

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 967**

51 Int. Cl.:

A61B 5/05 (2006.01)

G01R 33/12 (2006.01)

G01R 33/38 (2006.01)

G01R 33/383 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2018 E 18171932 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3400869**

54 Título: **Dispositivo de formación de imágenes de partículas magnéticas (MPI)**

30 Prioridad:

12.05.2017 IT 201700051917

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

19.06.2020

73 Titular/es:

**MASMEC S.P.A. (100.0%)
Via dei Gigli 21
70026 Modugno, IT**

72 Inventor/es:

LARIZZA, PIETRO

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 767 967 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

Dispositivo de formación de imágenes de partículas magnéticas (MPI)

5 La presente invención se refiere a un dispositivo MPI (Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas).

La tecnología de formación de imágenes de partículas magnéticas fue presentada por primera vez en 205 por los autores Gleich y Weizenecker (B. Gleich, y R. Weizenecker) en "Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles", Nature, 435 (2005), páginas 1214-1217).

10 Algunos prototipos de dispositivos de formación de imágenes han sido desarrollados ahora del tipo que comprende un primer sistema de control magnético configurado para generar un campo magnético de baja frecuencia en un dispositivo de medición tridimensional y para obtener, dentro de dicho espacio tridimensional, el movimiento a lo largo de tres ejes X, Y y Z de un punto, en el que el campo tiene un valor inferior a un valor umbral. El dispositivo de formación de imágenes MPI comprende, además, un segundo sistema de excitación magnética adaptado para generar un campo magnético pulsátil de alta frecuencia dentro de este punto para excitar micropartículas de óxido de hierro inyectadas en el sistema circulatorio de un paciente que tiene una porción de su cuerpo posicionada en dicho espacio de medición tridimensional. El análisis MPI emplea también un sistema de antena adaptado para detectar la respuesta de micropartículas de óxido de hierro.

20 Analizando la señal detectada por la antena es posible actualmente mapear una imagen tridimensional de porciones del cuerpo humano permeadas por vasos sanguíneos, puesto que la porción del cuerpo, en la que están presentes vasos sanguíneos, corresponde a la porción del cuerpo, en la que las micropartículas de óxido de hierro oscilan debido a la excitación magnética de alta frecuencia. Las micropartículas de óxido de hierro fuera del punto no pueden oscilar a alta frecuencia, ya que son polarizadas por el campo magnético fuerte producido por el sistema de control magnético.

25 Hasta ahora, los dispositivos de formación de imágenes experimentales propuestos proporcionan un espacio de medición que está totalmente rodeado por sistemas de deflexión magnética que permiten el acceso al paciente, imposible cuando está posicionado, total o parcialmente, dentro del espacio de medición.

30 El documento US20157008910 describe un dispositivo de Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas.

35 La presente invención está destinada para resolver el problema técnico mencionado anteriormente.

El problema técnico se soluciona por la presente invención en tanto que se refiere a un dispositivo de Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas, que comprende un primer sistema de control magnético configurado para generar un campo magnético dentro de un espacio de medición tridimensional y para obtener, dentro de este espacio tridimensional, el movimiento en tres direcciones X, Y y Z de un punto, en donde el campo tiene un valor inferior a un umbral, comprendiendo, además, dicho dispositivo de Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas un segundo sistema de excitación magnética configurado para generar un campo magnético pulsátil dentro de dicho punto para excitar micropartículas de óxido de hierro inyectadas en el sistema circulatorio de un paciente que tiene una porción de su cuerpo posicionada en dicho espacio de medición tridimensional, en donde dicho sistema de control comprende; un primer imán permanente inferior en forma de paralelepípedo; un segundo imán permanente superior en forma de paralelepípedo espaciado aparte del primer imán en la dirección vertical Z, teniendo el primer imán permanente y el segundo imán permanente unos polos dirigidos mutuamente, ejes magnéticos coaxiales y estando dispuestos sobre lados opuestos del espacio de medición tridimensional; una primera pareja de primero y segundo electroimanes dispuestos, respectivamente, frente a una primera y una segunda caras laterales del primer imán permanente inferior, estando dispuestas la primera y la segunda caras laterales sobre lados opuestos del primer imán permanente en forma de paralelepípedo, estando configurada dicha primera pareja de electroimanes para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de una primera dirección espacial; y una segunda pareja de tercero y cuarto electroimanes dispuestos, respectivamente, frente a una tercera y una cuarta caras del primer imán permanente inferior, estando dispuestas la tercera y la cuarta caras sobre lados opuestos del primer imán permanente en forma de paralelepípedo, estando configurada dicha segunda pareja de electroimanes para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo en una segunda dirección horizontal Y; teniendo dicho primer imán permanente en forma de paralelepípedo una quinta cara superior dirigida hacia el espacio de medición tridimensional y una sexta cara inferior que está dirigida hacia una porción de base del dispositivo; comprendiendo, además, dicho sistema de control magnético un quinto electroimán con su eje coaxial con los ejes del primero y del segundo imanes permanentes, estando adaptado dicho quinto electroimán para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de la dirección vertical Z.

Ahora se describirá la invención con referencia a los dibujos que se acompañan, que permiten una forma de realización no limitativa preferida, en los que:

5 La figura 1 muestra una vista en perspectiva despiezada ordenada de un dispositivo para la formación de imágenes MPI configurado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista lateral de un dispositivo para la formación de imágenes MPI configurado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

10 La figura 3 muestra una vista en perspectiva de un dispositivo para la formación de imágenes MPI configurado de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

Las figuras 4 y 5 muestran dispositivos de control del dispositivo de acuerdo con la presente invención; y

15 La figura 6 muestra un diagrama de circuito esquemático de la parte magnética del dispositivo de acuerdo con la presente invención.

20 En la figura 1, se indica un dispositivo de formación de imágenes MPI (Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas).por el número de referencia 1.

