

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 709**

51 Int. Cl.:
G01R 33/3873 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **99103034 .7**
96 Fecha de presentación: **16.02.1999**
97 Número de publicación de la solicitud: **0940686**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.09.1999**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA CORREGIR Y/O CALIBRAR CAMPOS MAGNÉTICOS, PARTICULARMENTE DESTINADO A IMANES EN UN EQUIPO DE IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.**

30 Prioridad:
05.03.1998 IT SV980015

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.02.2012

73 Titular/es:
**ESAOTE S.P.A.
VIALE BIANCA MARIA, 25
20100 MILANO, IT**

72 Inventor/es:
**Sanfilippo, Carlo;
Trequattrini, Alessandro y
Coscia, Gianiuca**

74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

ES 2 374 709 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

Procedimiento para corregir y/o calibrar campos magnéticos, particularmente destinado a imanes en un equipo de imagen por resonancia magnética nuclear.

5 La invención se refiere a un procedimiento para corregir y/o calibrar campos magnéticos, en particular para imanes en un equipo de imagen por resonancia magnética nuclear, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Actualmente, este procedimiento está implementado por el uso de medios de corrección ferromagnéticos pasivos, y los coeficientes se subdividen de acuerdo con criterios que cambian con el tiempo, dependiendo de la estructura de imán, la orientación de campo y otros parámetros.

10 Los criterios adoptados tanto en el procesamiento como en la implementación, sólo se refieren a la estructura de imán y en todo caso son al menos en parte fuertemente empíricos y regidos por la experiencia.

15 En la implementación práctica e industrial de estos imanes y, especialmente del equipo que hace uso de los mismos, tal como, en particular, un equipo de imagen por resonancia magnética nuclear, el uso de procedimientos muy conocidos es lento y costoso, lo que afecta tanto a la productividad como, en relación intrínseca, al coste final del equipo. Del documento US 5418462, se conoce un procedimiento que proporciona la combinación de características del preámbulo de la reivindicación 1.

La invención tiene el objeto de proporcionar un procedimiento para corregir y/o calibrar campos magnéticos del tipo descrito anteriormente en el presente documento, por el que se puede realizar una corrección dirigida y precisa, con un mínimo de elementos de corrección y un número mínimo de etapas.

20 La invención se basa sustancialmente en el reconocimiento de que los errores o aberraciones de campo en el volumen relevante, extendido por el campo, se producen sustancialmente por dos motivos, muy independientes entre sí. Como será evidente a continuación, gracias a este reconocimiento, el procedimiento para corregir y calibrar el campo magnético puede seguirse por tales criterios para permitir que se realice la operación mucho más rápido y minimizando los enfoques de tipo heurístico o los basados sólo en la experiencia. En particular, este reconocimiento es la base de procedimientos que no dependen de un conocimiento específico ni instintivo, lo que apenas es transferible salvo a través de la práctica constante. El reconocimiento en el que se basa la invención consiste en que las aberraciones y los errores de los campos magnéticos generados por cualquier estructura de imán, con respecto a un campo magnético que tiene características predeterminadas, impuestas por su uso específico, son del tipo sistemático o bien no sistemático. El término aberraciones del tipo sistemático se refiere a las aberraciones provocadas por la estructura geométrica y física del imán, es decir, de las partes destinadas a generar el campo. Por el contrario, los errores no sistemáticos son los que derivan de tolerancias de la fabricación, y que implican diferencias entre las características del imán determinadas por un cálculo teórico del campo, y las características reales del mismo. Los errores no sistemáticos tienen una distribución sustancialmente estadística, y dependen de la exactitud de la fabricación, de la calidad del material en uso, y de las tolerancias del montaje y ensamblaje de la estructura de imán. Por lo tanto, los errores no sistemáticos, bajo condiciones particularmente favorables, pueden incluso no aparecer en ningún mapa de campo, mientras que las aberraciones sistemáticas están siempre presentes, aunque estadísticamente también están moduladas por tolerancias en la construcción.

