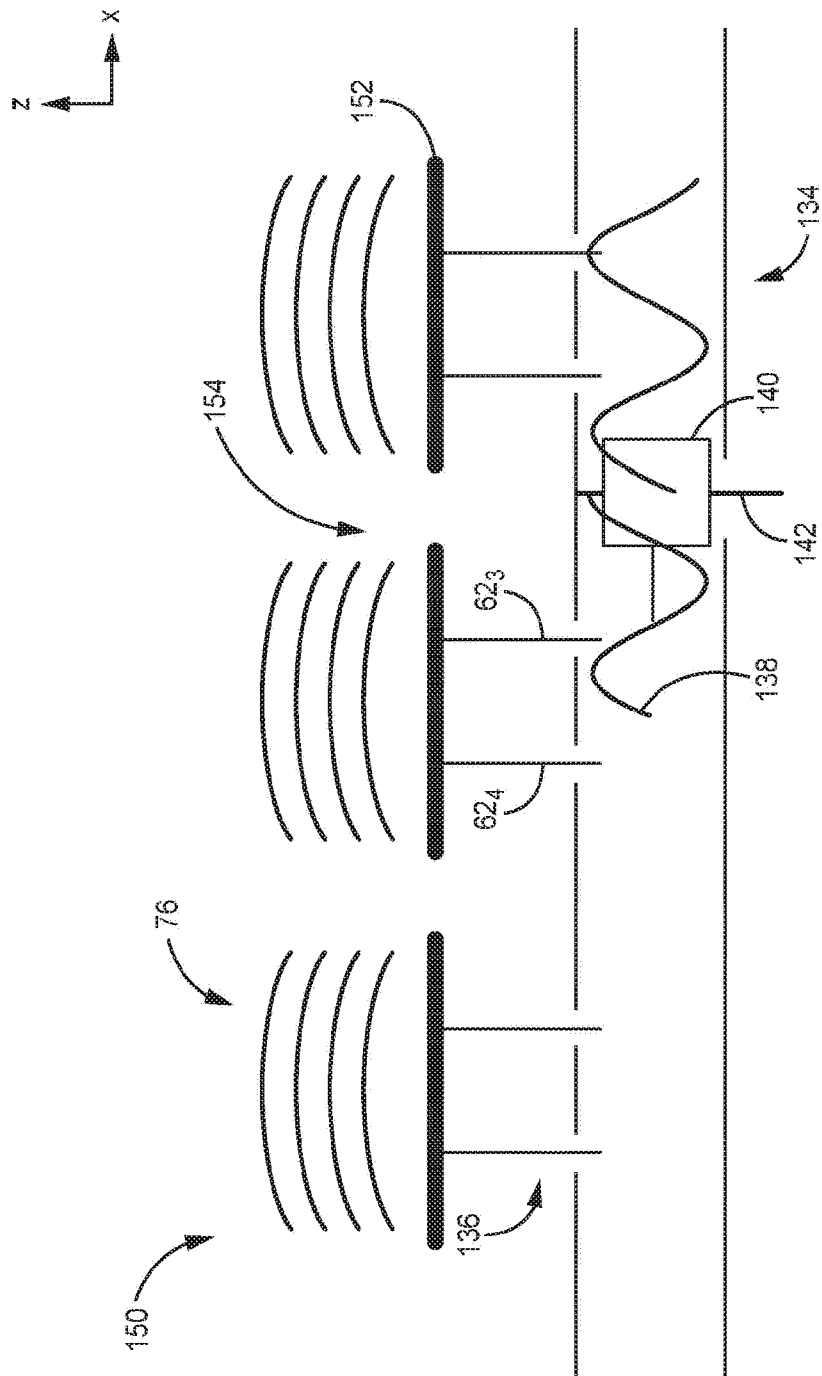


FIGURE 11

