



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 319 080**

⑫ Número de solicitud: 200802743

⑬ Int. Cl.:  
**A61B 5/04** (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑮ Fecha de presentación: **26.09.2008**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.2009**

Fecha de la concesión: **09.09.2009**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **22.09.2009**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**22.09.2009**

⑲ Titular/es: **Universidad Politécnica de Madrid  
c/ Ramiro de Maeztu, 7  
28040 Madrid, ES**

⑳ Inventor/es: **Serrano Olmedo, José Javier;  
Poley Gómez, Antonio y  
Pozo Guerrero, Francisco del**

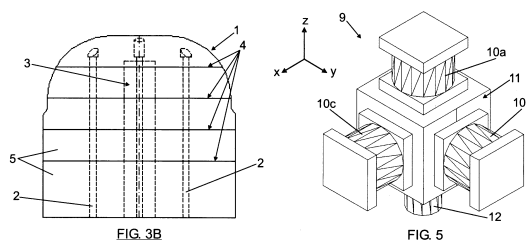
㉑ Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

㉒ Título: **Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía.**

㉓ Resumen:

Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía, que comprende:

- una cabeza simulada (1), dividida en porciones horizontales (5), con un orificio (3) para el guiado de cables que excitan los generadores de campo magnético (9) y alojamientos (2) para alojar los tornillos de fijación de las porciones horizontales (5), disponiendo éstas de agujeros (7) para la fijación de los generadores (9);
- un generador (9) por cada canal del fantoma, comprendiendo tres bobinas (10a, 10b, 10c) sobre un soporte (11) en direcciones coordenadas (z, y, x), con un vástago inferior (12) que parte del soporte (11) para su fijación en un agujero (7) de una porción horizontal (5), estando cada una de las bobinas (10a, 10b, 10c) excitada por una señal de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ), produciendo la bobina (10a) opuesta al vástago inferior (12) la componente vertical z del dipolo magnético, y produciendo las otras dos bobinas (10b, 10c) las componentes (x, y) en el plano de la porción horizontal (5).



ES 2 319 080 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se engloba en el sector de la magnetoencefalografía (en adelante MEG), una técnica que registra la actividad funcional cerebral mediante la captación de campos magnéticos. Más específicamente la presente invención es un sistema simulador de la actividad magnética cerebral.

10 **Antecedentes de la invención**

La magnetoencefalografía es una técnica de diagnóstico para enfermedades cerebrales que está en expansión en la actualidad en todo el mundo. Las dificultades para interpretar las señales cerebrales están siendo reducidas gracias a numerosos trabajos científicos, los cuales, sin embargo, presentan un cuello de botella en la inexistencia de medios adecuados para su prueba experimental a través de simulaciones.

Actualmente existe por tanto una insuficiencia de medios materiales para testar los modelos teóricos para ayudar a la interpretación de señales magnetoencefalográficas. La presente invención sirve para probar modelos de comportamiento cerebral denominados "modelos de sincronización" en la literatura científica. El invento mejora notablemente la capacidad de testar los equipos de magnetoencefalografía y también permite disponer de un laboratorio para probar modelos teóricos de interpretación de señales de magnetoencefalografía.

Se conocen documentos de patente relacionados con la presente invención: JP2001070272A y US5938598A1.

Sin embargo, la presente invención proporciona una serie de ventajas y resuelve una serie de problemas técnicos no resueltos en el estado del arte. En particular:

- A diferencia de la presente invención, los sistemas actuales de simulación no permiten cambiar la orientación en tiempo real del vector magnético. Es decir, mientras se los utiliza, el o los dipolos magnéticos que esos sistemas producen para ser detectados por el equipo de magnetoencefalografía como si fueran producidos por el cerebro, no pueden ser reorientados; mientras que el sistema simulador que la presente invención propone sí permite reorientarlos.

- También la presente invención, al igual que otras ya conocidas, permite ubicar el origen de esos dipolos magnéticos en casi cualquier punto del espacio, antes de iniciar el funcionamiento. La presente invención añade, sin embargo, la posibilidad de aproximar mucho más el dipolo a los sensores de campo magnético del equipo de magnetoencefalografía que los inventos ya conocidos, ya que éstos utilizan recintos rellenos de fluidos en cuyo interior colocan los dipolos magnéticos, no siendo posible ubicar bobinas generadores de dipolos magnéticos en las paredes del recipiente que contiene a esos fluidos. El invento presentado no utiliza fluidos de modo que todo el volumen está disponible para colocar los generadores de campo magnético.

- El método constructivo de la presente invención permite a su vez una fijación del fantoma al volumen sensible de los equipos de magnetoencefalografía que garantiza una gran facilidad en su uso habitual, mucho mayor que en otros, para determinar el lugar geométrico donde se ubican los generadores de campo.

- La generación del campo magnético de muy baja intensidad (del orden del campo producido por el cerebro), con calidad suficiente como para que se puedan producir campos de intensidad variable, se realiza de forma más eficaz que en otros modelos porque en la presente invención se utilizan bobinas con varias vueltas como generadores de campo magnético, frente a electrodos o lazos únicos utilizados en otras invenciones. Las bobinas producen dipolos magnéticos más ideales porque los artefactos debidos a las conexiones en el caso de electrodos o lazos únicos son más influyentes en cuanto a la calidad del dipolo magnético producido. En el caso de las bobinas, estos artefactos tienen menor peso en la formación del dipolo magnético por cuanto la corriente da varias vueltas contribuyendo de forma ideal más veces a la formación de ese dipolo. Esta mayor idealidad se consigue a costa de la obligación de utilizar una corriente menor en las bobinas que la utilizada en otras soluciones: la corriente debe ser más pequeña cuantas más vueltas tenga la bobina, para producir igual intensidad de campo. En efecto, el campo magnético final a crear debe ser de similar intensidad en todas las soluciones. En el rango de corrientes necesarias, la atenuación extra requerida por el invento frente a otros implica una mayor dificultad y complejidad en el sistema de producción de esas corrientes. La dificultad se acrecenta por cuanto además deben tener gran resolución, es decir, variabilidad en intensidad y en el tiempo con gran calidad, posibilidad no prevista, en principio, en los otros modelos, ya que éstos utilizan señales sinusoidales predeterminadas fijas en intensidad y frecuencia. La conversión de las señales a probar entrantes al fantoma hasta dipolos magnéticos con intensidad y orientación variables en el tiempo, se realiza mediante cinco etapas. La primera, opcional, consiste en un circuito que proporciona las tres componentes de un dipolo magnético a partir de una señal entrante correspondiente al módulo de dicho vector. Los dos ángulos (azimutal y cenital) que deciden la orientación del vector suma de las tres componentes coordenadas se introducen mediante el ajuste de mandos potenciométricos situados en la carátula del equipo. También, pueden ser introducidas directamente las tres componentes evitando la primera etapa. En la segunda etapa y sucesivas, se convierten las tres señales en tensión a tres dipolos magnéticos

que pueden sumarse o no según su ubicación en la cabeza del fantoma. Si estos dipolos son generados por bobinas próximas colocadas a 90° grados producen un vector suma y, en caso contrario, son canales independientes. De igual forma, pueden ser colocados más de tres canales replicando la etapa de conversión. Las señales, procesadas o no por la primera etapa, son atenuadas en la segunda etapa mediante transformadores de tensión a tensión. Sigue una etapa de conversión de tensión a corriente mediante circuitos analógicos que utilizan transistores. Finalmente, son atenuadas de nuevo por transformadores de corriente a corriente. Las débiles corrientes finales, más débiles que en otros sistemas, producen ya el campo magnético deseado.

- El fantoma presentado puede servir para probar el equipo MEG, pero también para probar modelos teóricos de análisis de señales de MEG, por lo que se necesita poder introducir distintas señales magnéticas de prueba. En el caso del invento presentado, las señales a probar deben ser recibidas como señales en tensión, en rangos de intensidad y variabilidad temporal tales que pueden ser fácilmente producidas por métodos convencionales, mientras que otras soluciones producen sus propias señales sin posibilidad de variación. Por ejemplo, podrían ser las mismas señales en tensión que los propios medidores de campo magnético utilizados en magnetoencefalografía entregan como salida, de modo que el fantoma reproduzca hasta cierto punto señales magnéticas cerebrales reales.

- Las invenciones conocidas necesitan utilizar fluidos salinos que se evaporan, que pueden resultar corrosivos y que, en general, dificultan la manipulación del dispositivo en general, y de los generadores de campo magnético en particular. La presente invención no utiliza fluidos, sino que utiliza una cabeza fantoma con materiales plásticos, transparente desde el punto de vista electromagnético.

