

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 909**

51 Int. Cl.:

H01Q 13/10 (2006.01)

H01Q 21/24 (2006.01)

H01Q 9/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2012 E 12184835 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 2571100**

54 Título: **Radiogoniómetro 3d compacto**

30 Prioridad:

18.09.2011 IL 21519711

08.11.2011 IL 21620611

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

15.10.2018

73 Titular/es:

**ELTA SYSTEMS LTD. (100.0%)
100 Yitzhak Hanassi Blvd. P.O.B. 330
77102 Ashdod, IL**

72 Inventor/es:

ALMOG, BENYAMIN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 685 909 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

Radiogoniómetro 3d compacto

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general al campo de la radiogoniometría.

5 Antecedentes de la invención

Existen muchos campos en los que se utilizan mediciones de campos eléctricos o magnéticos para determinar la dirección de llegada de frentes de ondas electromagnéticas (EM). Estos se pueden utilizar, por ejemplo, en un sistema para determinar la ubicación geográfica espacial de emisores aplicable en aplicaciones de búsqueda o rescate.

10 También hay aplicaciones en las que se requiere la medición co-situada mutua tanto de campos eléctricos como magnéticos.

Como es bien sabido, un dipolo eléctrico de longitud l se considera un pequeño dipolo (en términos de longitud de onda) cuando $l \ll \lambda$, en ese intervalo, y la aproximación de la distribución de corriente es uniforme, lo que permite el cálculo de los campos radiados. En la región de campo lejano ($kr \gg 1$) los campos **E** y **H** radiados por un pequeño dipolo alineado con el eje \hat{z} cumplen con la siguiente ecuación (1):

$$\left. \begin{aligned}
 E_{\theta} &= j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{8\pi r} \sin(\theta) \\
 (1) \quad E_r &= E_{\phi} = H_r = H_{\theta} = 0 \\
 H_{\phi} &= j \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{8\pi r} \sin(\theta)
 \end{aligned} \right\} kr \gg 1$$

en la que l_0 es una constante. Nótese que para detectar un campo eléctrico en el eje Z, E_{θ} es el valor del campo eléctrico de interés.

Volviendo a los campos magnéticos, para el bucle de escasa corriente (en términos de longitud de onda, $l \ll kr$) la distribución de corriente está dada por $I_{\phi} = I_0$ en la que l_0 es una constante.

Los campos eléctricos y magnéticos en una región de campo lejano ($kr \gg 1$) para un pequeño bucle magnético están dados por:

$$\left. \begin{aligned}
 H_{\theta} &= -\frac{(ka)^2 I_0 e^{-jkr}}{4r} \sin(\theta) \\
 (2) \quad E_{\phi} &= \eta \frac{(ka)^2 I_0 e^{-jkr}}{4r} \sin(\theta) \\
 E_r &= E_{\theta} = H_r = H_{\phi} = 0
 \end{aligned} \right\} kr \gg 1$$

Nótese que para detectar un campo magnético en el eje Z (coincidiendo con la dirección del eje Z especificada de E_{θ}) H_{θ} es el valor del campo magnético de interés.

Como es bien sabido, el dipolo eléctrico responde a un campo eléctrico alineado con un eje de dipolo, mientras que el bucle de corriente responde a un campo magnético perpendicular al plano que lo contiene.

40 Cuando dos o más antenas están en proximidad entre sí, independientemente de si una y/o más están transmitiendo o recibiendo, parte de la energía que está destinado principalmente a una antena termina en la otra antena, dando lugar a acoplamiento mutuo. La cantidad depende, entre otros, de:

- a. las características de radiación de cada antena
- b. la distancia relativa entre las antenas
- c. la orientación relativa de las antenas

d. el puerto de carga (impedancia de la carga)

El acoplamiento mutuo puede generar distracciones a la capacidad de detectar componentes de campo específico por un elemento de antena en proximidad del otro elemento de antena orientado a otros componentes de campo, dado que parte de la energía relacionada con componentes no deseados puede filtrarse a través de acoplamiento mutuo y distorsionar la detección del componente deseado.

Existen diferentes sistemas para detectar campos eléctricos y campos magnéticos. Los sistemas incluyen el R&S HM-020 que se muestra, por ejemplo, en la Fig. 1, que está compuesto por tres bucles de corriente (**101** a **103**), dispuestos perpendicularmente entre sí y que son capaces de detectar un campo magnético (sólo) en tres direcciones perpendiculares, respectivamente. El dispositivo de Bergman et al. como se muestra en la Fig. 2 está compuesto por tres dipolos (**201** a **203**) que están dispuestos perpendicularmente entre sí y que son capaces de detectar un campo eléctrico (sólo) en tres direcciones perpendiculares, respectivamente.

Con referencia a los sistemas co-localizados conocidos, se llama la atención a la Fig. 3, que ilustra esquemáticamente un dispositivo co-situado para medir campos magnéticos y eléctricos, de acuerdo con la técnica anterior. Como se muestra, el sistema incluye tres disposiciones co-axiales diferentes en las que el anillo **301** y el dipolo co-axial **302**, dispuestos perpendicularmente en las mismas, son capaces de detectar un campo magnético respectivo y proyecciones de campo eléctrico, en la dirección Z. De manera similar, el anillo **305** y el dipolo co-axial **304**, dispuestos perpendicularmente en las mismas, son capaces de detectar un campo magnético respectivo y proyecciones de campo eléctrico, en la dirección Y. Y, el anillo **303** y el dipolo co-axial **306**, dispuestos perpendicularmente en las mismas, son capaces de detectar un campo magnético respectivo y proyecciones de campo eléctrico, en la dirección X.

Las mediciones de las proyecciones de los campos eléctricos y magnéticos a lo largo de los ejes Z, Y y X pueden además utilizarse para el cálculo de las propiedades (incluyendo dirección de propagación) del frente de onda electromagnética (EM), mediante la aplicación del Teorema de Poynting. De acuerdo con este último, un frente de onda electromagnética tiene una relación única entre los componentes de campo eléctrico y magnético en su dirección de propagación por

$$(1) \bar{S} = \frac{1}{2} \bar{E} \times \bar{H}^*$$

en la que \bar{E} y \bar{H} son fasores. Las magnitudes $|\bar{E}|$ y $|\bar{H}|$ son valores pico, y, por lo tanto, los valores RMS son $|\bar{E}|/\sqrt{2}$ y $|\bar{H}|/\sqrt{2}$, respectivamente. El vector \bar{S} da la dirección y el valor RMS del complejo de densidad de flujo de energía. Al conocer los componentes de campo, la dirección de propagación se determina de forma única. Nótese que la dirección de llegada de un frente de onda tal sería determinada como opuesta a la dirección de propagación. Nótese que, en general, la dirección \bar{S} puede ser representada en un sistema de coordenadas dado con origen situado en el punto de medición en un ángulo de azimut (φ) y un ángulo de elevación (θ) en este sistema de coordenadas.

Existe una serie de limitaciones en el sistema representado en la Fig. 3, incluyendo:

- acoplamiento mutuo relativamente alto
- circuitos de alimentación complejos (6 alimentaciones)
- más sensibilidad al campo eléctrico que un campo magnético proporcional correspondiente.

Con referencia a la Fig. 4A, se ilustra una ranura de corte en una estructura generalizada, de acuerdo con la técnica anterior. Como se muestra, una antena de ranura **40** se produce mediante la creación de una ranura delgada de longitud h **41** en una lámina metálica conductora y la alimentación al centro de la ranura (no mostrado). El patrón de radiación de una antena de ranura es idéntico al del dipolo eléctrico de la misma longitud, a excepción de que las orientaciones de los campos E y H son intercambiadas. Esto significa que el dipolo magnético puede ser sustituido por una ranura.

Con referencia a la Fig. 4B, se ilustra esquemáticamente un dispositivo co-situado para medir campos magnéticos y eléctricos (por el uso del concepto especificado de un elemento ranurado), de acuerdo con la técnica anterior. El dispositivo había sido sugerido en primer lugar por Smith et al. para la síntesis de polarización, sin embargo, esta construcción anterior requiere dimensiones estrechas de los elementos en términos de longitud de onda. En otras palabras, la dimensión longitudinal del dispositivo **401** debe ser sustancialmente idéntica a la longitud de onda λ de los campos detectados, y, por lo tanto, debe ser personalizada para cada longitud de onda λ específica del campo detectado. Esta restricción deriva del hecho de que la forma original de los circuitos de alimentación a las ranuras **402** afecta al dipolo eléctrico (acortándolo) a menos que los brazos del dipolo eléctrico **403** sean de media longitud

de onda (λ) cada uno. Nótese que esta desventaja hace que el aparato sea prácticamente inviable para detectar campos a una frecuencia más bien baja (2-30MHz) dado que la última impone un aparato de tamaño muy grande. Considerando también el aparato descrito con referencia a la Fig. 3, existe, por lo tanto, una necesidad en la técnica de proporcionar un nuevo aparato co-situado para determinar la dirección de llegada de un frente de onda electromagnética (EM). El documento US 6 407 702 B1 desvela un aparato como se define en el preámbulo de la reivindicación 1.

Los documentos US 2010/188308 A1 y DE 25 02 376 A1 desvelan antenas que comprenden un par de elementos cilíndricos ranurados separados.

Sumario de la invención

De acuerdo con un aspecto de la materia objeto desvelado en la presente, se proporciona un aparato como se expone en la reivindicación independiente 1. De acuerdo con un aspecto de la materia objeto desvelado en la presente, aún se proporciona además un procedimiento para determinar la dirección de llegada de un frente de onda electromagnética (EM), como se expone en la reivindicación independiente 12.