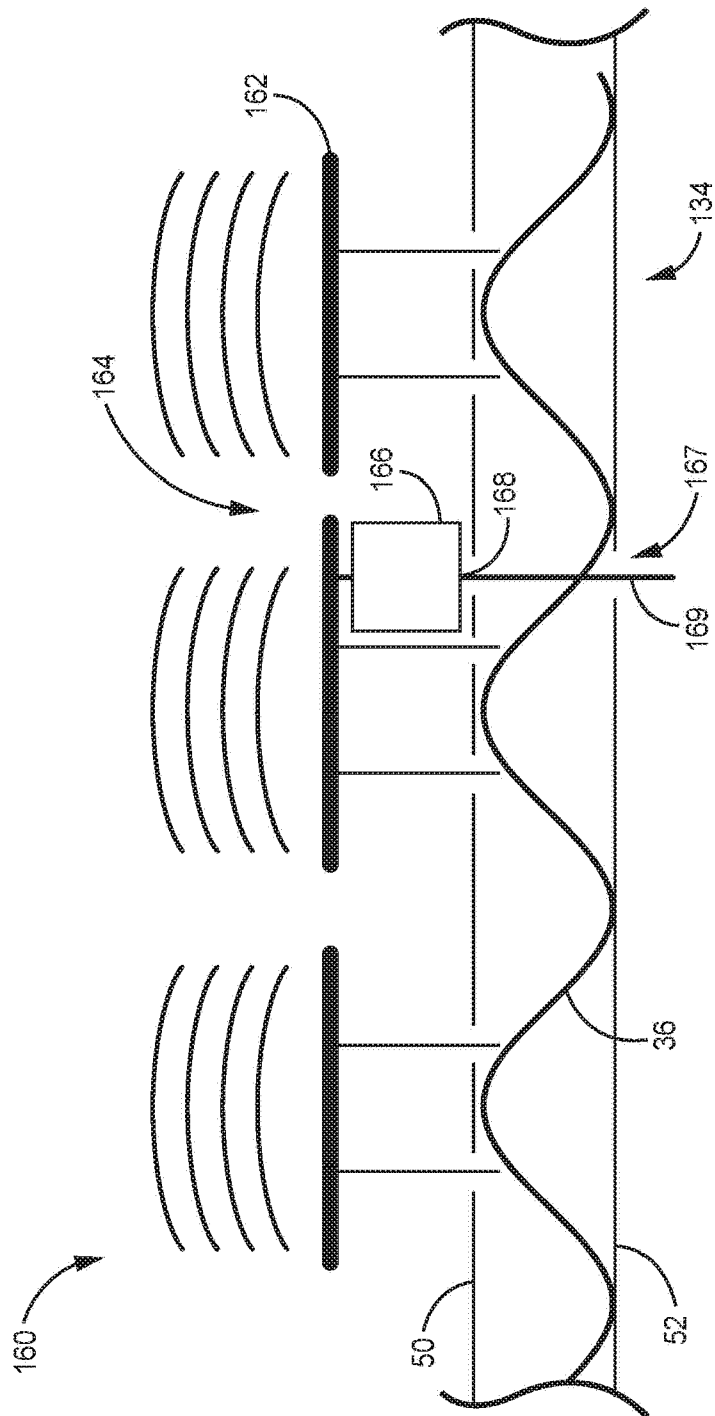