25 El dispositivo 1 comprende un primer sistema de control magnético 3 configurado para generar un campo magnético en un espacio de medición tridimensional 4 y obtener, con este espacio tridimensional 4, el movimiento de tres direcciones X, Y y Z de un punto 5 dentro del cual el campo tiene un valor considerablemente menor que un umbral. Típicamente, el punto 5 puede tener una forma aproximadamente esférica y un diámetro de 1 mm o menos. El espacio tridimensional 4 puede ser aproximadamente cúbico con lados de de 0,8-1 metro de largo.

30 El dispositivo 1 comprende, además, un segundo sistema de excitación magnética 7 adaptado para generar un campo magnético pulsátil dentro del punto 5 para excitar micropartículas de óxido de hierro inyectadas en el sistema circulatorio de un paciente (no mostrado por simplicidad) que tiene una porción de su cuerpo posicionada en el espacio de medición tridimensional 4.

35 De acuerdo con la presente invención, el primer sistema de control magnético 3 comprende un primer imán permanente inferior 10 en forma de paralelepípedo (cuya forma es cúbica en el ejemplo), y un segundo imán permanente superior 11 en forma de paralelepípedo (cuya forma es cúbica en el ejemplo) espaciado verticalmente a parte del primer imán 10 con respecto a la dirección vertical Z. El espaciamiento entre los dos imanes 10 y 11 puede estar en el orden de aproximadamente 1 metro. El primer imán permanente 10 y el segundo imán permanente 11 tienen polos dirigidos mutuamente de la misma polaridad, ejes magnéticos coaxiales, y estando dispuestos sobre lados opuestos del espacio de medición tridimensional 4.

40 El primer sistema de control magnético 1 comprende, además, una primera pareja de primero y segundo electroimanes 13a y 13b con ejes paralelos a los ejes de los imanes permanentes 10 y 11 en la dirección Z, dispuestos, respectivamente, dirigidos hacia una primera y una segunda caras laterales 15a y 15b del primer imán permanente inferior 10; la primera y la segunda caras laterales 15a y 15b están dispuestas sobre lados opuestos del primer imán permanente 10 en forma de paralelepípedo. La primera pareja de electroimanes 13a y 13b está
45 adaptada para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes 10 y 11 y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de una primera dirección horizontal X.

50 El primer sistema de control magnético 1 comprende una segunda pareja de tercero y cuarto electroimanes 13c y 13d con ejes paralelos a los ejes de los imanes permanentes 10 y 11 en la dirección Z, dispuestos, respectivamente, mirando hacia una tercera y una cuarta caras laterales 15c y 15d del primer imán permanente inferior 10; la tercera y cuarta caras laterales 15c y 15d están dispuestas sobre lados opuestos del primer imán permanente 10 en forma de paralelepípedo. La segunda pareja de electroimanes 13c y 13d está adaptada para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes 10 y 11 y
55 modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de una segunda dirección horizontal Y.

60 El primer imán permanente 10 en forma de paralelepípedo tiene una quinta superficie superior 15e que está dirigida hacia el espacio de medición tridimensional 4 y una sexta cara inferior (no visible en la figura 1) que mira hacia una porción de base del dispositivo 1.

Finalmente, el sistema de control magnético 1 comprende un quinto electroimán 25e con su eje coaxial con los ejes del primero y el segundo imanes permanentes 10 y 11; el quinto electroimán 25e está adaptado para generar, cuando se acciona, un campo magnético, que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes 10 y 11 y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de la dirección

vertical Z.

5 El primero y el segundo imanes permanentes 10 y 11 comprenden una pluralidad de módulos magnéticos 20 dispuestos unos al lado de los otros para producir una estructura cúbica alojada en una carcasa 22 (figura 3) fabricada de material no magnético configurado para resistir las fuerzas repulsivas generadas por los módulos magnéticos 20 dispuestos con los polos correspondientes dirigidos entre sí. Se pueden utilizar de manera conveniente módulos magnéticos fabricados de neodimio-hierro-boro (NdFeB), que representan, como se conoce, uno de los mejores materiales magnéticos utilizados actualmente en la industria.

10 La carcasa 22 puede fabricarse de una manera conveniente de fibra de vidrio reforzada, Kevlar, fibra de carbono o de un material de plástico de alta resistencia. Es oportuno evitar el uso de cualquier material metálico (por ejemplo, tornillos metálicos).

15 El primero, segundo, tercero y cuarto electroimanes 13a, 13b, 13c y 13s están desprovistos de un núcleo metálico y cada uno de ellos comprende una bobina con un conductor aislado bobinado alrededor de una porción central hueca dentro de la cual, en uso, circula un líquido de refrigeración (este aspecto se describirá más adelante).

20 El conductor aislado está formado de una manera conveniente por un mazo de alambres de cobre esmaltados (alambres de cobre) que se utiliza para reducir el "efecto de piel", que reduce la resistencia de la corriente AC que circula en la bobina.

25 El sistema de excitación magnética 7 comprende una pluralidad de electroimanes, cuyas bobinas se desarrollan en planos perpendiculares a la dirección Z entre la quinta cara 15e del primer imán permanente 10 y un lado inferior del espacio de medición tridimensional 4.

Con más detalle, el sistema de excitación magnética 7 comprende una estructura de capas que comprende:

30 una primera capa inferior 23, en la que existen un primero y un segundo electroimanes de excitación 23a y 23b dispuestos uno al lado del otro y que tiene ejes paralelos a la dirección Z; el campo formado por el primero y el segundo electroimanes 23a y 23b está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven a lo largo de la primera dirección X;

35 una segunda capa intermedia 24, en la que existen un tercero y un cuarto electroimanes de excitación 24c y 24d dispuestos uno al lado del otro y que tienen ejes paralelos a la dirección Z; el campo formado por el tercero y el cuarto electroimanes 24c y 24d está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven lo largo de la segunda dirección Y; y

una tercera capa 25, en la que existe un quinto electroimán de excitación 25e que tiene su eje paralelo a la dirección Z; el campo formado por el quinto electroimán 25e está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven en la tercera dirección Z.

