

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 025**

51 Int. Cl.:

H01P 5/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2021** E 21382573 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2024** EP 4113737

54 Título: **Acoplador bidireccional de radiofrecuencia (RF) dieléctrico con funcionalidad de divisor/combinador de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2025

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.00%)
C/ Madrid 126
28903 Getafe, ES**

72 Inventor/es:

**CARPINTERO DEL BARRIO, GUILLERMO;
RIVERA LAVADO, ALEJANDRO;
GARCÍA MUÑOZ, LUIS, ENRIQUE y
MUHSIN, ALI**

74 Agente/Representante:

HERRERO & ASOCIADOS, S.L.

ES 2 999 025 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

Acoplador bidireccional de radiofrecuencia (RF) dieléctrico con funcionalidad de divisor/combinador de potencia

La presente invención se refiere en general a acopladores bidireccionales de radiofrecuencia con funcionalidad de divisor/combinador de potencia, un tipo de dispositivos usados en el campo de la ingeniería de radiofrecuencia que dividen la energía de una señal de radiofrecuencia que se propaga a través de una de las M entradas entre un grupo de N salidas (divisor), lo cual también permite combinar la energía que se propaga a través de diversas entradas en una salida común (combinador). La presente invención divulga una estructura de acoplador direccional basada en guías de onda dieléctricas que es banda ancha y banda amplia. Banda ancha dado que opera sobre un amplio intervalo de frecuencias, y banda amplia, dado que es adecuada para señales moduladas que ocupan un amplio ancho de banda.

Antecedentes de la invención

Los sistemas de radiofrecuencia (RF) operan manejando señales en la forma de ondas electromagnéticas guiadas con frecuencias que comienzan alrededor de 30 MHz y llegan hasta las regiones milimétricas (30 GHz a 300 GHz) y Terahercios (300 GHz a 3000 GHz) del espectro. En el manejo de estas señales, los sistemas de RF podrían necesitar dividir una señal de radiofrecuencia que se propaga a través de una guía de onda en varias copias de sí misma, con cantidad variable (relación de división) de energía dentro de cada copia, cada una suministrada en diferentes guías de onda de salida. Esta función constituye un divisor de potencia. La función recíproca, que combina diferentes señales de RF en una salida común que constituye un combinador de potencia, también es de interés.

Un caso particular de tal funcionalidad son los dispositivos pasivos conocidos como acopladores bidireccionales, los cuales se representan esquemáticamente en la Figura 1. Esta figura muestra un acoplador bidireccional (100) con cuatro puertos de acceso. La señal entrante llega al acoplador direccional en su puerto de entrada (P1), acoplando una cantidad definida de energía desde este puerto de entrada a un puerto de transmisión de salida (P2) y otra cantidad a una segunda salida, conocida como puerto acoplado (P4). La potencia de señal entrante en el puerto de entrada (P1) se divide comúnmente entre los puertos de salida usando líneas de transmisión cercanas entre sí, permitiendo que la energía que pasa por una guía de onda se acople a la otra por fuga de onda evanescente. En algunos dispositivos, cualquier reflexión de la señal que sale a través del puerto de salida (P2) que retorna al dispositivo entra en este puerto (P2), siendo enrutada al puerto de aislamiento (P3). El dispositivo es bidireccional ya que cualquier puerto puede ser la entrada, lo cual dará como resultado que el puerto conectado directamente sea el puerto transmitido, el puerto adyacente sea el puerto aislado, y el puerto diagonal sea el puerto acoplado. Los acopladores direccionales y divisores de potencia tienen muchas aplicaciones. Estas incluyen proporcionar una muestra de señal para medición o monitorización, retroalimentación, combinar transmisiones hacia y desde antenas, formación de haces de antena, proporcionar derivaciones para sistemas distribuidos por cable tales como televisión por cable, y separar señales transmitidas y recibidas en líneas telefónicas.

Los acopladores direccionales actuales se limitan en su mayoría al intervalo de frecuencias de microondas (3 GHz a 30 GHz) usando diseños de líneas de transmisión. Por tanto, hay una demanda de obtener un acoplador direccional de banda ultraancha que cubra un amplio intervalo de frecuencias, incluyendo el intervalo de estándares coaxiales (tal como conector de 1 mm, hasta 110 GHz) y que pueda operar independientemente de los diferentes estándares de guía de onda rectangular usados por la tecnología de ingeniería de radiofrecuencia para frecuencias superiores (tales como, WR8 -90 GHz a 140 GHz-, WR6 -110 GHz a 170 GHz- y WR5 -140 GHz a 220 GHz-). La presente invención satisface esta demanda, permitiendo un intervalo de frecuencias de operación extremadamente amplio. Algunos ejemplos de acopladores direccionales son los documentos US 2 794 959 A (FOX ARTHUR G), US 3 558 213 A (MARCATILI ENRIQUE A J) y JP 2000 022412 A (KYOCERA CORP).

Descripción de la invención

La presente invención propone un nuevo acoplador bidireccional con funcionalidad de divisor/combinador de potencia basado en estructuras de guía de onda dieléctrica para ampliar el intervalo de frecuencias de operación del dispositivo cubriendo los intervalos de ondas micro (3 GHz a 30 GHz), milimétricas (30 GHz a 300 GHz) y de terahercios (300 GHz a 3000 GHz).

El acoplador comprende un sustrato de región de propagación libre como se reivindica en la reivindicación 1.

En un primer ejemplo, el primer borde de dichos bordes opuestos puede estar conformado como un arco de círculo con radio r_1 cuyo centro OA está ubicado más cerca del segundo borde.

En otro ejemplo, el segundo borde de dichos bordes opuestos también puede estar conformado como un arco de un segundo círculo con radio r_2 cuyo centro OB está ubicado más cerca del primer borde.

En otro ejemplo, el arco de los círculos puede tener el mismo radio ($r_1 = r_2$), y los centros, OA y OB, se colocan en uno de los ejes de puerto.

En algunos ejemplos, la radiofrecuencia de banda ultraancha bidireccional comprende además una pluralidad de brazos, en la que la pluralidad de brazos asigna el primer grupo de puertos de acceso y el segundo grupo de puertos de acceso.

5 En algunos ejemplos, las estructuras de guía de onda dieléctrica se establecen sobre el sustrato de región de propagación libre.

En algunos ejemplos, las estructuras de guía de onda dieléctrica están integradas en el sustrato de región de propagación libre.

10 En un ejemplo preferente, las estructuras de guía de onda dieléctrica, DW, comprenden extremos ahusados que comprenden un perfil de ahusamiento de DW. El primer y segundo grupo de puertos de acceso comprenden además antenas de ranura ahusadas, TSA, que proporcionan una función de transferencia de filtro de paso de banda, que opera en un intervalo de bajas frecuencias hasta una frecuencia de corte alta f_{CH} en el intervalo de ondas milimétricas/submilimétricas.

15 Las antenas de ranura ahusadas comprenden un perfil de ahusamiento de TSA alrededor de un primer extremo ahusado de las estructuras de guía de onda dieléctrica en las que el perfil de ahusamiento de TSA coincide con el perfil de ahusamiento de DW.

En algunos ejemplos, el perfil de ahusamiento de TSA y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados lineales.

En algunos ejemplos, el perfil de ahusamiento de TSA y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados exponenciales.

En algunos ejemplos, el perfil de ahusamiento de TSA y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados FERMI.

20 En otro ejemplo preferente, el acoplador bidireccional de banda ultraancha con funcionalidad de divisor/combinador de potencia comprende un segundo sustrato sobre el cual se establece un acoplador direccional de baja frecuencia, configurado para operar desde DC (o muy baja frecuencia, hasta unos pocos kHz) hasta una frecuencia de corte baja f_{CL} en el intervalo de ondas milimétricas. En esta estructura, una pluralidad de transiciones de línea de transmisión y guía de onda que conectan el acoplador direccional de baja frecuencia y las antenas de ranura ahusadas para lograr un acoplador direccional con un intervalo de frecuencias de operación desde bajas frecuencias hasta f_{CH} .

25 En otro ejemplo preferente, el acoplador bidireccional de banda ultraancha con funcionalidad de divisor/combinador de potencia comprende dos primeros puertos de acceso a lo largo del al menos un borde de dicho sustrato de región de propagación libre que comprende dos estructuras de guía de onda dieléctrica que tienen extremos ahusados y dos segundos puertos de acceso a lo largo del borde opuesto de dicho sustrato de región de propagación libre que comprende dos estructuras de guía de onda dieléctrica que tienen extremos ahusados. En este ejemplo, las cuatro
30 estructuras de guía de onda dieléctrica comprenden un perfil de ahusamiento de DW, y el acoplador bidireccional de banda ultraancha comprende además cuatro antenas de ranura ahusadas que proporcionan una característica de paso bajo, que operan en un intervalo de bajas frecuencias hasta una frecuencia de corte alta f_{CH} en el intervalo de ondas milimétricas, en el que las antenas de ranura ahusadas comprenden una TSA de un perfil de ahusamiento de alrededor de un primer extremo ahusado de las estructuras de guía de onda dieléctrica en el que el perfil de
35 ahusamiento de TSA coincide con el perfil de ahusamiento de DW.

En otros ejemplos, las estructuras de guía de onda dieléctrica pueden comprender al menos un extremo truncado.

En otros ejemplos, el sustrato de región de propagación libre puede tener una permitividad diferente que las estructuras de guía de onda dieléctrica.

En otros ejemplos, el sustrato de región de propagación libre puede comprender absorbentes.

40 En otros ejemplos, el sustrato de región de propagación libre puede comprender material dieléctrico.

Breve descripción de los dibujos

Para un mejor entendimiento de la explicación anterior y con el solo propósito de proporcionar un ejemplo, se incluyen algunos dibujos no limitantes que representan esquemáticamente una realización práctica.

45 La figura 1 muestra un acoplador direccional como se entiende comúnmente por los expertos en el campo de la ingeniería de radiofrecuencia.

La figura 2A muestra un acoplador bidireccional de banda ultraancha de acuerdo con la presente invención.

La figura 2B muestra el acoplador bidireccional de banda ultraancha de la figura 2A que comprende además antenas de ranura ahusadas para lanzar señales de radiofrecuencia a las guías de onda dieléctricas de acuerdo con la presente invención.

50 La figura 3 muestra un ejemplo particular de un acoplador bidireccional de banda ultraancha de acuerdo con la presente invención que tiene cuatro puertos de acceso.

La figura 4A muestra una vista 3D del ejemplo particular de un acoplador bidireccional de banda ultraancha mostrado en la figura 3, donde las estructuras de acceso de guía de onda dieléctrica están ubicadas sobre el sustrato de región de propagación libre.

5 Las figuras 4B a 4D muestran vistas 3D de ejemplos de un acoplador bidireccional de banda ultraancha de acuerdo con la presente invención donde las estructuras de acceso de guía de onda dieléctrica están integradas en el sustrato de región de propagación libre.

Las figuras 5A a 5H muestran las distribuciones de amplitud de campo E a diferentes frecuencias en el intervalo desde 20 GHz a 300 GHz del ejemplo particular del acoplador bidireccional de banda ultraancha mostrado en la figura 3 de acuerdo con la presente invención.

10 La figura 6 muestra la amplitud de parámetro S simulada del ejemplo particular del acoplador bidireccional de banda ultraancha mostrado en la figura 3 de acuerdo con la presente invención.

La figura 7 muestra otro ejemplo de un acoplador bidireccional de banda ultraancha de acuerdo con la presente invención con extensión del intervalo de frecuencias de operación hacia frecuencias más bajas.

Descripción de una realización preferente

15 La figura 2A muestra una estructura dieléctrica propuesta como acoplador bidireccional con funcionalidad de divisor/combinador de potencia (200A) de acuerdo con la presente invención. La estructura propuesta (200A) comprende un primer grupo de M puertos de acceso de entrada a la izquierda en la figura desde (P-L1) a (P-LM), que están acoplados al segundo grupo de N puertos de acceso de salida a la derecha en la figura desde (P-R1) a (P-RN) a través de un sustrato de región de propagación libre (210). El borde izquierdo (240A) de la región de propagación libre, a lo largo del cual se colocan los puertos de acceso (P-L1) a (P-LM), está conformado por el arco de un círculo con un radio r1 cuyo centro OA está más cerca del borde opuesto (240B) del sustrato de región de propagación libre (210). El borde (240B) de la región de propagación de espacio libre, a lo largo del cual se colocan los puertos de acceso de salida (P-R1) a (P-RN), está conformado por el arco de un círculo con un radio r2 cuyo centro OB está más cerca del borde opuesto (240A) de la región de propagación de espacio libre.