- Existe una necesidad de ajustar la posición del fantoma esférico en el interior del volumen sensible, que no es nunca esférico, para garantizar la repetibilidad de las pruebas. La presente invención aporta una solución, pues el fantoma es elaborado a partir de un vaciado del recinto sensible, lo que permite su colocación con una mayor repetibilidad.

- Otro problema es la posibilidad de ubicación de los actuadores de forma discrecional en cualquier punto del volumen sensible, incluida la superficie límite de éste. El fantoma que la presente invención propone está construido por apilamiento de rodajas axiales mediante ejes de nylon, cada una con doble rejilla de orificios cilíndricos para colocación de los actuadores (una en cada cara). Se retiran las rodajas coincidentes con la ubicación de los actuadores de forma que éstos puedan ser fijados en los orificios de las rodajas adyacentes, con la orientación en el plano que se desee. El resto de rodajas se fija mediante tuercas. Si el lugar deseado no coincide con uno de los previstos verticalmente, es posible recolocar la posición de las rodajas hasta que los lugares de inserción sean los adecuados desplazando las tuercas. Por tanto, los generadores de campo magnético (9) son regulables en altura, ya que la altura se selecciona mediante tuercas que fijan las rodajas a los ejes transversales a éstas.

- Existe la necesidad de definición instantánea de la orientación espacial del dipolo magnético. La presente invención lo soluciona mediante tres bobinas colocadas en forma de diedro y ocupando un volumen total pequeño; las corrientes que circulan por las tres bobinas son tales que la suma de los campos magnéticos que cada una produce da lugar a un campo magnético fijo en el espacio, con orientación arbitraria, y variación temporal determinada por la señal entrante al fantoma. Las tres corrientes se generan mediante un circuito eléctrico analógico que induce retardos, proporcionales a los dos ángulos que definen la orientación y realiza varias sumas de señales intermedias. Si en lugar de tres bobinas se colocan dos, se obtiene una definición de la orientación restringida al plano definido por las dos direcciones de los ejes de esas bobinas.

- Existe una necesidad de definición del dipolo magnético con suficiente aproximación -a un dipolo ideal. La presente invención lo soluciona. Para ello las bobinas deben tener un número de vueltas suficientemente grande como para que el efecto de bordes debido a las conexiones de la bobina con el cable bifilar, a través del cual llega la corriente que la alimenta, sea pequeño, lo que, por otro lado, obliga a corrientes muy débiles; se alcanza un compromiso técnico razonable entre el grado de idealidad necesario y la intensidad de corriente mínima exigible no utilizando menos de seis vueltas.

- Existe la necesidad de producir variaciones temporales de la intensidad del dipolo magnético con suficiente relación señal a ruido. Para ello en la presente invención la señal inicial en tensión es atenuada y convertida a señal en corriente mediante tres etapas. La corriente final debe ser tanto más débil cuantas más vueltas tenga la bobina, y, como consecuencia, menos ruido debe introducir la electrónica que produce esta corriente para garantizar una relación señal a ruido adecuada. Se alcanza un compromiso técnico razonable entre calidad exigible a la electrónica de atenuación y atenuación necesaria si no se superan las nueve vueltas.

- Existe también la necesidad de validar y calibrar métodos algorítmicos para cálculo de determinadas figuras de mérito de los denominados "modelos de sincronización neuronal" utilizados para análisis de señales magnetoencefalográficas. La presente invención lo soluciona de forma que utilizando varios generadores de campo de una, dos o tres bobinas ubicados en puntos diferentes del fantoma se producen campos magnéticos de intensidad y dirección variantes en tiempo. Éstos deben guardar sincronía en sus variaciones temporales con retardos de acuerdo a las reglas que dichos modelos intentan encontrar. En la medida en que modelos a probar encuentren, a partir de las señales magnéticas recogidas por el equipo de magnetoencefalografía, los dipolos magnéticos realmente operantes y sus variaciones, será validado el modelo en cuestión.

La presente invención permite controlar la generación de campos magnéticos con características de dirección, orientación, ancho de banda y relación señal a ruido adecuadas a su uso, consiguiendo la orientación espacial arbitraria del vector del campo magnético.

## 5 Descripción de la invención

La invención se refiere a un fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía de acuerdo con la reivindicación 1. Realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

10 El fantoma comprende un soporte físico (que es la cabeza del fantoma), unos actuadores (que son los tripletes de bobinas generadoras de campo magnético) y una electrónica que alimenta a los actuadores. Un canal es el conjunto de los actuadores y la electrónica que los alimenta.

Por tanto, el fantoma comprende:

15 - una cabeza simulada, la cabeza del fantoma, dividida en porciones horizontales, que dispone de un orificio para el guiado de cables que llevan las señales de excitación hasta los generadores de campo magnético y una pluralidad de alojamientos encargados de alojar los tornillos de fijación de las porciones horizontales, disponiendo cada porción horizontal en al menos una de sus superficies horizontales de una pluralidad de agujeros para la fijación de los generadores de campo magnético;

20 - una pluralidad de generadores de campo magnético, uno por cada canal del fantoma. Un canal es la generación de un dipolo magnético orientado espacialmente: según el número de bobinas podemos tener dos grados de libertad en la orientación (tres bobinas), un grado de libertad (dos bobinas) o ningún grado de libertad (una bobina). El actuador es el conjunto de las bobinas de un canal, pero el canal comprende también todo el resto de elementos electrónicos, cableado, etc. para hacer posible el dipolo magnético. Cada generador de campo magnético comprende tres bobinas colocadas sobre un soporte en las direcciones de unos ejes coordenados (z,y,x), disponiendo de un vástago inferior que parte del soporte para su fijación en un agujero de una porción horizontal de la cabeza simulada, pudiendo alinearse el generador horizontalmente con respecto a dicha porción horizontal, y estando cada una de las bobinas excitada por 25 una señal de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ), produciendo la bobina opuesta al vástago inferior la componente vertical z del dipolo magnético, y produciendo las otras dos bobinas las componentes (x,y) en el plano de la porción horizontal.

30 Los agujeros para la fijación de los generadores de campo magnético forman preferiblemente una doble rejilla (una en cada cara de la porción horizontal) en las direcciones coordenadas (x,y,z).

El fantoma comprende preferentemente una pluralidad de acondicionadores de señal para obtener, a partir de una señal de tensión de entrada, la señal de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ) debidamente acondicionada.

40 Cada acondicionador de señal puede comprender:

- un transformador de la tensión de entrada;

45 - un circuito alimentado con baterías encargado de producir una corriente proporcional a la tensión de salida del transformador;

- un transformador de corriente, cuya señal de salida alimenta la bobina correspondiente del generador de campo magnético.

50 El fantoma comprende preferiblemente un módulo orientador del dipolo magnético, configurado para obtener la señal de tensión de entrada de los acondicionadores de señal a partir de una señal de entrada  $B_0(t)$  correspondiente al módulo de la señal de salida de dicho módulo orientador, y de unos mandos de control configurados para seleccionar los ángulos cenital ( $\varphi$ ) y acimutal ( $\theta$ ) que determinan la orientación de la dirección del dipolo magnético en el plano horizontal.

55 También el fantoma comprende preferentemente una pluralidad de conmutadores encargados de seleccionar la señal de tensión de entrada de los acondicionadores de señal entre una de las siguientes:

- la señal de salida del módulo orientador;

60 - una señal ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ) externa al fantoma.

Las porciones horizontales donde se ubican los generadores de campo magnético pueden ser regulables en altura. La altura se selecciona preferentemente mediante tuercas que fijan las rodajas a los ejes transversales a éstas.

65 Las bobinas de los generadores de campo magnético preferentemente tienen al menos seis vueltas y no más de nueve vueltas.

La cabeza simulada está fabricada preferiblemente en materiales plásticos de permeabilidad magnética unidad.

La cabeza simulada del fantoma tiene forma que se adapta al volumen sensible del equipo de magnetoencefalografía en que vaya a ser utilizado.

El soporte sobre el que se colocan las bobinas de cada generador de campo magnético es preferentemente un cubo de madera u otro material de similares propiedades magnéticas.

Las señales de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ) de cada generador de campo magnético pueden ser generadas mediante un ordenador dotado con una tarjeta para generación de señales analógicas.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

La Figura 1 muestra de manera esquemática la cabeza del fantoma.