40 El primero y el segundo electroimanes 23a y 23b están configurados en vista en planta como un bastidor rectangular con esquinas redondeadas y dispuestos con sus lados más largos paralelos entre sí, el tercero y el cuarto electroimanes 24c y 24d están configurados en vista en planta como un bastidor rectangular con esquinas redondeadas y dispuestos con sus lados más largos paralelos entre sí y perpendiculares a los lados más largos del primero y del segundo electroimanes 23a y 23b, y el quinto electroimán 25e es rectangular en vista en planta, en particular cuadrado, y está dispuesto con una primera pareja de lados paralelos a los lados más largos del primero y el segundo electroimanes 23a y 23b y con una segunda pareja de lados paralelos a los lados más largos del tercero y el cuarto electroimanes 24c y 24d.

50 La tercera capa 25 se coloca cerca y dirigida hacia el espacio de medición tridimensional 4, la primera capa 23 está colocada cerca y dirigida hacia la quinta cara 15e del imán permanente inferior, y la segunda capa 24 está interpuesta entre la primera capa 23 y la tercera capa 25.

55 La forma de realización particular descrita anteriormente permite crear un espacio de medición 4 que está abierto lateralmente 360 grados (el espacio de medición 4 sólo está delimitado por el imán 11 por encima y delimitado por debajo por el imán 10 y por bobinas que pertenecen al segundo sistema de excitación magnética 7 sobre la parte superior del imán inferior 10). El personal médico puede trabajar de esta manera sin impedimentos en un paciente con una posición de su cuerpo posicionada en el espacio de medición.

60 Esta disposición constituye una ventaja evidente con respecto a dispositivos conocidos, en los que el espacio de medición está totalmente rodeado por sistemas de deflexión magnética que establecen acceso al paciente imposible cuando está posicionado, total o parcialmente, en el espacio de medición.

Las figuras 2 y 3 muestran una estructura de soporte y de contención 30 para soportar el primer sistema de control magnético 3 y el sistema de excitación magnética 7 que está fabricado totalmente de material no-magnético (por

ejemplo, de un material de plástico de alta resistencia, generalmente conocido como "plástico técnico"). La estructura de soporte 30 está formada por una porción configurada sustancialmente en forma de C que comprende un pilar vertical 32, un brazo transversal superior 33 adaptado para soportar el segundo imán permanente superior 11, y una estructura inferior 34 adaptada para soportar el primer imán permanente inferior 10 y todos los electroimanes que pertenecen al primer sistema de control magnético 3 y al sistema de excitación magnética 7.

La estructura inferior 34 soporta un contenedor hermético a fluido 36 fabricado de material no-magnético que define una cámara interior (no mostrada), que aloja el primer imán permanente inferior 10 y todos los electroimanes que pertenecen al primer sistema de control magnético 3 y al sistema de excitación magnética 7. Se proporciona también un sistema de refrigeración (de tipo conocido y no mostrado), que está adaptado para permitir un flujo de fluido de refrigeración aislante (por ejemplo, aceite de transformador) entre una entrada de suministro del contenedor hermético a fluido 36 y una salida de descarga del contenedor hermético a fluido 36. De esta manera, el fluido de refrigeración puede fluir alrededor de los electroimanes y circular a través de las porciones de los electroimanes desprovistos de un núcleo metálico.

La figura 6 muestra un diagrama simplificado del cableado del sistema de suministro de potencia de baja frecuencia 40 para accionar el primer sistema de control magnético 3, que comprende:

un primer generador de potencia 41 (con una frecuencia de trabajo que oscila entre 0,1 Hz y 500 Hz) que suministra una señal AC a una primera red LC, que comprende el primer electroimán 13a, que constituye el componente inductivo, y una primera batería de condensadores 42, que constituye el componente capacitivo;

un segundo generador de potencia 43 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 0,1 Hz y 500 Hz) que suministra una señal AC a una segunda red LC, que comprende el segundo electroimán 13b, que constituye el componente inductivo, y una segunda batería de condensadores 44, que constituye el componente capacitivo;

un tercer generador de potencia 45 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 0,1 Hz y 500 Hz) que suministra una señal AC a una tercera red LC, que comprende el tercer electroimán 13c, que constituye el componente inductivo, y una tercera batería de condensadores 46, que constituye el componente capacitivo;

un cuarto generador de potencia 47 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 0,1 Hz y 500 Hz) que suministra una señal AC a una cuarta red LC, que comprende el cuarto electroimán 13d, que constituye el componente inductivo, y una cuarta batería de condensadores 48, que constituye el componente capacitivo;

y un quinto generador de potencia 49 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 0,1 Hz y 500 Hz) que suministra una señal AC a una quinta red LC, que comprende el quinto electroimán 13e, que constituye el componente inductivo, y una quinta batería de condensadores 50, que constituye el componente capacitivo.

El primero y el segundo generadores de potencia 41 y 43 reciben como entrada la misma señal de excitación, pero con fases opuestas, y el tercero y el cuarto generadores 45 y 47 reciben como entrada la misma señal de excitación, pero con fases opuestas.

Los condensadores 43, 44, 46, 48 y 50 están realizados de una manera conveniente por la estructura inferior 34 y están dispuestos debajo del contenedor hermético a fluido 36.

