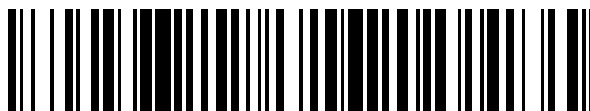


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 142**

51 Int. Cl.:

**A61B 34/20** (2006.01)

**A61B 5/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2017 E 17179725 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 3266401**

54 Título: **Circuito de generación de campos magnéticos para un sistema de seguimiento**

30 Prioridad:

**06.07.2016 US 201615202705**

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

**27.05.2020**

73 Titular/es:

**BIOSENSE WEBSTER (ISRAEL) LTD. (100.0%)  
4 Hatnufa Street  
Yokneam, 2066717, IL**

72 Inventor/es:

**GLINER, VADIM;  
EPHRATH, YARON y  
BOUMENDIL, ALON**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 763 142 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).

**DESCRIPCION**

Circuito de generación de campos magnéticos para un sistema de seguimiento

**5 CAMPO DE LA INVENCION**

Las realizaciones de la presente invención se refieren de manera general al campo de los dispositivos médicos, y particularmente, a facilitar la realización de un procedimiento médico mediante el seguimiento de la posición y orientación de una herramienta usada para el procedimiento.

10

**ANTECEDENTES**

La Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos 2007/0265526 describe un sistema de seguimiento de posición magnético para realizar un procedimiento médico en un paciente que está colocado en la superficie superior de una mesa. El sistema incluye una almohadilla de localización, que se coloca en la superficie superior de la mesa por debajo del paciente. La almohadilla de localización incluye uno o más generadores de campo, que son operativos para generar campos magnéticos respectivos y están dispuestos de tal manera que una dimensión del espesor de la almohadilla de localización no sea mayor de 3 centímetros. Un sensor de posición está fijado a un dispositivo médico invasivo para su inserción en el cuerpo de un paciente, y está dispuesto para detectar los campos magnéticos para medir la posición del dispositivo médico en el cuerpo.

15

20

La Patente de Estados Unidos 5.425.367 describe un sistema para localizar externamente la profundidad y la orientación de un catéter en el tejido con una sonda externa que genera un campo magnético rotatorio virtual. El catéter incluye una bobina inductiva para desarrollar una señal inducida en respuesta al campo magnético rotatorio virtual. Un dispositivo de indicación como una pantalla de barra de luz o lectura digital indica la intensidad de la señal inducida para localizar, independientemente de la orientación angular relativa de la sonda y el catéter, la profundidad en el tejido del catéter.

25

La Patente de Estados Unidos 6.223.066 describe una sonda médica alargada, que tiene extremos proximal y distal, a cuya posición se hace seguimiento dentro del cuerpo de un sujeto. La sonda incluye un elemento óptico sensible al campo magnético adyacente al extremo distal, que modula la luz que pasa a través del mismo en respuesta a un campo magnético aplicado externamente. La sonda también incluye una fibra óptica acoplada para recibir luz modulada del elemento óptico y transportarla al extremo proximal de la sonda para el análisis de la modulación.

30

35

La Patente de Estados Unidos 6.335.617 describe un método para calibrar un generador de campo magnético, que incluye fijar de uno o más sensores de campo magnético a una sonda en posiciones y orientaciones conocidas y seleccionar una o más localizaciones conocidas en las proximidades del generador de campo magnético. El generador de campo magnético se acciona para generar un campo magnético. La sonda se mueve en una orientación predeterminada conocida a cada una de las localizaciones, y se reciben señales de uno o más sensores en cada una de las localizaciones. Las señales se procesan para medir la amplitud y la dirección del campo magnético, en las posiciones respectivas del uno o más sensores y para determinar los factores de calibración relacionados con la amplitud y la dirección del campo magnético en las proximidades del generador de campo magnético.

40

45

La Publicación de PCT WO/2013/149683 describe sistemas, dispositivos y métodos para la ablación de la pared de una o más venas pulmonares (PV) desde el interior, preferiblemente la ablación transmural y preferiblemente a nivel del antro. Se pueden implantar uno o más dispositivos de implante en los vasos y posteriormente pueden calentarse por medios de suministro de energía externos.