Breve descripción de las figuras

Con el fin de comprender la invención y considerar cómo se puede llevar a cabo en la práctica, a continuación, se describen realizaciones, sólo a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La **Fig. 1** es una ilustración esquemática de un dispositivo capaz de detectar sólo un campo magnético, de acuerdo con la técnica anterior;

La **Fig. 2** es una ilustración esquemática de un dispositivo capaz de detectar sólo un campo magnético, de acuerdo con la técnica anterior;

La **Fig. 3** ilustra esquemáticamente un dispositivo de co-situado para medir campos magnéticos y eléctricos, de acuerdo con la técnica anterior;

La **Fig. 4A** ilustra un corte de ranura en la estructura generalizada, de acuerdo con la técnica anterior;

La **Fig. 4B** ilustra esquemáticamente un dispositivo co-situado para medir campos magnéticos y eléctricos, de acuerdo con la técnica anterior;

La **Fig. 5A** ilustra elementos de antena eléctricos y magnéticos co-situados esquemáticamente, de acuerdo con cierta realización de la invención;

Las **Figs. 5B-C** ilustran vistas laterales y posteriores respectivas de una disposición de antena de la Fig. 5A;

Las **Figs. 6A-B** ilustran una intensidad de campo eléctrico/magnético detectado como una función de la orientación de la disposición de antena con respecto al eje z;

Las **Figs. 7A-B** ilustran esquemáticamente primeros circuitos pasivos y activos respectivos, para transportar un campo eléctrico detectado, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención;

Las **Figs. 8A-C** ilustran esquemáticamente tres segundos circuitos respectivos, para transportar los campos magnéticos detectados, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención;

La **Fig. 9** ilustra un aparato para medir proyecciones de campo eléctrico y magnético a lo largo de tres ejes perpendiculares diferentes;

La **Fig. 10** ilustra una escena de rescate operacional de ejemplo utilizando, por ejemplo, el aparato de la Fig. 9;

La **Fig. 11** ilustra un aparato de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención;

La **Fig. 12** ilustra dos aparatos acoplados simétricamente a lo largo de un objeto de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención y,

La **Fig. 13** ilustra ocho aparatos acoplados simétricamente a lo largo de un cubo que representa un objeto con alto grado de simetría de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención; y

La **Fig. 14** ilustra un aparato de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención.

Descripción detallada de realizaciones

Se llama ahora la atención a la **Fig. 5A** que ilustra esquemáticamente una antena de dipolos eléctricos y magnéticos co-situada, de acuerdo con una cierta realización de la invención. Como se muestra, una disposición **50** incluye un par de elementos (**51a** y **51b**, respectivamente) co-axiales con capacidad de radiación, dirigidos opuestamente,

separados entre sí. Cada elemento (ya sea **51a** o **51b**) está ranurado a lo largo de toda su extensión (**52a** y **52b**, respectivamente). Un primer circuito 53 está acoplado a la disposición (por este ejemplo al espacio **54** entre los elementos) para detectar una proyección de campo eléctrico a lo largo del eje **55**. El campo detectado es transportado por el primer circuito a un primer terminal de alimentación (no mostrado en la Fig. 5A) y de este a través de un cable co-axial **56** a un aparato de medición (no mostrado en la Fig. 5A). Nótese que los elementos pueden estar conectados, por ejemplo, mecánicamente por conectores no galvánicos (aislantes) (no mostrado en las Figs.).

También se muestra en la Fig. 5A, un segundo circuito que está acoplado a la disposición, por este ejemplo en particular a las ranuras del par de elementos (todo como se describe en más detalle a continuación), para detectar una proyección de campo magnético a lo largo del eje **55**. El campo detectado es transportado por el segundo circuito **58** a un segundo terminal de alimentación y de este, por ejemplo, a través de un cable co-axial a un aparato de medición (no mostrado en la Fig. 5A).

Por el ejemplo específico de la Fig. 5A, el hueco en cada elemento (**51a**, **51b**) incluye un espacio interno que aloja el segundo circuito que incluye un elemento magnético **57** que se extiende a lo largo de al menos una porción principal (l_1) de la extensión longitudinal de la disposición (l_2). De acuerdo con las realizaciones principales, el elemento magnético **57** incluye un bucle de múltiples vueltas **57a** sobre una varilla de ferrita **57b**. Por esta realización, el segundo circuito se acopla a las ranuras de la disposición por acoplamiento no galvánico del elemento magnético **57** (todo como se explica en mayor detalle a continuación). La estructura y operación de un elemento de ejemplo se describe en "Maritime HF DF Antenna Element - Intermediate Report" de Benny Almog, publicado en 2006, en el que el capítulo 2 describe Circuitos Equivalentes, el capítulo 3 describe un Diseño Detallado y el capítulo 4 describe Bobinas de Baja Inductancia.

De acuerdo con ciertas realizaciones, cada elemento (ya sea **51a** o **51b**) está ranurado a lo largo de una porción principal de su extensión longitudinal.

De acuerdo con ciertas realizaciones, cada elemento de dipolo eléctrico es un cilindro hueco.

De acuerdo con ciertas realizaciones, cada elemento de dipolo eléctrico es un polígono hueco que tiene una extensión lateral. En el caso de un polígono de una sección transversal cuadrada (que tiene una extensión lateral l_3), una vista posterior de la disposición se muestra en la Fig. 5B (que representa los elementos **51a** y **51b** y el espacio **54**) y una vista lateral de la misma se muestra en la Fig. 5C (que ilustra también una sección transversal de ranura, por ejemplo **52a**).

Por un ejemplo específico no limitativo, cada elemento de dipolo eléctrico es de 26 cm de largo y tiene una sección transversal cuadrada (4x4cm). El aparato está diseñado para operar en una banda de frecuencia década, en la que la longitud de la disposición es menor que $\lambda_{\text{MIN}} / 10$ (en la que λ_{MIN} corresponde a la frecuencia más alta de la banda de frecuencia).

Nótese que la invención no está limitada por estas especificaciones específicas.

Por el ejemplo específico ilustrado con anterioridad, para una longitud de disposición de 26 cm, $\lambda_{\text{MIN}} = 10$ m ($0,26 < 10/10$) y $f_{\text{MAX}} = 30$ MHz.

De acuerdo con ciertas realizaciones, en la operación, en presencia de un campo eléctrico, el primer circuito detecta la proyección de campo eléctrico desarrollado a lo largo del eje **55** y luego la transmite a un terminal de alimentación (no mostrado) y desde este a través del conector **56** (por ejemplo, cable co-axial) a un aparato receptor conocido *per se* (no mostrado en la Fig. 5). En presencia de un campo magnético, el circuito (por esta realización particular el bucle de múltiples vueltas **57a** sobre una varilla de ferrita **57b**) detecta la proyección de campo magnético acumulado recibida en ambas ranuras (a lo largo del eje especificado **55**) que se transmite a los terminales de alimentación (no mostrado). Luego, la proyección de campo magnético detectado se transporta a través de, por ejemplo, un cable co-axial a un receptor conocido *per se* (no mostrado en la Fig. 5A).

Nótese que la invención no está limitada por la estructura específica de la antena, representada en las Figs. 5A-C. Por ejemplo, se pueden emplear más de un par de elementos.

La proyección de campo eléctrico detectado cumple con E_θ de la ecuación (1) anterior. De manera similar, la proyección de campo magnético detectado cumple con H_θ de la ecuación (2) anterior.

Cabe señalar que la extensión longitudinal de la disposición se refiere a los ejes de la proyección de campo y la extensión lateral se refiere a la sección transversal de la disposición, incluso en aquellas realizaciones donde la extensión lateral es mayor que la extensión longitudinal (por ejemplo, $l_3 > l_2$).

Con referencia a las Figs. 6A-B, se ilustra una intensidad de campo magnético/eléctrico detectado como una función de la orientación de disposición de antena con relación a un eje de interés, por ejemplo, el eje z. Por lo tanto, como se muestra en la Fig. 6A, dependiendo de la orientación de la disposición **50** con relación al eje z (con un ángulo inclinación θ cada vez mayor, véase la abscisa 61) la intensidad de campo eléctrico detectado 62 (véase la ordenada en la Fig. 6A) cae, de manera que cuanto mayor sea el ángulo θ menor es la intensidad de los campos detectados a

lo largo del eje z (en cumplimiento con $\cos(\theta)$). Nótese que el gráfico **63** representa los resultados de prueba en comparación con el valor teórico (gráfico **62**). Un comportamiento correspondiente para la respuesta de campo magnético se representa en la Fig. 6B.

5 Nótese que, de acuerdo con ciertas realizaciones, y en contraste con la técnica anterior, una antena que emplea una disposición de la clase especificada es capaz de detectar una proyección de campo magnético a lo largo del eje especificado y una proyección de campo eléctrico a lo largo del mismo eje, de manera sustancial independientemente de la longitud de onda de dichos campos.

10 De acuerdo con ciertas realizaciones, la longitud de onda (λ) afecta el parámetro k en las ecuaciones especificadas, y en consecuencia la intensidad del campo detectado se ve afectada, de manera que cuanto mayor sea la longitud de onda, menor es el campo detectado.

Nótese que la invención no está sujeta por la arquitectura de la antena como se representa en la Fig. 5A.

15 Con referencia a las Figs. 7A-B, se ilustran, esquemáticamente, primeros circuitos pasivos y activos respectivos, para transportar un campo eléctrico detectado, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención. Por lo tanto, como se muestra en la Fig. 7A, un primer circuito **70** (por ejemplo, acoplado al espacio entre los elementos **70A** y **70B** de la disposición) está compuesto por elementos pasivos (por ejemplo, transformador) **71** y **72** y transmite la proyección de campo eléctrico detectado a un terminal de alimentación **73** y de este a un receptor (no mostrado en la Fig.). Esto puede implementarse, por ejemplo, mediante un Balun conocido *per se*. Un Balun es útil típicamente, aunque no necesariamente, cuando se utiliza un cable co-axial. De acuerdo con el ejemplo de la Fig. 7B, el primer circuito consiste en un elemento activo, por ejemplo, un amplificador diferencial **75** para transportar el campo eléctrico detectado a través del terminal de alimentación **76** a un receptor (no mostrado). Nótese que la invención no está limitada por los ejemplos específicos (por ejemplo, véase también la descripción con referencia a la Fig. 8, a continuación).

Con referencia a las Figs. 8A-C, se ilustran esquemáticamente tres segundos circuitos respectivos, para transportar un campo magnético detectado, de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

25 Volviendo en primer lugar a la Fig. 8A, se ilustra una realización de un segundo circuito. Por lo tanto, la proyección de campo magnético recibida en una ranura **801** de un elemento del par está acoplada (en el centro de la ranura) a la bobina **802**, y de manera similar la proyección de campo magnético recibida en una ranura **803** de otro elemento del par está acoplada (en el centro de la ranura) a la bobina **804** y la energía acumulada recogida por las dos bobinas se acopla en una conexión no galvánica (por ejemplo, inducida) a la bobina **805** y se transporta al receptor por medio de un terminal de alimentación **806** en el que **807** se conecta a tierra.

30 Con referencia a la Fig. 8B, ilustra aún otra realización de un segundo circuito. Por lo tanto, los constituyentes de proyección de energía magnética recibidos en las ranuras **801** y **803** se recogen (de manera no galvánica) de los centros de ranura a las bobinas principales **802** y **804**, respectivamente, y se inducen a una **805** secundaria común y de esta se transmiten a un receptor (no mostrado) a través de terminales de alimentación **806** (en el puerto **807** se conecta a tierra).