La Figura 2 muestra una vista en planta de la cabeza del fantoma.

Las Figuras 3A y 3B representan, respectivamente, una vista en perfil y una vista en alzado del laminado de la cabeza del fantoma.

La Figura 4 muestra un esquema de una posible rejilla para la colocación de los generadores triaxiales en una rodaja.

La Figura 5 muestra una vista en diédrica de un generador de campo magnético.

La Figura 6 muestra la electrónica de un canal del fantoma.

La Figura 7 representa un circuito orientador del dipolo magnético.

La Figura 8 muestra los módulos electrónicos de los desfases variables de la figura 7.

La Figura 9 muestra los módulos electrónicos de los desfases fijos de la figura 7.

La Figura 10 muestra los módulos electrónicos de los sumadores de la figura 7.

La Figura 11 muestra un módulo electrónico del acondicionador de señal de la figura 6.

### Descripción de una realización preferida de la invención

La presente invención consiste en un sistema simulador de la actividad magnética cerebral. Genera campos magnéticos de intensidad, posición, orientación y variación temporal dentro de los márgenes en los que se encuentran los producidos de forma natural por el cerebro. La variabilidad temporal de dichos campos depende de las señales excitadoras del fantoma, aunque no producidas por éste.

Mediante la electrónica interna del sistema se obtienen las corrientes adecuadas para generar dicho campo a partir de las señales excitadoras. Gracias a un sistema de triple eje de bobinas se puede generar el vector del campo magnético en cualquier punto del volumen del fantoma, aunque restringido a la rejilla de alojamientos previamente mecanizados en éste. Mediante el uso de retardadores de la señal excitadora y algunos circuitos adicionales se generan las señales que alimentan las bobinas, cuyos campos magnéticos correspondientes equivalen a las componentes tridimensionales del dipolo magnético final. La suma vectorial en el espacio de estas tres componentes determina la orientación final del vector magnético, así como sus otras características.

Un fantoma (castellanización de la expresión inglesa *phantom*) es un objeto que permite emular materialmente alguna parte del cuerpo humano o algún tejido humano para un propósito médico. Así un fantoma para magnetoencefalografía emula la actividad magnética generada por el cerebro humano de forma que las señales recogidas por un equipo de magnetoencefalografía a partir del funcionamiento de dicho fantoma guarden una similitud suficiente con las que se obtendrían con un cerebro humano vivo. La suficiencia proviene del propósito para que el que se construye el fantoma. El objetivo de muchos fantomas se limita a permitir validar el funcionamiento de equipos médicos ayudando a detectar posible fallos. En la presente invención el objetivo del fantoma es proporcionar señales de complejidad suficiente para que poder poner a prueba ciertos algoritmos diseñados para tratar las señales magnetoencefalográficas. En concreto se trata de ayudar al diseño de dichos algoritmos para que pueda establecer la ubicación física de las fuentes principales de actividad cerebral y su coherencia: estas fuentes serán los actuadores y, en principio, no se precisan más de tres fuentes distintas, o canales, correlacionadas. El fantoma multicanal propuesto se compone de las siguientes partes principales:

## ES 2 319 080 B2

- cabeza simulada del fantoma (figuras 1 a 4),
- generadores de campo (figura 5),
- electrónica de definición de la orientación de los dipolos magnéticos (figuras 6 a 10) y
- electrónica de obtención de las corrientes excitadoras (acondicionadores) (figura 11)

Los generadores se alojan en la cabeza simulada, mientras que los subsistemas electrónicos se alojan en una caja de dimensiones adecuadas. Las señales excitadoras no son generadas por el fantoma sino que deben ser introducidas en éste, conectando con la caja, desde otro sistema en forma de variaciones de tensión en un margen de (-2,2) [V], con impedancia de salida igual o mayor de  $50\ \Omega$  y un ancho de banda de (1,1000) [Hz]. Cada canal consta de tres señales generadoras de otras tantas componentes coordinadas de un dipolo magnético, y consta, por tanto, de un módulo de definición de ángulos, tres módulos de acondicionamiento de corrientes excitadoras, y de un generador triaxial como mínimo. La caja debe llevar tantas réplicas de un canal como se desee instalar, teniendo un límite razonable en cuatro canales. En efecto, por cada canal se necesitan tres cables para alimentar otras tantas bobinas en la cabeza simulada del fantoma, lo que, aumentando el número de canales puede hacer incómodo o imposible su uso. Además, la caja debe permitir el conexionado de las fuentes de señal con las entradas de cada canal (cuatro entradas por canal), de estos con los generadores (tres por canal), tres conmutadores por canal, y alojar baterías independientes por canal con sus correspondientes diodos luminiscentes indicadores de nivel de carga. También debe permitir la ubicación de los mandos potenciométricos para selección de los ángulos de orientación de los dipolos (cuatro por cada generador de campo triaxial que se quiera ubicar en el fantoma). Si estas señales llegan a un único generador, se puede orientar el dipolo correspondiente discrecional e instantáneamente. Si, por el contrario, llegan a bobinas situadas en generadores distintos, se tendrán dipolos fijos o móviles dependiendo de la elección de conexiones que se haga y de cómo se haga. Por supuesto, no es obligatorio utilizar todas las señales de un canal, aunque ello restringe las funcionalidades del equipo.

Con respecto a la cabeza del fantoma, se fabrica en primer lugar la cabeza simulada donde se alojan los generadores de campo magnético. Esta cabeza debe poder ser insertada muy ajustadamente en el casco o volumen sensible del equipo de magnetoencefalografía. De esta forma se garantiza la exactitud en la determinación de la posición de los dipolos magnéticos que se vayan a generar y de su orientación. Por tanto, la cabeza simulada debe ser realizada con un material de características adecuadas al uso del fantoma. Debe tener permeabilidad magnética unidad, poder ser mecanizado, y ser sumamente estable desde un punto de vista físico y químico. Preferiblemente se utiliza el poliuretano. Para realizar la cabeza de poliuretano se utilizan dos reactivos estándar. Dado que la reacción de polimerización del poliuretano es exotérmica, no se puede aplicar directamente sobre el volumen sensible de la máquina de magnetoencefalografía, porque, al ser de plástico, podría degradarse al alcanzar temperaturas elevadas.

Por tanto es necesario reproducir el volumen sensible pero con un material que soporte el calor generado durante la polimerización. Para ello se realiza un molde de silicona, utilizando su adecuado catalizador, a partir del volumen del casco; la adherencia entre silicona y casco es nula garantizando así la integridad de éste. Con el molde de silicona se reproduce en escayola la cavidad que aloja el volumen sensible. Una vez endurecida la escayola, se puede verter directamente en su interior los reactivos. En pocos minutos ya se tiene la cabeza simulada de plástico, fácilmente extraíble rompiendo el molde de escayola. Una vez el vaciado se haya retirado del molde se puede proceder a su mecanización que consiste en cortarlo tantas veces como rodajas se deseen (en este caso 4, de 3 y 4,5 cm de espesor), y finalmente, realizar los taladros correspondientes a los tornillos pasantes y los orificios de la rejilla para colocar los generadores de campo (rejilla de 1 cm x 1 cm).

Por tanto, la cabeza simulada del fantoma, con forma aproximadamente de cabeza humana, debe adaptarse a cada modelo de equipo de magnetoencefalografía en particular.

En la Figura 1 se representa el orificio 3, preferiblemente cilíndrico vertical y centrado en la cabeza, de la cabeza simulada 1 del fantoma para permitir el acceso de los cables hasta los generadores de campo magnético y los alojamientos 2 de los tornillos de nylon que han de fijar las rodajas en que está dividido el fantoma. No aparecen los cortes en rodajas ni la rejillas de agujeros para fijación de generadores para mejorar la claridad del dibujo.

La Figura 2 se muestra una vista en planta de la cabeza simulada 1 del fantoma. No aparece el mecanizado para alojamiento de los generadores de campo magnético. Este mecanizado puede ser hecho en función de necesidades concretas de uso del fantoma.

Las Figuras 3A y 3B representan, respectivamente, una vista en perfil y una vista en alzado del laminado de la cabeza simulada 1 del fantoma. Se muestra una realización de los cortes 4 para dividir el fantoma en rodajas o porciones horizontales 5 de forma que se facilite la ubicación de los generadores de campo magnético.