De manera similar, se proporciona un sistema de suministro de potencia de alta frecuencia 70 para el sistema de excitación 7, que comprende:

un primer generador de potencia 51 (con una frecuencia de trabajo que oscila entre 8 KHz y 30 KHz) que suministra una señal AC a una segunda red LC, que comprende el segundo electroimán 23a, que constituye el componente inductivo, y una primera batería de condensadores 52, que constituye el componente capacitivo;

un segundo generador de potencia 53 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 8 KHz y 30 KHz) que suministra una señal AC a una segunda red LC, que comprende el segundo electroimán 23b, que constituye el componente inductivo, y una segunda batería de condensadores 54, que constituye el componente capacitivo;

un tercer generador de potencia 55 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 8 KHz y 30 KHz) que suministra una señal AC a una tercera red LC, que comprende el tercer electroimán 24c, que constituye el componente inductivo, y una tercera batería de condensadores 56, que constituye el componente capacitivo5

un cuarto generador de potencia 57 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 8 KHz y 30 KHz) que suministra una señal AC a una cuarta red LC, que comprende el cuarto electroimán 24d, que constituye el componente inductivo, y una cuarta batería de condensadores 58, que constituye el componente capacitivo;

y

un quinto generador de potencia 59 (con frecuencia de trabajo que oscila entre 8 Hz y 30 KHz) que suministra una señal AC a una quinta red LC, que comprende el quinto electroimán 25e, que constituye el componente inductivo, y una quinta batería de condensadores 60, que constituye el componente capacitivo.

5 El primero y el segundo generadores de potencia 51 y 53 reciben como entrada la misma señal de señal de excitación, pero con fases opuestas, y el tercero y el cuarto generadores 55 y 57 reciben como entrada la misma señal de excitación, pero con fases opuestas.

10 Los condensadores 52, 55, 56, 58 y 59 se realizan de una manera conveniente por la estructura inferior 34 y están dispuestos debajo del contenedor hermético a fluido 36.

15 Cada red LC está provista con un sistema de control de frecuencia adaptado para suministrar, por medio del generador de potencia 41, 43, 45, 47, 49 y 51, 53, 55, 57, 59 respectivo, una señal AC que tiene una frecuencia próxima a la frecuencia de resonancia de la red LC. El sistema de control de frecuencia se muestra esquemáticamente en la figura 5 y comprende:

20 un bloque sumador 61 adaptado para producir una muestra presente del valor de la corriente de realimentación a una cierta frecuencia de la señal AC suministrada a la red LC y una muestra del valor de la corriente de realimentación muestreada en un instante de muestreo previo y, por lo tanto, a una frecuencia de trabajo previa;

un comparador 62 adaptado para examinar la salida del valor desde el bloque sumador comparándolo con el valor cero;

25 un primer bloque corrector 63 adaptado para variar, de una manera discreta, el valor de la frecuencia de la señal generada por el generador de potencia en el caso en el que el comparador 62 llega a una primera determinación inferior o igual a cero; y

un segundo bloque corrector 64 adaptado para variar, de una manera discreta, el valor de la frecuencia de la señal generada por el generador de potencia en el caso en el que el comparador llega a una segunda determinación mayor que cero.

30 La figura 4 muestra un sistema para controlar la corriente dentro de cada red LC, implementando este sistema de control de corriente un bucle de control externo al bucle de control proporcionado por el sistema de control de frecuencia que acciona la frecuencia de un generador de la forma de la onda sinusoidal que determina la frecuencia del senoide que acciona cada red LC.

35 El sistema de control de corriente comprende:

un segundo comparador 72 adaptado para verificar el valor medio de la corriente suministrada a cada red LC contra un valor objetivo; y

40 un regulador PID 73, que recibe como entrada el valor de la señal de error emitido desde el segundo comparador y suministra una señal de accionamiento para un generador de onda-seno que determina la amplitud del solenoide que acciona cada red LC.

La invención se define por las reivindicaciones anexas 1-15.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas, MPI, que comprende un primer sistema de control magnético (3) configurado para generar un campo magnético dentro de un espacio de medición tridimensional (4) y para obtener, dentro de dicho espacio tridimensional (4), el movimiento en tres direcciones X, Y y Z de un punto (5), en donde el campo tiene un valor inferior a un umbral, comprendiendo, además, dicho dispositivo de Formación de Imágenes de Partículas Magnéticas, MPI, un segundo sistema de excitación magnética (7) configurado para generar un campo magnético pulsátil dentro de dicho punto (5) para excitar micropartículas de óxido de hierro inyectadas en el sistema circulatorio de un paciente que tiene una porción de su cuerpo posicionada en dicho espacio de medición tridimensional, dicho sistema de control comprende;

un primer imán permanente inferior (10) en forma de paralelepípedo;
 un segundo imán permanente superior (11) en forma de paralelepípedo espaciado aparte del primer imán en la dirección vertical Z, teniendo el primer imán permanente (10) y el segundo imán permanente (11) unos polos dirigidos mutuamente, compartiendo los mismos ejes magnéticos y estando dispuestos sobre lados opuestos del espacio de medición tridimensional (4);
 una primera pareja de primero y segundo electroimanes (13a, 13b) dispuestos, respectivamente, frente a una primera cara lateral (15a) y una segunda cara lateral (15b) del primer imán permanente inferior (10), estando dispuestas la primera y la segunda caras laterales (15, 15b) sobre lados opuestos del primer imán permanente (10) en forma de paralelepípedo, estando configurada dicha primera pareja de electroimanes (13a, 13b) para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes (10, 11) y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de una primera dirección espacial X; y una segunda pareja de tercero y cuarto electroimanes (13c; 13d) dispuestos, respectivamente, frente a una tercera cara (15c) y una cuarta cara (15d) del primer imán permanente inferior (10), estando dispuestas la tercera y la cuarta caras (15c, 15d) sobre lados opuestos del primer imán permanente (10) en forma de paralelepípedo; estando adaptada dicha segunda pareja de electroimanes (13c, 13d) para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes (10, 11) y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo en una segunda dirección horizontal Y;
 teniendo dicho primer imán permanente (10) en forma de paralelepípedo una quinta cara superior (15e) dirigida hacia el espacio de medición tridimensional (4) y una sexta cara inferior que está dirigida hacia una porción de base del dispositivo;
 comprendiendo, además, dicho sistema de control magnético (3) un quinto electroimán (25e) con ejes coaxiales con los ejes del primero y del segundo imanes permanentes (10, 11), estando configurado dicho quinto electroimán (25e) para generar, cuando se acciona, un campo magnético que se combina con el campo magnético generado por los imanes permanentes (10, 11) y modifica la disposición espacial de las líneas de fuerza del campo a lo largo de la dirección vertical Z.