35 Volviendo a la Fig. 8C, se ilustra aún otra realización de un segundo circuito. Por lo tanto, el constituyente de proyección de energía magnética recibido en la ranura **801** se transporta desde el centro de ranura a través del terminal de alimentación **806**, mientras que la otra ranura **803** está terminada por una carga en una manera conocida *per se* **808** para simetría. Nótese que teniendo en cuenta que la proyección de campo magnético se detecta a través de un sólo elemento del par, esto obviamente da lugar a una menor sensibilidad que la alternativa de detección de ambos elementos del par.

40 Nótese que la invención no está limitada por las arquitecturas del segundo circuito especificadas. Así, por ejemplo, el uso de un elemento pasivo, como bobinas, en la manera descrita a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a las Figs. 8A-C, no es vinculante. Por otra parte, la aplicación del segundo circuito dentro del espacio de la disposición (por ejemplo, como se representa en la Fig. 5A) o externamente (por ejemplo, como se muestra en las Figs. 8A-C) son únicamente ejemplos y se puede variar dependiendo de la aplicación particular. Así, por ejemplo, cualquiera de las realizaciones descritas con referencia a las Figs. 8A-C puede implementarse dentro del espacio de la disposición, en lugar de externamente.

45 A modo de otro ejemplo, el acoplamiento a las ranuras de una manera acumulada (como es el caso con el circuito de la Fig. 5A) o en un punto determinado (por ejemplo, el centro de la ranura), son únicamente ejemplos no vinculantes del acoplamiento de la energía magnética de las ranuras.

A modo de otro ejemplo, la relación de inducción entre las bobinas principales y secundarias, puede variar dependiendo de la aplicación particular.

50 Por otro ejemplo, mientras que los segundos circuitos descritos con referencia a las Figs. 5 y 8, consisten en elementos pasivos (por ejemplo, bobinas), la invención no está limitada por el ejemplo especificado y, en consecuencia, se pueden utilizar elementos activos, tal como un amplificador, para acoplar la energía magnética y

transportarla al receptor.

Con referencia a la Fig. 9, se ilustra un aparato **90** para medir las proyecciones de campo eléctrico y magnético a lo largo de un sistema de coordenadas cartesianas de tres ejes. Nótese que cada disposición (entre las disposiciones **91-93**) tiene una proyección diferente de cero en un eje respectivo entre los tres ejes. Por lo tanto, una disposición **91** se designa para detectar proyección de campo eléctrico a lo largo del eje Y y una proyección de campo magnético a lo largo del mismo eje. De manera similar, la disposición **92** se designa para detectar proyección de campo eléctrico a lo largo del eje X y una proyección de campo magnético a lo largo del mismo eje, y, asimismo, la disposición **93** se designa para detectar proyección de campo eléctrico a lo largo del eje Z y una proyección de campo magnético a lo largo del mismo eje. Nótese que la invención no está limitada por la estructura de múltiples disposiciones especificada.

Nótese que el sistema de coordenadas cartesianas de tres ejes puede ser cualquier sistema de coordenadas cartesianas de tres ejes deseado o arbitrariamente seleccionado.

El aparato **90** además puede implementarse para el cálculo del vector de Poynting. Los componentes cartesianos de los campos (eléctricos y magnéticos) son proporcionales a las corrientes de los elementos y, por lo tanto, los componentes del vector de Poynting pueden determinarse por:

$$S_x = E_y H_z^* - E_z H_y^* = k_1 k_2 (I_{y_Edipolo} I_{z_Hdipolo}^* - I_{z_Edipolo} I_{y_Hdipolo}^*)$$

$$S_y = E_z H_x^* - E_x H_z^* = k_1 k_2 (I_{z_Edipolo} I_{x_Hdipolo}^* - I_{x_Edipolo} I_{z_Hdipolo}^*)$$

$$S_z = E_x H_y^* - E_y H_x^* = k_1 k_2 (I_{x_Edipolo} I_{y_Hdipolo}^* - I_{y_Edipolo} I_{x_Hdipolo}^*)$$

en las que k_1 y es la proporción entre el campo E alineado con el eje del dipolo eléctrico en su puerto actual y k_2 es la proporción entre el campo H alineado con el eje del dipolo magnético en su puerto actual.

Aún otra manipulación de los datos medidos determina la dirección de propagación del frente de onda general (θ, φ):

$$\varphi = \text{atan} \left(\frac{|S_y|}{|S_x|} \right)$$

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{|S_z|}{\sqrt{|S_x|^2 + |S_y|^2}} \right)$$

Nótese que φ y θ calculados de este modo son las direcciones solicitadas de llegada del frente de onda electromagnética (EM).

De acuerdo con ciertas realizaciones, el aparato **90** puede utilizar las proyecciones de campo eléctrico a lo largo de los ejes X, Y y Z para representar de forma exclusiva el vector de polarización de frente de onda EM (es decir, la dirección del campo eléctrico) marcado por \vec{E} en la Fig. 9 en un sistema de coordenadas cartesianas. El vector también puede representarse en un sistema de coordenadas diferente de una manera conocida *per se*.

La Fig. 10 ilustra una escena de rescate operacional de ejemplo utilizando, por ejemplo, el aparato de la Fig. 9. Así, por ejemplo, una tripulación (no mostrado) atrapada en un barco que se hunde **1000** transmite en la frecuencia de socorro internacional (2,181MHz) una señal de SOS que se propaga radialmente desde el barco. Un helicóptero de rescate **1002** equipado con el aparato **1003** de la Fig. 9 (mostrada de forma ampliada y detallada) merodea sobre el área de desastre en un intento de localizar la tripulación atrapada. Cierta energía del frente de onda electromagnética que se propaga radialmente incide en el aparato de **1003**. Esta incidencia de un frente de onda electromagnética se propaga a lo largo de la línea imaginaria **1001** que conecta el barco **1000** y el aparato **1003**. El aparato resuelve que φ y θ representan una dirección de llegada **1005** (opuesta a la dirección de propagación **1001**), guiando al helicóptero de rescate hacia el barco que se hunde. Otra implementación no limitativa del aparato es en una aplicación de suelo estacionario. Así, por ejemplo, el aparato de la Fig. 9 puede instalarse sobre un mástil (o una pluralidad de mástiles, sea cual sea el caso) y proporcionar un área de cobertura de mediciones de recepción que puede supervisar el uso de una frecuencia indebida que viola la licencia de uso del intervalo de frecuencia autorizada (por ejemplo, una estación de emisión de radio pirata).

Por supuesto, la invención no está limitada por estos ejemplos particulares.

Si bien en la Fig. 9 las disposiciones estaban dispuestas perpendicularmente entre sí, la invención no está limitada por esta configuración. Por lo tanto, la Fig. 11 ilustra un aparato de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención, en las que la disposición **1101** de la Fig. 11 no está dispuesta perpendicularmente a la disposición **1102**.
 5 Nótese que dicha disposición **1101** no sólo tiene proyección en un eje (1103), sino que también en un eje adicional (**1104**). Aquellos con experiencia en la técnica apreciarán fácilmente que mientras que la Fig. 11 demuestra la disposición no perpendicular de dos disposiciones dadas, la relación no perpendicular se puede aplicar a cualquiera de los dos o incluso tres disposiciones dadas.

Además, cabe señalar que, si bien en la Fig. 11 la disposición **1101** tiene proyecciones diferentes de cero en dos ejes, esta característica puede aplicarse a cualquier otra disposición en lugar de o además de la disposición especificada **1101**. Cabe señalar que en ciertas otras realizaciones al menos una de las disposiciones puede tener proyecciones diferentes de cero en la totalidad de los tres ejes.

Nótese que, en ciertas realizaciones, cada una de dichas disposiciones está separada con respecto al origen de un sistema cartesiano arbitrario a una distancia respectiva que está en el intervalo de 0 a λ_{MIN} , en el que λ_{MIN} corresponde a la frecuencia más alta de una banda de frecuencia década.

Si bien cada una de las Figs. 9 y 11 describe un único aparato, una realización puede incluir una pluralidad de tales aparatos. Un ejemplo no limitante que utiliza más de un aparato se describe con referencia a la Fig. 12 en el que los aparatos están instalados (**1201,1202**) sustancialmente de forma simétrica sobre un objeto sustancialmente simétrico **1200** (por ejemplo, un prisma que tiene un plano de simetría (**1203**) para determinar independientemente propiedades del frente de onda EM tal como dirección y polarización (denominados resultados). El prisma y los dos aparatos también se muestran para mayor claridad (y para fines ilustrativos solamente, es decir, las dimensiones geométricas no son exactas) en vistas laterales **1204**, frontales **1205** y en planta **1206**. Nótese que la instalación de los aparatos se puede lograr por su acoplamiento al objeto, por ejemplo, a través de un conector no galvánico conocido *per se* (no mostrado en la Fig.). Los resultados direccionales/de polarización resueltos de forma independiente en los aspectos de cada uno de los aparatos, se pueden combinar, por ejemplo, por la aplicación de un promedio para determinar un resultado combinado. Nótese que la utilización de dos o más aparatos de acuerdo con la invención no está limitada por las restricciones simétricas especificadas. Nótese que, por la presente realización, cada aparato puede estar compuesto por tres disposiciones ortogonales (en la que cada disposición es del tipo descrito a modo de ejemplo como **50** en la Fig. 5A). Por lo tanto, con el fin de resolver el resultado especificado para el aparato **1201** se requiere obtener para cada una de las tres disposiciones ortogonales tanto la proyección de campo eléctrico como la proyección de campo magnético (véase **53** y **58**, respectivamente, de la Fig. 5A), a saber 6 mediciones por aparato y en conjunto 12 mediciones para ambos aparatos **1201** y **1202**.

De acuerdo con ciertas realizaciones, el número de mediciones puede reducirse a 6 mediciones combinadas (en lugar de 12) para resolver el resultado combinado especificado. Más específicamente, y volviendo nuevamente a la Fig. 12, los aparatos (**1201, 1202**) están acoplados de forma sustancialmente simétrica sobre un objeto sustancialmente simétrico **1200** (que tiene un plano simétrico **1203**) de una manera que mantiene sustancialmente el plano de simetría original **1203** cuando se considera la estructura consolidada que está compuesta por el objeto (por ejemplo, **1200**) y los aparatos (**1201** y **1202**).