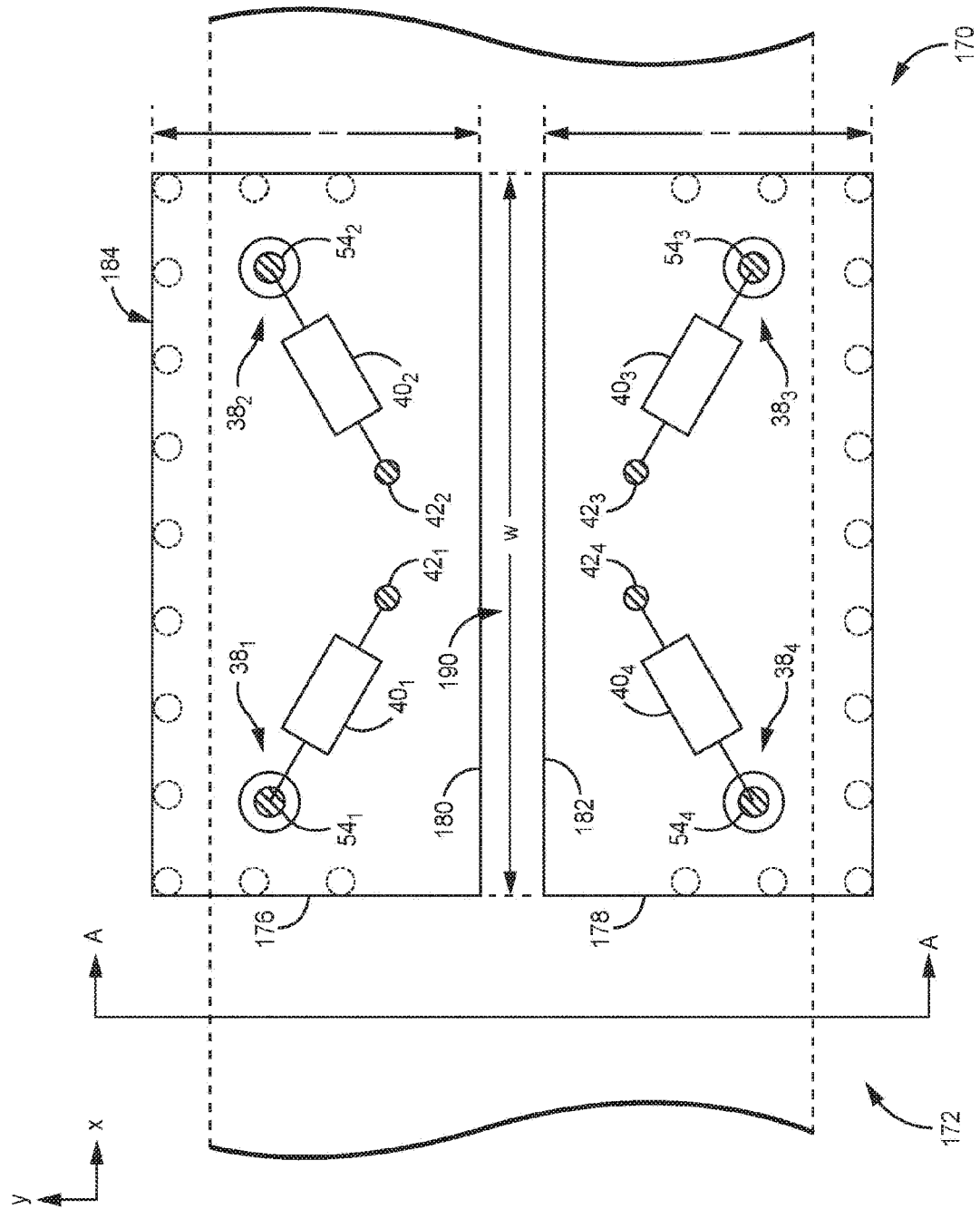
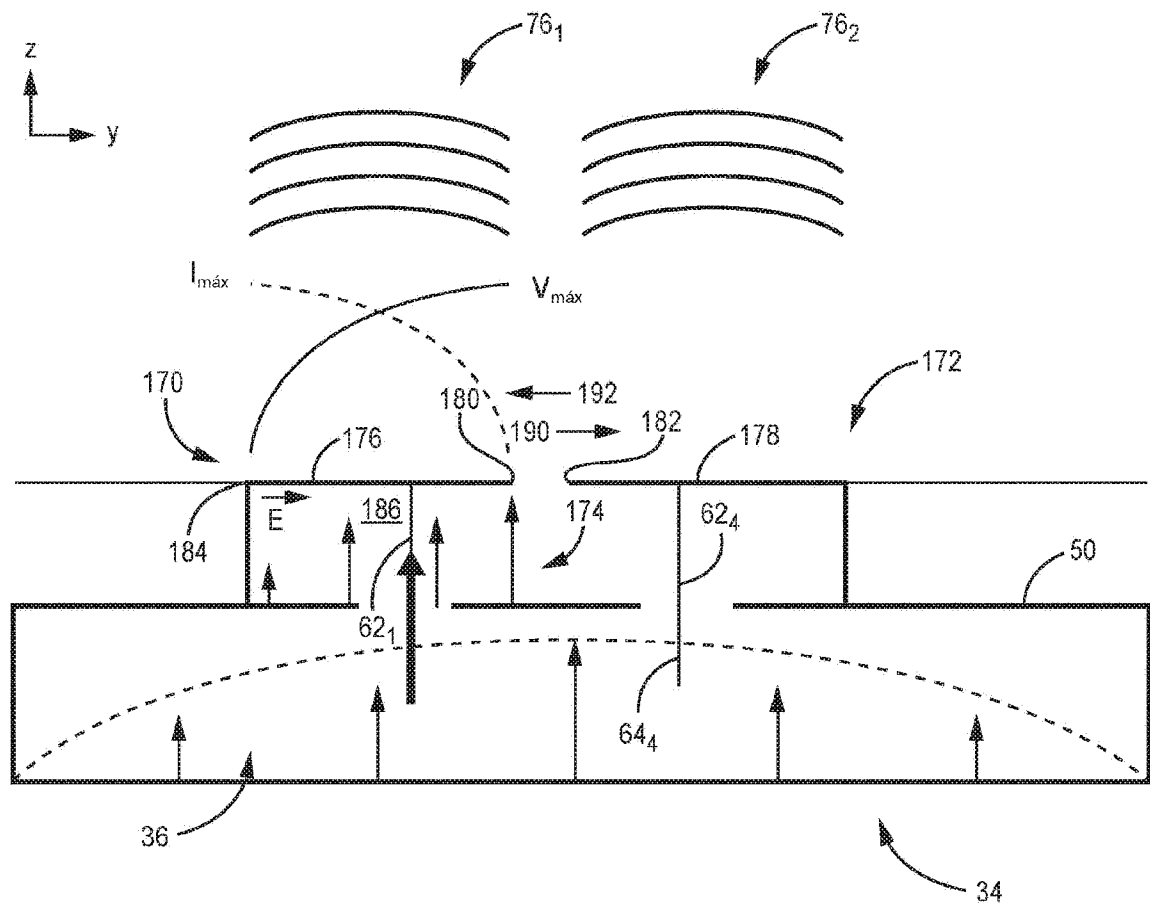