2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema (7) comprende una pluralidad de electroimanes, cuyas bobinas se extienden en planos perpendiculares a la dirección Z entre la quinta cara superior (15e) del primer imán permanente (10) y un lado inferior del espacio de medición tridimensional (4).

3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de excitación magnética (7) comprende una estructura de capas que comprende:

una primera capa inferior 23, en la que existen un primer electroimán de excitación (23a) y un segundo electroimán de excitación (23b) dispuestos uno al lado del otro y que tiene ejes paralelos a la dirección Z; el campo formado por el primero y el segundo electroimanes está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven a lo largo de la primera dirección X;
 una segunda capa (24), en la que existen un tercer electroimán de excitación (24c) y un cuarto electroimán de excitación (24d) dispuestos uno al lado del otro y que tienen ejes paralelos a la dirección Z; el campo formado por el tercero y el cuarto electroimanes 24c y 24d está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven lo largo de la segunda dirección Y; y
 una tercera capa 25, en la que existe un quinto electroimán de excitación 25e que tiene su eje paralelo a la dirección Z; el campo formado por el quinto electroimán 25e está adaptado para crear líneas de fuerza que se mueven en la tercera dirección Z.

4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el primero y el segundo electroimanes (23a, 23b) están configurados en vista en planta como un bastidor rectangular con esquinas redondeadas y dispuestos con sus lados más largos paralelos entre sí, el tercero y el cuarto electroimanes (24c, 24d) están configurados en vista en planta como un bastidor rectangular con esquinas redondeadas y dispuestos con sus lados más largos paralelos entre sí y perpendiculares a los lados más largos del primero y del segundo electroimanes (23a, 23b), y el quinto electroimán (25e) es rectangular en vista en planta, en particular cuadrado, y está dispuesto con una primera pareja de lados paralelos a los lados más largos del primero y el segundo electroimanes (23a, 23b) y con una segunda pareja de

lados paralelos a los lados más largos del tercero y el cuarto electroimanes (24c, 24d).

- 5 El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, en el que la tercera capa (25) se coloca cerca y dirigida hacia el espacio de medición tridimensional (4), la primera capa (23) está colocada cerca y dirigida hacia la quinta cara (15e) del imán permanente inferior, y la segunda capa (24) está interpuesta entre la primera capa (23) y la tercera capa (25).
- 10 6. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primero y el segundo imanes permanentes (10, 11) tienen una forma cúbica.
- 15 7. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primero y el segundo imanes permanentes (10, 11) comprenden una pluralidad de módulos magnéticos (20) dispuestos unos al lado de los otros para producir una estructura cúbica alojada en una carcasa (22) fabricada de material no magnético configurada para resistir las fuerzas repulsivas generadas por los módulos magnéticos 20 dispuestos con los polos correspondientes dirigidos entre sí.
- 20 8. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primero, segundo, tercero y cuarto electroimanes (13a, 13b, 13c y 13d) carecen de un núcleo metálico y cada uno de ellos comprende una bobina de alambre conductor aislado bobinado alrededor de una porción central hueca.
- 25 9. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primero, segundo, tercero, cuarto y quinto electroimanes (13a, 13b, 13c, 13d y 13e) comprenden cada uno de ellos una bobina de alambre conductor aislado formado por un mazo de alambres,
- 30 10. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se proporciona una estructura de soporte (30) para soportar el primer sistema de control magnético (3) y el sistema de excitación magnética (7), que está fabricada totalmente de material no-magnético; comprendiendo dicha estructura (30) una porción configurada sustancialmente en forma de C que comprende un pilar vertical (32), un brazo transversal superior (33) adaptado para soportar el segundo imán permanente superior (11), y una estructura inferior (34) adaptada para soportar el primer imán permanente inferior (10) y todos los electroimanes que pertenecen al primer sistema de control magnético (3) y al sistema de excitación magnética (7).
- 35 11. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la estructura inferior (34) soporta un contenedor hermético a fluido 36 fabricado de material no-magnético que aloja el primer imán permanente inferior (10) y todos los electroimanes que pertenecen al primer sistema de control magnético (3) y al sistema de excitación magnética (7); estando provisto, además, con un sistema de refrigeración, que está configurado para permitir un flujo de fluido de refrigeración aislante entre una entrada de suministro del contenedor hermético a fluido 36 y una salida de descarga del contenedor hermético a fluido (36).
- 40 12. El dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que está previsto un sistema de suministro de potencia de baja frecuencia (40) para accionar el primer sistema de control magnético (3), que comprende:
- 45 un primer generador de potencia (41) que suministra una señal AC a una primera red LC, que comprende el primer electroimán (13a), que constituye el componente inductivo, y una primera batería de condensadores (42), que constituye el componente capacitivo;
- 50 un segundo generador de potencia (43) que suministra una señal AC a una segunda red LC, que comprende el segundo electroimán (13b), que constituye el componente inductivo, y una segunda batería de condensadores (44), que constituye el componente capacitivo;
- 55 un tercer generador de potencia (45) que suministra una señal AC a una tercera red LC, que comprende el tercer electroimán (13c), que constituye el componente inductivo, y una tercera batería de condensadores 46, que constituye el componente capacitivo;
- un cuarto generador de potencia (47) que suministra una señal AC a una cuarta red LC, que comprende el cuarto electroimán (13d), que constituye el componente inductivo, y una cuarta batería de condensadores (48), que constituye el componente capacitivo; y
- un quinto generador de potencia (49) que suministra una señal AC a una quinta red LC, que comprende el quinto electroimán (13e), que constituye el componente inductivo, y una quinta batería de condensadores (50), que constituye el componente capacitivo.
- 60 13. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el primero y el segundo generadores de potencia (41, 43) reciben como entrada la misma señal de excitación, pero con fases opuestas, y el tercero y el cuarto generadores (45, 47) reciben como entrada la misma señal de excitación, pero con fases opuestas.
14. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12 ó 13, en el que cada red LC está provista con un sistema de

control de frecuencia adaptado para suministrar a la red, por medio del generador de potencia (41, 43, 45, 47, 49 y 51, 53, 55, 57 y 59), una señal AC que tiene una frecuencia de resonancia de la red LC: dicho sistema de control de frecuencia comprende:

- 5 un bloque sumador (61) adaptado para producir una muestra presente del valor de la corriente de realimentación a una cierta frecuencia de la señal AC suministrada a la red LC y una muestra del valor de la corriente de realimentación muestreada en un instante de muestreo previo y, por lo tanto, a una frecuencia de trabajo previa;
- 10 un comparador (62) adaptado para examinar la salida del valor desde el bloque sumador comparándolo con el valor cero;
- un primer bloque corrector (63) adaptado para variar, de una manera discreta, el valor de la frecuencia de la señal generada por el generador de potencia en el caso en el que el comparador (62) llega a una primera determinación inferior o igual a cero; y
- 15 un segundo bloque corrector (64) adaptado para variar, de una manera discreta, el valor de la frecuencia de la señal generada por el generador de potencia en el caso en el que el comparador llega a una segunda determinación mayor que cero.

15. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 14, en el que se proporciona un sistema para controlar la corriente dentro de cada red LC, constituyendo dicho sistema de control de la corriente un bucle de control externo al bucle de control proporcionado por el sistema de control de frecuencia que acciona la frecuencia de un generador de la forma de la onda sinusoidal que determina la frecuencia del senoide que acciona cada red LC, comprendiendo el sistema de control de frecuencia:

- 25 un segundo comparador 72 adaptado para verificar el valor medio de la corriente suministrada a cada red LC contra un valor objetivo; y
- un regulador PID (73), que recibe como entrada el valor de la señal de error emitida desde el segundo comparador y suministra una señal de accionamiento para un generador de potencia respectivo.