25 En una implementación preferente, el arco del círculo para las guías de onda de entrada y salida puede tener el mismo radio ($r1 = r2 = r$), y los centros, OA y OB, se colocan en uno de los ejes de puerto.

Los puertos de acceso (PL1-PLM), (PR1-PRM) comprenden estructuras de guía de onda dieléctrica, a la izquierda en la figura desde (DW-L1) a (DW-LM), y a la derecha en la figura desde (DW-R1) a (DW-RN), comprendiendo todos extremos ahusados para este ejemplo particular. Ventajosamente, las estructuras de guía de onda dieléctrica acoplan la energía electromagnética que se propaga a través de ellas hacia el sustrato de región de propagación libre (210), reduciendo las pérdidas de inserción entre puertos que ahora son proporcionales a la distancia entre los puertos de entrada y salida en lugar de ser proporcionales al espaciado cuadrado de las estructuras de DW por una distancia d entre ellas que no está restringida por el criterio de campo lejano, en las que:

$$d \gg 2D^2/\lambda$$

35 donde D es la dimensión más grande de estructura de guía de onda y λ es la longitud de onda de señal. Sin embargo, las estructuras de DW emiten en una región específica que se desplaza a lo largo de su eje para variar la frecuencia de señal. Dado que el centro de fase está cerca de la punta de DW a altas frecuencias, cualquier distancia entre dos zonas de radiación se ajusta al criterio de campo lejano.

40 La separación entre los puertos de acceso (PL1-PLM), (PR1-PRM) se reduce ventajosamente mediante el confinamiento de la energía electromagnética dentro de la guía de onda dieléctrica, lo que permite una configuración compacta sin introducir comunicación cruzada entre puertos de acceso adyacentes.

La figura 2B muestra una implementación preferente para otra estructura (200B). La estructura (200B) comprende una pluralidad de brazos que asignan el primer grupo de puertos de acceso (PL1-PLM) y el segundo grupo de puertos de acceso (PR1-PRM). La estructura (200B) incluye estructuras de lanzamiento para la señal de radiofrecuencia en la guía de onda dieléctrica DW, que excitan ventajosamente solo el modo fundamental de la guía de onda dieléctrica DW para cada frecuencia del intervalo de frecuencias de operación. La estructura de lanzamiento comprende un extremo ahusado de la estructura de guía de onda dieléctrica y una antena de ranura ahusada, que tienen ambos el mismo perfil de ahusamiento. En la figura, se muestra la estructura de lanzamiento para todos los puertos de acceso, con antenas de ranura ahusadas a la izquierda (TSA-L1 a TSA-LM) y a la derecha (TSA-R1 a TSA-RN) alrededor del extremo ahusado de las estructuras de guía de onda dieléctrica (DWL1-DWLM), (DWR1-DWRN) que tienen un perfil de ahusamiento lineal de coincidencia entre las antenas de ranura ahusadas y las estructuras de guía de onda dieléctrica.

Las estructuras de guía de onda dieléctrica (DWL1-DWLM), (DWR1-DWRN) tienen una característica de filtro de paso alto, que permite la interconexión eléctrica de señales de radiofrecuencia con frecuencias por encima de una frecuencia de corte baja (f_{CL}). Las estructuras de guía de onda dieléctrica (DWL1-DWLM), (DWR1-DWRN) pueden diseñarse para tener una frecuencia de corte baja (f_{CL}) en el intervalo de microondas (es decir entre 3 GHz a 30 GHz) o en el intervalo de ondas milimétricas (es decir entre 30 GHz a 300 GHz), por ejemplo a una frecuencia de operación de 60 GHz que cubre un amplio intervalo de frecuencias que se extiende hasta el intervalo de ondas de Terahercios

(es decir entre 300 a 3000 GHz) y más allá. Preferentemente, el acoplador bidireccional de banda ultraancha tiene una frecuencia de corte baja (f_{CL}) de 65 GHz que se puede ajustar modificando las dimensiones de estructura.

Las antenas de ranura ahusadas (TSA-L1-TSA-LM), (TSA-R1-TSA-RN) tienen una característica de filtro de paso bajo, lo que permite la interconexión eléctrica de señales desde frecuencias bajas hasta una frecuencia de corte alta (f_{CH}) en el intervalo de ondas milimétricas. La antena de ranura ahusada puede diseñarse como una línea de transmisión con puntas de contacto en su extremo con las cuales se establece contacto eléctrico con el puerto de acceso del dispositivo y puede diseñarse para operar en un intervalo que comienza en 0 Hz y se extiende hasta el intervalo de ondas milimétricas (es decir, entre 30 GHz a 300 GHz, por ejemplo, a una frecuencia de operación de 100 GHz).

Como se muestra en la figura, las antenas de ranura ahusadas (TSA-L1-TSA-LM), (TSA-R1-TSA-RN) comprenden un perfil de ahusamiento alrededor de un primer extremo ahusado de las estructuras de guía de onda dieléctrica (DWL1-DWLM), (DWR1-DWRN). Preferentemente, el perfil de ahusamiento de TSA y el ahusamiento de DW son ahusados lineales. En otros ejemplos, se pueden implementar diferentes perfiles de ahusamiento, como por ejemplo ahusamiento Fermi o exponenciales.

En una realización preferente para la operación de banda ancha, las antenas de ranura ahusadas operan en un intervalo de frecuencias que inicia en una baja frecuencia y se extiende por encima de la frecuencia de corte baja de la estructura de guía de onda dieléctrica ($f_{CH} > f_{CL}$, por ejemplo, por encima de los 60 GHz del ejemplo previo). Preferentemente, el acoplador bidireccional de banda ultraancha tiene una frecuencia de corte más alta (f_{CH}) de, al menos, 300 GHz. La frecuencia de corte se puede aumentar por ejemplo reduciendo el espesor de los componentes del acoplador bidireccional de banda ultraancha y/o usando materiales con diferente permitividad eléctrica.

La figura 3 muestra otro acoplador bidireccional nuevo acoplador bidireccional con funcionalidad de divisor/combinador de potencia (300) de acuerdo con la invención. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) tiene cuatro puertos de acceso, es decir dos puertos de entrada (P-L1 y P-L3) y dos puertos de salida (P-R4 y P-R2). La señal ingresa al acoplador direccional a través de un puerto de entrada (P-L1), acoplando una cantidad definida de potencia electromagnética a un puerto de transmisión de salida (P-R2) y otra cantidad a una segunda salida, conocida como puerto acoplado (P-R4). Hay un segundo puerto de entrada, (P-L3), conocido como el puerto aislado.

Los puertos de acceso del acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) comprenden estructuras de guía de onda dieléctrica con extremos ahusados, estructura de guía de onda dieléctrica (DW-L1) en el puerto de entrada (P-L1), estructura de guía de onda dieléctrica (DW-R2) en el puerto de transmisión (P-R2), estructura de guía de onda dieléctrica (DW-R4) en el puerto acoplado (P-R4) y estructura de guía de onda dieléctrica (DW-L3) en el puerto aislado (P-R1). Las estructuras de guía de onda dieléctrica proporcionan una función de transferencia de filtro de paso alto que opera sobre un intervalo de altas frecuencias que comienza desde una frecuencia de corte baja (f_{CL}) en el intervalo de microondas o en el intervalo de ondas milimétricas.

Opcionalmente, los puertos de acceso (P-L1), (P-R2), (P-L3) y (P-R4) pueden incluir estructuras de lanzamiento para inyectar las señales en sus correspondientes guías de onda dieléctricas. Las estructuras de lanzamiento comprenden unas antenas de ranura ahusadas y extremos ahusados de la guía de onda dieléctrica, los ahusamientos de ambas estructuras comprenden el mismo perfil de ahusamiento. Las antenas de ranura ahusadas (TSA-L1), (TSA-R2), (TSA-L3) y (TSA-R4) proporcionan una característica de paso bajo, operando sobre un intervalo de bajas frecuencias hasta una frecuencia de corte alta (f_{CH}) en el intervalo de ondas milimétricas. Las antenas de ranura ahusadas comprenden un patrón de coincidencia que define un acoplador ahusado, preferentemente un perfil de ahusamiento lineal alrededor del extremo ahusado de la guía de onda dieléctrica en el puerto de acceso que junto con el extremo ahusado correspondiente de la guía de onda dieléctrica logra una excitación de banda ultraancha del acoplador direccional en un régimen monomodo.

Una característica de esta estructura es que permite controlar la cantidad de potencia acoplada desde un puerto de entrada a un puerto de salida a partir del ángulo relativo de sus respectivas ubicaciones en los bordes opuestos de la región de propagación libre. En la figura 3 para el acoplador bidireccional de banda ultraancha (300), la energía electromagnética de puerto de entrada (P-L1) se divide entre los puertos de salida, (P-R2) y (P-R4).

El acoplamiento de potencia máxima se produce cuando las guías de onda dieléctricas de un puerto de entrada y un puerto de salida están ubicadas a lo largo del mismo eje, como se muestra en la figura 3 para el Puerto de Entrada (P-L1) y el Puerto de Transmisión (P-R2) del acoplador bidireccional de banda ultraancha (300). En esta situación, el nivel de señal transmitida entre los puertos (P-L1) y (P-R2) está controlado por el ángulo θ de ahusamiento de antena (DW-L1) y la distancia entre las puntas de las puntas de antenas (DW-L1, DW-R2), d . Tanto, θ como d más pequeños llevan a un nivel de señal transmitida mayor.

En el ejemplo de la figura 3, para lograr un intervalo de frecuencias de operación de banda ultraancha, las estructuras (DW-R2) y (DW-R4) pueden apuntar al centro de fase de la estructura (DW-L1). Por reciprocidad, las estructuras de DW (DW-L1) y (DW-L3) pueden apuntar al centro de fase de la estructura de DW (DW-R2). Dado que el centro de fase de esta estructura varía con la frecuencia a lo largo del eje de antena, se puede establecer una compensación para seleccionar la frecuencia para la cual se apunta el frente de fase, lo cual establece el límite de frecuencia superior al ancho de banda de la estructura.

Como se muestra en la figura 3, para este ejemplo, la estructura de DW (DW-L1) apunta hacia la estructura de DW (DW-R2). La estructura de DW (DW-R4) apunta hacia el centro de fase de estructura (DW-L1) a 260 GHz. La longitud c determina la distancia entre el centro de fase y la punta de la estructura de DW (DW-L1). En este ejemplo particular, la estructura de DW (DW-L3) apunta hacia el centro de fase de estructura de DW (DW-R2) a 260 GHz.

5 El nivel de acoplamiento entre un puerto de entrada y un puerto de salida cuando estos no están en el mismo eje está controlado por el ángulo relativo entre sus posiciones, como se muestra en la figura 3 para el puerto de entrada (P-L1) y el puerto de transmisión (P-R4) del acoplador bidireccional de banda ultraancha (300). Para este ejemplo, el ángulo a controla la relación de acoplamiento entre el puerto de entrada (P-L1) y el puerto de transmisión (P-R4). Por reciprocidad, el ángulo b controla la relación de acoplamiento entre el puerto de salida (P-R2) y el puerto de aislamiento (P-L3). En la figura, ambos ángulos son iguales, pero a y b pueden diseñarse de manera independiente para lograr diferentes relaciones de acoplamiento entre los puertos (P-L3) y (P-R2) con respecto a (P-L1) y (P-R4). Las relaciones de acoplamiento se reducen cuando el ángulo aumenta.

15 En esta realización particular, el perfil de ahusamiento de antena de ranura ahusada (TSA-L3) (300a) y el ahusamiento de DW son ahusados lineales, como se muestra en la ampliación de la figura 3. Sin embargo, se pueden implementar otros perfiles de ahusamiento, como por ejemplo en los que el perfil de ahusamiento de antena de ranura ahusada (TSA-L3) (300b) y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados exponenciales, o en los que el perfil de ahusamiento (TSA-L3) (300c) y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados FERMI.

20 Son posibles otros ejemplos con diferentes compensaciones, que permiten impulsar las especificaciones de dispositivo en una subbanda de interés o aumentar el ancho de banda. Para evitar reflexiones en el material dieléctrico, se pueden colocar absorbentes en el extremo de la región de propagación libre (310).