La Figura 4 muestra un esquema de una posible rejilla, en este caso una rejilla de 1 cm x 1 cm, para la colocación de los generadores triaxiales en una rodaja o porción horizontal 5. Los alojamientos o agujeros 7 para la fijación de los generadores de campo magnético son cilíndricos en métrica 3 (3 mm de diámetro) y atraviesan la rodaja. Las rejillas definen las direcciones coordenadas. En este caso, la abcisa (x) es la dirección con sentido positivo nunca a frente, la ordenada (y) es la dirección con sentido derecha a izquierda, y la cenital (z) es la dirección cuello a ápice, es decir, saliente de la figura.

Con respecto a los generadores de campo, para fabricar un generador de dipolo magnético se procede a cortar un pequeño cubo de madera ( $7,5 \times 7,5 \times 7,5 \text{ mm}^3$ ) al que se le realiza un pequeño taladro en una de sus caras y se introduce una varilla de madera (en torno a 1 cm de longitud) de métrica 3. A continuación se adhieren en 3 de sus caras otras tantas bobinas formando un diedro. Las bobinas pueden ser comerciales, siempre que cumplan los requisitos en cuanto a tamaño, número de vueltas, grosor del hilo y ausencia de núcleo de ferrita u otros componentes metálicos o magnéticos en general. Los terminales de las bobinas se conectan mediante soldaduras de estaño a cables coaxiales de pequeña sección y de núcleo y malla de cobre o, preferentemente, aluminio puro. Estos cables salen de la cabeza simulada 1 del fantoma a través del orificio 3 (hueco cilíndrico practicado en su interior) hasta conectarse con el equipo electrónico que proporciona las corrientes a las bobinas, mediante conectores BNC.

La Figura 5 muestra una vista en diédrica de un generador de campo magnético 9. Está compuesto por tres bobinas (10a, 10b, 10c) en diedro colocadas sobre un soporte 11 preferiblemente en forma de cubo de madera o material de similares propiedades magnéticas y mecánicas, con un vástago inferior 12 para su fijación en un agujero o alojamiento 7 de una rodaja o porción horizontal 5. Las bobinas son cilíndricas. La bobina 10a opuesta al vástago produce la componente vertical del dipolo magnético, mientras que las otras dos (10b, 10c) producen las componentes en el plano de la rodaja 5. Al ser colocado el generador 9 debe cuidarse de que estas bobinas se alineen con las direcciones coordenadas (x,y,z) de la rodaja 5.

La Figura 6 muestra la electrónica de obtención de la orientación de los dipolos magnéticos, esto es, la electrónica de un canal del fantoma. Cada generador 9 será excitado con tres señales temporales,  $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$  y  $B_x(t)$ , en corriente, correspondientes respectivamente a las tres bobinas 10a, 10b y 10c situadas en los ejes coordenados. Estas señales pueden ser generadas mediante el circuito o módulo orientador 15 del dipolo magnético, o provenir del exterior del fantoma (señales ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ )), según la posición de tres conmutadores 16. Antes de excitar a las bobinas (10a, 10b, 10c), son acondicionadas para las bobinas concretas elegidas por unos acondicionadores de señal 17. Por último, para producir las componentes del dipolo magnético según coordenadas cartesianas, se utiliza una señal  $B_o(t)$  correspondiente al módulo del vector final y unos mandos de control 18, por ejemplo unos potenciómetros de accionamiento manual, que seleccionan los ángulos cenital ( $\varphi$ ) y acimutal ( $\theta$ ) que determinan la orientación de la dirección del dipolo magnético. Las señales entrantes tienen que ser variantes en el tiempo.

La Figura 7 muestra en detalle el circuito o módulo orientador 15 del dipolo magnético de la figura 6. Cada coordenada resulta de una secuencia de desfases de la señal entrante,  $B_o(t)$  de acuerdo al esquema presentado. Las distintas señales generadas son sumadas (módulos sumadores  $\Sigma a$ ,  $\Sigma b$ ) para proporcionar las señales excitadoras de las bobinas correspondientes según los ejes coordinados  $B_x$ ,  $B_y$  y  $B_z$ . Estas señales verifican la siguiente igualdad:  $B_o^2 = B_x^2 + B_y^2 + B_z^2$ . El cambio de signo inicial cancela el cambio de signo introducido por los sumadores realmente utilizados que obviamente no sería necesario con sumadores que no cambiaran el signo. El circuito utiliza desfases variables ( $-\varphi$ ,  $+\varphi$ ,  $-\theta$ ,  $+\theta$ ) que son circuitos que producen desfases de la señal en un ángulo variable  $-\varphi$ ,  $+\varphi$ ,  $-\theta$  ó  $+\theta$ , respectivamente, y desfases fijos ( $-\pi/2$ ), que son circuitos que producen desfases fijos de la señal de  $180^\circ$  y  $90^\circ$ , respectivamente.

La Figura 8 muestra los módulos electrónicos de los desfases variables ( $-\varphi$ ,  $+\varphi$ ,  $-\theta$ ,  $+\theta$ ) de la figura 7. Se utilizan los potenciómetros de accionamiento manual, mandos de control 18, para producir desfases entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  (módulos “ $-\theta$ ” y “ $+\varphi$ ” de la figura 7) o entre  $-90^\circ$  y  $0^\circ$  grados (módulos “ $\theta$ ” y “ $\varphi$ ” de la figura 7). Para el ángulo cenital ( $\varphi$ ), se utilizan dos potenciómetros idénticos. Su accionamiento debe producir variaciones opuestas en sus resistencias por lo que deben ser girados en sentidos opuestos. La graduación se fija por calibración y queda marcada en el dial de cada mando. Conviene que sean lineales y de valor entre 0 y 2 K $\Omega$  para obtener las variaciones de fase adecuadas. Para el ángulo acimutal ( $\theta$ ), se utilizan dos potenciómetros dobles idénticos. De un potenciómetro doble se utiliza cada resistencia para cada uno de los dos módulos “ $+\theta$ ” y del otro para los módulos “ $-\theta$ ”. La utilización de estos potenciómetros es análoga a los del ángulo acimutal.

La Figura 9 muestra los módulos electrónicos de los desfases fijos ( $-\pi/2$ ) de la figura 7, con esquemas electrónicos análogos a los desfases variables pero sin potenciómetros variables para producir desfases a  $90^\circ$  y  $180^\circ$  (inversores).

La Figura 10 representa los módulos electrónicos de los sumadores  $\Sigma a$  y  $\Sigma b$  de la figura 7. Se utilizan sumadores sencillos que aplican ganancias  $1/4$  y  $1/2$ , y que invierten la suma, por lo que es necesaria la aplicación a la señal entrante al conjunto de un inversor (desfasador a  $180^\circ$  como el indicado anteriormente).

La Figura 11 muestra la electrónica de obtención de las corrientes excitadoras, esto es, el módulo electrónico del acondicionador de señal 17 de la figura 6. Está compuesto por tres etapas. Las señales en tensión son transformadas por un transformador 20 de relación 15.87 a 1, toroidal, en la primera etapa. Su salida excita la segunda etapa, compuesta por un circuito alimentado con baterías 21 encargado de producir una corriente proporcional a la tensión entrante. Esta corriente es inyectada a la tercera etapa compuesta por un transformador de altas prestaciones en cuanto a ruido y relación 1 a 100. La señal de salida alimenta la bobina correspondiente 10a, 10b ó 10c. En conjunto, el acondicionamiento proporciona en el ejemplo una relación de transformación tensión a campo magnético de 1.67 mV/FT.

Otras realizaciones particulares de la presente invención podrían ser:

- Sustituir los mandos dobles para los retardadores por mandos únicos cambiando los circuitos analógicos, y, eventualmente, utilizando procesadores digitales de señal para optimizar la obtención de los retardos.

- Sustituir la electrónica por software de modo que mediante un ordenador externo dotado de una tarjeta para generación de señales analógicas, se puedan producir todas las señales que alimentan la electrónica de generación de campos magnéticos. Este software puede incluir una interfaz para facilitar el uso para investigación o para test del equipo.

- Eliminar completamente la necesidad de un ordenador externo incorporando un módulo de generación de señal sinusoidal simple en el rango de frecuencias entre 1 Hz y 2 KHz, parámetro controlado mediante un mando manual analógico externo tipo potenciométrico. La señal inicial alimentaría dos desfasadores como los utilizados en el invento, cada uno con desfasaje controlado mediante un mando manual analógico externo similar al anterior. Finalmente, las tres señales serían controladas en amplitud mediante tres mandos externos que regularían ésta independientemente entre 0 y 2 V para cada canal. Las tres señales alimentarían hasta tres canales, de modo que la orientación espacial de los dipolos magnéticos correspondientes se decide mediante sus correspondientes mandos, también independientemente.