Por lo tanto, con el fin de resolver el resultado combinado especificado, las proyecciones de campo eléctrico **53** de las disposiciones del eje Z (del aparato **1201** y **1202**) se combinan a través de un combinador (no mostrado en la Fig. 12). De manera similar, se pueden combinar las proyecciones de campo magnético **58** de las disposiciones del eje Z (del aparato **1201** y **1202**). En una manera similar, las proyecciones de campos eléctricos y magnéticos se combinan para las disposiciones del eje Y (del aparato **1201** y **1202**), así como para las disposiciones del eje X (del aparato **1201** y **1202**), dando lugar a sólo 6 mediciones (es decir, tres proyecciones combinadas de campo eléctrico y tres proyecciones combinadas de campo magnético) para ambos aparatos **1201** y **1202**.

Nótese que, de acuerdo con ciertas realizaciones, la combinación aplicada en las disposiciones del eje Y consiste en una resta, mientras que la combinación aplicada para las combinaciones del eje Z y eje X consiste en una suma. Nótese que la invención no está en ningún modo limitada por la forma de combinación especificada.

Si bien la descripción se realiza con referencia a la Fig. 12, con referencia a un objeto prismático, aquellos con experiencia en la técnica apreciarán fácilmente que la invención no está limitada por esta forma geométrica particular.

De acuerdo con ciertas realizaciones puede haber más de dos aparatos acoplados al objeto. Se llama ahora la atención a la Fig. 13, que ilustra ocho aparatos acoplados de forma sustancialmente simétrica a lo largo de un cubo que representa un objeto con planos más simétricos. Nótese que la descripción a continuación se refiere a un objeto cúbico solamente con fines ilustrativos y que la invención no está en ningún modo limitada a la forma de cubo. Cabe señalar, además, que para un objeto cúbico puede haber escenarios en los que se utilizan solamente dos aparatos como se describe en detalle con referencia a la Fig. 12 con anterioridad.

Por lo tanto, un primer par **1301,1302** de aparatos se combina para dar lugar a 6 mediciones combinadas (como se

- describe con anterioridad con referencia a la Fig. 12). En una manera similar, un segundo (**1303,1304**) tercero (**1305** y otro aparato no mostrados) y cuarto par (**1307,1308**) se combinan cada uno a 6 mediciones combinadas respectivas. Luego, las 24 mediciones combinadas así obtenidas pueden adicionalmente combinarse, por ejemplo, mediante la combinación de las mediciones combinadas del primer par con las del segundo par y las del tercer par con las del cuarto par, dando lugar a sólo 12 mediciones combinadas, que a su vez pueden también combinarse para dar lugar a sólo 6 mediciones combinadas de la que se resuelve el resultado combinado (es decir, al menos la dirección). Nótese que en el caso de que cada aparato comprende menos de tres disposiciones (como se ilustra, por ejemplo, con referencia a la Fig. 14), la combinación de las proyecciones de campo eléctrico y magnético aplica *mutatis mutandis*.
- 5
- 10 Con referencia a la Fig. 14, se ilustra un aparato de acuerdo con ciertas otras realizaciones de la invención. Cada aparato en una realización de este tipo puede ser completo (es decir, que incluye tres disposiciones no coincidentes con proyecciones diferentes de cero en un eje cartesiano) o parcial a condición de que haya al menos una disposición de proyección diferente de cero en cualquier eje cartesiano. En la Fig. 14 cada aparato 1401, 1402 y 1403 incluye menos de tres disposiciones no coincidentes con proyecciones diferentes de cero en un sistema de coordenadas cartesianas, sin embargo, en general hay al menos una disposición de proyección diferente de cero para el eje del sistema de coordenadas cartesianas.
- 15

La materia objeto de la presente invención se ha descrito con un cierto grado de particularidad, pero aquellos con experiencia en la técnica apreciarán fácilmente que la invención no está así limitada. Numerosas modificaciones, cambios y mejoras son posibles dentro del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

20

REIVINDICACIONES

1. Un aparato, que comprende:

al menos dos disposiciones no coincidentes dispuestas en un sistema de coordenadas cartesianas de al menos dos ejes de tal manera que cada disposición tiene una proyección diferente de cero sobre un eje respectivo entre dichos al menos dos ejes; **caracterizado porque** cada una de dichas disposiciones incluye al menos un par de elementos (51a, 51b) co-axiales con capacidad de radiación, dirigidos opuestamente, separados entre sí que se extienden a lo largo de un tercer eje (55), cada uno de dichos elementos es hueco con espacio interno, y está ranurado a lo largo de toda su extensión longitudinal; un primer circuito (53) acoplado a dicha disposición y que está configurado para detectar una proyección de campo eléctrico a lo largo de dicho tercer eje y para transmitirla a un primer terminal de alimentación;

un segundo circuito (58) acoplado a al menos una ranura de dicha disposición que incluye elementos pasivos que incluyen al menos un elemento magnético (57) alojado dentro de los espacios internos de dicho al menos un par de elementos co-axiales con capacidad de radiación y que se extiende a lo largo de una porción principal de la extensión longitudinal de los elementos en el que dicho elemento magnético incluye un bucle de múltiples vueltas (57a) sobre una barra de ferrita (57b); dicho segundo circuito está configurado para detectar una proyección de campo magnético a lo largo de dicho tercer eje y para transmitirla a un segundo terminal de alimentación; cada uno de dichas disposiciones tiene una primera dimensión longitudinal y es capaz de detectar una proyección de campo magnético a lo largo de dicho tercer eje y una proyección de campo eléctrico a lo largo de dicho tercer eje en una banda de frecuencia década en el que la primera dimensión longitudinal es menor que $\lambda_{\text{MIN}} / 10$ y en el que λ_{MIN} corresponde a la frecuencia más alta de dicha banda de frecuencia.

2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada elemento en cualquiera de dichas disposiciones es un cilindro hueco ranurado a lo largo de toda su extensión longitudinal.

3. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada elemento es un polígono hueco ranurado a lo largo de toda su extensión longitudinal.

4. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una de dichas disposiciones tiene una proyección diferente de cero sobre un eje adicional entre dichos al menos dos ejes.

5. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas disposiciones están dispuestas perpendicularmente entre sí.

6. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de dichas disposiciones está separada con respecto al origen de dicho sistema cartesiano a una distancia respectiva que está en el intervalo de 0 a λ_{MIN} , donde λ_{MIN} corresponde a la frecuencia más alta de una banda de frecuencia década.

7. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para determinar la dirección de llegada de un frente de onda electromagnética (EM).

8. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para determinar la polarización de un frente de onda electromagnética (EM).

9. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende tres disposiciones no coincidentes dispuestas en un sistema de coordenadas cartesianas de tres ejes de manera que cada disposición tiene una proyección diferente de cero sobre un eje respectivo entre dichos tres ejes.

10. Un sistema que incluye al menos un par de aparatos, estando construido cada aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, cada uno de dicho par de aparatos se acopla sustancialmente de forma simétrica sobre un objeto sustancialmente simétrico que tiene al menos un plano de simetría en una manera que mantiene sustancialmente el plano de simetría original de dicho objeto cuando se considera una estructura consolidada que está compuesta por el objeto y el par de aparatos.

11. El sistema de la reivindicación 10, en el que la medición de proyección de campo eléctrico de cada disposición de un primer aparato de dicho par se combina con la medición de proyección de campo eléctrico de una disposición correspondiente del segundo aparato de dicho par, dando lugar a mediciones de proyección de campo eléctrico combinadas respectivamente; y en el que la medición de proyección de campo magnético de cada disposición del primer aparato se combina con la medición de proyección de campo magnético de una disposición correspondiente del segundo aparato, dando lugar a mediciones de proyección de campo magnético combinadas respectivamente.

12. Un procedimiento para determinar la dirección de llegada de un frente de onda electromagnética (EM), que comprende

(i) proporcionar al menos dos disposiciones no coincidentes dispuestas en un sistema de coordenadas cartesianas de al menos dos ejes de tal manera que cada disposición tiene una proyección diferente de cero sobre un eje respectivo entre dichos al menos dos ejes; **caracterizado porque**

5 cada una de dichas disposiciones incluye al menos un par de elementos co-axiales con capacidad de radiación, dirigidos opuestamente, separados entre sí que se extienden a lo largo de un tercer eje (55),

10 cada uno de dichos elementos es hueco con espacio interno, y está ranurado a lo largo de toda su extensión longitudinal; un primer circuito acoplado a dicha disposición y un segundo circuito acoplado a al menos una ranura de dicha disposición; dicho segundo circuito incluye elementos pasivos que incluyen al menos un elemento magnético alojado dentro de los espacios internos de dicho al menos un par de elementos co-axiales con capacidad de radiación y que se extienden a lo largo de una porción principal de la extensión longitudinal de los elementos en el que dicho elemento magnético incluye un bucle de múltiples vueltas sobre una varilla de ferrita;

15 (ii) utilizar dicho primer circuito para detectar una proyección de campo eléctrico a lo largo de dicho tercer eje y para transmitirla a un primer terminal de alimentación;

(iii) utilizar dicho segundo circuito para detectar una proyección de campo magnético a lo largo de dicho tercer eje y para transmitirla a un segundo terminal de alimentación; y

(iv) utilizar dichas al menos dos disposiciones para determinar la dirección de llegada de un frente de onda electromagnética (EM),

20 en el que cada disposición tiene una primera dimensión longitudinal y es capaz de detectar una proyección de campo magnético a lo largo de dicho tercer eje y una proyección de campo eléctrico a lo largo de dicho tercer eje en una banda de frecuencia década donde dicha primera dimensión longitudinal es menor que $\lambda_{\text{MIN}} / 10$ y donde λ_{MIN} corresponde a la frecuencia más alta de dicha banda de frecuencia.