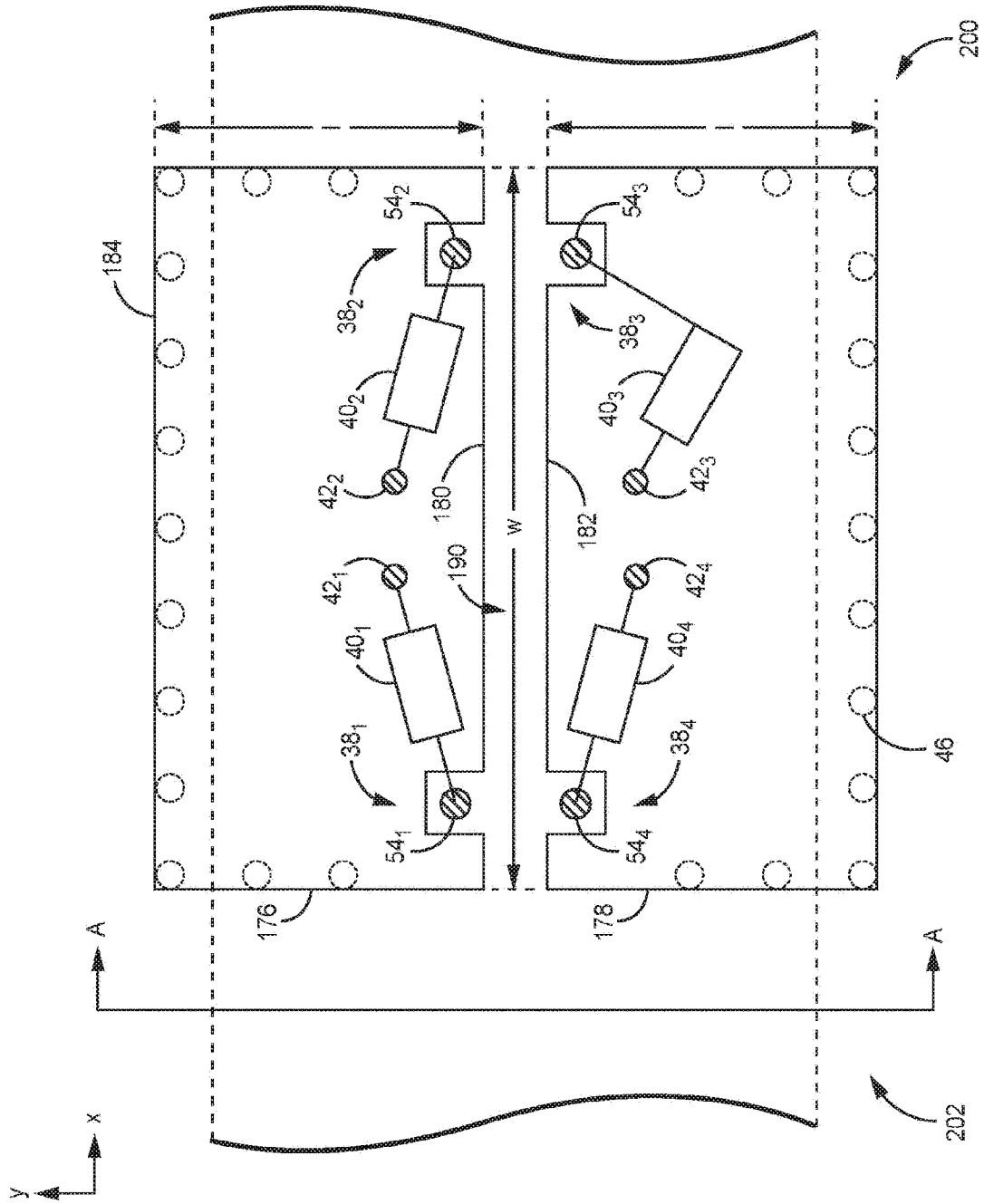