La presente invención se trata pues de un modelo de fantoma más elaborado que los existentes en el sentido, fundamentalmente, de que presenta una gran flexibilidad para definir pruebas para satisfacer las necesidades de distintos modelos de equipo MEG. En particular, la posibilidad de ubicar los dipolos magnéticos a lo largo de todo el volumen y de fijar su dirección arbitrariamente.

Otras aplicaciones de la presente invención comprenden la ayuda al desarrollo de nuevos modelos y algoritmos para análisis e interpretación de las señales de magnetoencefalografía. En efecto, actualmente se está investigando mucho en teorías que establecen la sincronización de la actividad neuronal a lo largo del cerebro como proceso esencial en las tareas cognitivas. A partir de esas hipótesis, se desarrollan cálculos con las señales de MEG cuyos resultados son, o permiten determinar, las fuentes originarias de esas señales. Así, este sistema permite generar grupos de dipolos magnéticos con las características de variación temporal y espacial idóneos para crear casos de prueba para dichas teorías.

## REIVINDICACIONES

1. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía, **caracterizado** porque comprende:

- una cabeza simulada (1), dividida en porciones horizontales (5), que dispone de un orificio (3) para el guiado de cables que llevan las señales de excitación hasta los generadores de campo magnético (9) y una pluralidad de alojamientos (2) encargados de alojar los tornillos de fijación de las porciones horizontales (5), disponiendo cada porción horizontal (5) en al menos una de sus superficies horizontales de una pluralidad de agujeros (7) para la fijación de los generadores de campo magnético (9);

- una pluralidad de generadores de campo magnético (9), uno por cada canal del fantoma, comprendiendo cada generador de campo magnético (9) tres bobinas (10a, 10b, 10c) colocadas sobre un soporte (11) en las direcciones de unos ejes coordenados (z,y,x), disponiendo de un vástago inferior (12) que parte del soporte (11) para su fijación en un agujero (7) de una porción horizontal (5) de la cabeza simulada (1), pudiendo alinearse el generador (9) horizontalmente con respecto a dicha porción horizontal (5), y estando cada una de las bobinas (10a, 10b, 10c) excitada por una señal de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ), produciendo la bobina (10a) opuesta al vástago inferior (12) la componente vertical z del dipolo magnético, y produciendo las otras dos bobinas (10b, 10c) las componentes (x,y) en el plano de la porción horizontal (5).

2. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según reivindicación 1, **caracterizado** porque los agujeros (7) para la fijación de los generadores de campo magnético (9) forman una rejilla en las direcciones coordenadas (x,y,z).

3. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque comprende una pluralidad de acondicionadores de señal (17) para obtener, a partir de una señal de tensión de entrada, la señal de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ) debidamente acondicionada.

4. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque cada acondicionador de señal (17) comprende:

- un transformador (20) de la tensión de entrada;

- un circuito alimentado con baterías (21) encargado de producir una corriente proporcional a la tensión de salida del transformador (20);

- un transformador (23) de corriente, cuya señal de salida alimenta la bobina correspondiente (10a, 10b, 10c) del generador de campo magnético (9).

5. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones 3-4, **caracterizado** porque comprende un módulo orientador (15) del dipolo magnético, configurado para obtener la señal de tensión de entrada de los acondicionadores de señal (17) a partir de una señal de entrada  $B_0(t)$  correspondiente al módulo de la señal de salida de dicho módulo orientador (15), y de unos mandos de control (18) configurados para seleccionar los ángulos cenital ( $\varphi$ ) y acimutal ( $\theta$ ) que determinan la orientación de la dirección del dipolo magnético en el plano horizontal.

6. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque comprende una pluralidad de conmutadores (16) encargados de seleccionar la señal de tensión de entrada de los acondicionadores de señal (17) entre una de las siguientes:

- la señal de salida del módulo orientador (15);

- una señal ( $B_{iz}(t)$ ,  $B_{iy}(t)$ ,  $B_{ix}(t)$ ) externa al fantoma.

7. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las porciones horizontales (5) donde se ubican los generadores de campo magnético (9) son regulables en altura.

8. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las bobinas de los generadores de campo magnético (9) tienen al menos seis vueltas y no más de nueve vueltas.

9. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la cabeza simulada (1) está fabricada en materiales plásticos de permeabilidad magnética unidad.

## ES 2 319 080 B2

10. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la cabeza simulada (1) del fantoma tiene forma que se adapta al volumen sensible del equipo de magnetoencefalografía en que vaya a ser utilizado.

5 11. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el soporte (11) sobre el que se colocan las bobinas (10a, 10b, 10c) de cada generador de campo magnético (9) es un cubo de madera u otro material de similares propiedades magnéticas.

10 12. Fantoma multicanal de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las señales de corriente excitadora ( $B_z(t)$ ,  $B_y(t)$ ,  $B_x(t)$ ) de cada generador de campo magnético (9) son generadas mediante un ordenador dotado con una tarjeta para generación de señales analógicas.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