La figura 4A muestra una vista 3D del acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) cuando se apilan las guías de onda dieléctricas y la región de propagación libre, que puede realizarse con materiales de permitividad igual o diferente, es decir la región de propagación libre (310), las cuatro estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) y las antenas de ranura ahusadas (TSA-L1, TSA-R2, TSA-L3, TSA-R4).

25 En otro ejemplo, se obtiene una realización alternativa de única capa cuando las estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) se integran de la región de propagación libre (310) para obtener un sistema más compacto. La integración implica cualquier procedimiento de fabricación que logre crear diferencias en la permitividad dentro de la región de propagación libre para definir una estructura de guía de onda dieléctrica, es decir por ejemplo, ya sea grabando porosidades para reducir la permitividad alrededor de las estructuras de DW o ensamblando partes de diferente permitividad. A este respecto, la figura 4B muestra una vista 3D del acoplador bidireccional de banda ultraancha (400A), en el que las estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) se integran en la región de propagación libre (310) y en el que las estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) se truncan.

35 La figura 4C muestra una vista 3D del acoplador bidireccional de banda ultraancha (400B), en el que las estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) se integran en la región de propagación libre (310) e incluyen las antenas de ranura ahusadas de estructura de lanzamiento (TSA-L1, TSA-R2, TSA-L3, TSA-R4) en los puertos de acceso, en el que las antenas de ranura ahusadas se establecen sobre el material dieléctrico de la región de propagación libre.

La figura 4D muestra una vista 3D del acoplador bidireccional de banda ultraancha (400C), en el que la región de propagación libre (310) comprende el mismo material dieléctrico que las estructuras de DW y en el que las estructuras de DW tienen un extremo truncado.

40 Las características de operación del acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) de las figuras 3 y 4A han sido caracterizadas a través de simulaciones de onda completa. Las distribuciones de amplitud de campo E obtenidas a diferentes frecuencias en el intervalo desde 20 GHz a 300 GHz se muestran en las Figuras 5A a 5H. Como se puede apreciar a través de estas figuras, la mayor parte de la potencia de una señal entrante en un primer puerto (P-L1) recorre a través de la estructura hacia un segundo puerto (P-R2) en un régimen monomodo. Una pequeña fracción de la potencia entrante es desviada hacia el puerto (P-R4). Como se muestra en las figuras, una cantidad menor de potencia de la señal llega al puerto (P-L3). Debido al régimen monomodo, la fase entre puertos puede definirse unívocamente, lo cual permite su uso para propósitos de instrumentación como se muestra en la figura 1.

50 La figura 6 muestra la amplitud de parámetro S simulada (en dB): S_{11} (601) (coincidencia de puerto entrante), S_{21} (602) (transmisión entre puerto (P-L1) y (P-R2)), S_{13} (603) (acoplamiento entre el puerto incidente P-L1 y el puerto aislado P-L3), y S_{14} (604) (acoplamiento al puerto acoplado (P-R4)).

55 La transmisión entre puertos (P-L1, P-R2), es decir S_{21} (602) se mantiene plana desde 65 GHz hasta al menos 300 GHz. Las pérdidas de inserción son, aproximadamente 4 dB. El acoplamiento (602) entre puertos (P-L1, P-R4), es decir S_{14} (604) no es constante con la frecuencia, lo que lleva a una mayor directividad de acoplador a frecuencias más altas. Debido a la suavidad de las curvas, este efecto se puede compensar fácilmente a través de una calibración de trayectoria. La coincidencia de puerto de amplitud de S_{11} (601) es menor que -15 dB para toda la banda, y menor que -20 dB para frecuencias mayores que 80 GHz. El aislamiento entre puertos (P-L1, P-L3), es decir S_{13} (603) es mayor que 25 dB en toda la banda.

El acoplador de banda ultraancha (300) funciona como un acoplador bidireccional. Cuando el puerto (P2) funciona como la fuente de señal incidente, el puerto (P-L1) funciona como el puerto de transmisión y el puerto (P-L3) funciona como el puerto acoplado, mientras que el puerto (P-R4) funciona como el puerto aislado. Los parámetros de coincidencia, transmisión, acoplamiento y aislamiento pueden ser los mismos que en la figura 6, por ejemplo $S_{22}=S_{11}$ (601), $S_{12}=S_{21}$ (602), $S_{32}=S_{41}$ (604), y $S_{42}=S_{31}$ (603).

Si un dispositivo transmisor se conecta al puerto (P-L1) y dos receptores a los puertos (P-L3, P-R4), en el que (P-L4) es opcional, el puerto (P-R2) se convierte en un puerto bidireccional (entrada y salida). En un escenario realista, el puerto (P-R2) se conectaría a una antena, una guía de onda o un conector. En una aplicación de comunicación, se puede colocar una antena en el puerto (P-R2). En aplicaciones de instrumentación, el puerto (P-R2) se conectaría al DUT (dispositivo bajo prueba). La señal recibida en el puerto (P-L3) sería proporcional a la señal incidente en DUT y la señal recibida en el puerto (P-R4) sería proporcional a la señal incidente en el DUT.

La figura 7 muestra un acoplador (700) que funciona con una extensión de DC, lo cual es una solución para extender el intervalo de frecuencias de operación de la estructura de acoplador bidireccional (300) en el intervalo de bajas frecuencias, hacia DC. El acoplador (700) comprende el acoplador bidireccional (300) y además comprende un acoplador direccional de baja frecuencia (750). El acoplador direccional de baja frecuencia (450) funciona para frecuencias de hasta $f_0 = 65$ GHz. El acoplador direccional de baja frecuencia (450) comprende puertos (P-L1', P-R2', P-L3', P-R4') que están conectados a los extremos de estructuras de transmisión (TSA-L1, TSA-R2, TSA-L3, TSA-R4) a través de cables metálicos que conforman líneas bifilares (720) que pueden ser usadas para excitar el modo fundamental de la DW para todas las frecuencias por encima de f_0 y adecuadas para la integración del acoplador direccional de baja frecuencia (700).

Para frecuencias por encima de f_0 , las señales se acoplan eficientemente a las estructuras de DW (DW-L1, DW-R2, DW-L3, DW-R4) desde los puertos a través de las estructuras (TSA-L1, TSA-R2, TSA-L3, y TSA-R4), como se ilustra en las figuras 5 y 6. Para frecuencias por debajo de f_0 , la señal se propaga desde los puertos a través de unas estructuras TSA aunque las líneas bifilares (720) sin estar acoplada a las estructuras de DW. Se puede incorporar una de varias transiciones desde la línea bifilar (720) a los puertos de acoplador direccional de baja frecuencia (P-L1', P-R2', P-L3', y P-R4'). Para propósitos ilustrativos, la figura 7 muestra un acoplador direccional de baja frecuencia (700) con puertos CPW y las transiciones entre las líneas bifilares (720), el CPS y las guías de onda CPW.

Las transiciones y el acoplador direccional de baja frecuencia (750) se colocan en un sustrato (710) que se puede colocar lo suficientemente lejos sobre (o debajo) del acoplador dieléctrico (300). Dado que las ondas se propagan en el plano 2D (en la región de propagación libre (210)), no hay radiación en la dirección normal por lo que se puede lograr una configuración compacta. La distancia entre ambos acopladores (300, 750) debe ser lo suficientemente grande para evitar el acoplamiento de campo cercano entre ellos.

REIVINDICACIONES

1. Un acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ancha y banda amplia con funcionalidad de divisor/combinador de potencia (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) para señales con frecuencia que alcanza hasta 300 GHz, que comprende:
 - 5 - un sustrato de región de propagación libre (210) con un par de bordes opuestos (240A, 240B);
 - un primer grupo de puertos de acceso (P-L1 - P-LM) establecidos a lo largo de un primer borde (240A) de dicho par de bordes opuestos (240A, 240B); y
 - un segundo grupo de puertos de acceso (P-R1 - P-RM) establecidos a lo largo de un segundo borde (240B) de dicho par de bordes opuestos (240A, 240B), en el que el primer y segundo grupos de puertos de acceso (P-L1 - P-LM), (P-R1 - P-RN) comprenden:
 - 10 estructuras de guía de onda dieléctrica, DW, (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) en las que el sustrato de región de propagación libre (210) está configurado para funcionar como una región de propagación de espacio libre 2D, de tal manera que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) proporcionan una función de transferencia de filtro de paso alto en un intervalo de altas frecuencias que comienza desde una frecuencia de corte baja, f_{CL} , en el intervalo de microondas o en el intervalo de ondas milimétricas.
2. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según la reivindicación 1, en el que el primer borde (240A) de dicho par de bordes opuestos está conformado como un arco de círculo con radio, r_1 , cuyo centro (OA) está ubicado más cerca del segundo borde (240B).
3. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según la reivindicación 2, en el que el segundo borde (240B) de dicho par de bordes opuestos está conformado como un arco de un segundo círculo con radio, r_2 , cuyo centro (OB) está ubicado más cerca del primer borde (240A).
4. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según la reivindicación 3, en el que $r_1 = r_2$.
5. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además una pluralidad de brazos, en el que la pluralidad de brazos asigna el primer grupo de puertos de acceso (P-L1 - P-LM) y el segundo grupo de puertos de acceso (P-R1 - P-RN).
6. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (300) según las reivindicaciones 1 a 5, en el que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) se establecen sobre el sustrato de región de propagación libre (310).
7. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (400A, 400B) según las reivindicaciones 1 a 5, en el que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) están integradas en el sustrato de región de propagación libre (310).
8. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200B, 300) según cualquiera de las reivindicaciones previas,
 - 35 en el que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) comprenden extremos ahusados con un perfil de ahusamiento definido, y
 - en el que el primer y segundo grupo de puertos de acceso (P-L1 - P-LM), (P-R1 - P-RN) comprenden además antenas de ranura ahusadas, las TSA, (TSA-L1 - TSA-LM), (TSA-R1 - TSA-RN) que proporcionan una función de transferencia de filtro de paso de banda en un intervalo de bajas frecuencias hasta una frecuencia de corte alta f_{CH} en el intervalo de ondas milimétricas,
 - en el que las TSA (TSA-L1 - TSA-LM), (TSA-R1 - TSA-RN) comprenden un perfil de ahusamiento de TSA (300a, 300b, 300c), en el que el primer extremo ahusado de las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) se coloca entre las TSA (TSA-L1 - TSA-LM), (TSA-R1 - TSA-RN), en el que el perfil de ahusamiento de TSA (300a, 300b, 300c) coincide con el perfil de ahusamiento de DW.
9. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200B) según la reivindicación 8, en el que el perfil de ahusamiento de TSA (300a) y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados lineales.
10. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200B) según la reivindicación 8, en el que el perfil de ahusamiento de TSA (300b) y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados exponenciales.
11. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (200B) según la reivindicación 8, en el que el perfil de ahusamiento de TSA (300c) y el perfil de ahusamiento de DW son ahusados FERMI.
12. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (700) según las reivindicaciones 8 a 11 que comprende además:

- un acoplador direccional de baja frecuencia (750) con intervalo de frecuencias de operación que comienza en DC o desde una baja frecuencia en el intervalo de kilohercios y que llega hasta una frecuencia de corte baja, f_{DCH} , en el intervalo de ondas milimétricas
 - en el que $F_{DCH} >$ una frecuencia de corte baja de estructuras de DW, f_{CL} ,
 - una pluralidad de líneas de transmisión (720) y transiciones de guía de onda que conectan el acoplador direccional de baja frecuencia (750) y las TSA (TSA-L1 - TSA-LM), (TSA-R1 - TSA-RN) para un intervalo de frecuencias de operación combinado hasta una frecuencia de corte alta, f_{CH} .
- 5
13. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) según las reivindicaciones 6 o 7, que comprende:
- Dos primeros puertos de acceso (P-L1 - P-L3) a lo largo del al menos un borde de dicho sustrato de región de propagación libre (310) que comprenden primera y tercera estructuras de DW (DW-L1 - DW-L3) que tienen extremos ahusados,
 - Dos segundos puertos de acceso (P-R4 - P-R2) a lo largo del borde opuesto de dicho sustrato de región de propagación libre (310) que comprenden cuarta y segunda estructuras de DW (DW-R4 - DW-R2) que tienen extremos ahusados,
 - en el que un extremo ahusado de la primera estructura de DW (DW-L1) apunta hacia un extremo ahusado de la segunda estructura de DW (DW-R2),
 - en el que un extremo ahusado de la cuarta estructura de DW (DW-R4) apunta hacia un extremo ahusado de la primera estructura de DW (DW-L1), y
 - en el que un extremo ahusado de la tercera estructura de DW (DW-L3) apunta hacia un extremo ahusado de la segunda estructura de DW (DW-R2).
- 10
- 15
- 20
14. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (300) según la reivindicación 13,
- en el que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-L3), (DW-R2 - DW-R4) comprenden un perfil de ahusamiento de DW, y
- comprende además las TSA (TSA-L1 - TSA-L3), (TSA-R2 - TSA-R4) hechas de material metálico que proporciona una interconexión característica de paso bajo, operando sobre un intervalo de bajas frecuencias hasta una frecuencia de corte alta, f_{CH} , en el intervalo de ondas milimétricas, en el que las TSA (TSA-L1 - TSA-L3), (TSA-R2 - TSA-R4) comprenden un perfil de ahusamiento de TSA (300a, 300b, 300c) alrededor de un primer extremo ahusado de las estructuras de DW (DW-L1 - DW-L3), (DW-R2 - DW-R4) en el que el perfil de ahusamiento de TSA (300a, 300b, 300c) coincide con el perfil de ahusamiento de DW.
- 25
- 30
15. El acoplador bidireccional de radiofrecuencia de banda ultraancha (400A, 400C) según las reivindicaciones 1 a 7, en el que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN) comprenden al menos un extremo truncado.
16. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sustrato de región de propagación libre (310) tiene una permitividad diferente que las estructuras de DW (DW-L1 - DW-LM), (DW-R1 - DW-RN).
- 35
17. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sustrato de región de propagación libre (310) comprende absorbentes.
18. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (400C) según las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sustrato de región de propagación libre (310) comprende material dieléctrico.
- 40
19. El acoplador bidireccional de banda ultraancha (200A, 200B, 300, 400A, 400B, 400C) según las reivindicaciones 2 a 18, en el que el arco del círculo para el primer grupo de puertos de acceso (P-L1 - P-LM) es igual al radio, r_2 , del arco del segundo círculo; y en el que los centros (OA, OB) de los dos círculos están alineados radialmente.