50

La US 2009/0082665 A1 proporciona un método de seguimiento de una bobina transmisora individual. El método comprende pasos para obtener un primer momento magnético del paso de la bobina transmisora, el primer momento magnético correspondiente a un primer período de tiempo predeterminado, obtener un segundo momento magnético del paso de la bobina transmisora, el segundo momento magnético correspondiente a un segundo período de tiempo predeterminado, comparar el primer momento magnético correspondiente al primer período de tiempo predeterminado con el segundo momento magnético correspondiente al segundo paso de período de tiempo predeterminado, hacer un seguimiento de un cambio en el momento magnético de la bobina transmisora detectando una diferencia entre el primer momento magnético y el segundo paso de momento magnético y determinar la presencia de una de una primera condición y una segunda condición al hacer un seguimiento de un cambio en el paso de momento magnético. La primera condición puede ser la condición de distorsión y la segunda condición puede ser la condición de batería baja.

55

60

La WO 87/04801 proporciona un aparato para la detección eléctrica de objetos metálicos remotos en un entorno levemente conductor. La bobina transmisora (5) transmite simultáneamente dos señales magnéticas de diferente frecuencia desde dos osciladores (1, 2). La bobina receptora (7) recibe dos señales retransmitidas desde

65

los objetos metálicos. Las dos señales retransmitidas son procesadas por diferentes demoduladores (8, 11). La información sobre los objetos metálicos se obtiene o proporcionando una señal resultante que es una combinación lineal de las señales demoduladas, o detectando la diferencia en los componentes resistivos de las señales transmitidas y retransmitidas.

5 El Documento US4737794 A describe un método y un aparato para determinar la orientación y posición de objetos remotos con un acoplamiento electromagnético. Se proporcionan una pluralidad de antenas irradiantes para irradiar energía electromagnética. Cada una de las antenas irradiantes tiene componentes independientes para definir un marco de coordenadas de referencia de fuente. Se proporciona un transmisor para aplicar señales eléctricas a las antenas irradiantes para generar una pluralidad de campos electromagnéticos. Las señales se multiplexan para que los campos puedan distinguirse entre sí. Una multiplexación por división de frecuencia se describe como una de las variantes de la multiplexación. Una pluralidad de antenas receptoras están dispuestas en un objeto remoto para recibir los campos electromagnéticos transmitidos. Las antenas receptoras tienen una pluralidad de componentes independientes para detectar los campos electromagnéticos transmitidos y definir un marco de coordenadas de referencia del sensor. Se proporciona un analizador para recibir la salida de las antenas receptoras y convertir los componentes de los campos electromagnéticos transmitidos en la posición y orientación del objeto remoto con respecto al marco de coordenadas de referencia de fuente.

20 El Documento WO2007035798 A2 describe un sistema de localización que incluye una fuente de excitación (por ejemplo, un generador de campo magnético pulsado), un montaje de sensores, y un controlador acoplado tanto a la fuente de excitación como al montaje de sensores. La fuente de excitación genera una energía de excitación para energizar por lo menos uno de los marcadores colocados en un paciente. La fuente de excitación produce un campo magnético pulsado a diferentes frecuencias. La fuente de excitación puede multiplexar en frecuencia el campo magnético en una primera frecuencia para energizar el primer marcador y una segunda frecuencia para energizar el segundo marcador. En respuesta a la energía de excitación, los marcadores generan señales de localización a frecuencias de respuesta únicas. El controlador hace que la fuente de excitación genere la energía de excitación a la primera frecuencia durante un primer período de excitación, y luego el controlador hace que la fuente de excitación termine la energía de excitación a la primera frecuencia para una primera fase de detección durante la que el montaje de sensores detecta la primera señal de localización desde el primer marcador sin la presencia de la energía de excitación en la primera frecuencia. El controlador luego hace que la fuente de excitación genere la segunda energía de excitación a la segunda frecuencia durante un segundo período de excitación y termine la energía de excitación a la segunda frecuencia para una segunda fase de detección durante la que el montaje de sensores detecta la segunda señal de localización desde el segundo marcador sin la presencia de la segunda energía de excitación a la segunda frecuencia.

### 35 **SUMARIO DE LA INVENCION**

Se proporciona, de acuerdo con la presente invención, un aparato y método como se reivindica en lo sucesivo.