FIGURE 12







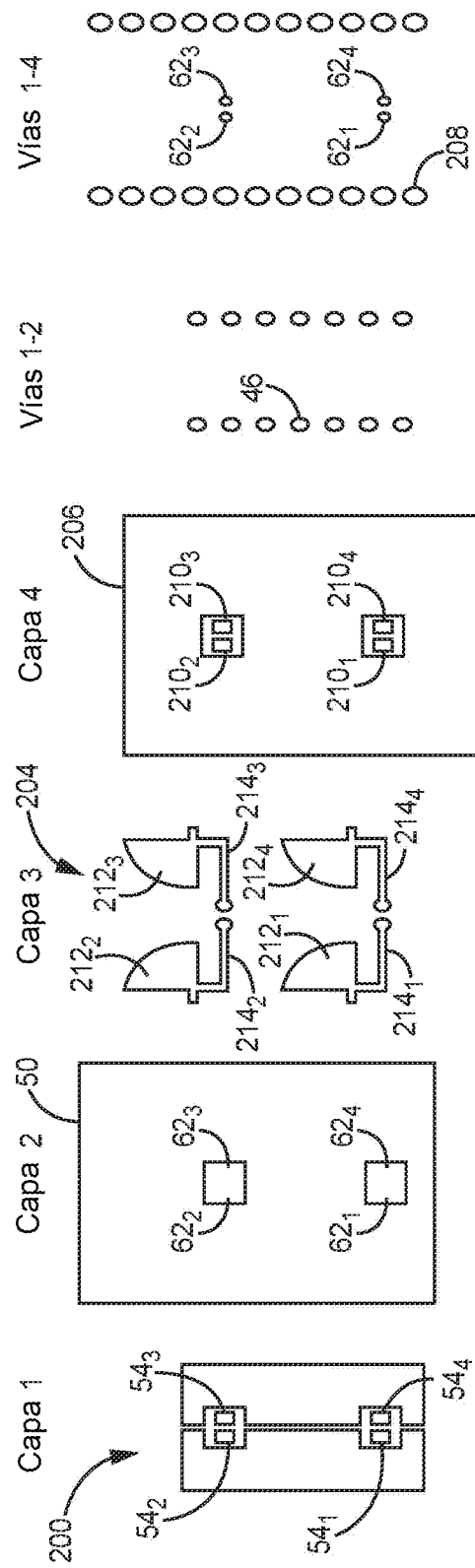


FIGURA 16

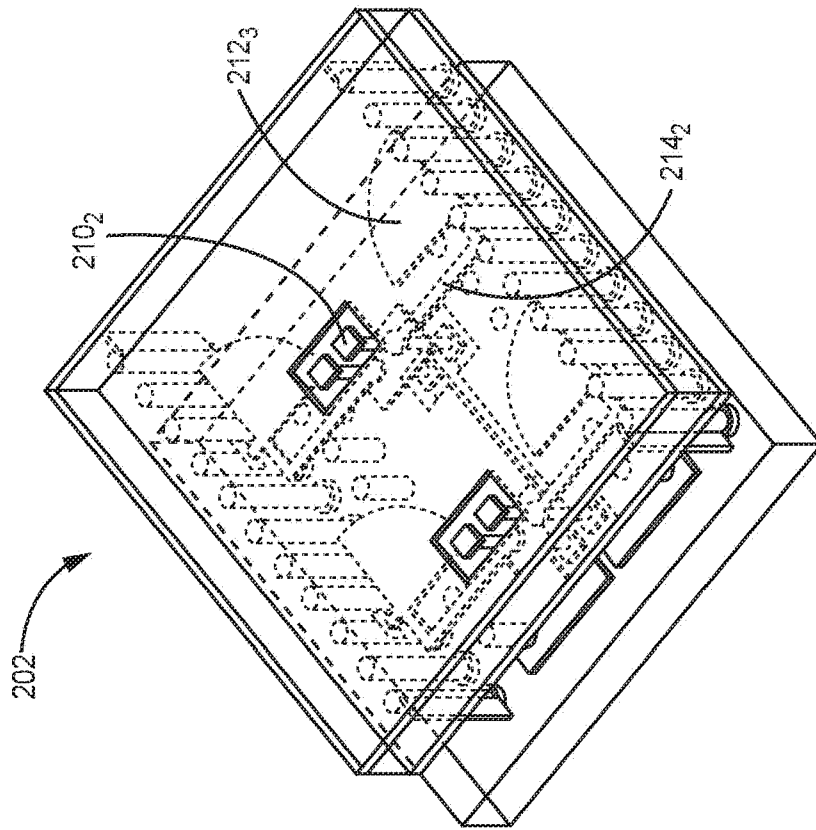