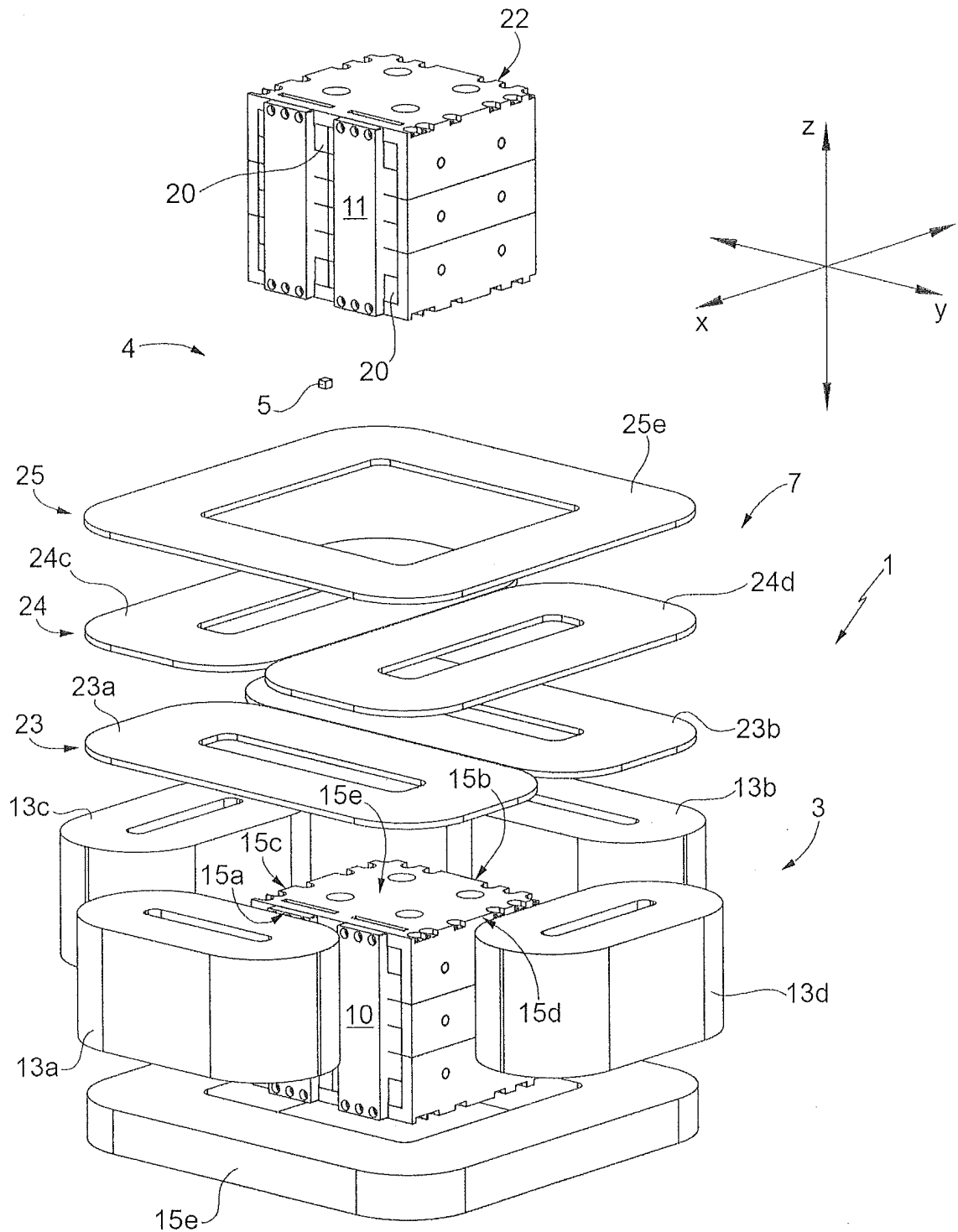


FIG. 1

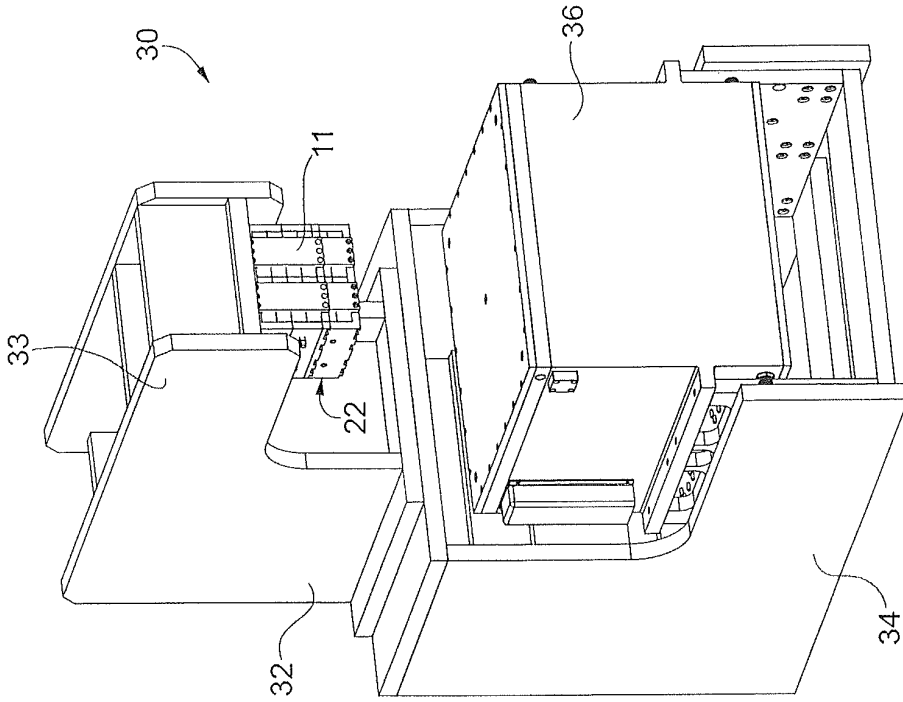


FIG. 3

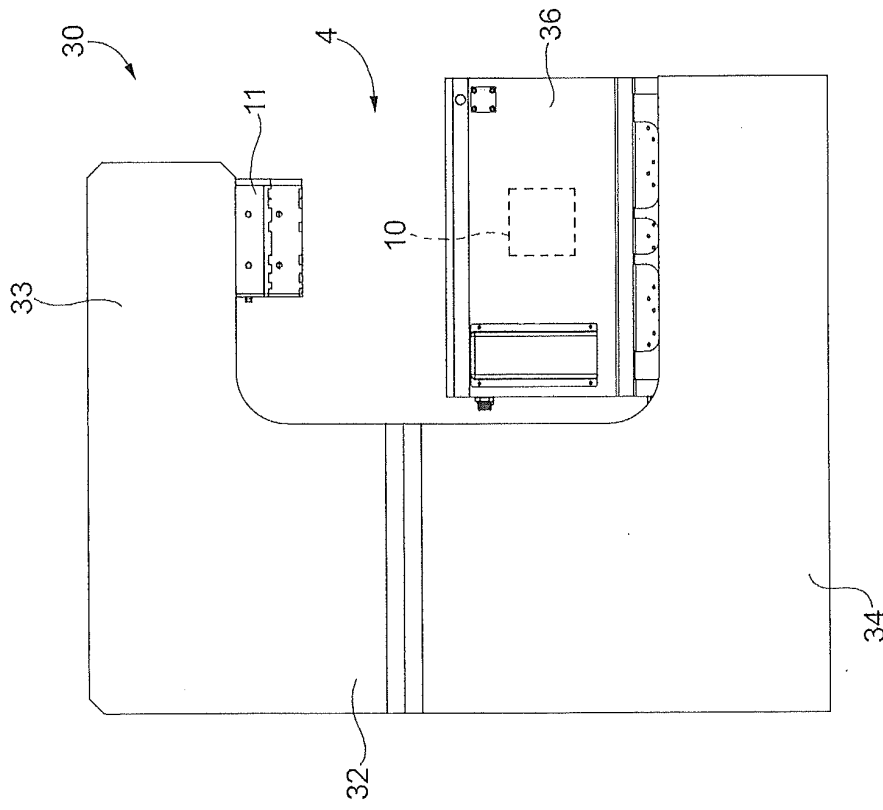


FIG. 2