40 La presente invención se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos, en los que:

### 45 **BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS**

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento magnético, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención; y

50 Las Figs. 2A-B son ilustraciones esquemáticas de circuitos de generación, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

### **DESCRIPCION DETALLADA DE REALIZACIONES**

#### 55 **VISION DE CONJUNTO**

Como se describe en la Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos 2007/0265526 mencionada anteriormente, puede usarse un sistema de seguimiento de posición magnético para realizar un procedimiento médico. Tal sistema comprende una pluralidad de generadores de campo magnético, cada uno de los cuales está configurado para generar un campo magnético a una frecuencia respectiva que está cerca de una "frecuencia base" particular. (Por ejemplo, para una frecuencia base de 1 kHz, los generadores pueden generar, respectivamente, a 1 kHz, 1,2 kHz, 1,4 kHz, etc.). Por tanto, durante el procedimiento, los generadores, que están colocados debajo del sujeto, generan colectivamente un campo magnético que tiene una pluralidad de diferentes frecuencias dominantes. Una herramienta intracorporal usada para el procedimiento está provista de sensores, que detectan el campo magnético y generan señales (en forma de voltajes alternos a través de los sensores inducidos por el campo magnético) en respuesta al mismo. En respuesta a estas señales, pueden determinarse las posiciones y/u

orientaciones respectivas de los sensores y, por tanto, la posición y/u orientación de la herramienta intracorporal.

5 Durante algunos procedimientos, puede ser deseable seguir simultáneamente las posiciones y/u orientaciones respectivas de sensores de diferentes tamaños. Por ejemplo, una herramienta intracorporal más grande usada para un procedimiento particular puede estar equipada con sensores más grandes, mientras que una herramienta intracorporal más pequeña usada junto con la herramienta intracorporal más grande puede estar equipada con sensores más pequeños.

10 Sin embargo, como regla general, los sensores más pequeños funcionan mejor con frecuencias de campo magnético más altas que aquellas en las que los sensores más grandes funcionan mejor. Por tanto, puede ser necesario generar el campo magnético al doble del número de frecuencias dominantes: (i) para los sensores más pequeños, un primer conjunto de frecuencias que están cerca de una frecuencia base más grande (por ejemplo, 17 kHz), y (ii) para los sensores más grandes, un segundo conjunto de frecuencias que están cerca de una frecuencia base más pequeña (por ejemplo, 1 kHz). Una solución hipotética es duplicar el número de generadores; sin embargo, esta solución puede no ser práctica, debido a la mayor cantidad de espacio ocupado y/o energía consumida por los generadores, y/o debido a consideraciones de coste.

20 Por tanto, las realizaciones descritas en la presente proporcionan una solución superior, por la cual cada generador de campo magnético puede usarse para generar simultáneamente un campo magnético a dos frecuencias dominantes diferentes. Típicamente, cada uno de los generadores comprende un circuito eléctrico, que comprende un componente reactivo (es decir, un inductor o un condensador) que está conectado con otros elementos en el circuito de tal manera que, tras recibir una señal alterna adecuada suministrada al circuito eléctrico, el componente reactivo resuena simultáneamente a tanto una primera frecuencia dominante como a una segunda frecuencia dominante. En virtud de la resonancia del componente reactivo, el circuito eléctrico genera un campo magnético que tiene tanto la primera frecuencia dominante como la segunda frecuencia dominante.

25 Por ejemplo, el circuito eléctrico puede comprender un primer condensador, un primer inductor conectado en serie con el primer condensador, un segundo inductor conectado en paralelo con el primer inductor, y un segundo condensador conectado en paralelo con el primer inductor y en serie con el segundo inductor.

30 En tales realizaciones, el primer condensador y el primer inductor resuenan colectivamente a la primera frecuencia, mientras que el segundo condensador, el primer inductor y el segundo inductor resuenan colectivamente a la segunda frecuencia.