FIGURE 18

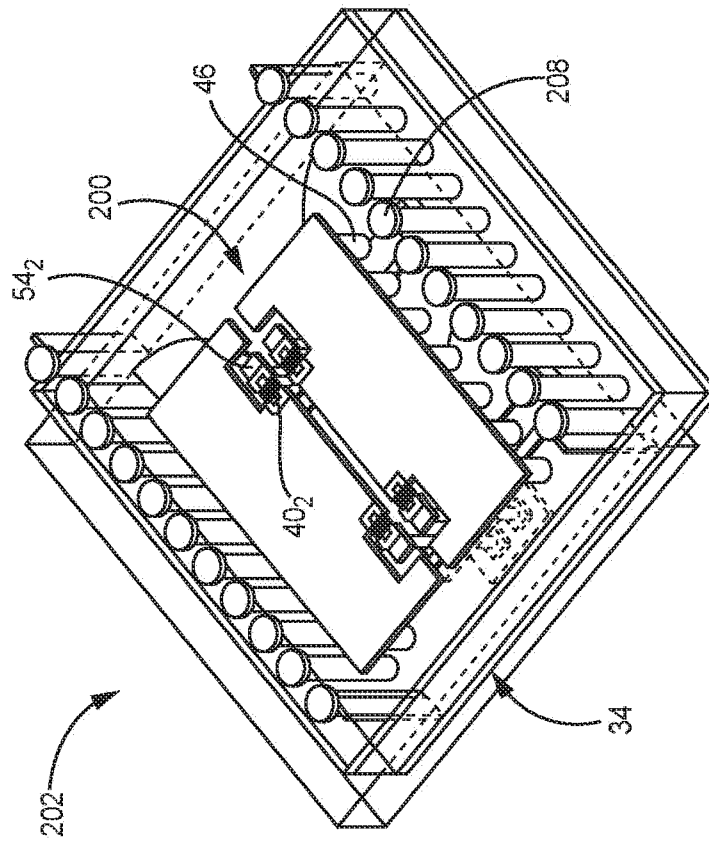


FIGURE 17