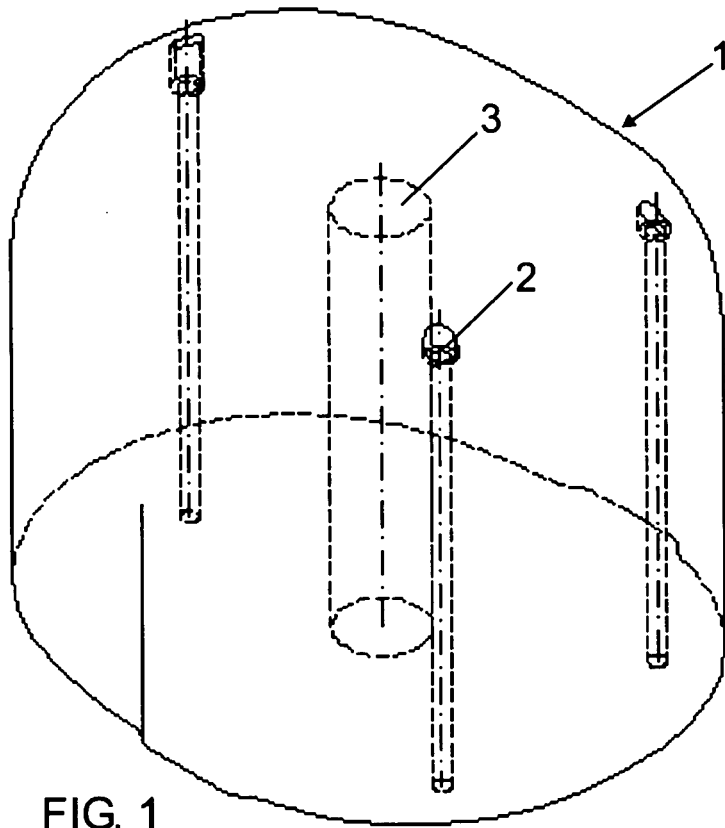


FIG. 1

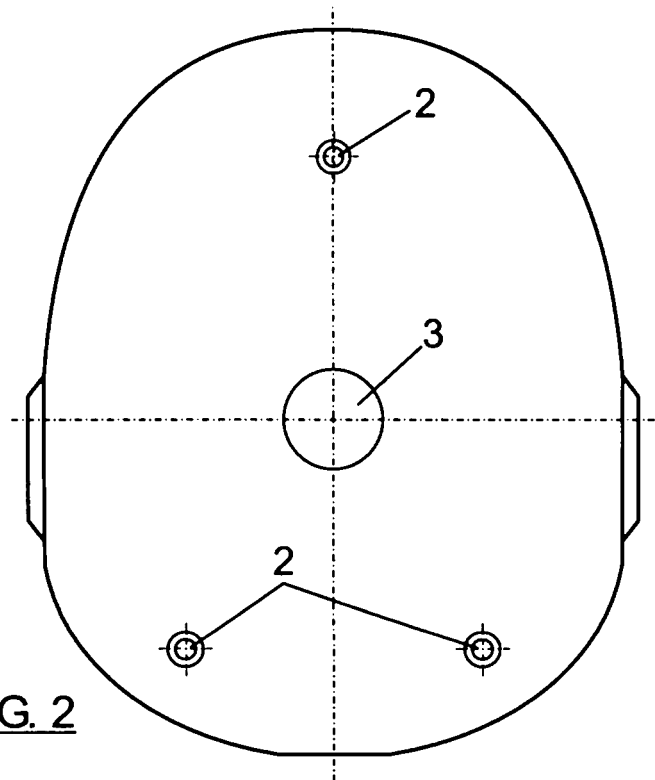


FIG. 2

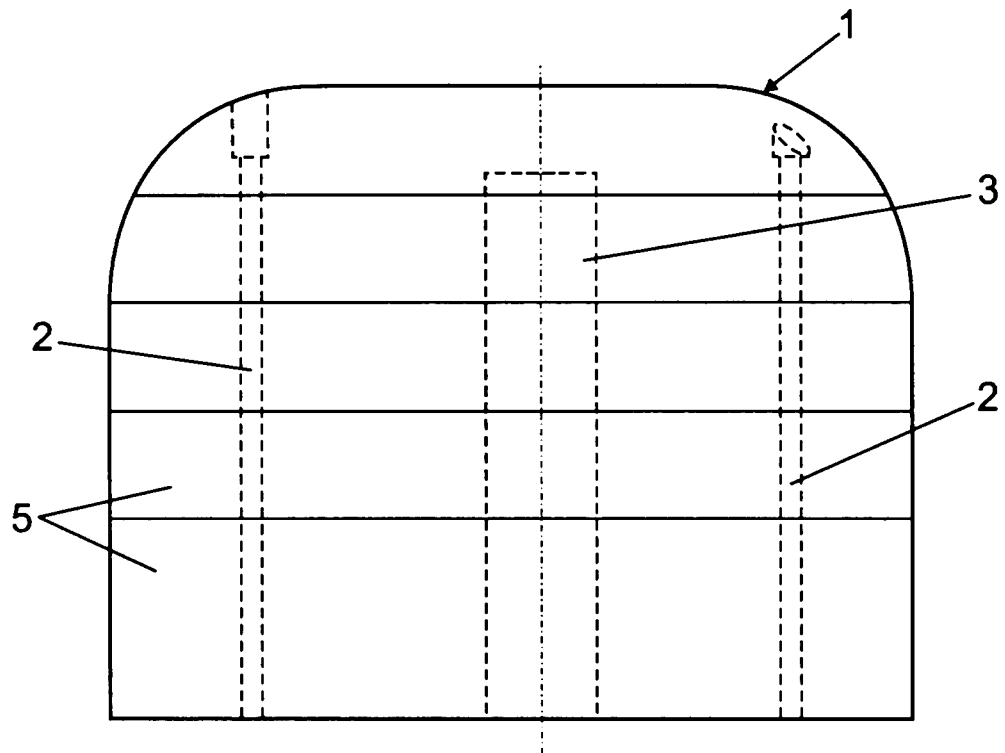


FIG. 3A

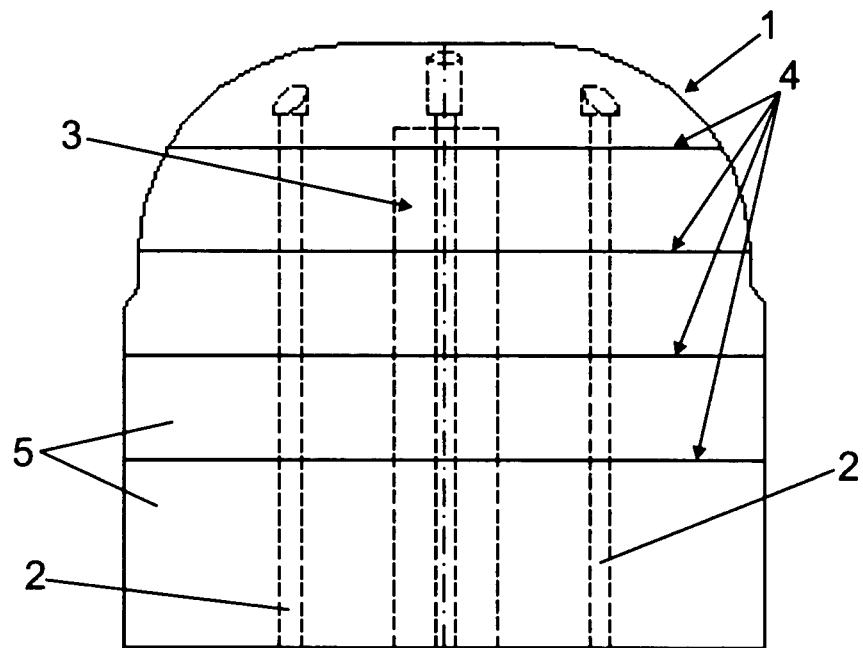
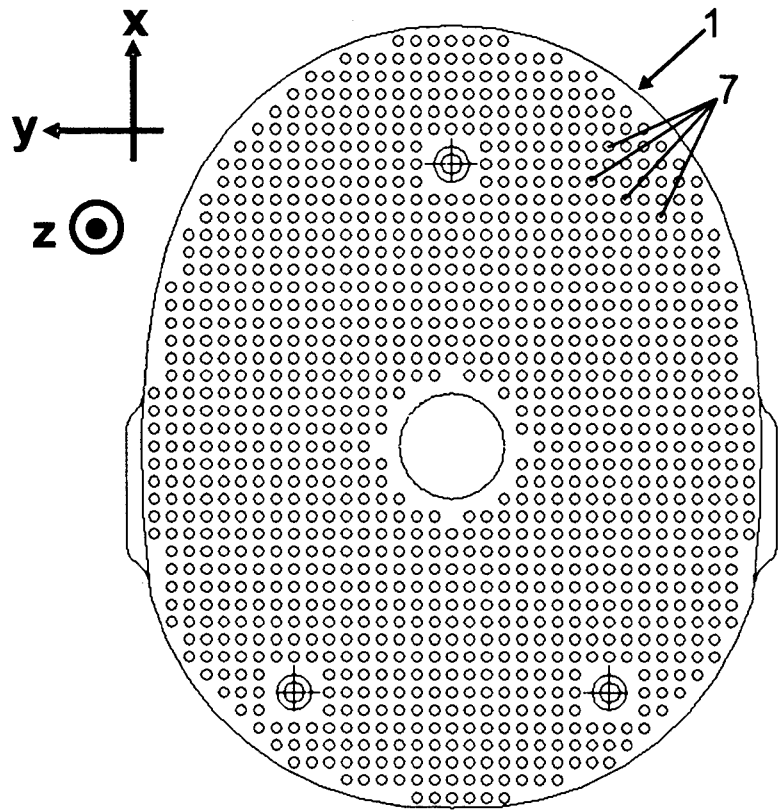
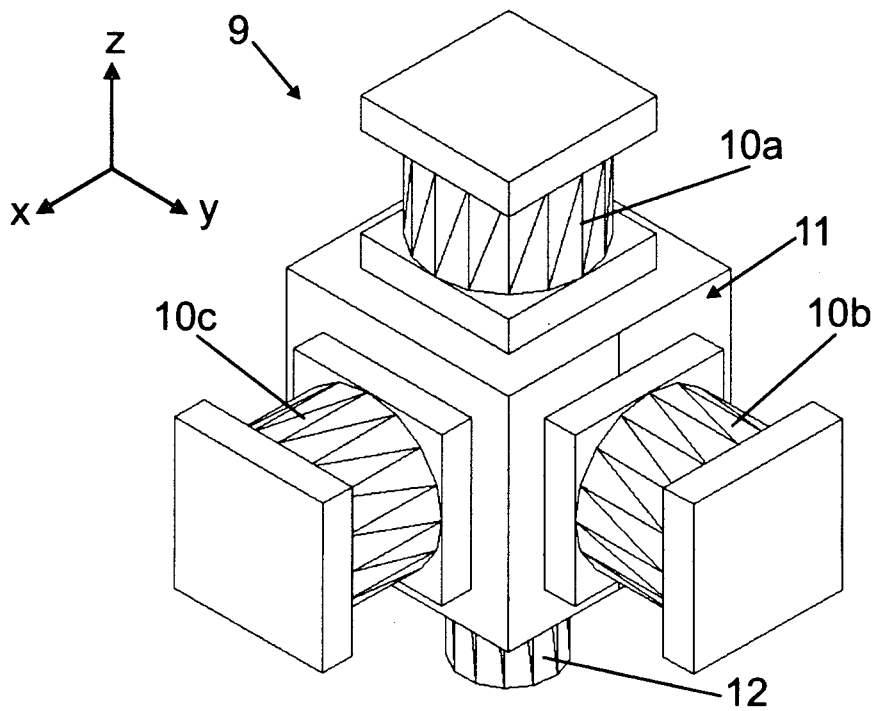