35 Por lo tanto, usando las realizaciones descritas en la presente, se puede hacer un seguimiento de tanto los sensores más pequeños como de los sensores más grandes, sin necesidad de aumentar el número de generadores.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

40 Se hace referencia inicialmente a la Fig. 1, que es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento magnético 20, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

45 La Fig. 1 representa a un médico 34 realizando un procedimiento de ablación cardíaca en un sujeto 26, usando el aparato descrito, por ejemplo, en la Solicitud de Patente de Estados Unidos 14/578,807. Primero, se inserta una funda 22 en el corazón 25 del sujeto 26, y se despliega un catéter 40 desde la funda 22 dentro del corazón. El catéter 40 comprende, en su extremo distal, una estructura expandible, como un globo 42, sobre el cual están dispuestos una pluralidad de electrodos. Después del despliegue del catéter, se usa una guía (o "lazo") 44 para estabilizar el catéter enganchando la pared interior de una vena pulmonar, y luego los electrodos se usan para extirpar la vena pulmonar. Como se describe con detalle a continuación, durante el procedimiento, el sistema 50 hace un seguimiento de la posición y/u orientación tanto del extremo distal de la funda 22 como del extremo distal del catéter 40. De manera similar, el sistema 20 puede usarse para hacer un seguimiento de las posiciones y/u orientaciones respectivas de cualquier pluralidad de herramientas, por ejemplo, herramientas intracorporales, durante cualquier procedimiento relevante.

55 El sistema 20 comprende una pluralidad de circuitos de generación 27 (también denominados en la presente "generadores") dispuestos por debajo, de otra manera en las cercanías, del sujeto. Los circuitos de generación 27 están configurados para generar colectivamente un campo magnético que tiene una pluralidad de diferentes frecuencias dominantes. Durante el procedimiento, un generador de señales 28 en una consola 36 suministra una señal alterna (típicamente, una corriente alterna), que incluye la pluralidad de frecuencias dominantes, a cada uno de los circuitos generadores. Como se describe adicionalmente a continuación con referencia a las Figs. 2A-B, la aplicación de la señal alterna a los circuitos de generación hace que los circuitos de generación resuenen a las frecuencias dominantes, generando de este modo el campo magnético.

60 El extremo distal de la funda 22 comprende una pluralidad de sensores 24, cada uno de los sensores 24 comprendiendo una bobina. El campo magnético generado induce, a través de los sensores 24, voltajes alternos que

incluyen la pluralidad de frecuencias dominantes. En base a las amplitudes respectivas de estos componentes de frecuencia de los voltajes inducidos, puede determinarse la posición y/u orientación del extremo distal de la funda. Dicho de otra manera, los sensores 24 generan señales en respuesta a la detección del campo magnético, las señales indicando la posición y/u orientación del extremo distal de la funda.

De manera similar, el extremo distal del catéter 40 comprende un sensor 46, que comprende una bobina. El campo magnético generado induce un voltaje alterno a través del sensor 46, de tal manera que, en base a las amplitudes respectivas de los componentes de frecuencia dominantes del voltaje inducido, también se puede determinar la posición y/u orientación del extremo distal del catéter.

Como se representa en la Figura 1, debido al menor tamaño del catéter 40 en relación a la funda 22, el sensor 46 es más pequeño que los sensores 24. Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente, el sensor 46 requiere un campo magnético de mayor frecuencia que los sensores 24. Por lo tanto, cada circuito generador 27 genera simultáneamente un campo magnético a dos frecuencias: una primera frecuencia más baja para los sensores 24 y una segunda frecuencia más alta para el sensor 46.

Por ejemplo, el sistema 20 puede comprender nueve circuitos generadores, cada uno de los cuales está configurado para generar simultáneamente a tanto (i) una primera frecuencia que está cerca de una frecuencia base de 1 kHz, como (ii) una segunda frecuencia que está cerca de una frecuencia base de 17 kHz. (La Fig. 1 corresponde a dicha realización de nueve generadores, suponiendo que los nueve circuitos generadores estén dispuestos en tres filas de tres, con la Fig. 1 mostrando la fila más externa de tres.) Por tanto, por ejemplo, los generadores pueden configurarse para generar colectivamente un campo magnético que tenga (i) un primer conjunto de frecuencias dominantes de 1 kHz, 1,2 kHz, 1,4 kHz, 1,6 kHz, 1,8 kHz, 2 kHz, 2,2 kHz, 2,4 kHz y 2,6 kHz, y (ii) un segundo conjunto de frecuencias dominantes de 17 kHz, 17,2 kHz, 17,4 kHz, 17,6 kHz, 17,8 kHz, 18 kHz, 18,2 kHz, 18,4 kHz y 18,6 kHz, en virtud de que cada generador resuena simultáneamente tanto a uno del primer conjunto de frecuencias como a uno del segundo conjunto de frecuencias. Los sensores 24 generan señales en respuesta a la detección del campo magnético en el primer conjunto de frecuencias, de tal manera que, analizando los componentes de las señales en el primer conjunto de frecuencias, se pueden determinar las posiciones y/u orientaciones de los sensores 24 respectivas y, por tanto, puede determinarse la posición y/u orientación de la funda 22. De igual manera, el sensor 46 genera una señal en respuesta a la detección del campo magnético en el segundo conjunto de frecuencias, de tal manera que, analizando los componentes de la señal en el segundo conjunto de frecuencias, puede determinarse la posición y/u orientación del sensor 46, y por tanto, del catéter 40.