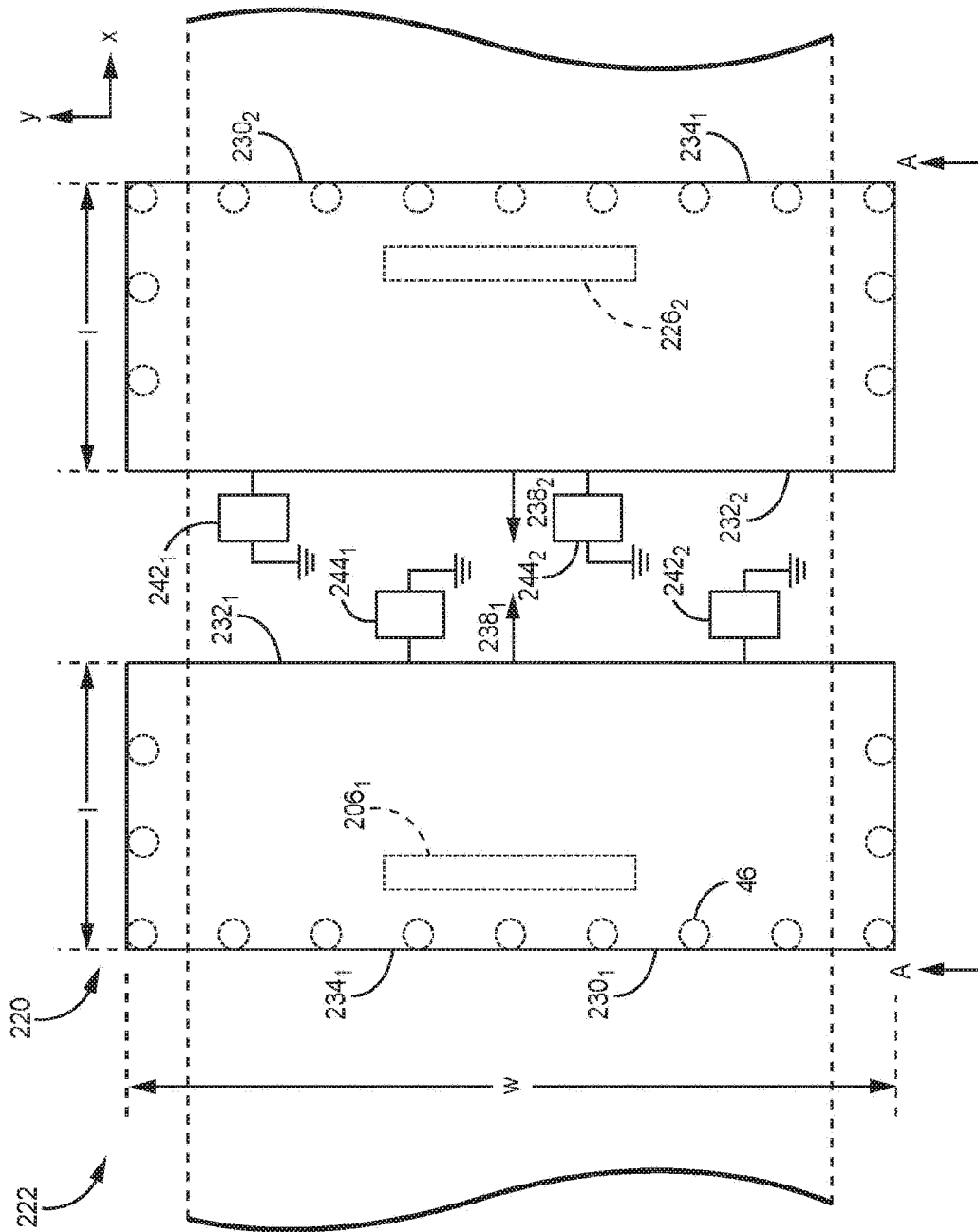


FIGURA 19

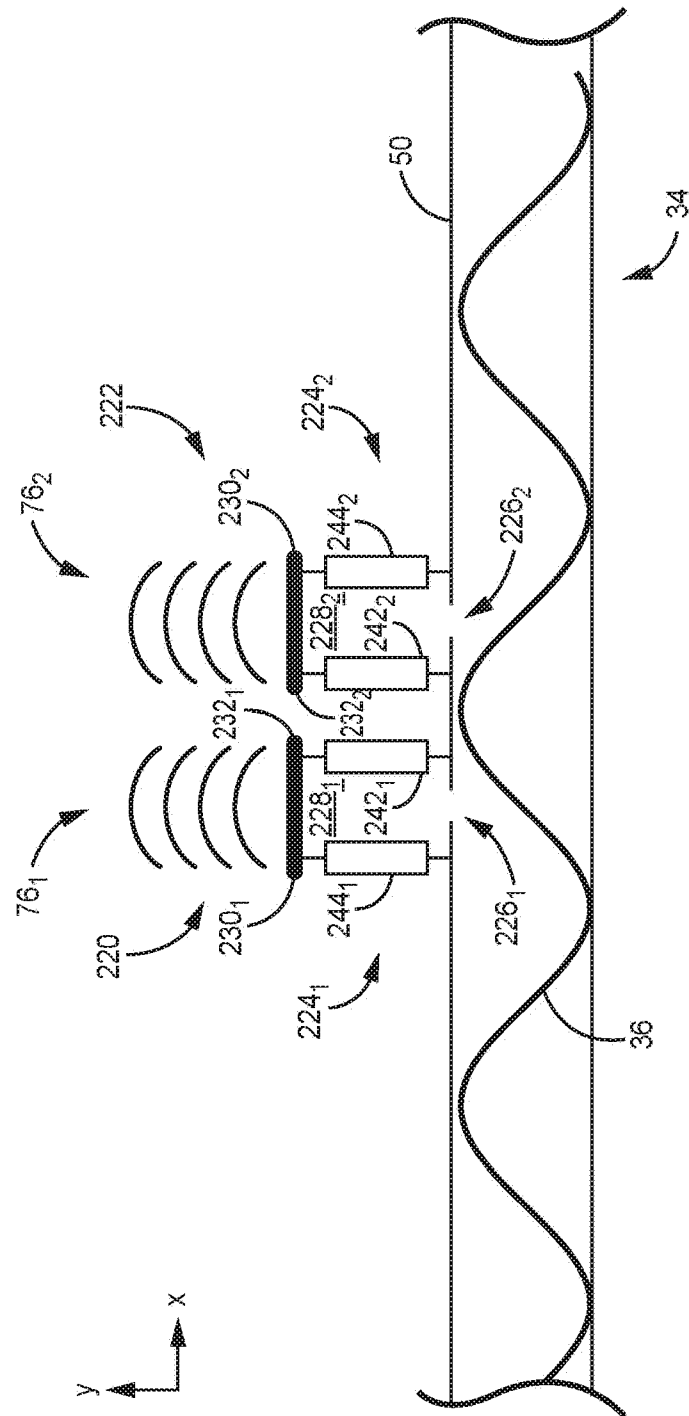


FIGURE 20