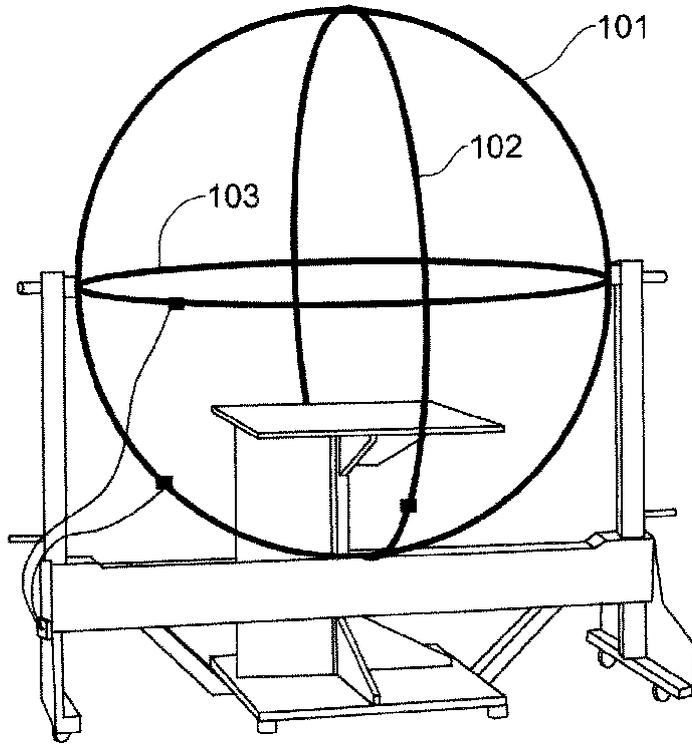


FIG. 1

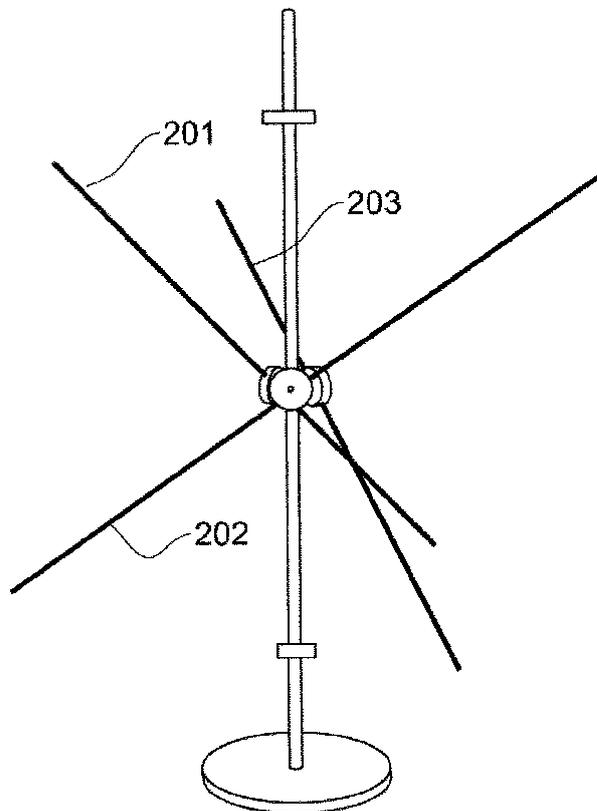


FIG. 2

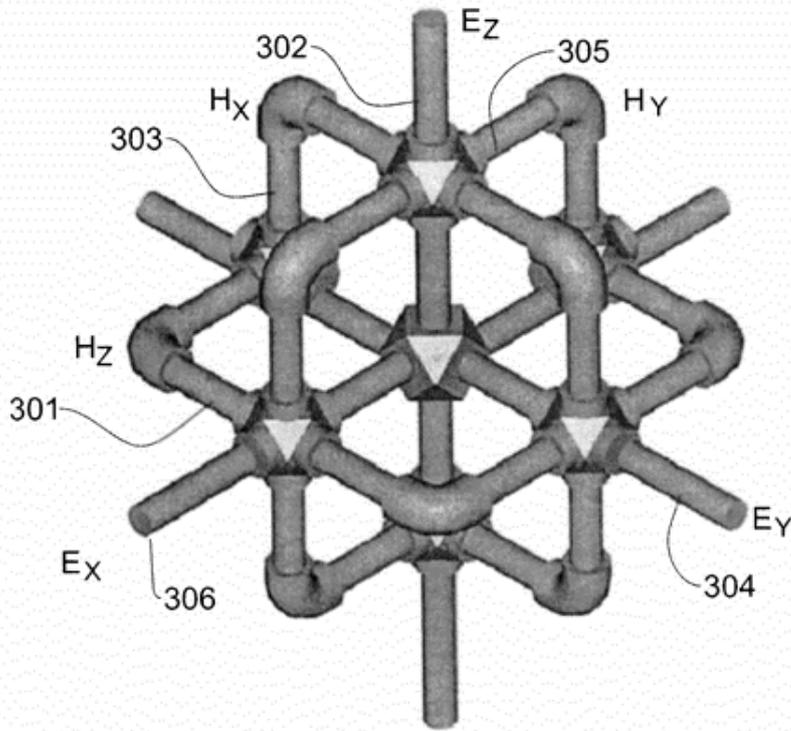


FIG. 3

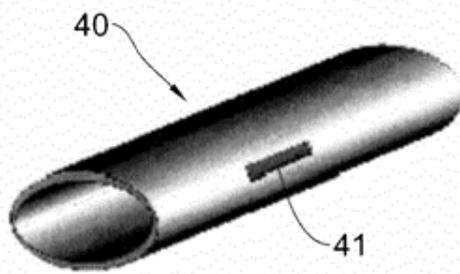


FIG. 4A

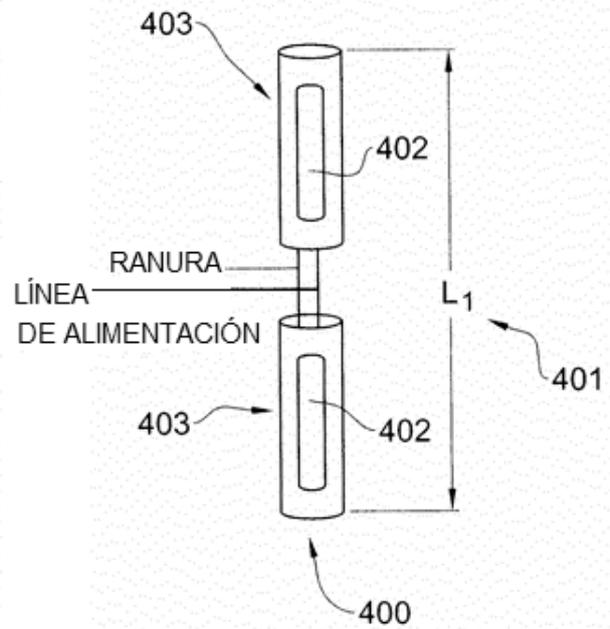


FIG. 4B

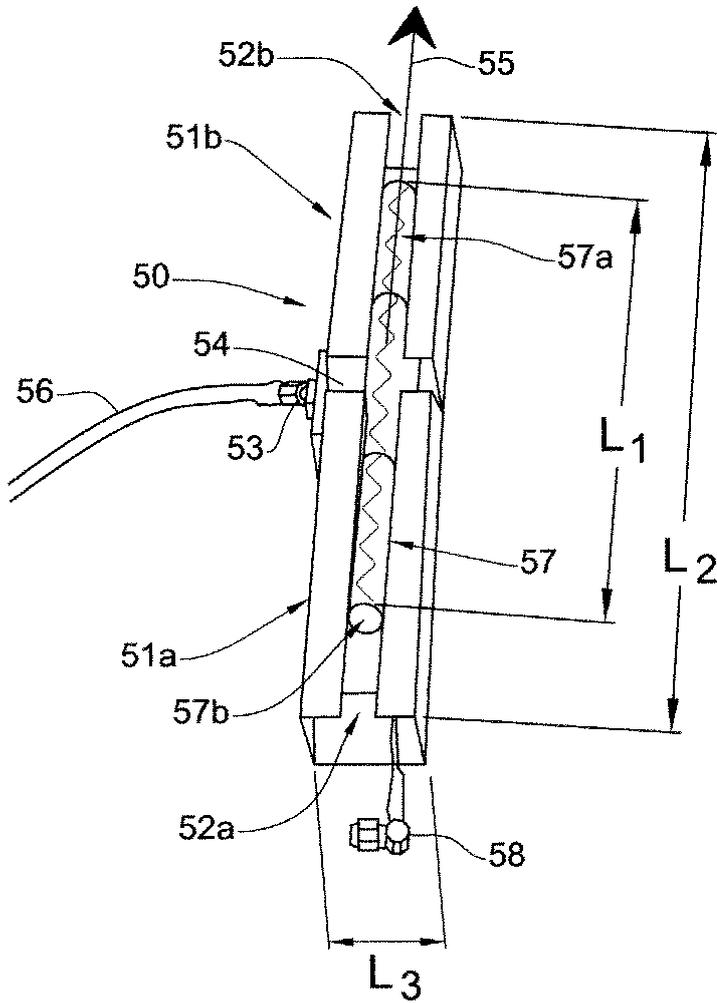


FIG. 5A

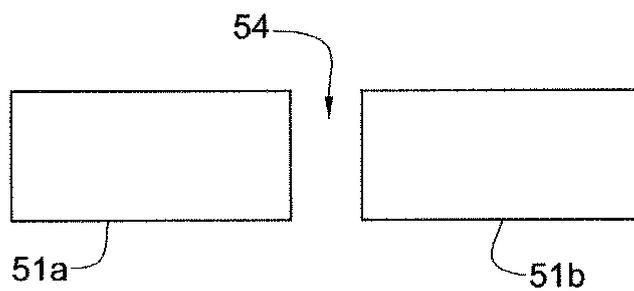


FIG. 5B



FIG. 5C

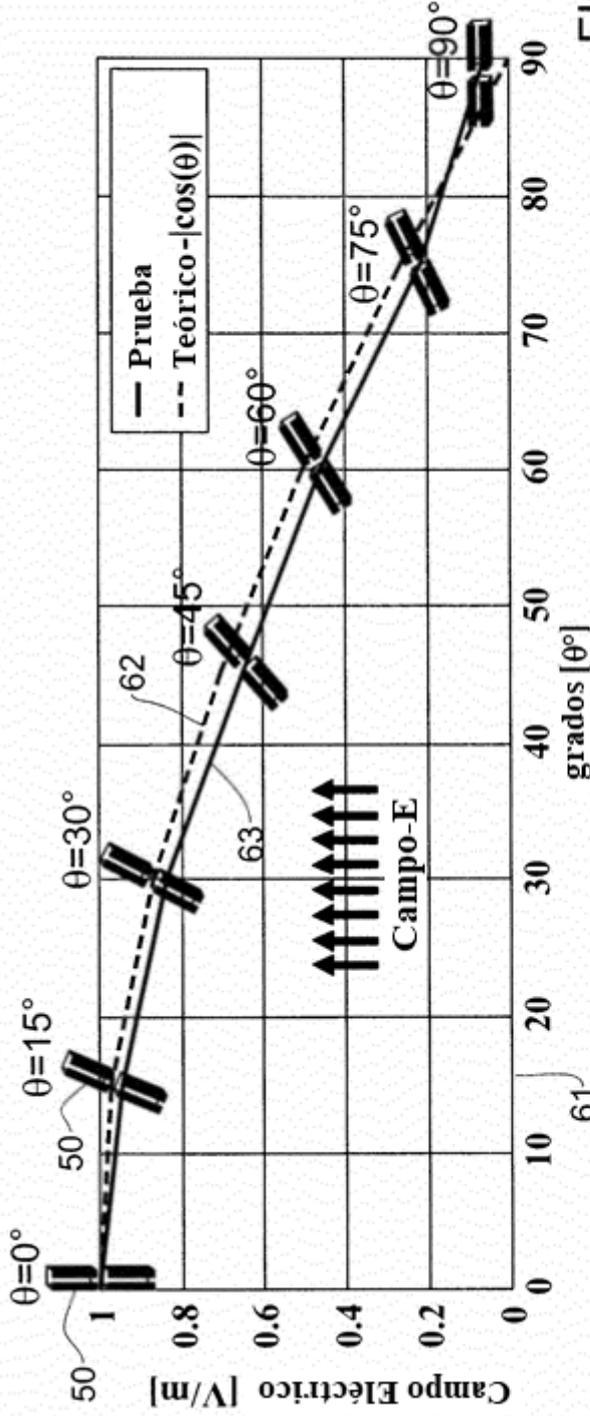