En general, cada una de las herramientas intracorporales a las que se les hace un seguimiento puede comprender cualquier número adecuado de sensores. Típicamente, aunque la posición y orientación de la herramienta tienen colectivamente solo seis grados de libertad, el número total de sensores y generadores es mayor de seis, es decir, el sistema está "sobredeterminado". Así, por ejemplo, la funda 22 comprende tres sensores 24, a pesar de que la funda, estrictamente hablando, requiere solo un sensor. (Debido al tamaño más pequeño del catéter 40, el catéter 40 comprende solo un sensor 46).

En general, cada uno de los circuitos de generación puede configurarse para resonar a cualquiera de las dos frecuencias relevantes. La diferencia entre las dos frecuencias puede ser relativamente grande (por ejemplo, por lo menos 5 kHz o 10 kHz, como en el ejemplo anterior), o menor (por ejemplo, menos de 5 kHz).

Se hace referencia ahora a las figs. 2A-B, que son ilustraciones esquemáticas de circuitos de generación 27, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. En general, el circuito mostrado en la Fig. 2A es funcionalmente equivalente al circuito mostrado en la Fig. 2B; las cifras difieren entre sí solo con respecto al diseño del circuito, como se describe a continuación.

Como se describe en detalle a continuación, el circuito de generación 27 está configurado para resonar, en respuesta al suministro al circuito de una señal alterna apropiada del generador de señales 28, a una frecuencia de resonancia más baja, referida a continuación por la notación "f1", y también a una frecuencia de resonancia más alta, referida a continuación por la notación "f2". En efecto, como se describe adicionalmente a continuación, el circuito 27 comprende dos circuitos resonantes; el primer circuito resonante resuena a f1, y el segundo circuito resonante resuena a f2.

En los ejemplos particulares mostrados en las Figs. 2A-B, el circuito de generación 27 comprende un primer condensador C1, un segundo condensador C2, un primer inductor L1 y un segundo inductor L2, que está enrollado en la misma orientación (es decir, en sentido horario o antihorario) que el primer inductor L1. El primer inductor L1 y el segundo inductor L2 están conectados en paralelo entre sí, y en serie con el primer condensador C1, mientras que el segundo condensador C2 está conectado en paralelo con el primer inductor L1 y en serie con el segundo inductor L2. En la Fig. 2A, el circuito comprende una bobina L0, que es golpeada por una toma de bobina 48 que comprende el primer condensador, de tal manera que el primer y el segundo inductores son partes respectivas de la bobina L0 que están en lados opuestos de la bobina 48. En la Fig. 2B, por otro lado, cada uno del primer y el segundo inductores comprende una bobina separada respectiva, y las posiciones del segundo condensador y el segundo

inductor se intercambian, con respecto a la Fig. 2A.

Cada uno de los inductores que pertenecen al circuito 27 puede tener cualquier forma adecuada; por ejemplo, cada uno de los inductores puede tener forma de barril o alternativamente ser plano. Además, cada uno de los inductores puede tener cualquier dimensión adecuada; como un ejemplo puramente ilustrativo, cada inductor puede ser de 5 cm x 5 cm x 3 cm.