40 Se pueden proporcionar varios enfoques para la descripción matemática del comportamiento del campo de los imanes generado en el espacio por una estructura magnética. La invención también se basa en el reconocimiento adicional de que se puede obtener una descripción matemática eficaz de este comportamiento usando, como referencia, las simetrías de la estructura magnética y, por lo tanto, del campo generado de este modo, en combinación con las del volumen controlado.

45 El enfoque basado en simetrías tiene la ventaja de que no depende de un sistema de coordenadas particular para subdividir errores y aberraciones en grupos sistemáticos y no sistemáticos, y esto simplifica el análisis de las aberraciones y el cálculo de los parámetros asociados a los elementos de corrección para cualquier estructura de imán.

Por lo tanto, la invención proporciona un procedimiento del tipo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y que comprende además la combinación de etapas de la parte de caracterización de la reivindicación 1.

Para una discriminación más fácil e inmediata de los coeficientes, minimizando el número de coeficientes sistemáticos, es preferible alinear las simetrías de la morfología del volumen de muestreo con las de la estructura de imán.

50 Las siguientes etapas de procesamiento derivan de este concepto fundamental. En particular, la invención proporciona las siguientes etapas:

- i) generar el polinomio que representa el campo magnético con las características deseadas finales, en forma de una función de campo general que consiste en la suma de términos armónicos, es decir, de términos ortogonales, es decir, independientes entre sí;

- ii) determinar grupos independientes de coeficientes, que describen errores sistemáticos, de acuerdo con las simetrías de la estructura magnética y con respecto al sistema de referencia seleccionado para el volumen controlado;
- 5 iii) procesar los valores de muestreo de campo por la función de la expansión polinómica, y comparar por separado los grupos independientes de los coeficientes medidos reales, que describen los errores sistemáticos, con los que describen las características deseadas finales del campo;
- iv) correlacionar la función de expansión polinómica que describe el campo con una rejilla para posicionar los elementos de corrección;
- 10 v) calcular los parámetros de posición, magnitud y número de los elementos de corrección por dicha correlación, así como reducir el valor absoluto de los coeficientes a examen por debajo de un valor máximo predeterminado, y optimizar el número de elementos de corrección y los parámetros de magnitud de los mismos;
- vi) disponer dichos elementos de corrección en dicha rejilla de posicionamiento, de acuerdo con la distribución de magnetización, el número y las posiciones determinadas.

15 Además, la invención proporciona ventajosamente el tratamiento separado de grupos independientes de coeficientes, con respecto tanto a la categoría de errores sistemáticos como a la categoría de errores no sistemáticos.

El sistema matemático que describe en términos prácticos el procedimiento de acuerdo con la invención lleva a un sistema de ecuaciones, que se puede resolver de forma fácil y rápida por medios numéricos.

20 Si el concepto de la invención se analiza más a fondo, el procedimiento de acuerdo con la invención permite conocer presuntamente qué errores significativos, debidos a la conformación finita de la estructura magnética, los denominados errores sistemáticos, se producirán en el campo magnético. Al corregir errores sistemáticos independientemente de los errores provocados por tolerancias de la fabricación, se evita cualquier tratamiento extendido a errores no sistemáticos.

El procedimiento para determinar los elementos de corrección para los errores no sistemáticos puede seguir las mismas etapas que se describen en lo que respecta a los errores sistemáticos.

25 Las rejillas para posicionar los elementos de corrección pueden ser diferentes tanto en lo que respecta a errores sistemáticos como en lo que respecta a errores no sistemáticos.

30 Gracias al procedimiento anterior, no sólo se reduce el número de elementos de corrección de errores sistemáticos, sino que también se reduce drásticamente y en mayor medida el número de elementos de corrección de errores no sistemáticos. Se puede resolver el sistema de ecuaciones, si la estructura del mismo lo permite, de forma precisa o bien para reducir el valor absoluto de los coeficientes por debajo de un valor máximo predeterminado.