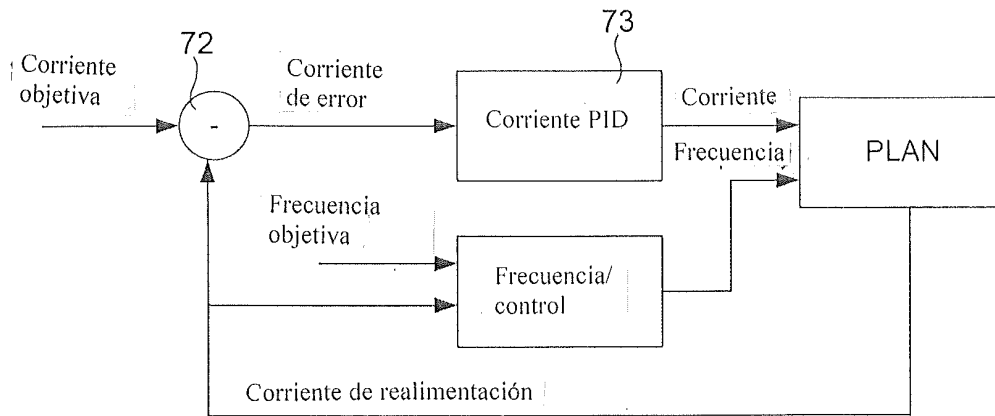


FIG. 4

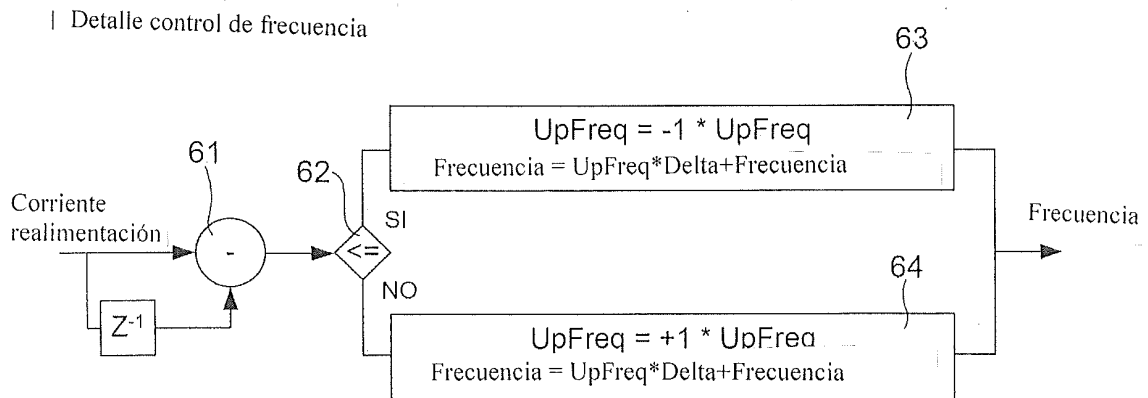


FIG. 5

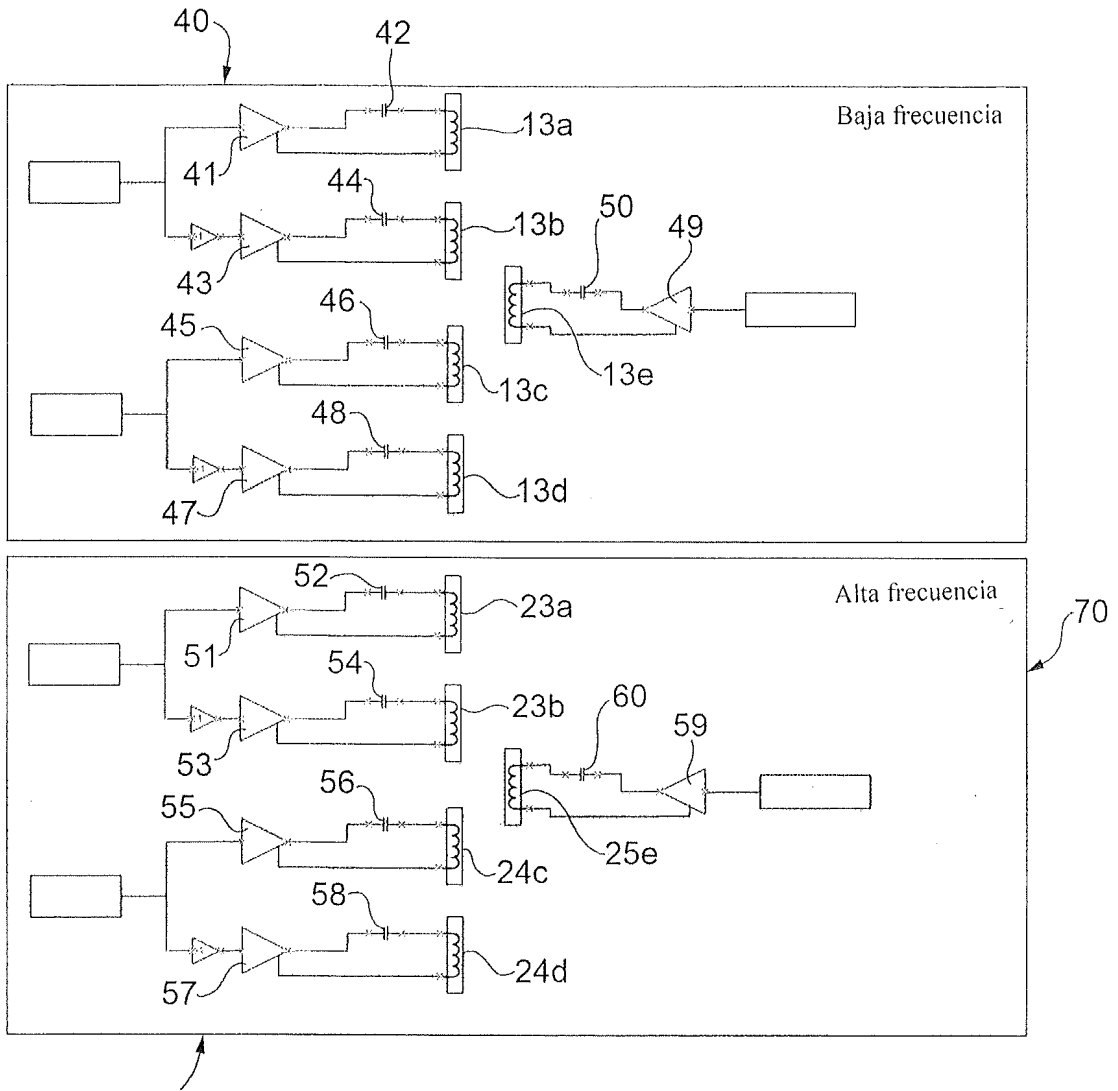


FIG. 6