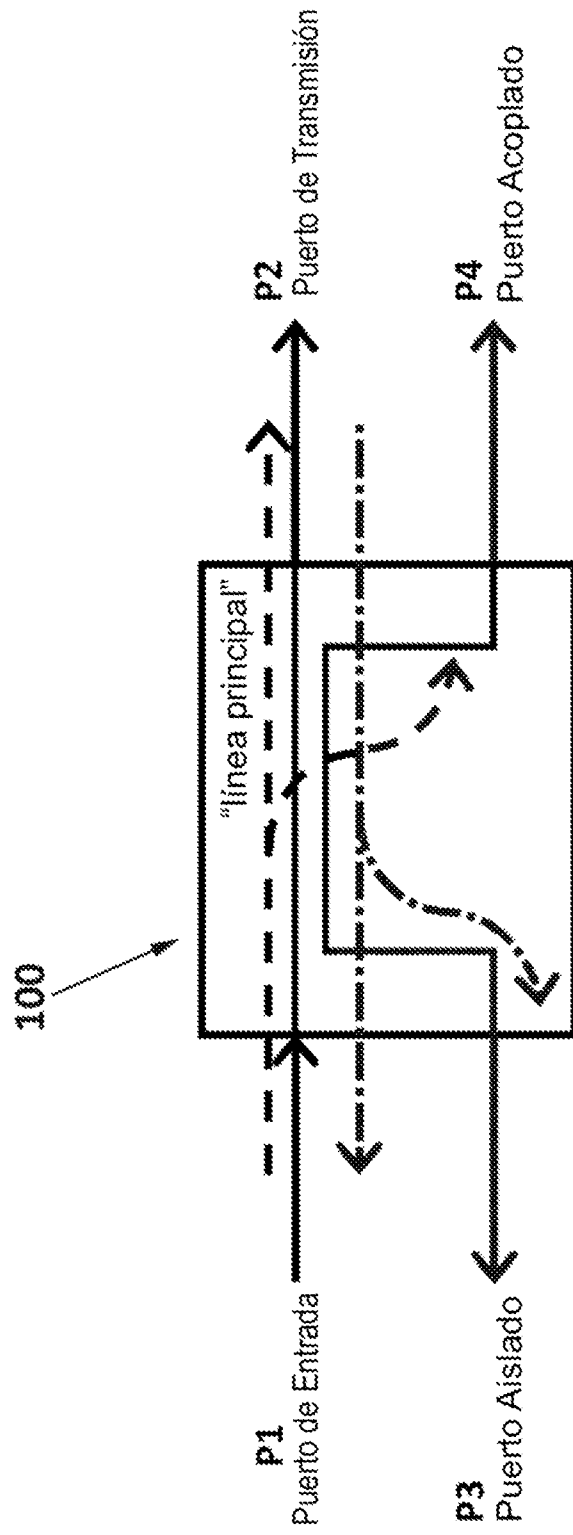


FIG. 1

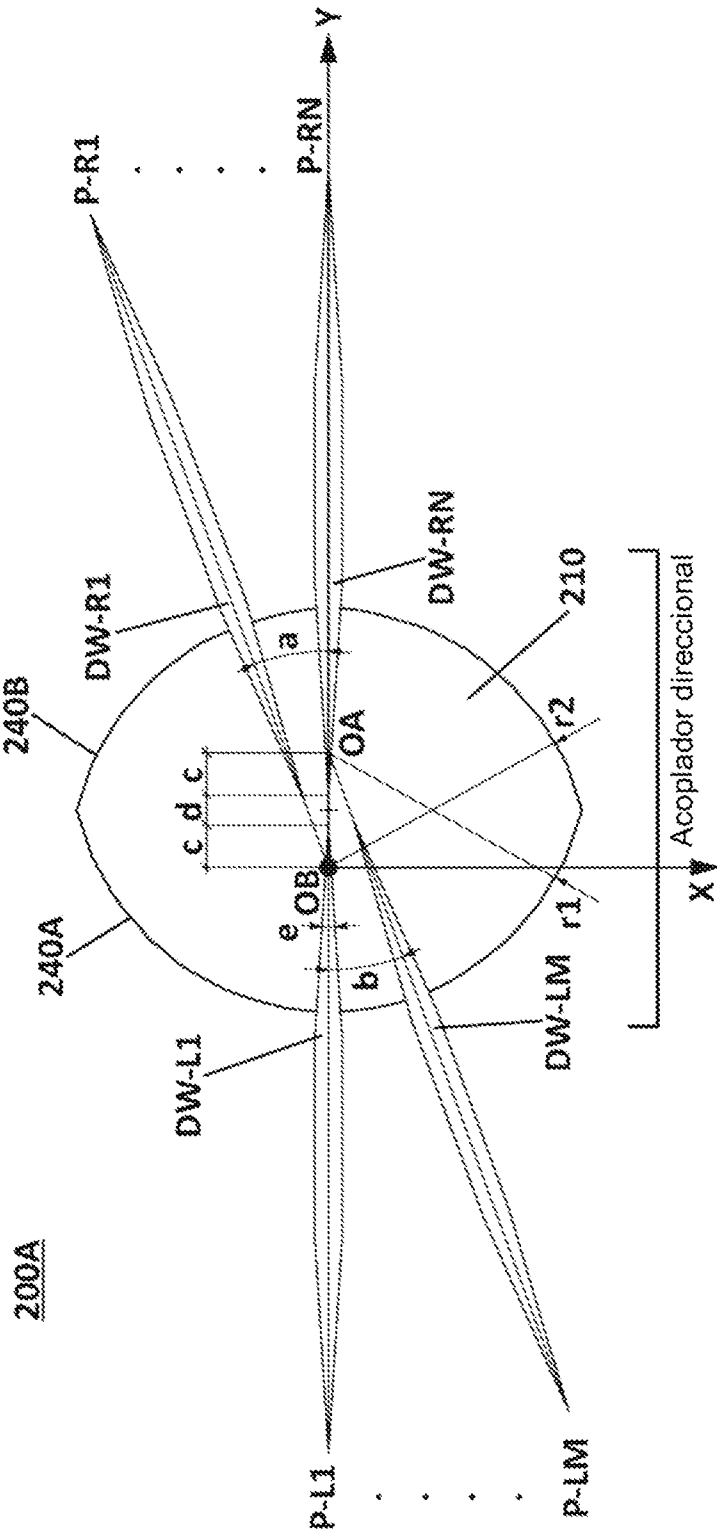


FIG. 2A

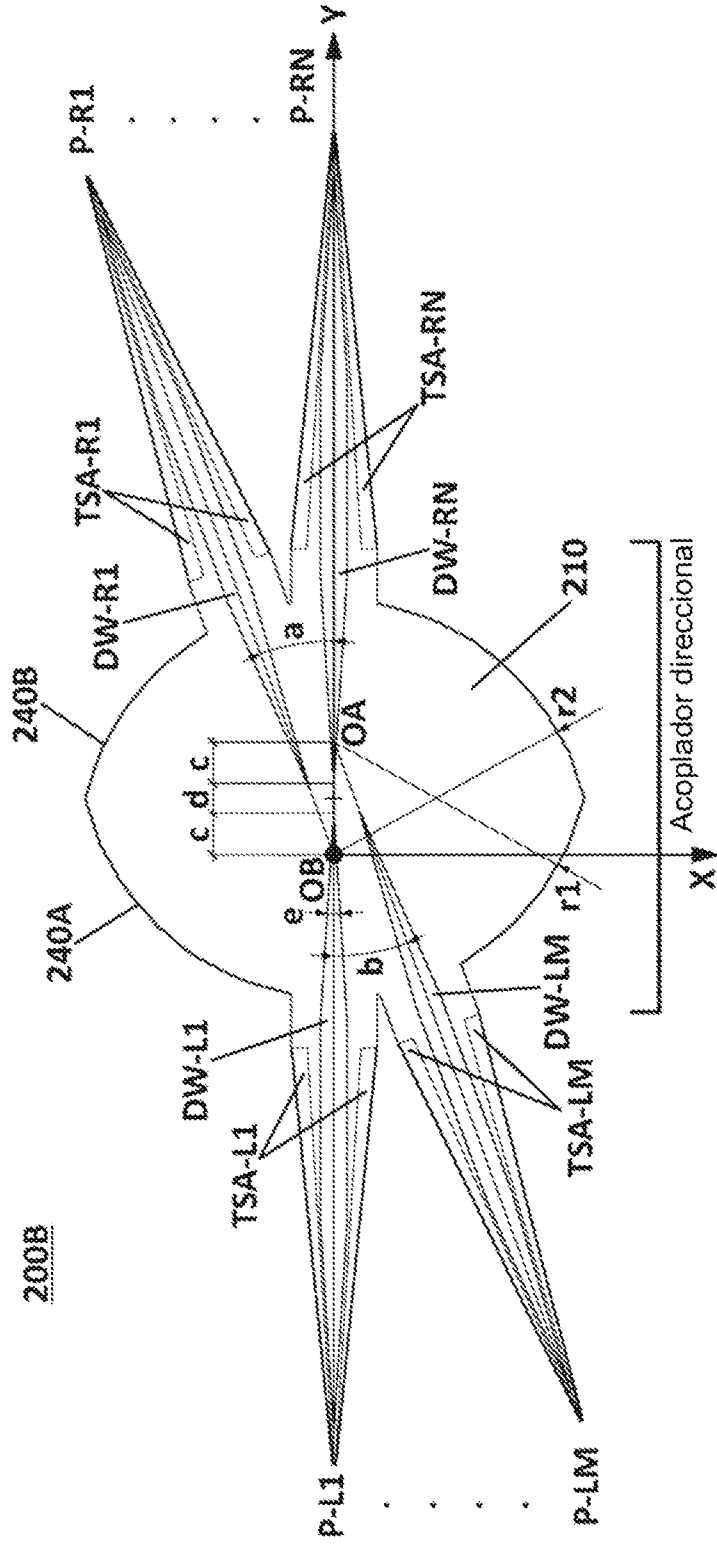


FIG. 2B

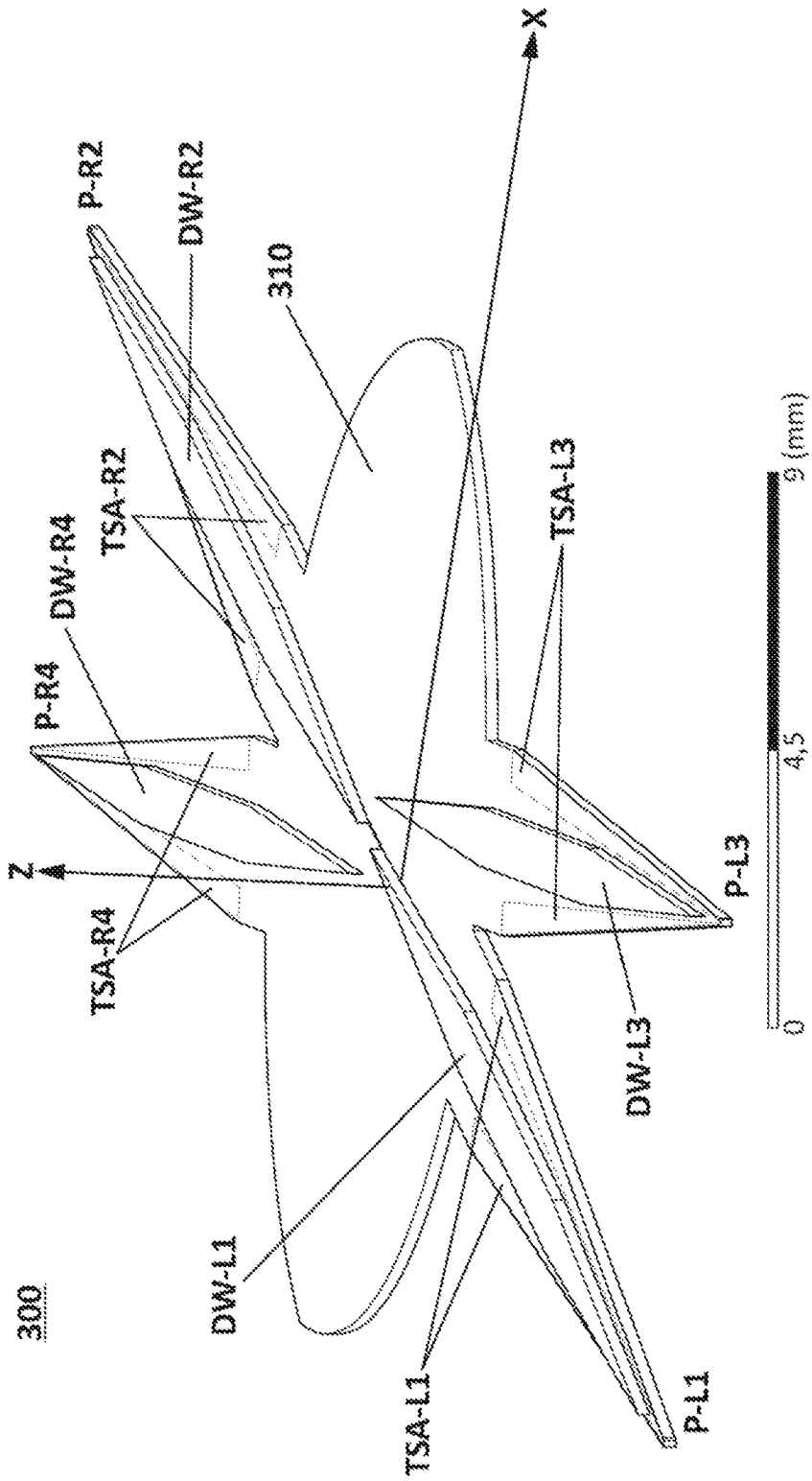


FIG. 4A