35 Los parámetros de número, posición y distribución de magnetización de los elementos de corrección para errores sistemáticos, así como los mismos parámetros para los elementos de corrección de errores no sistemáticos, también se pueden determinar sin tener que hacer un cálculo preciso o sin cumplir los requisitos umbrales máximos, definiendo presuntamente algunos parámetros, tales como la posición en la rejilla de posicionamiento o al menos una o más coordenadas de posición.

40 En este caso, puesto que el procesamiento es bastante rápido, también se puede proporcionar un conjunto de posiciones predeterminadas dentro de la rejilla de posicionamiento, estando determinado los parámetros de número y distribución de magnetización del/de los elemento(s) de corrección por cada posición y/o combinación de posiciones de este conjunto, y la combinación de número, posición y distribución de magnetización, lo que proporciona los mejores resultados en la corrección de aberraciones, y en la optimización entre el número de elementos de corrección y los parámetros de distribución de magnetización, mientras que cumple con el valor umbral máximo predeterminado.

También es posible asignar un valor máximo predeterminado para el número de elementos de corrección.

45 La tasa con la que se incrementa o disminuye el número de elementos de corrección y/o de coordenadas de posición individuales puede ser constante o seguir una progresión precisa y predeterminada y puede ser diferente para cualquier elemento de corrección individual.

La rejilla para posicionar los elementos de corrección puede no ser regular.

Además, dependiendo de las condiciones, se pueden reiterar los cálculos para posiciones situadas entre las definidas por la rejilla, dentro del intervalo de determinadas tolerancias.

50 En general, cuando se usan estructuras de imanes idénticas, se pueden predefinir previamente las posiciones de los elementos de corrección para errores o aberraciones sistemáticos y, bajo determinadas circunstancias, incluso la distribución de magnetización. Los valores para posiciones y distribución de magnetización oscilarán alrededor de una media, debido a tolerancias de la construcción. Estos residuos de error, que se pueden producir debido a tolerancias,

se pueden corregir aplicando el procedimiento anterior a la primera corrección sistemática predeterminada y cambiando ligeramente determinados parámetros, tales como la posición y la distribución de magnetización, de los predeterminados.

5 Los algoritmos del procesamiento se pueden asociar a algoritmos estadísticos que dirigen la elección del siguiente parámetro de posición de acuerdo con los resultados de las operaciones de procesamiento relativos a las posiciones anteriores.

10 En estructuras de imanes con polos, otra etapa que permite una corrección de errores y aberraciones de antemano, consiste en proporcionar que los polos de la estructura magnética sean al menos parcialmente móviles, con respecto a su orientación. En particular, en este caso, las placas fabricadas de material ferromagnético, o posiblemente la placa sobre el lado libre de un polo formado por al menos dos placas superpuestas fabricadas con un material ferromagnético, sólo necesitan ajustarse con respecto a la inclinación. Esto se puede obtener de forma mecánica de cualquier manera, y de forma bastante sencilla.

Por esta disposición, son posibles correcciones preventivas, al menos bajo determinadas condiciones, especialmente sobre errores no sistemáticos y, posiblemente incluso sobre errores sistemáticos.

15 En teoría, el efecto del movimiento de cada placa inclinable que forma parte de uno de los dos polos se puede considerar similar al efecto de un elemento de corrección que tiene una posición y distribución de magnetización predeterminada.

En este caso, la invención proporciona:

- 20
- i) el análisis de los efectos de algunas direcciones de inclinación sobre grupos independientes de coeficientes y la determinación de estos grupos;
 - ii) el uso de dichas inclinaciones para minimizar el número o las magnitudes de los elementos de corrección correspondientes a dichos grupos de coeficientes.

La invención se refiere a otras mejoras, que forman el objeto de las reivindicaciones dependientes.