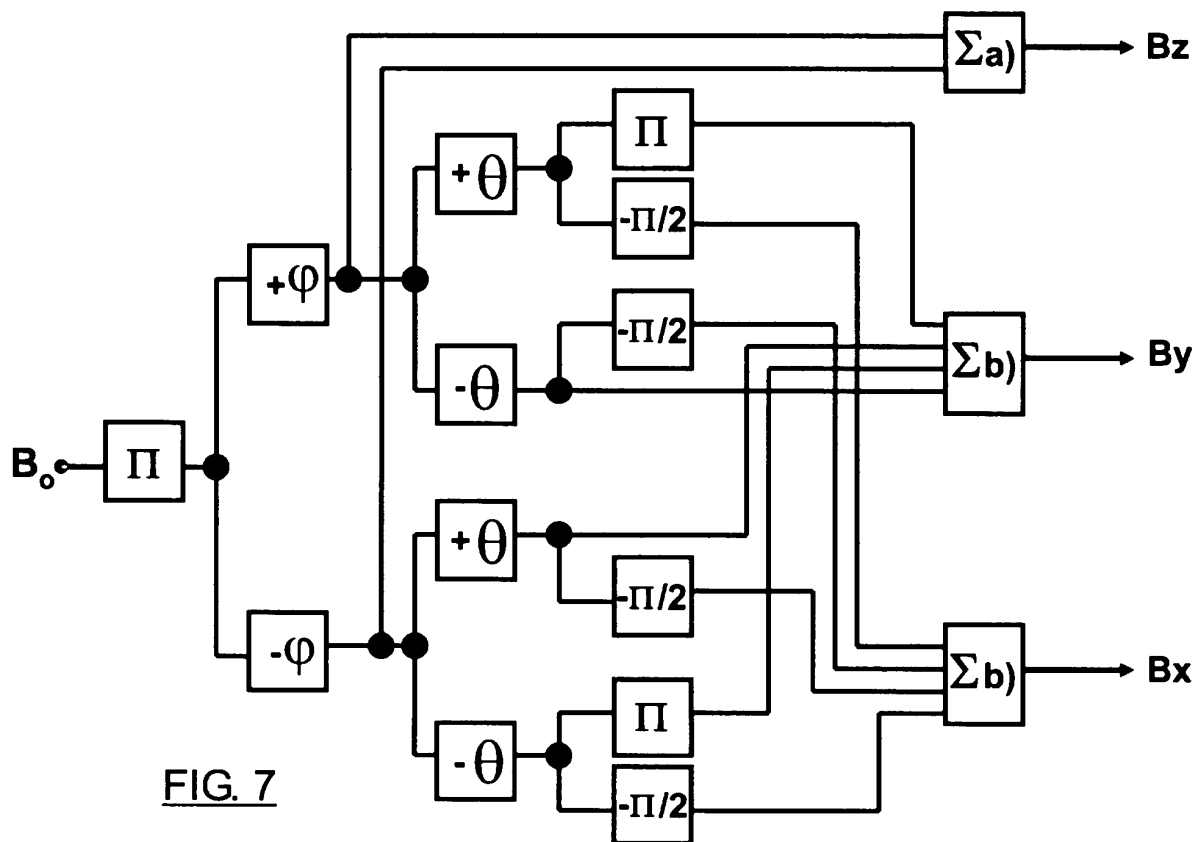
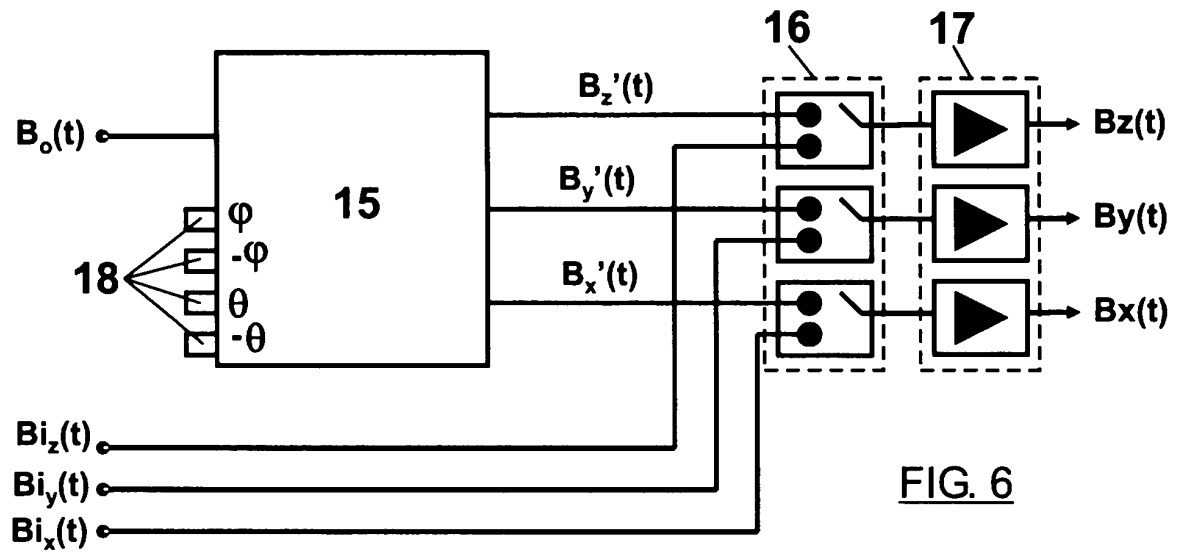
FIG. 3B