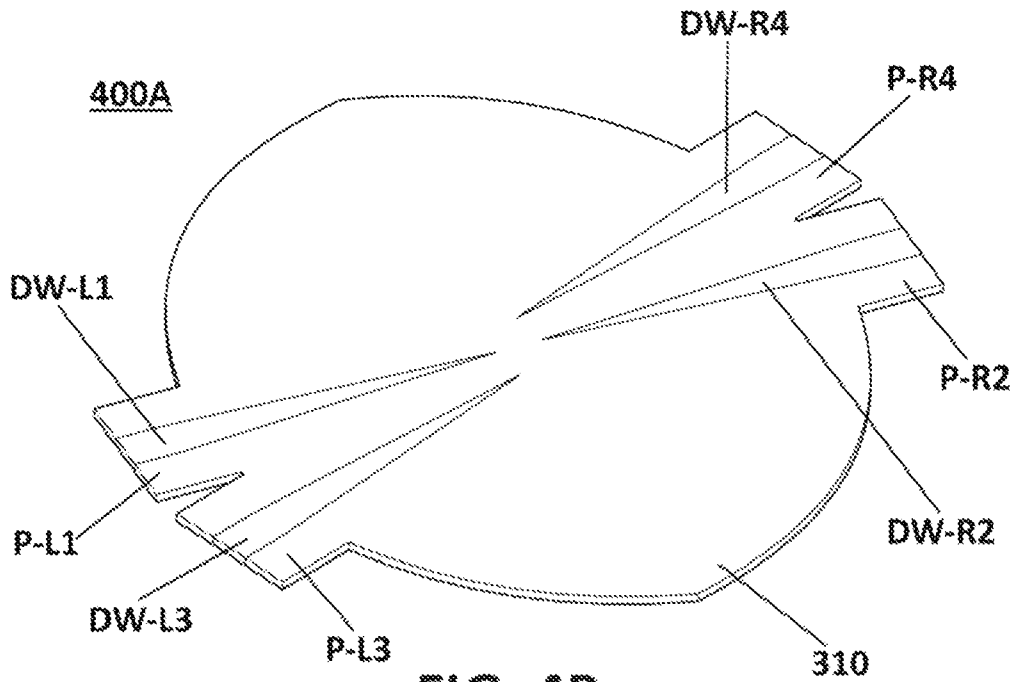


FIG. 4B

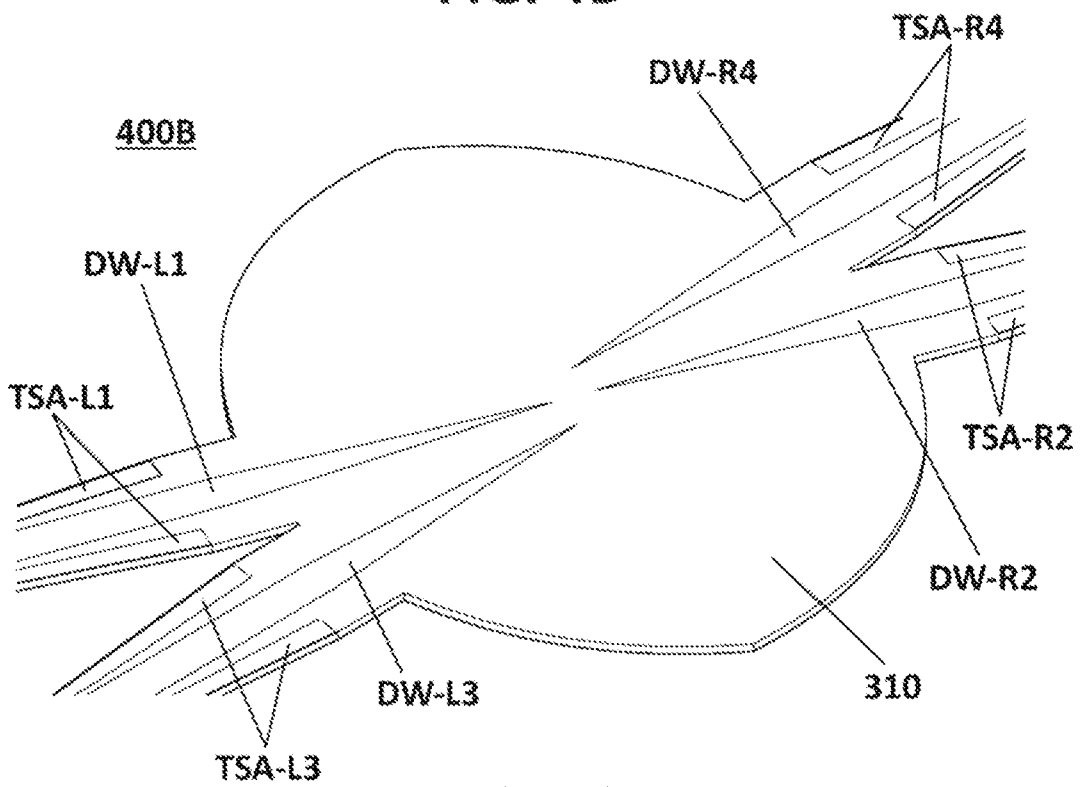


FIG. 4C

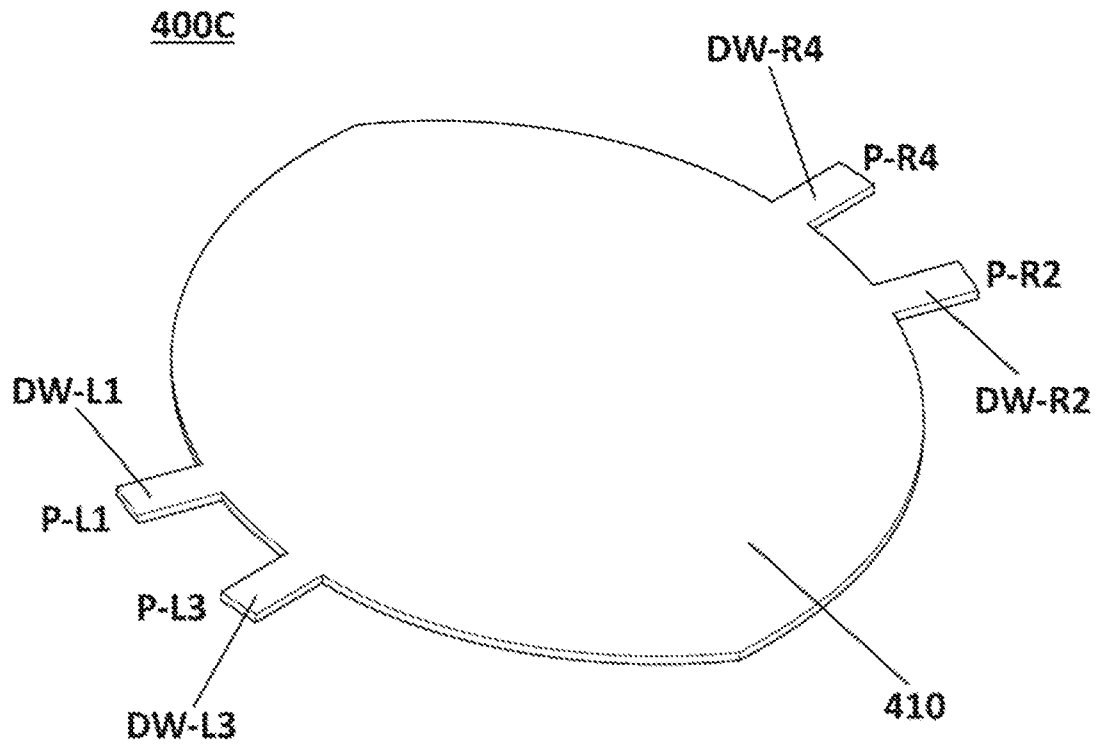


FIG. 4D

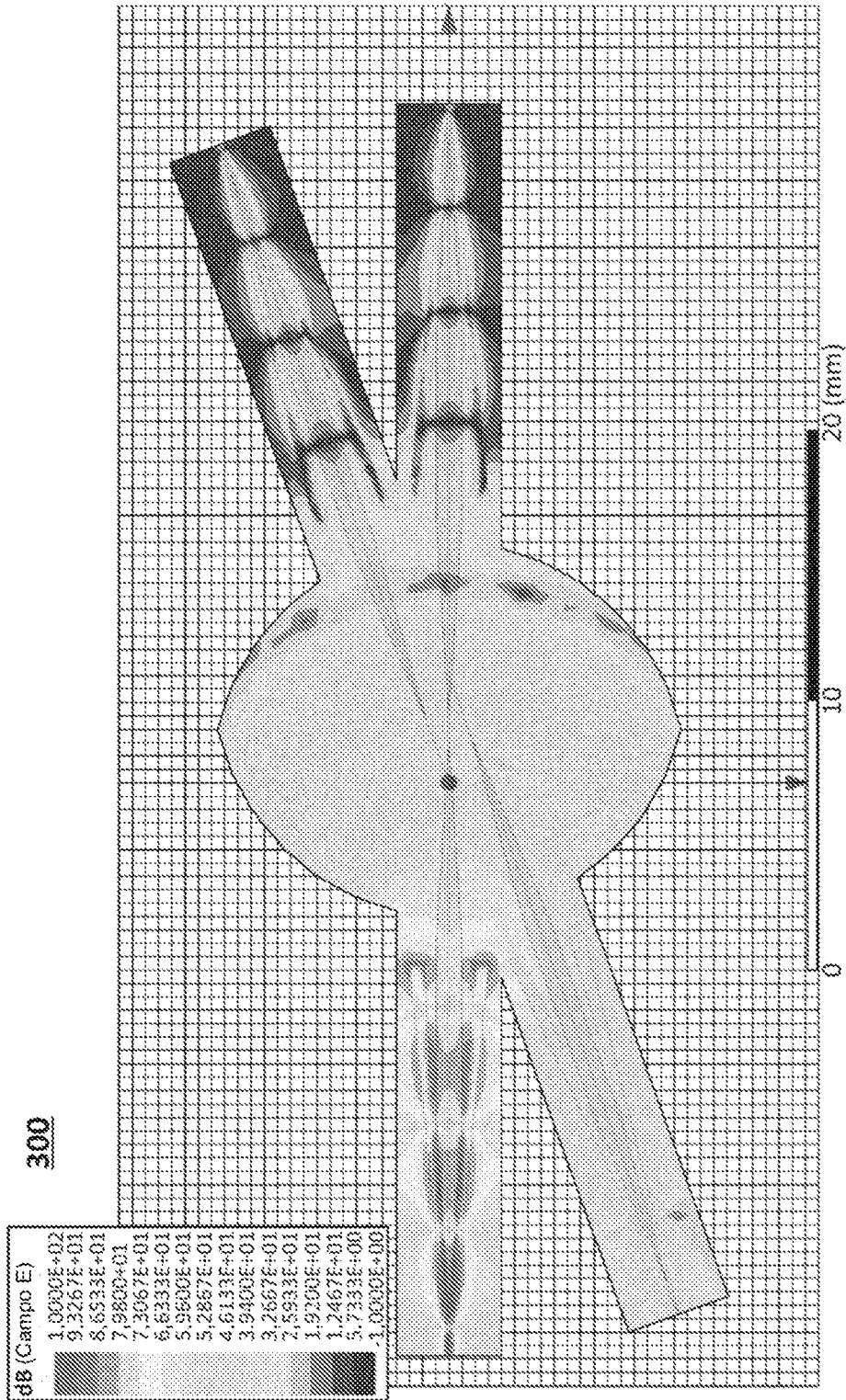


FIG. 5A

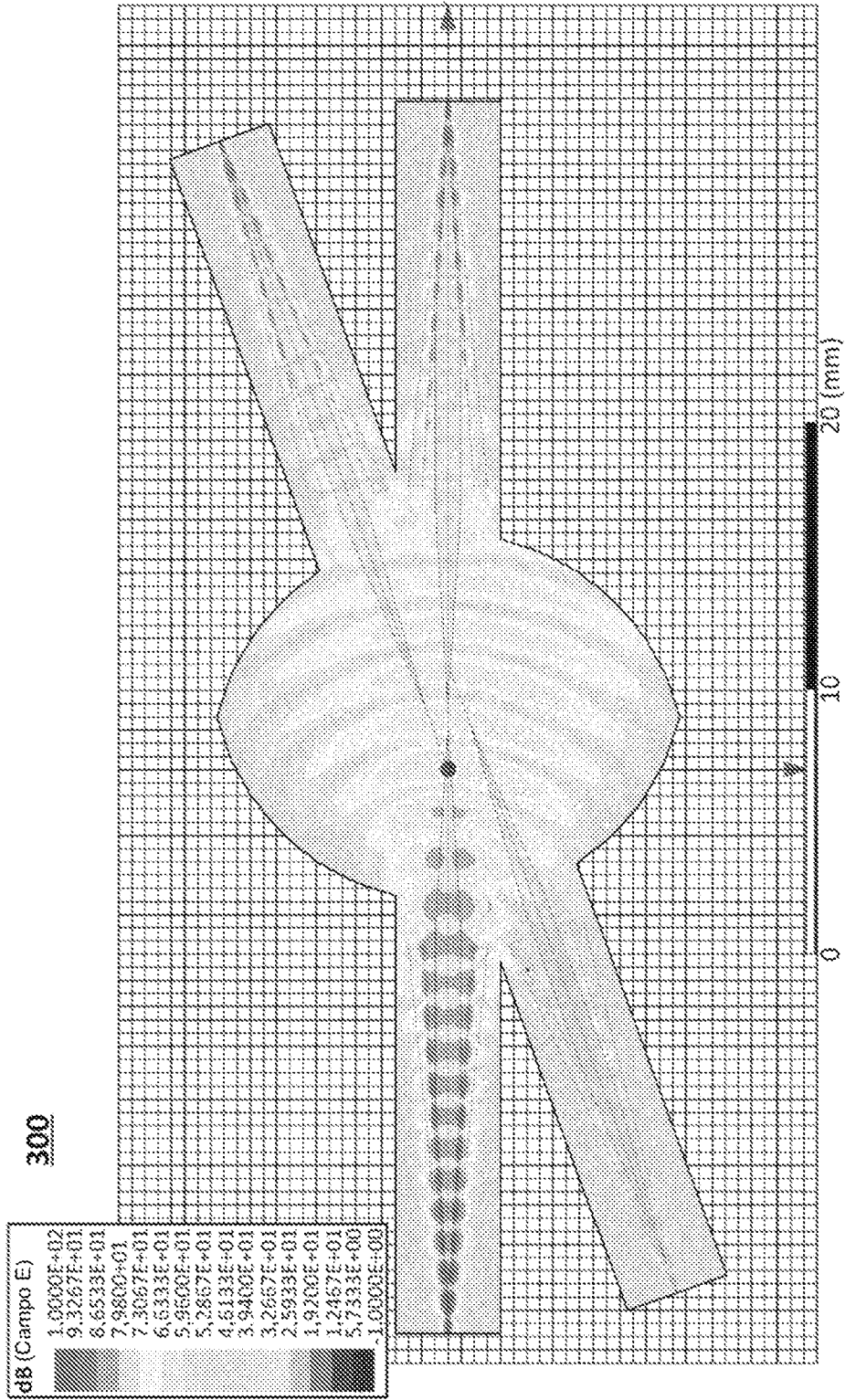