25 Las características de la invención aparecerán más claramente a partir de la siguiente descripción de una realización no limitante y con referencia a los dibujos adjuntos:

Las fig. 1A y 1B muestran una distribución de elementos de corrección, obtenidos a través del procedimiento de acuerdo con la invención, y en referencia a un imán del tipo que se muestra en la fig. 2, sobre las dos rejillas asociadas a los dos polos opuestos.

La fig. 2 es una vista esquemática de un imán para generar campos estáticos anulares.

30 La fig.3 es una vista en sección de la estructura del imán como se muestra en la fig. 2, con respecto a un plano perpendicular al de la fig. 2.

La fig. 4 muestra una subdivisión ideal de la estructura de imán en ocho volúmenes diferentes.

La fig. 5 muestra la tabla de algunos coeficientes relativos al campo magnético calculado de acuerdo con la estructura de imán.

35 La fig. 6 muestra una tabla de los mismos coeficientes relativos al campo efectivamente medido.

La fig. 7 muestra la tabla de los coeficientes de acuerdo con las tablas anteriores después de corregir errores sistemáticos.

La fig. 8 muestra la tabla de los coeficientes, al igual que la de las figuras previas, después de corregir un grupo de coeficientes no sistemáticos.

40 La fig. 9 muestra la tabla en relación a los coeficientes de campo una vez se termina el procedimiento de corrección.

La fig. 2 muestra una estructura magnética que tiene un yugo anular. Tiene dos polos opuestos 1, 2, que delimitan una cavidad 3 en la parte superior y en la parte inferior de la misma. Los polos están asociados a miembros 101, 201 fabricados con un material magnetizado, generándose un campo magnético entre ellos, principalmente en la dirección de la flecha B_z .

45 Se pueden elegir la morfología del volumen de muestreo y el tipo de función de expansión armónica de acuerdo con la geometría del imán y con el uso designado del mismo. Por lo tanto, la fig. 2 muestra, a modo de ejemplo, tanto un volumen esférico V como un volumen esferoidal, con respecto a dos orientaciones diferentes del eje más largo V', V".

Para mayor simplicidad, este ejemplo usa una expansión de armónicos esféricos, cuya función geométrica es:

$$B_z(r, \theta, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} r^n \sum_{m=0}^n P_n^m(\cos \theta) (A_n^m \cos m(\varphi) + B_n^m \sin m(\varphi))$$

5 Sin embargo, eligiendo un esferoide del tipo V' , V'' , las áreas del campo magnético provisto con las características deseadas se pueden extender tanto en transversal como en paralelo a los polos, ajustando así los cuerpos que tienen una morfología alargada, en estas dos direcciones. Las etapas del procedimiento son idénticas a las descritas a continuación en el presente documento en relación a armónicos esféricos.

La elección preferida es aquella en la que el centro de la esfera o del esferoide coincide con el centro de simetría del imán. Las coordenadas esféricas r , θ , φ se definen como sigue: r es la distancia radial desde el centro de simetría; φ es el ángulo en el plano x-y con respecto al eje y; θ es la misma con respecto al eje z.

10 Para la geometría anular en el presente documento, que presenta una longitud axial finita, la expresión anterior, sujeta a las condiciones geométricas de la estructura, proporciona un grupo de coeficientes A_n^m , que no son iguales a cero, sólo cuando n y m son pares, mientras que los restantes coeficientes A_n^m , B_n^m son nulos.

15 Los coeficientes que no son iguales a cero en la determinación teórica del campo generado por la estructura magnética describen errores sistemáticos provocados por la morfología de dicha estructura, que son inevitables, están presentes y deben estar presentes. Los valores absolutos de aberraciones sistemáticas en el campo estático, provocados por la estructura magnética siempre son del mismo orden de magnitud y cambian estadísticamente debido a las tolerancias de construcción de los imanes.