FIG. 6A

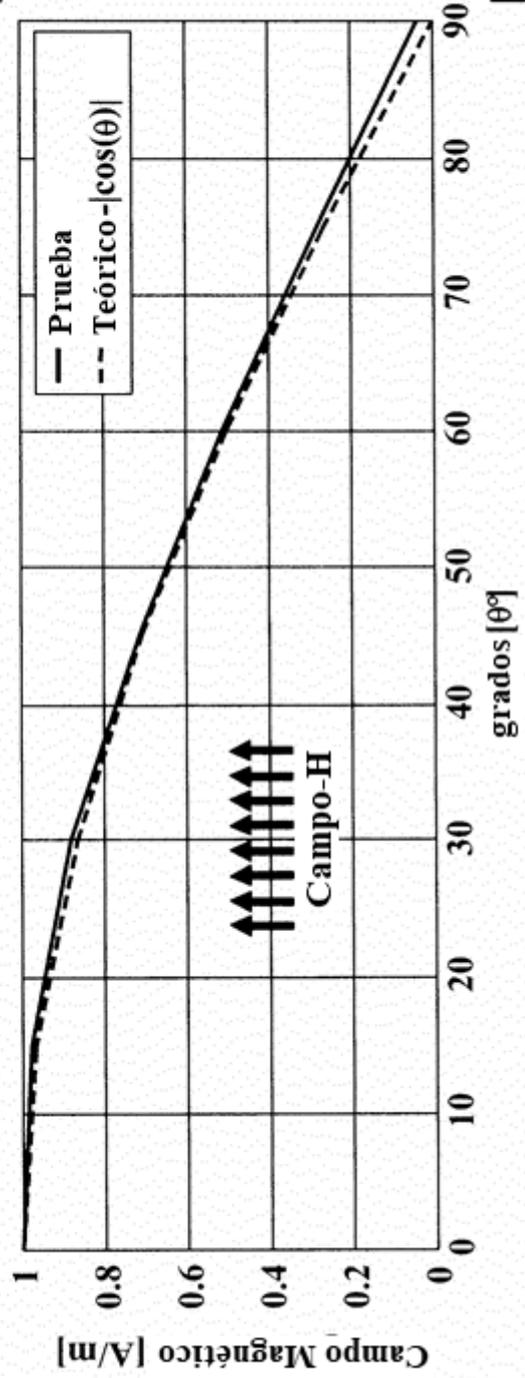


FIG. 6B

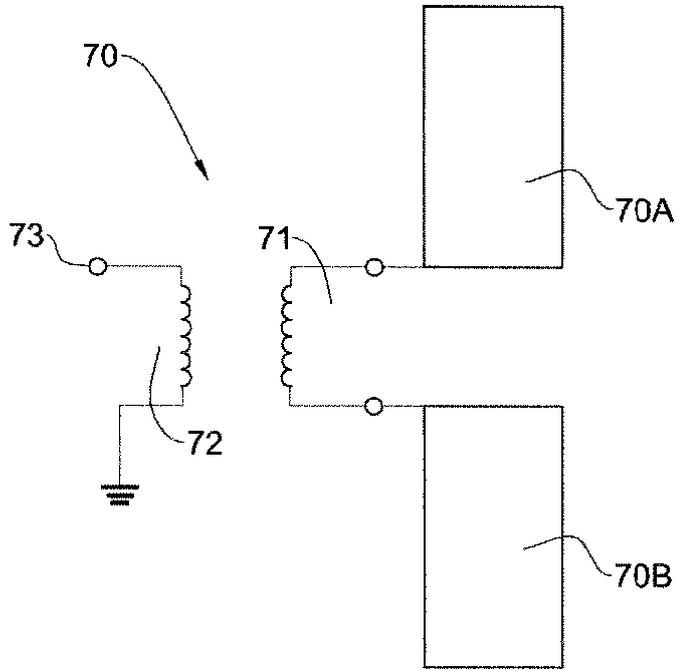


FIG. 7A

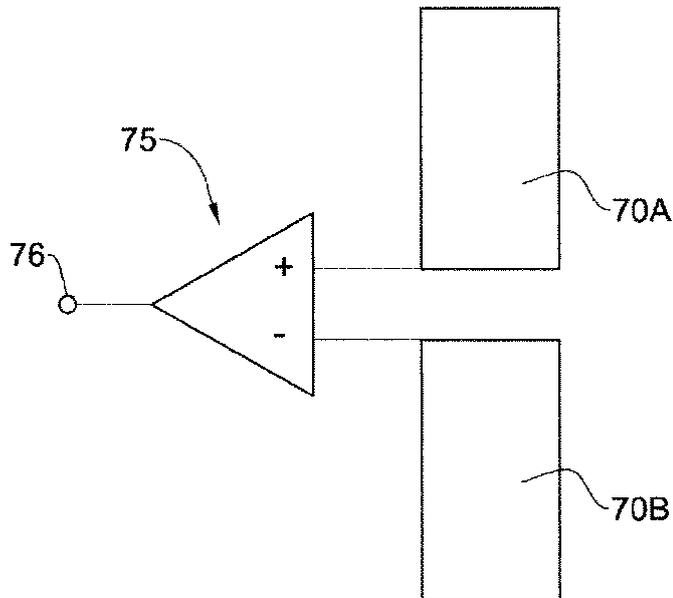


FIG. 7B

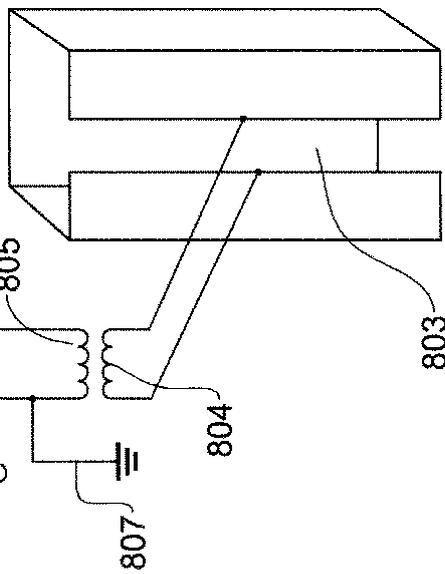
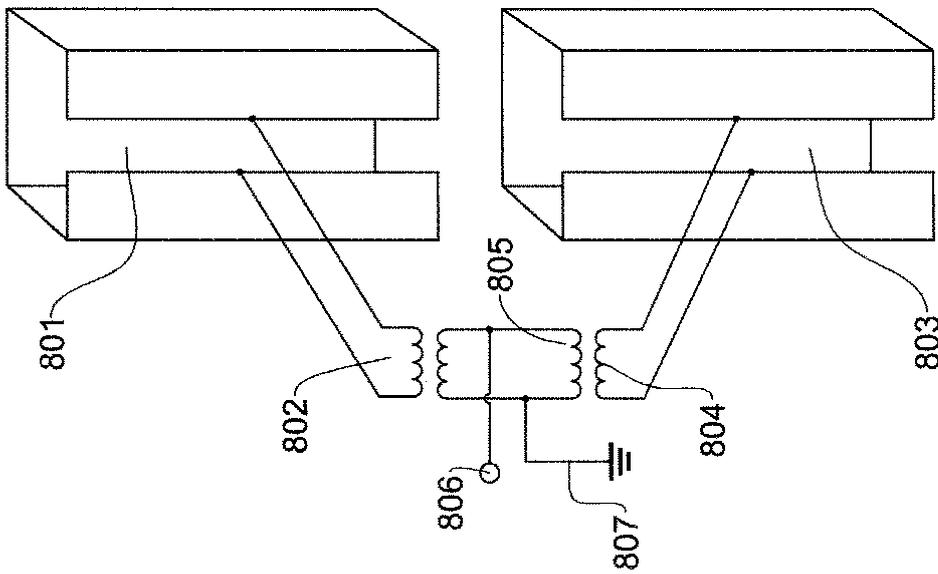
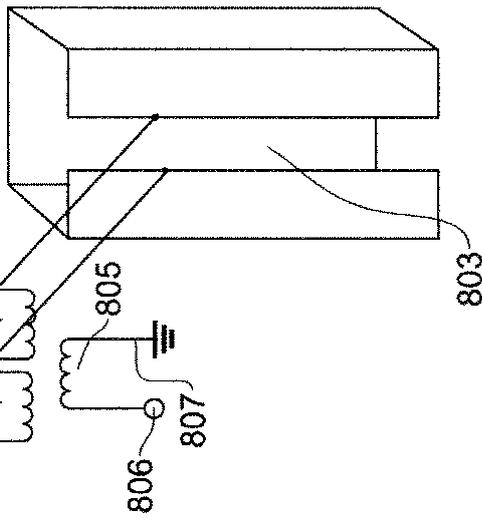
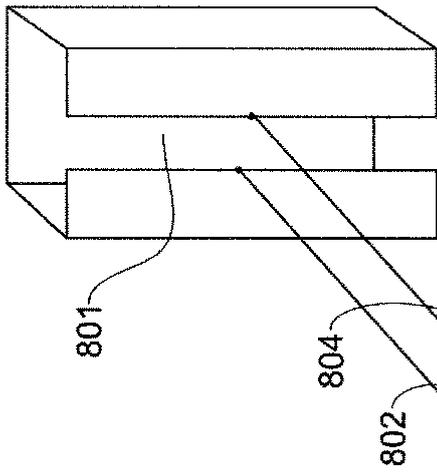
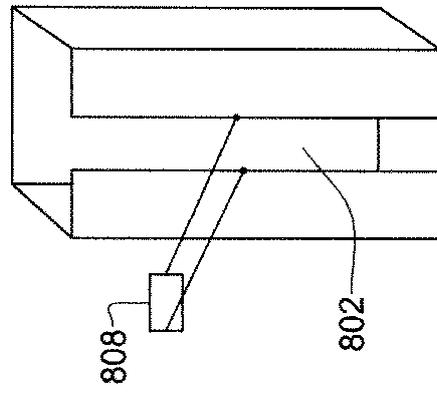
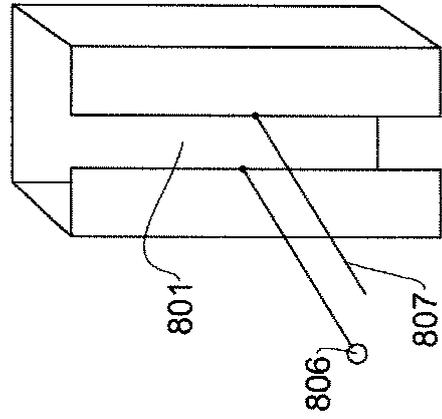