FIG. 5B

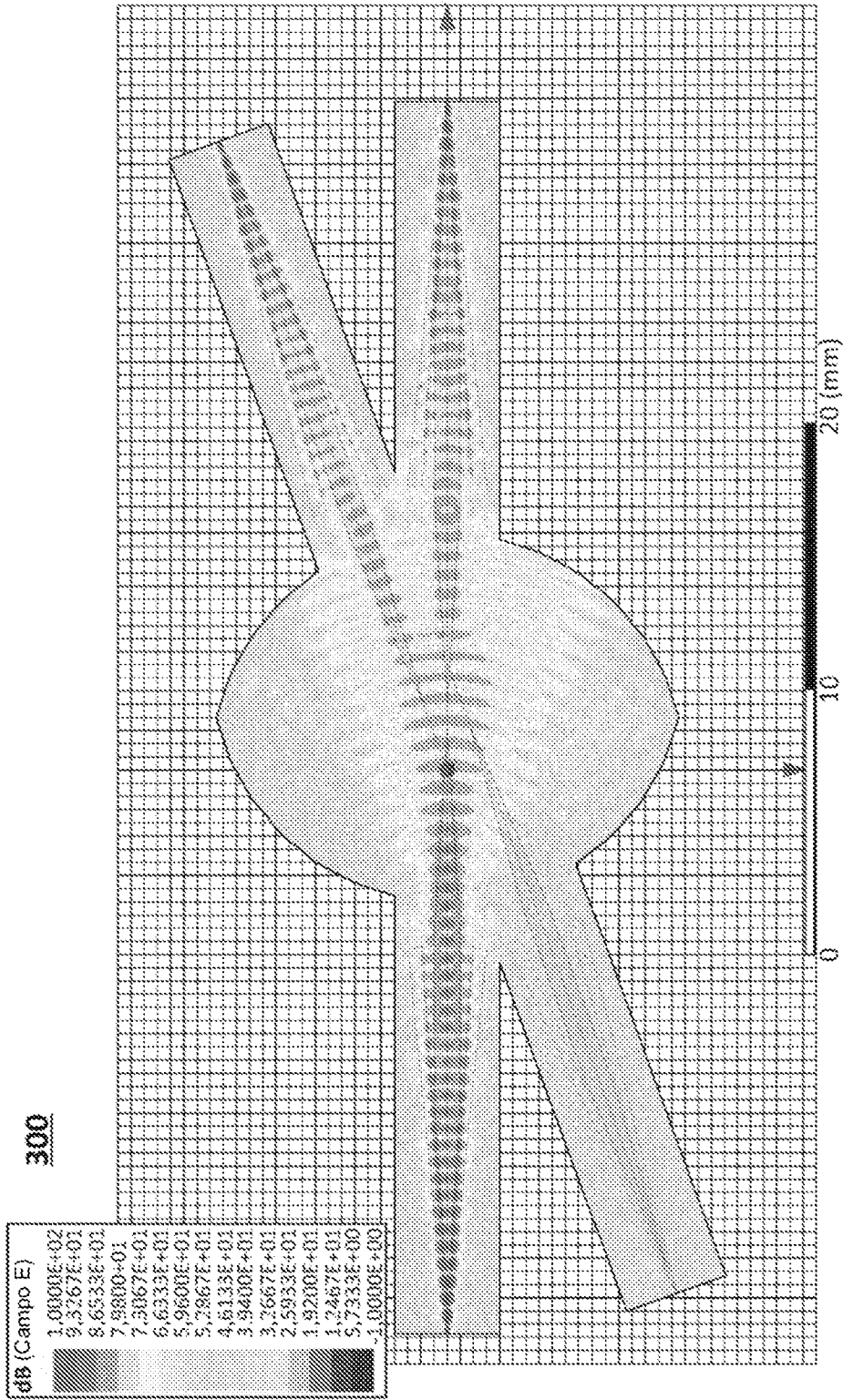


FIG. 5C

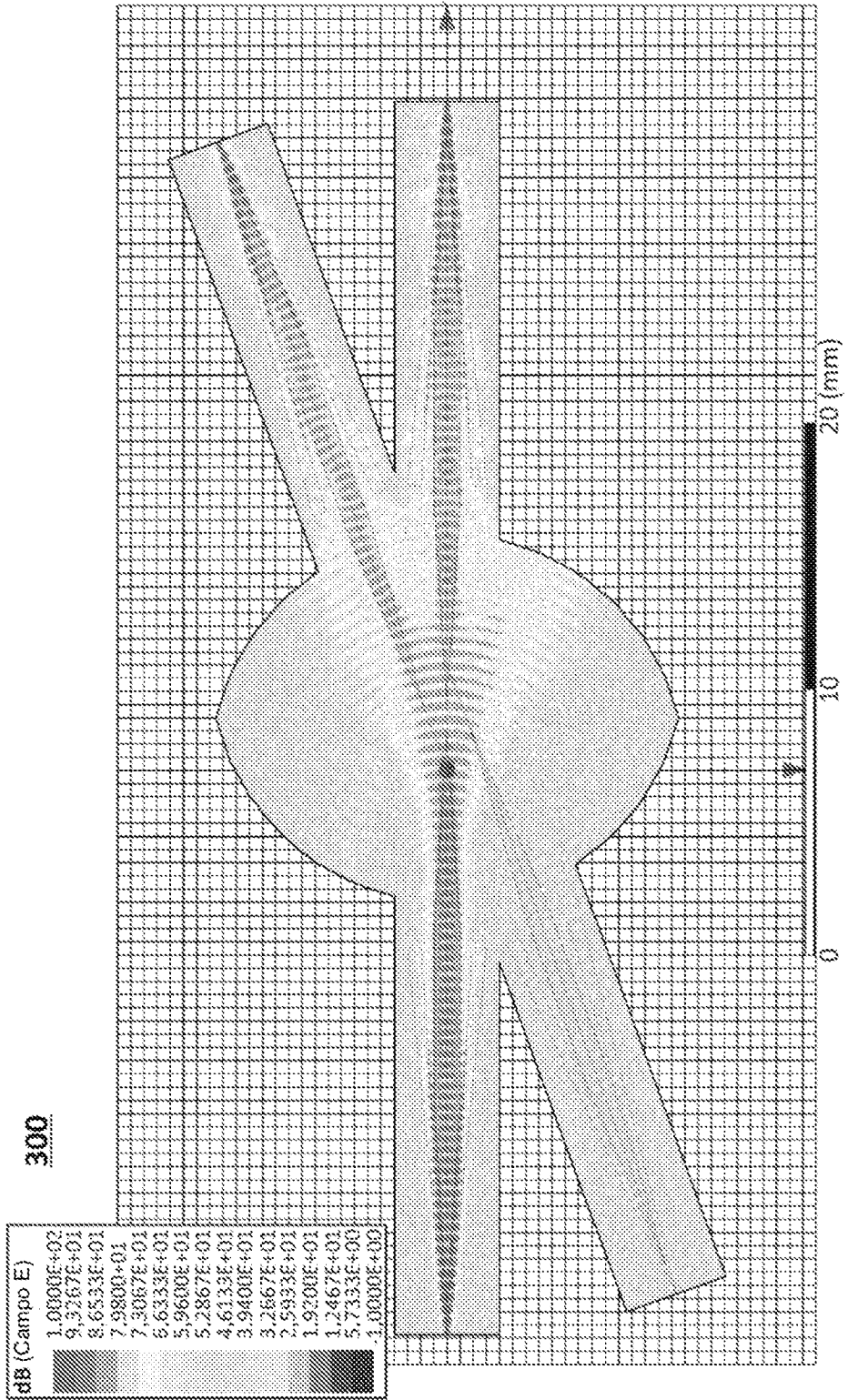


FIG. 5D

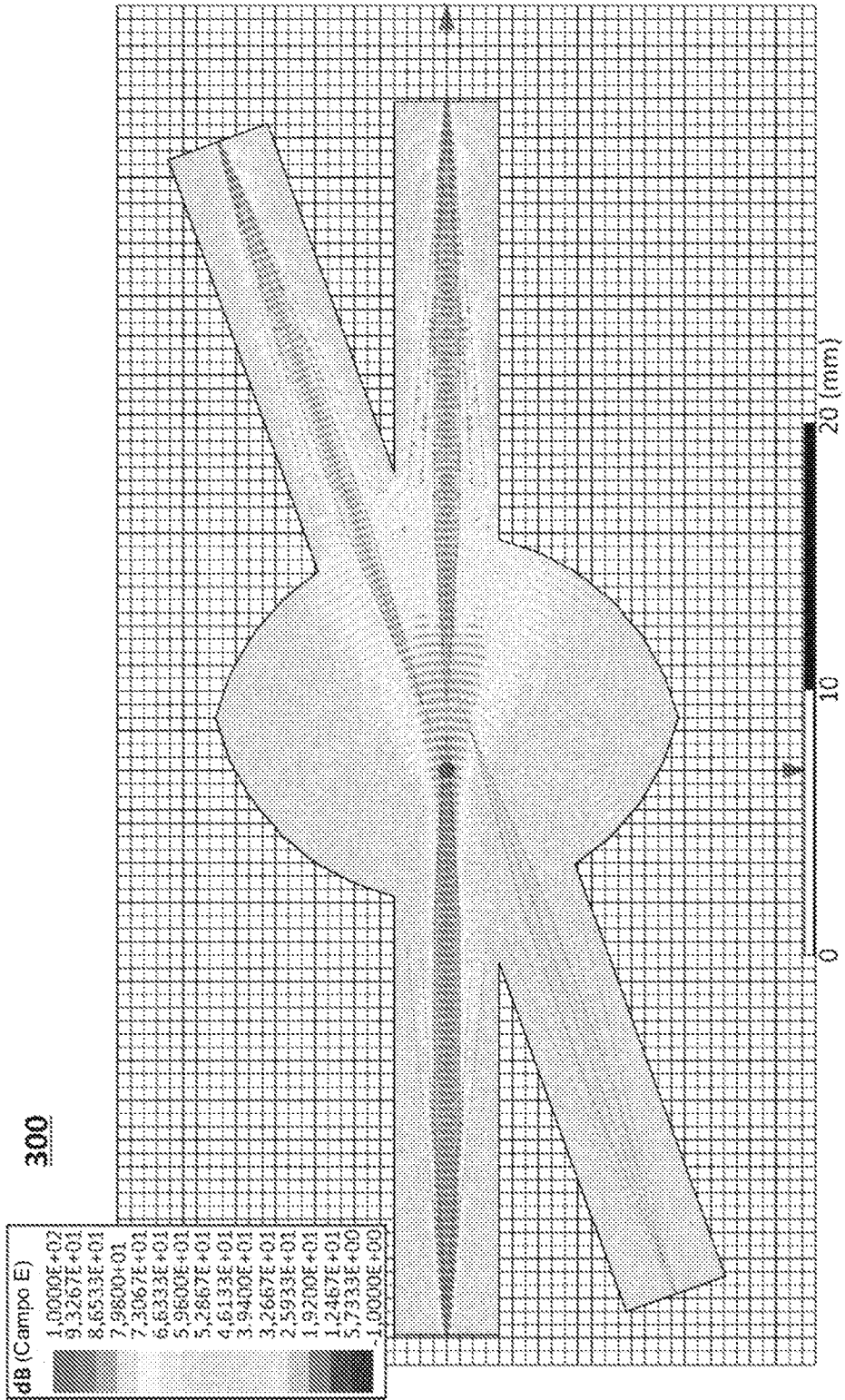


FIG. 5E

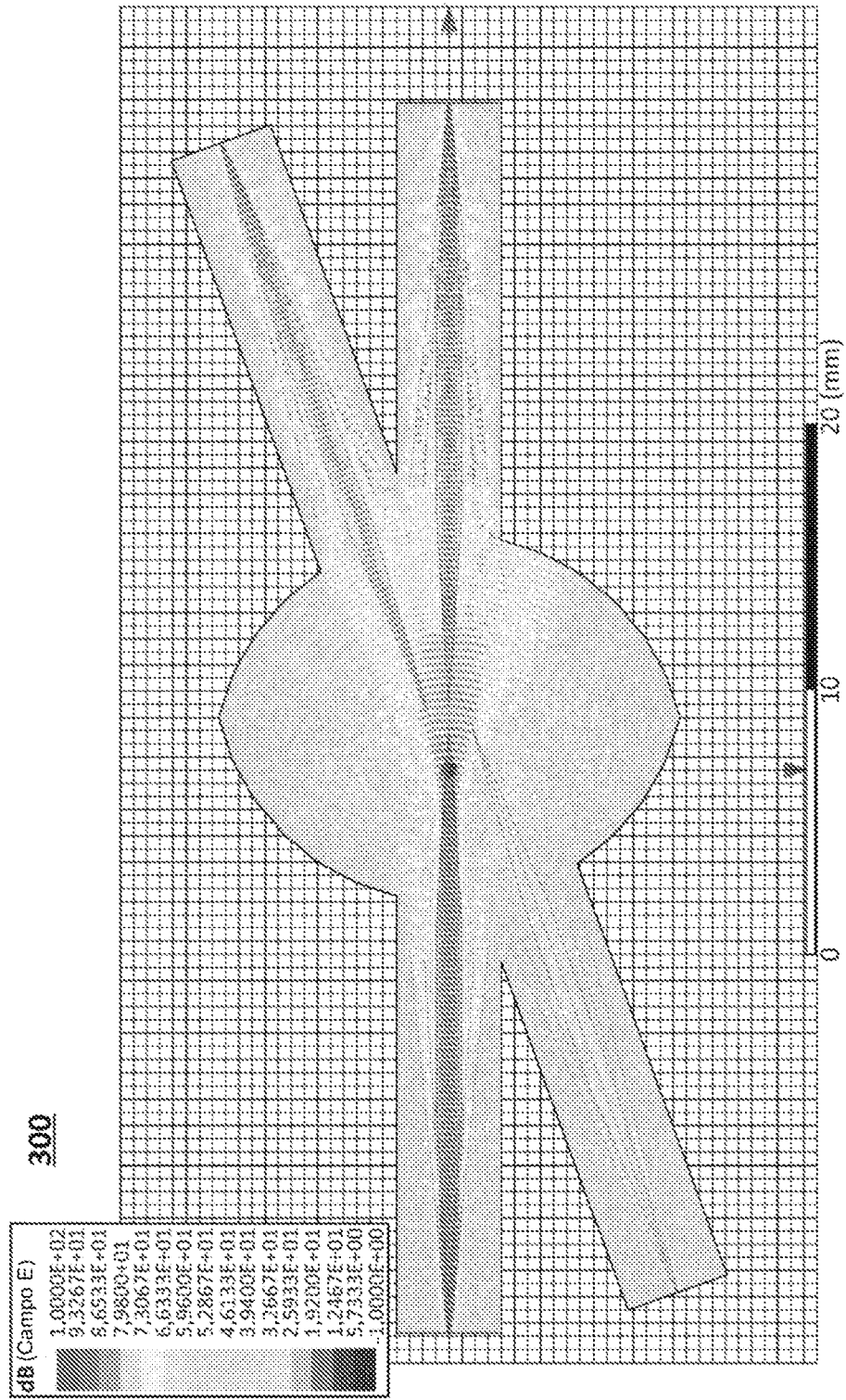