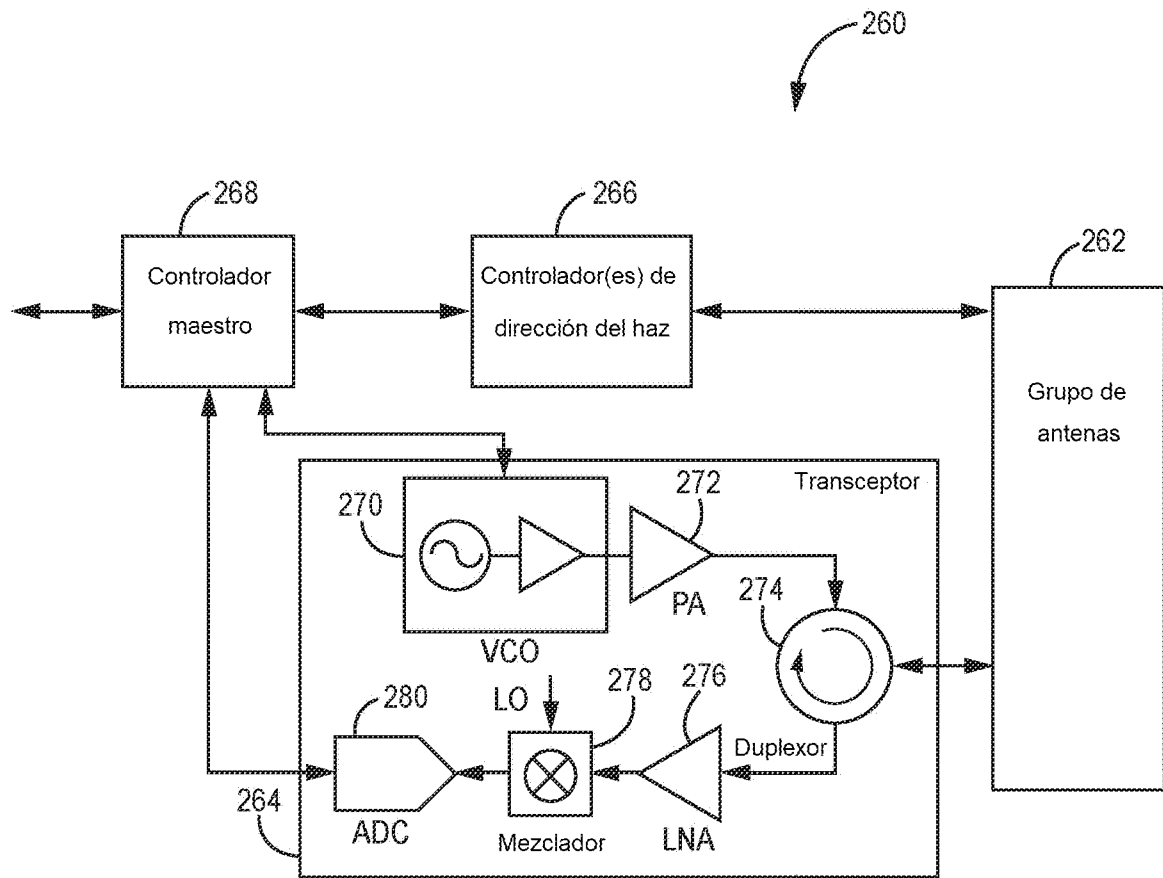


FIGURA 21

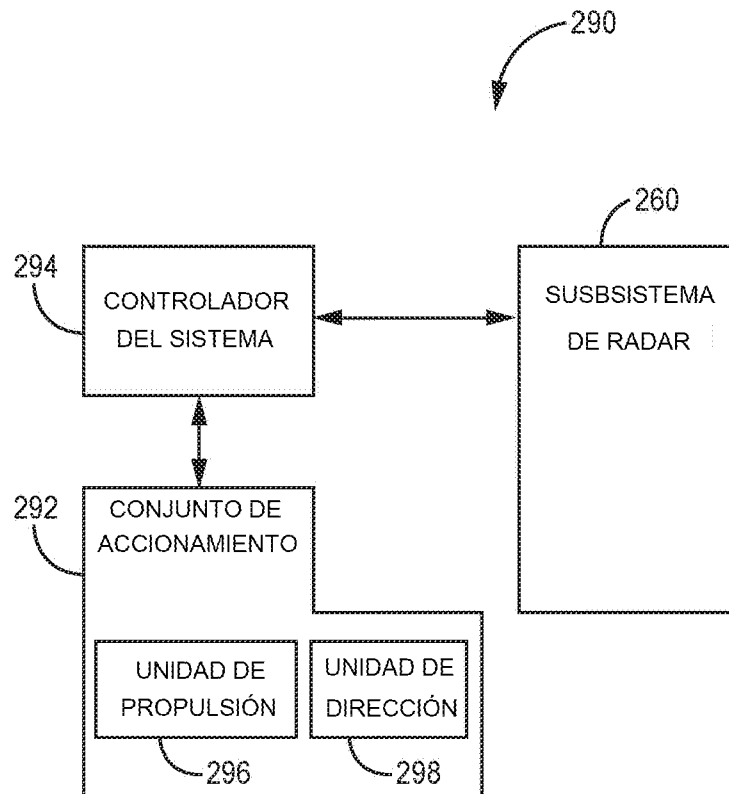


FIGURA 22