FIG. 8C

FIG. 8B

FIG. 8A

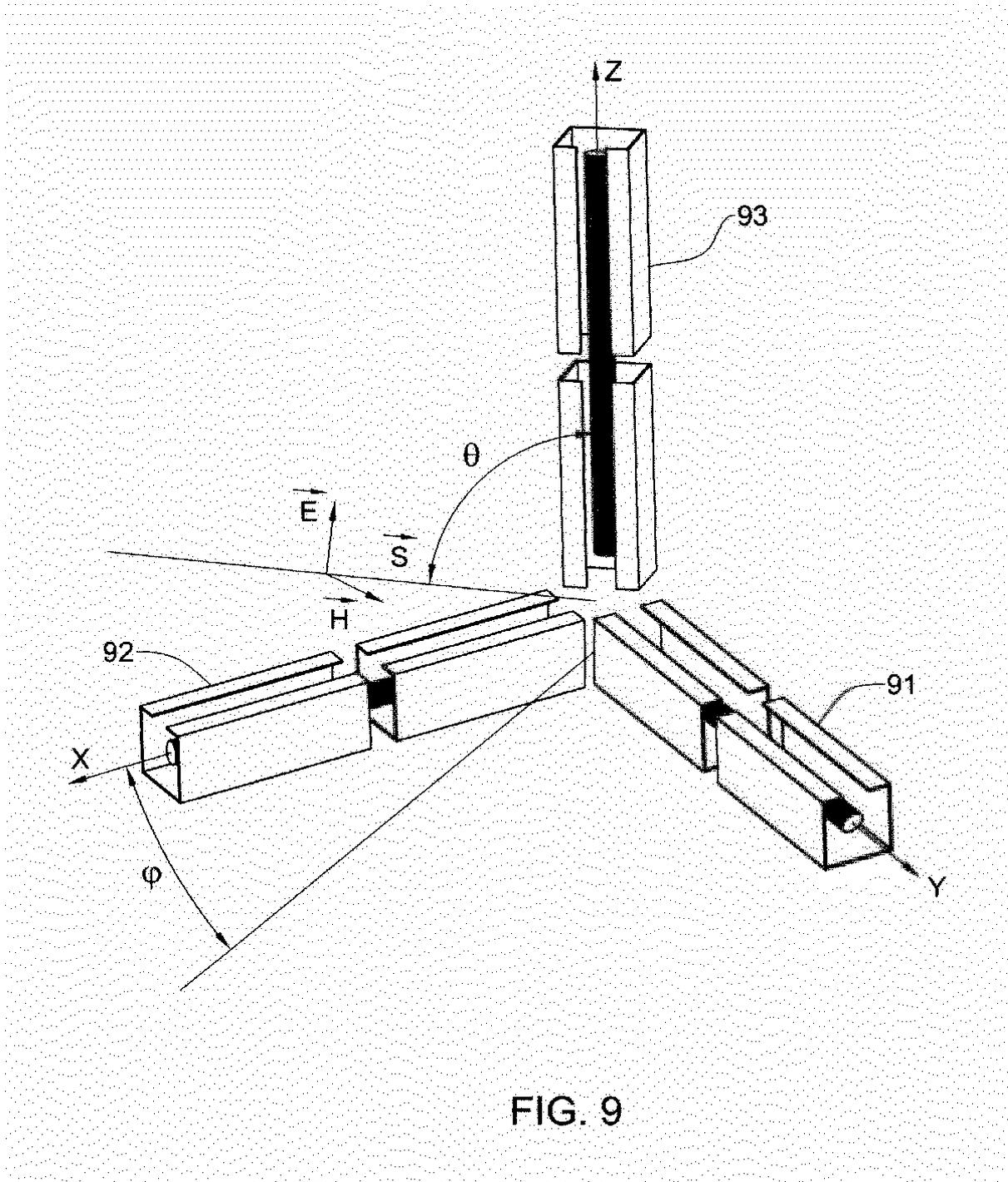


FIG. 9

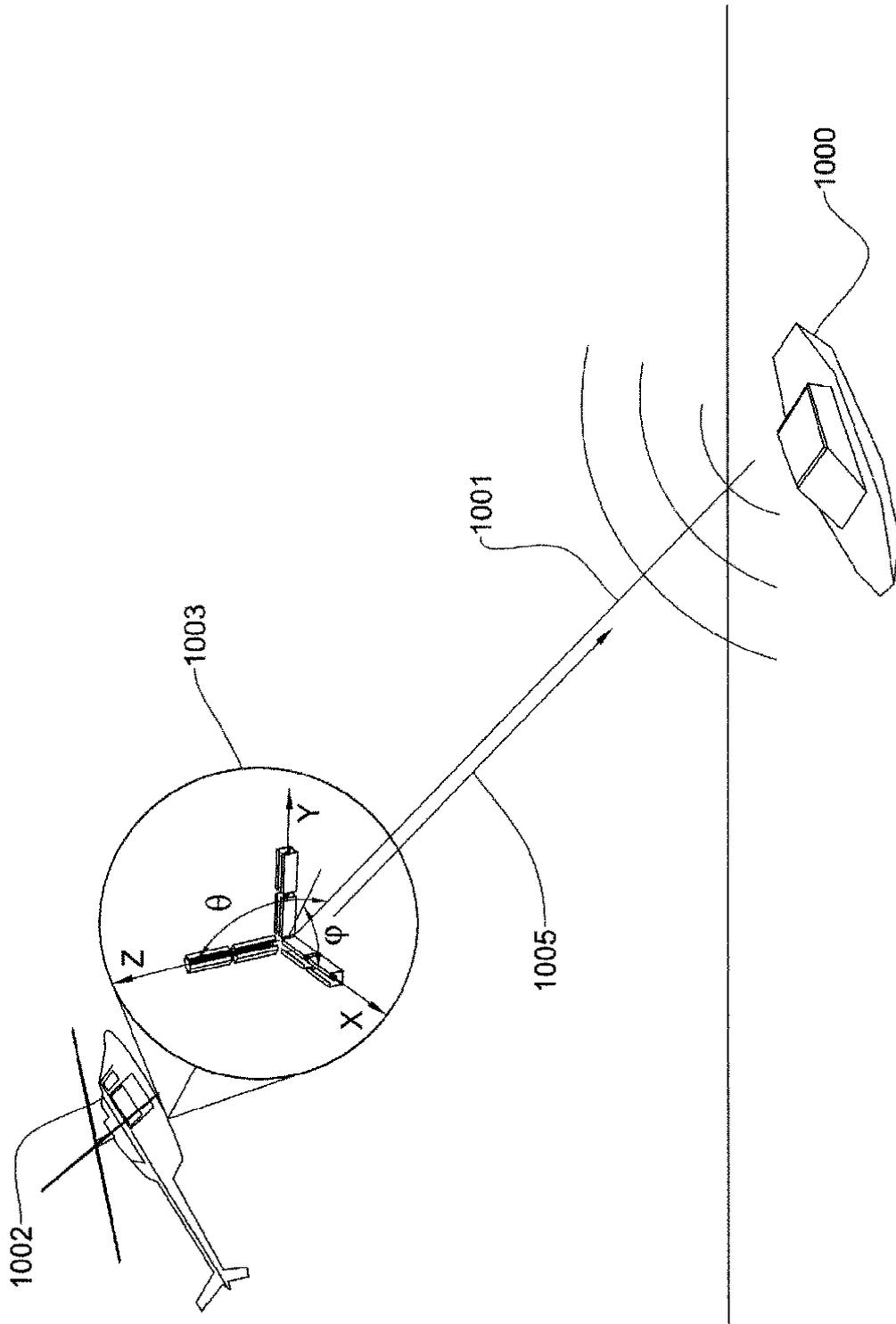


FIG. 10