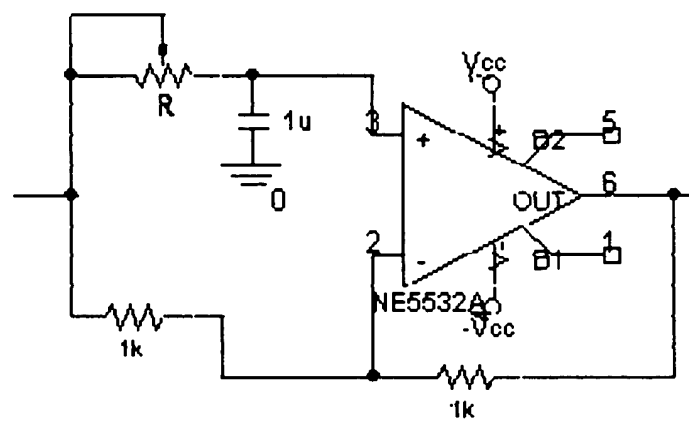
**FIG. 4**



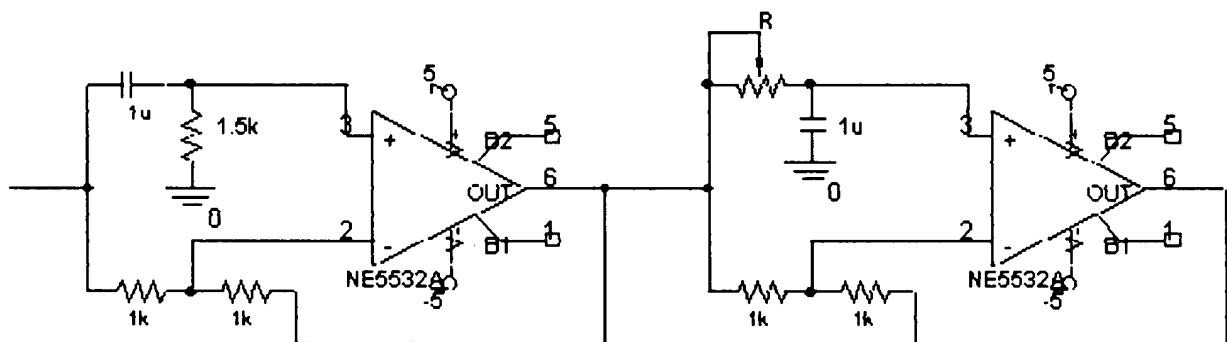
**FIG. 5**



### Desfasador variable $-\varphi$ y $-\theta$

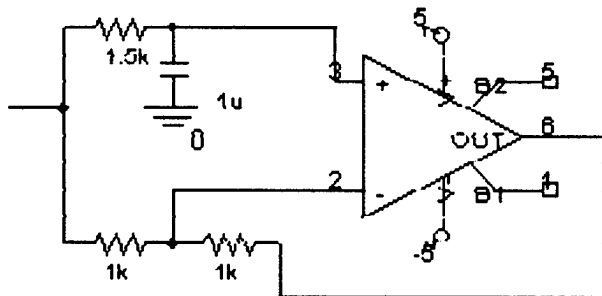


### Desfasador variable $+\varphi$ y $+\theta$



**FIG. 8**

### Desfasador fijo $\pi/2$



### Desfasador fijo $\pi$

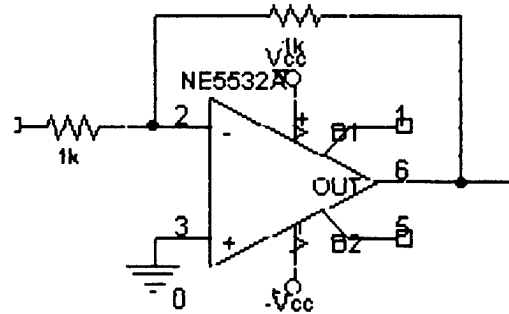
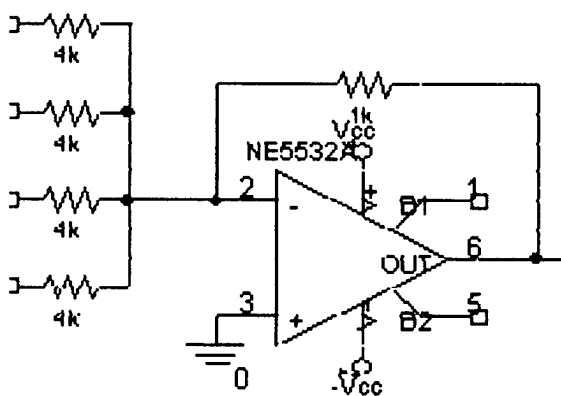


FIG. 9

### Sumador $\Sigma$ b)



### Sumador $\Sigma$ a)

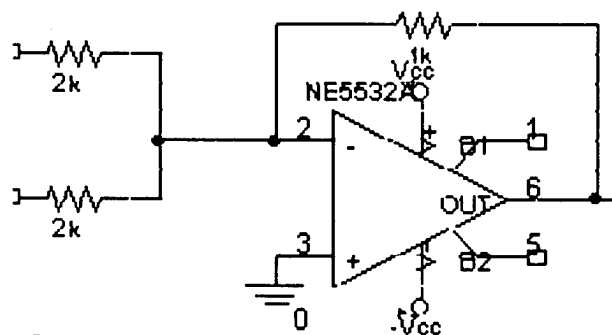


FIG. 10

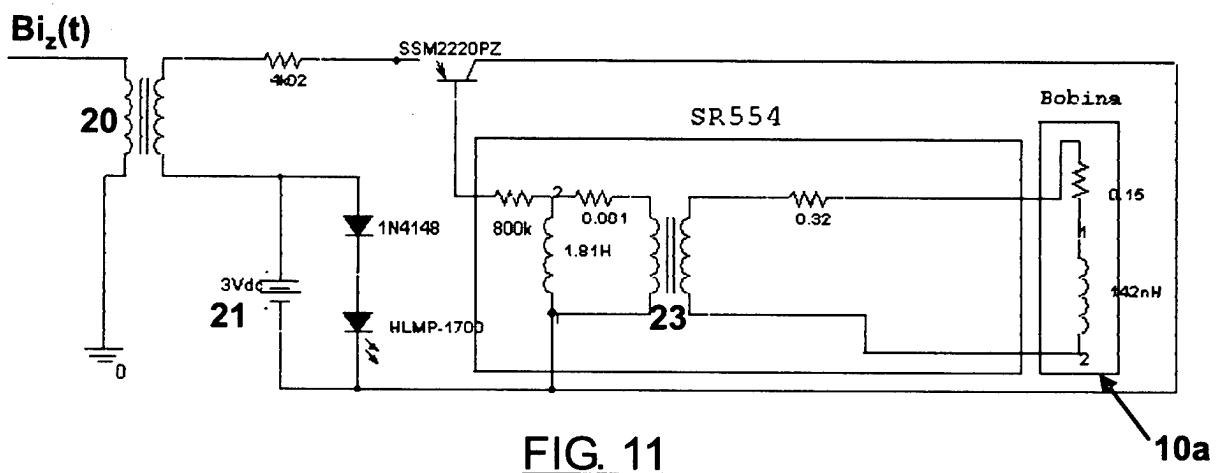


FIG. 11

10a



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 319 080

⑫ Nº de solicitud: 200802743

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 26.09.2008

⑭ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **A61B 5/04** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | ⑯ Documentos citados                                                                                                            | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| A         | EP 0504027 A2 (CUBA NEUROCIENCIAS) 16.09.1992, página 6, líneas 19-38.                                                          | 1-12                       |
| A         | US 2005228209 A1 (SCHNEIDER et al.) 13.10.2005, párrafos [102-104],[118]; figuras 11,12A-12D.                                   | 1-12                       |
| A         | US 2007164739 A1 (CLARKE et al.) 19.07.2007, párrafos [39-44]; figura 5.                                                        | 1-12                       |
| A         | JP 4114631 A (MURATA MANUFACTURING CO; NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 15.04.1992, BASE DE DATOS WPI en EPOQUE, resumen; figuras. | 1,9                        |
| A         | US 5273038 A (BEAVIN et al.) 28.12.1993, todo el documento.                                                                     | 1                          |

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

31.03.2009

Examinador

E. Pina Martínez

Página

1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

A61B, A61N, G09B23/00

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 31.03.2009

**Declaración**

|                                                      |                  |      |           |
|------------------------------------------------------|------------------|------|-----------|
| <b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>                 | Reivindicaciones | 1-12 | <b>SÍ</b> |
|                                                      | Reivindicaciones |      | <b>NO</b> |
| <b>Actividad inventiva<br/>(Art. 8.1 LP 11/1986)</b> | Reivindicaciones | 1-12 | <b>SÍ</b> |
|                                                      | Reivindicaciones | 1-12 | <b>NO</b> |

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión:**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

**1. Documentos considerados:**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

| Documento | Número Publicación o Identificación | Fecha Publicación |
|-----------|-------------------------------------|-------------------|
| D01       | EP 0504027 A2                       | 16.09.1992        |
| D02       | US 2005228209 A1                    | 13.10.2005        |
| D03       | US 2007164739 A1                    | 19.07.2007        |

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

En el documento D01 (pág. 6, lin. 19-38) se describe un fantoma de dipolos magnéticos orientables para magnetoencefalografía que comprende una cabeza simulada y una pluralidad de generadores de campo magnético colocados en posiciones y orientaciones conocidas y calculadas previamente. No obstante, este documento, tan sólo prevé de manera teórica la posible fabricación de dicho fantoma, sin entrar en los detalles estructurales que definirían tanto la cabeza simulada como los dipolos generadores de campo por lo que en él no se encuentran descritas la mayoría de las características estructurales del dispositivo reivindicado en la solicitud.

Por otra parte, en el documento D02 (párr. 102, fig. 11) se describe un fantoma de estructura tridimensional con sensores magnéticos dispuestos en intervalos espaciales preasignados que, en una realización preferente, se sitúan en las esquinas de cubos, cuya posición se define por ejes coordenados (x,y,z) y que pueden hacer medidas en las tres dimensiones. Este fantoma, cuya finalidad es la simulación de un mapa de los campos magnéticos que afectan al cerebro en experimentos de estimulación magnética, presenta como principal diferencia estructural con el dispositivo reivindicado en la solicitud la presencia de sensores en lugar de los generadores tridimensionales reivindicados.

Por último, en D03 (párr. 39; fig. 5) se describe un fantoma en cuyo interior se disponen una serie de discos, a modo de rejillas, con una pluralidad de agujeros destinados a fijar sensores magnéticos. Se prevén otras realizaciones con diferentes orientaciones de los discos (párr. 41-44). Este dispositivo presenta características estructurales que lo hacen esencialmente diferente al fantoma de la solicitud.

Por tanto, en ninguno de los documentos citados, que reflejan el estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud, se han encontrado presentes todas las características técnicas que se definen en la reivindicación 1 de la solicitud.

Asimismo, se considera que las características diferenciales no parecen derivarse de una manera evidente de ninguno de los documentos citados ni de manera individual ni mediante una combinación evidente entre ellos.

Por todo lo anterior, se concluye que la reivindicación 1, y por consiguiente, todas sus dependientes, satisfarían los requisitos de novedad y actividad inventiva (Art. 4.1, LP)