FIG.5F

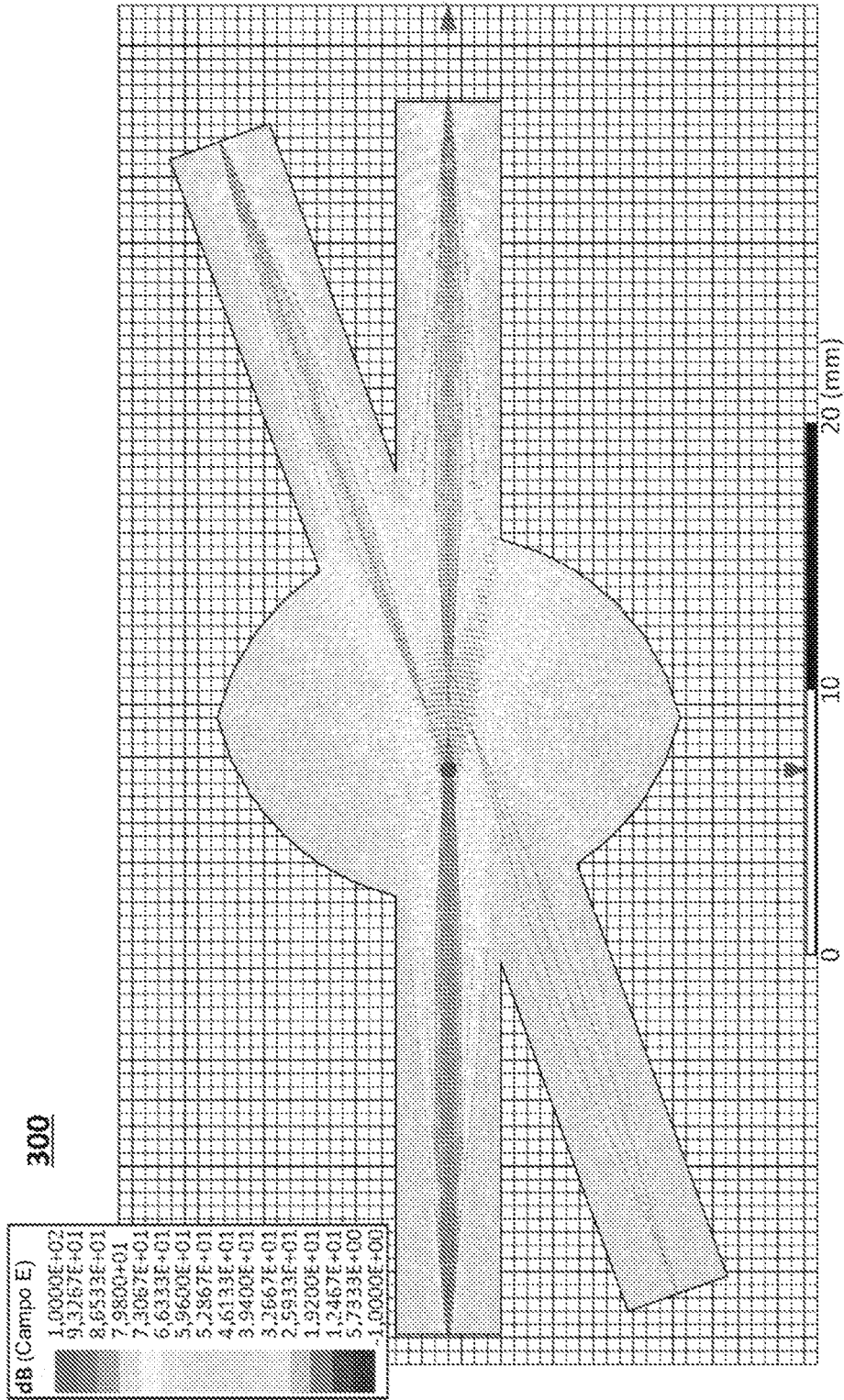


FIG. 5G

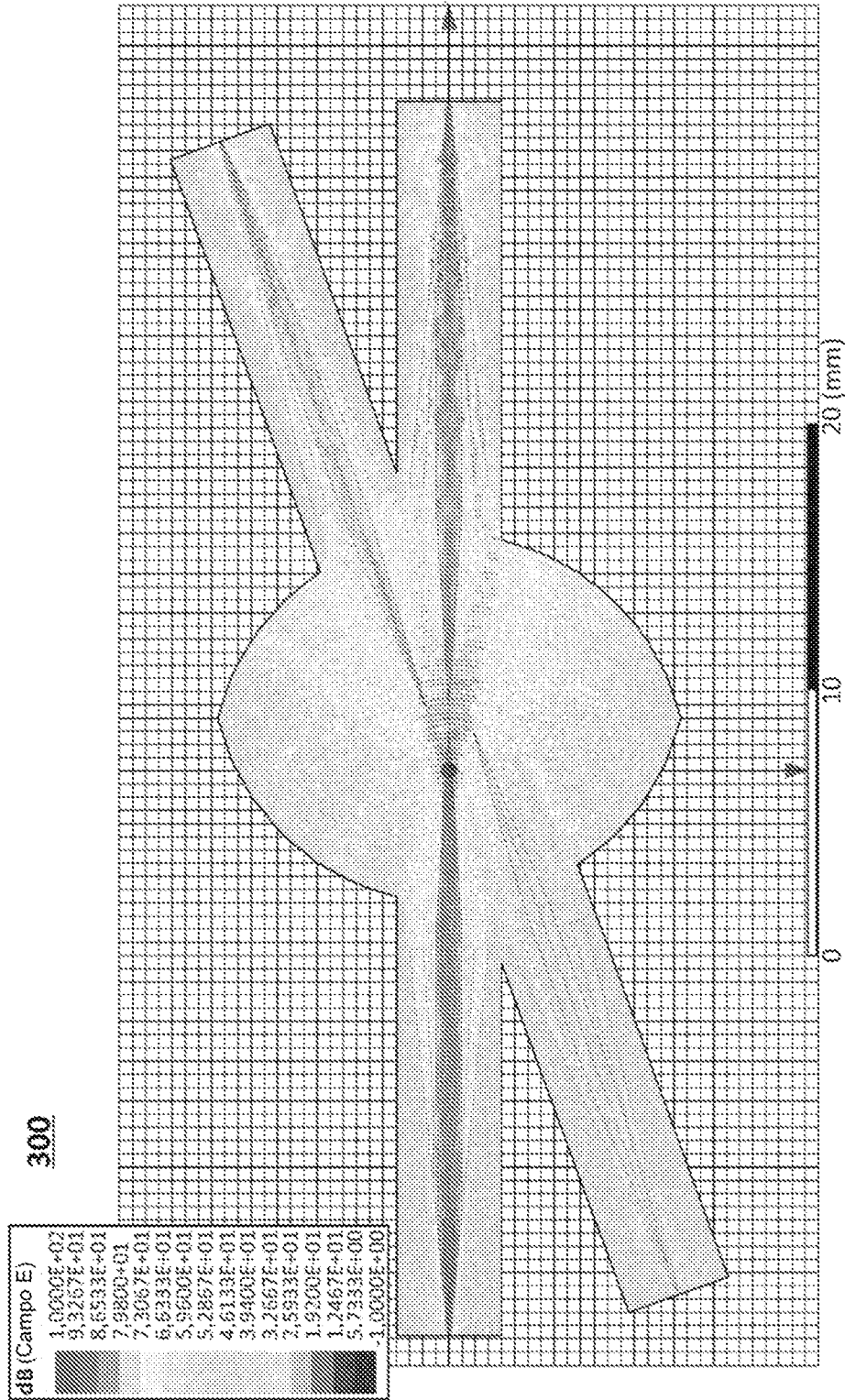


FIG. 5H

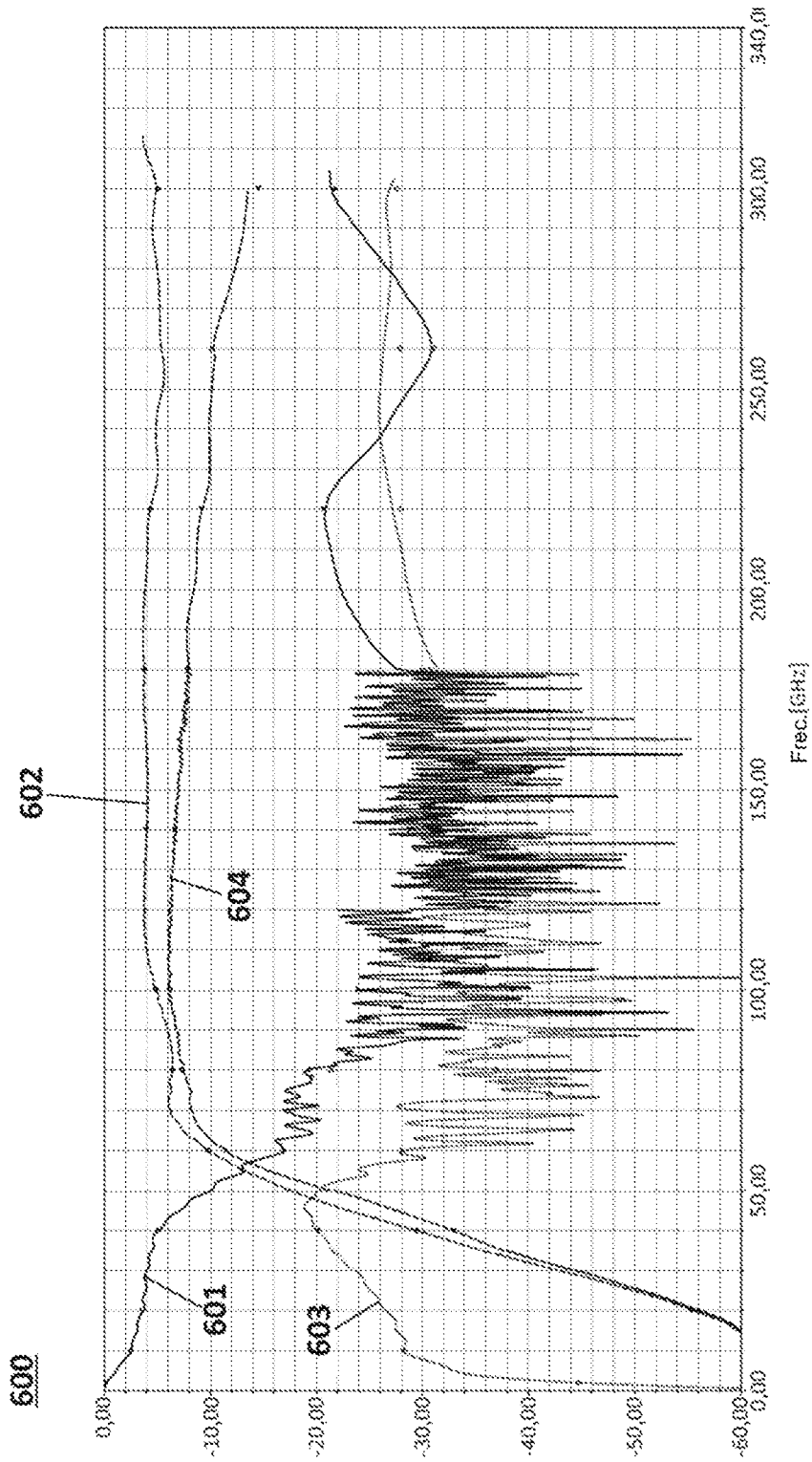


FIG. 6

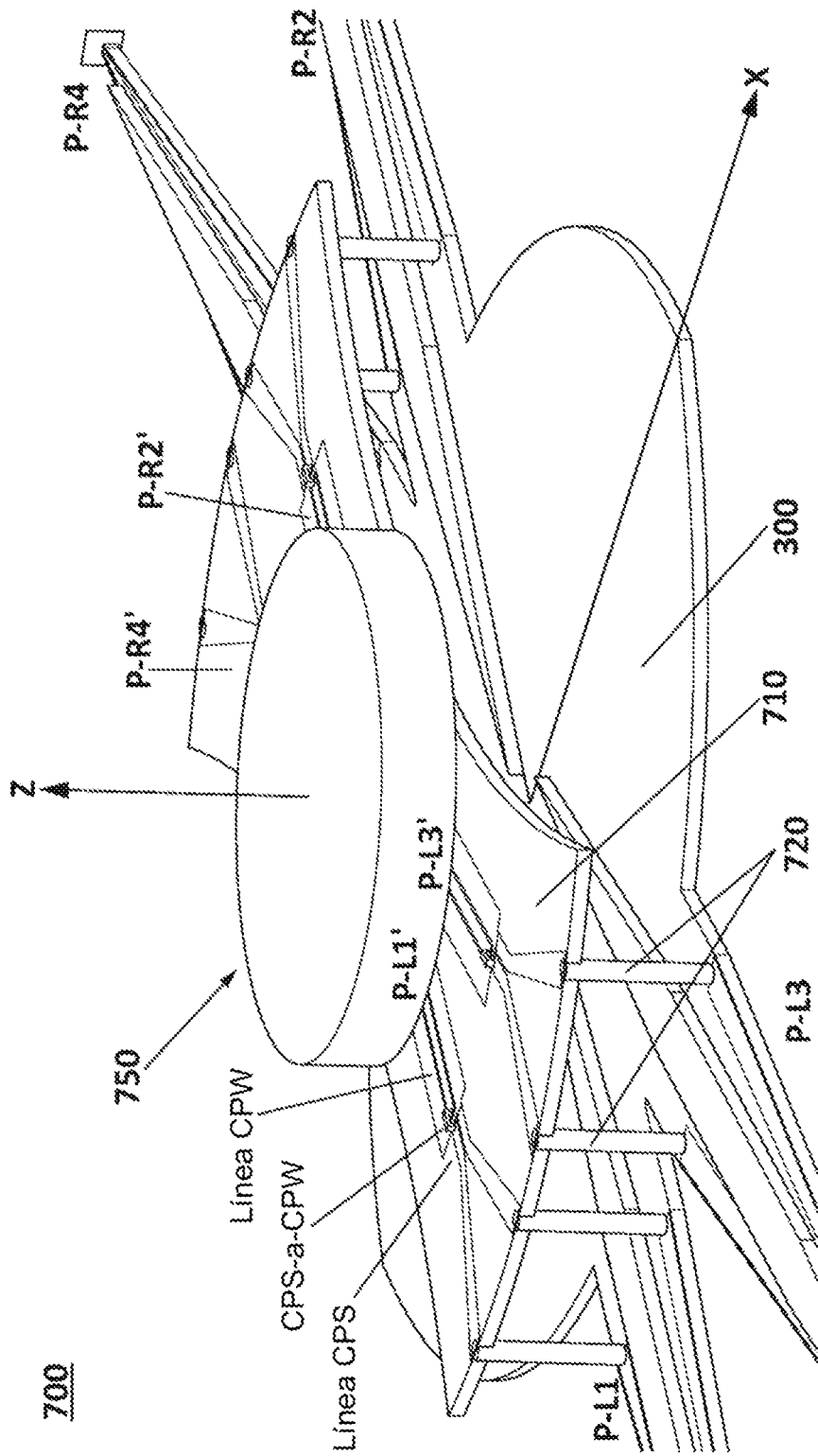


FIG. 7