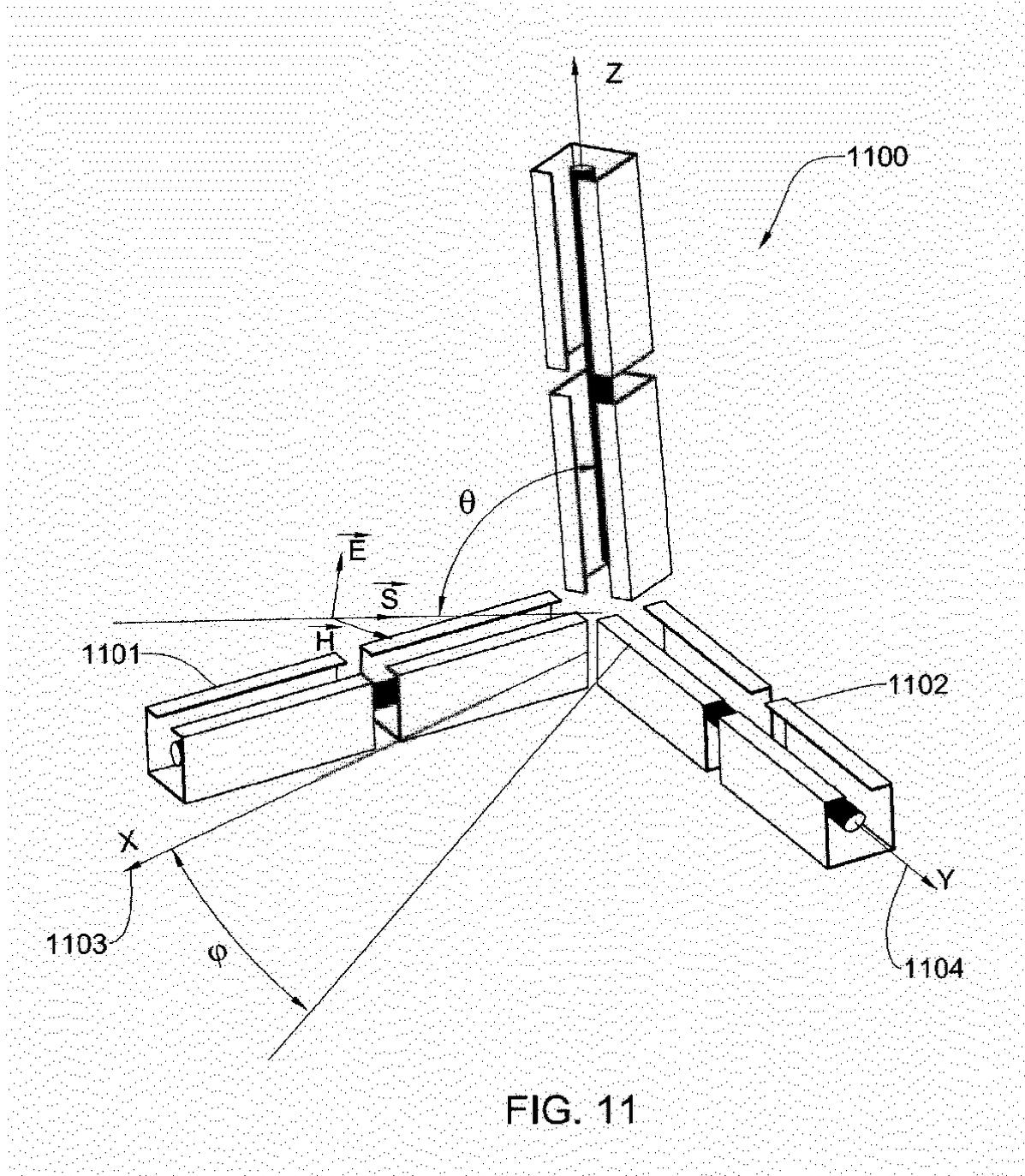


FIG. 11

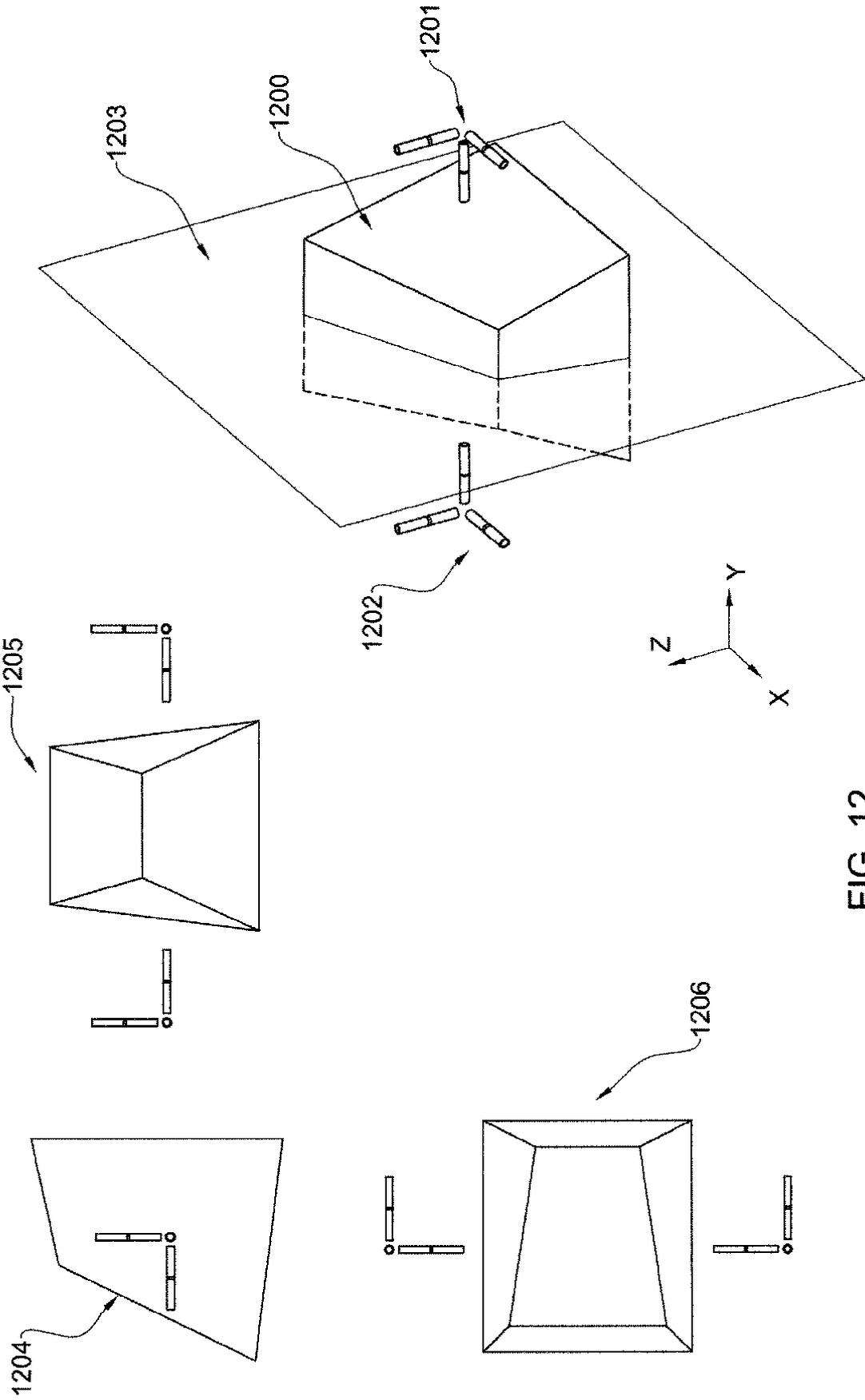


FIG. 12

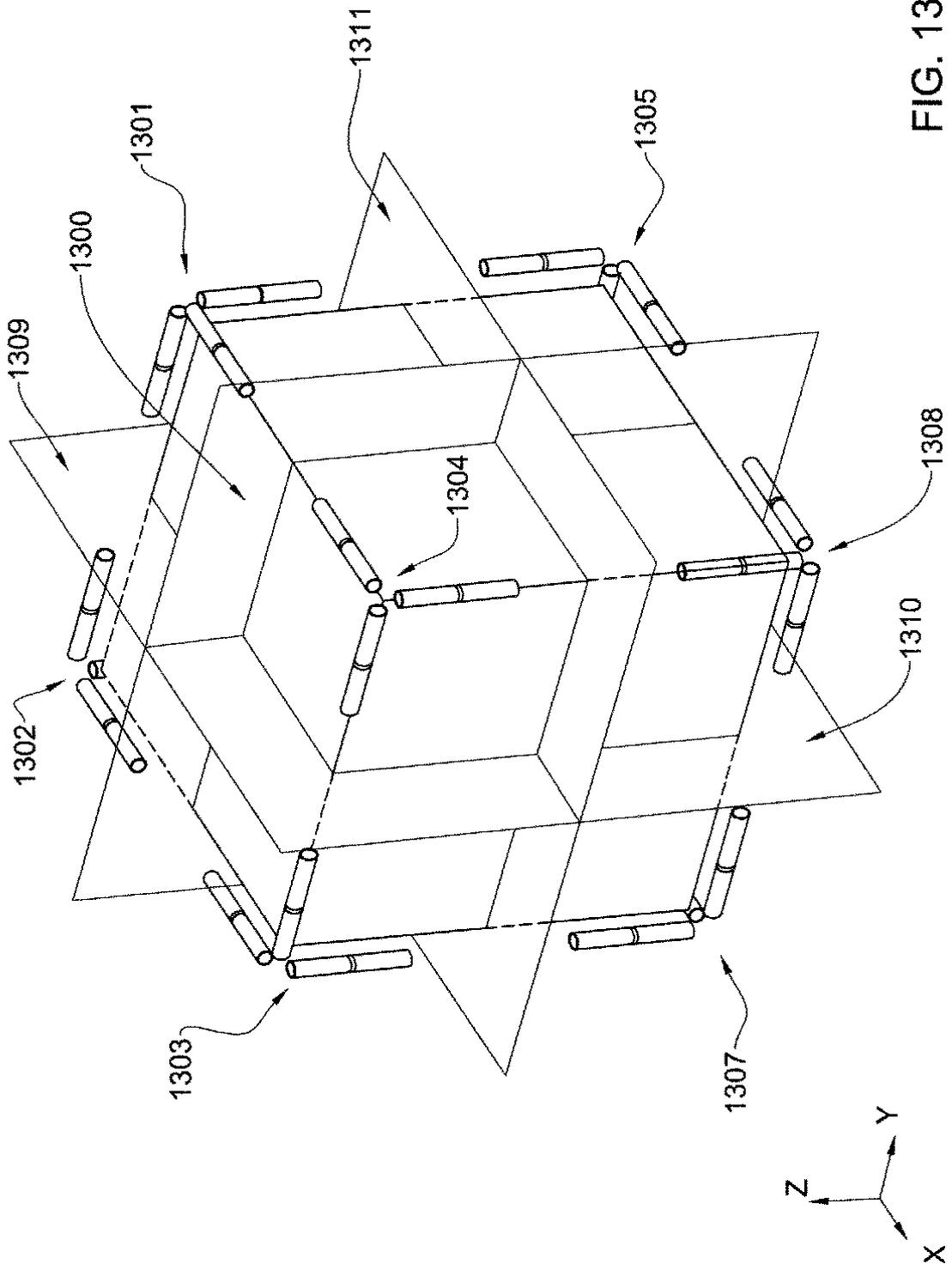


FIG. 13