La siguiente descripción usa la notación " $|C1|$ " para referirse a la capacitancia del primer capacitor C1, " $|C2|$ " para referirse a la capacitancia del segundo capacitor C2, " $|L1|$ " para referirse a la inductancia del primer inductor L1, y " $|L2|$ " para referirse a la inductancia del segundo inductor L2.

En general,  $|C1|$ ,  $|C2|$ ,  $|L1|$  y  $|L2|$  se seleccionan de tal manera que:

(i) a frecuencias cercanas a  $f2$ , el primer condensador se comporta efectivamente como un cortocircuito (es decir, la magnitud de la impedancia del primer condensador es inferior a 20 Ohm),

$$(ii) \quad 1 / (2\pi\sqrt{L' * |C2|}) = f2, \text{ donde } L' = 1/(1/|L1| + 1/|L2|),$$

(iii) a frecuencias cercanas a  $f1$ , el segundo condensador se comporta efectivamente como un circuito abierto (es decir, la magnitud de la impedancia del segundo condensador es mayor que 1000 Ohm), y

$$(iv) \quad 1 / (2\pi\sqrt{|L1| * |C1|}) = f1.$$

A frecuencias cercanas a  $f1$ , el circuito 27 funciona como un "circuito de resonancia LC en serie", para el cual la frecuencia de resonancia es

$$1 / (2\pi\sqrt{|L1| * |C1|}) .$$

Por lo tanto, dada la selección adecuada de  $|L1|$  y  $|C1|$  - el primer condensador y el primer inductor resuenan colectivamente a  $f1$ . Dicho de otra manera, el primer condensador y el primer inductor juntos forman un primer circuito resonante, que resuena a  $f1$ . Por otro lado, a frecuencias cercanas a  $f2$ , debido a que el primer condensador se comporta como un cortocircuito, el circuito 27 funciona como un "circuito de resonancia LC en paralelo", para el cual la frecuencia resonante es

$$1 / (2\pi\sqrt{L' * |C2|}) .$$

Por lo tanto, dada la selección adecuada de  $|L1|$ ,  $|L2|$  y  $|C|$  - el segundo condensador, el primer inductor, y el segundo inductor resuenan colectivamente a  $f2$ . En otras palabras, el segundo condensador, el primer inductor y el segundo inductor juntos forman un segundo circuito resonante, que resuena a  $f2$ . (El primer inductor es común para tanto el primer circuito resonante como para el segundo circuito resonante). Por tanto, siempre que la señal suministrada al circuito incluya componentes de tanto la frecuencia  $f1$  como la  $f2$ , el circuito 27 resonará simultáneamente a  $f1$  y  $f2$ .

Por ejemplo, el circuito 27 resuena tanto a 3,2 kHz como a 16 kHz, si  $|C1| = 750$  nF,  $|C2| = 60$  nF,  $|L1| = 3,3$  mH y  $|L2| = 3,3$  mH. En particular:

(i) A 16 kHz, la magnitud de la impedancia del condensador C1 es de solo 13,3 Ohm, es decir, C1 funciona efectivamente como un cortocircuito.

$$(ii) \quad 1 / (2\pi\sqrt{L' * |C2|}) = 16 \text{ kHz.}$$

(iii) A 3,2 kHz, la magnitud de la impedancia del condensador C2 es de 828,9 Ohm, es decir, C2 funciona efectivamente como un circuito abierto.

$$(iv) \quad 1 / (2\pi\sqrt{|L1| * |C1|}) = 3.2 \text{ kHz.}$$

Como se ha descrito anteriormente, en las realizaciones de las Figs. 2A-B, el primer inductor L1 resuena simultáneamente tanto a la primera frecuencia dominante como a la segunda frecuencia dominante, es decir, L1 es común tanto para el primer circuito resonante como para el segundo circuito resonante. En otras realizaciones, el componente reactivo común es un condensador, en lugar de un inductor. Por ejemplo, las realizaciones de las Figs. 2A-B pueden modificarse intercambiando las posiciones de C1 y L1, de tal manera que C1, en lugar de L1, resuene simultáneamente tanto a la primera frecuencia dominante como a la segunda frecuencia dominante.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato, que comprende:

5 un generador de señales (28), configurado para suministrar una señal que tiene tanto una primera frecuencia dominante como una segunda frecuencia dominante; y  
 un circuito eléctrico (27), que comprende un componente reactivo, configurado para generar, después de que la señal se suministre al circuito eléctrico, un campo magnético que tiene tanto la primera frecuencia dominante como la segunda frecuencia dominante, en virtud de que el componente reactivo resuena  
 10 simultáneamente a tanto la primera frecuencia dominante como a la segunda frecuencia dominante;  
 por lo menos un primer sensor (24), configurado para generar una primera señal en respuesta a la detección del campo magnético a la primera frecuencia dominante;  
 por lo menos un segundo sensor (46), configurado para generar una segunda señal en respuesta a la detección del campo magnético a la segunda frecuencia dominante; y  
 15 en donde el aparato está configurado, en respuesta a la primera señal y a la segunda señal, para determinar las localizaciones respectivas en el primer sensor y el segundo sensor.

2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el circuito eléctrico (27) comprende un primer circuito resonante configurado para resonar a la primera frecuencia dominante, y un segundo circuito resonante configurado para resonar a la segunda frecuencia dominante, y en el que el componente reactivo es común para tanto el primer  
 20 circuito resonante como para el segundo circuito resonante.

3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una herramienta intracorporal que comprende el primer sensor.  
 25

4. Un método que comprende:

usar un generador de señales (28), que suministra a un circuito eléctrico (27) que incluye un componente reactivo, una señal que tiene tanto una primera frecuencia dominante como una segunda frecuencia dominante; y  
 30 usar el circuito eléctrico (27), generando, después de que la señal se suministre al circuito eléctrico (27), un campo magnético que tiene tanto la primera frecuencia dominante como la segunda frecuencia dominante, en virtud de que el componente reactivo resuena simultáneamente a tanto la primera frecuencia dominante como a la segunda frecuencia dominante;  
 35 usar por lo menos un primer sensor (24), generando una primera señal en respuesta a la detección del campo magnético a la primera frecuencia dominante;  
 usar por lo menos un segundo sensor (46), generando una segunda señal en respuesta a la detección del campo magnético a la segunda frecuencia dominante; y  
 40 en respuesta a la primera señal y a la segunda señal, determinar las localizaciones respectivas del primer sensor (24) y el segundo sensor (46).

5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que usar el primer sensor (24) para generar la primera señal comprende usar el primer sensor (24) para generar la primera señal mientras el primer sensor (24) está dentro de un cuerpo de un sujeto.  
 45

6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que generar el campo magnético comprende generar el campo magnético desde debajo del sujeto (26).

7. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el circuito eléctrico (27) incluye un primer circuito resonante configurado para resonar a la primera frecuencia dominante, y un segundo circuito resonante configurado para resonar a la segunda frecuencia dominante, y en el que el componente reactivo es común para tanto el primer  
 50 circuito resonante como para el segundo circuito resonante.

8. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o el método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el componente reactivo es un primer inductor, y en donde el circuito eléctrico (27) incluye además:

un primer condensador, conectado en serie con el primer inductor,  
 un segundo inductor, conectado en paralelo con el primer inductor, y  
 un segundo condensador, conectado en paralelo con el primer inductor y en serie con el segundo inductor.  
 60

9. El aparato o el método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el primer condensador y el primer inductor están configurados para resonar, colectivamente, a la primera frecuencia dominante, y en donde el segundo condensador, el primer inductor, y el segundo inductor están configurados para resonar, colectivamente, a la  
 65 segunda frecuencia dominante.

10. El aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el primer condensador está configurado para tener una impedancia que tiene una magnitud de menos de 20 Ohm a la segunda frecuencia dominante, y el segundo condensador está configurado para tener una impedancia que tiene una magnitud de más de 1000 Ohm a la primera frecuencia dominante.

5

11. El aparato o el método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el circuito eléctrico incluye:

una bobina, y

una toma de bobina (48), que incluye el primer condensador, que golpea la bobina,

10 el primer y el segundo inductores siendo partes respectivas de la bobina que están en lados opuestos de la toma de bobina.

12. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o el método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde una diferencia entre la primera frecuencia dominante y la segunda frecuencia dominante es de por lo menos 5 kHz.

15

13. El aparato o el método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la primera frecuencia dominante es menor que 5 kHz, y la segunda frecuencia dominante es mayor que 15 kHz.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



FIG. 1