Una tabla típica de coeficientes de la expansión de armónicos esféricos del campo magnético B_z , basada tanto en cálculos como en medidas, para la cavidad de la fig. 2 está indicada en las tablas 1, 2 de las fig. 5, 6.

20 Como es evidente de la tabla 1, los coeficientes considerablemente distantes de cero son aquellos cuyos índices n y m son pares. Todos los demás coeficientes son cero. Estos coeficientes siempre están presentes para imanes que tienen la misma geometría, mientras que el valor absoluto de los mismos puede cambiar debido a tolerancias de construcción.

25 La segunda etapa del procedimiento incluye medir y muestrear el campo real generado por una estructura de imán de este tipo. La distribución y el número de ubicaciones de muestreo dispuestos sobre la superficie de una esfera, en este caso, determinan sustancialmente el orden y grado de coeficientes máximos que se pueden obtener a partir de datos muestreados sin ningún error significativo.

Por tanto, esta distribución y número se eligen de forma que los coeficientes que exceden el orden y el grado máximos no describan aberraciones que impliquen una calidad deteriorada del campo magnético dentro de un volumen predeterminado.

30 Entonces, los valores de campo medidos se procesan por la expresión anterior que describe el campo, obteniendo así los coeficientes relativos al campo magnético real.

35 La tabla 2 muestra los coeficientes A_n^m obtenidos del procesamiento de las muestras del campo magnético. Se debe observar que los coeficientes con n , m pares, son sustancialmente del mismo orden de magnitud que los coeficientes de la tabla 1, mientras que los otros coeficientes no sean cero, siendo distantes los mismos incluso en un grado considerable. Estas divergencias están provocadas por errores o aberraciones no sistemáticos, introducidos en el campo por tolerancias de construcción, evidentemente ausentes en el cálculo teórico de la tabla 1.

Los coeficientes relativos a aberraciones no sistemáticas se pueden subdividir en grupos independientes de acuerdo con las diferentes características de simetría del campo generado por las funciones armónicas asociadas al mismo, donde los elementos de corrección de dichas aberraciones se determinan por grupos independientes.

40 Esta determinación se obtiene gracias a la correlación entre una distribución de elementos de corrección sobre una rejilla predeterminada y la expansión que describe el campo B_z del imán, y teniendo en cuenta el efecto calculado y/o medible del campo generado por el elemento magnetizado de corrección sobre el campo B_z . Los parámetros de número, posición y distribución de magnetización de los elementos de corrección para aberraciones sistemáticas se pueden determinar de forma precisa si el sistema de ecuaciones es definitivo. De forma alternativa, el cálculo se puede ejecutar a través de una sucesión de intentos, repitiendo simultáneamente el cálculo de la distribución de magnetización para diferentes posiciones de uno o más elementos de corrección sobre la rejilla de posicionamiento seleccionada.

El resultado de estas operaciones de procesamiento es la indicación de uno o más elementos de corrección en determinadas posiciones y con una determinada distribución de magnetización.

50 Cuando la geometría del imán es siempre la misma, este procedimiento permite definir un grupo estándar tanto en lo que respecta a la distribución de magnetización como en lo que respecta al número y a la posición de los elementos de corrección para errores sistemáticos. Este grupo será sustancialmente el mismo para todos los imanes del mismo tipo y producirá, en promedio, los mismos efectos.

Una estandarización de este tipo de la corrección de aberraciones sistemáticas puede incluir la primera etapa de corrección descrita anteriormente, destinada a mejorar la corrección sistemática, lo que es posible para determinar ligeras variaciones de la distribución de magnetización o de la posición.

5 Con referencia a las figuras 1A y 1B, sobre los polos 1 y 2 está provista una rejilla de posicionamiento ideal, que consiste en una secuencia de anillos concéntricos, y de un conjunto de radios, que los intersectan. Esto define una rejilla de posiciones en coordenadas angulares y radiales. En las figuras 1A y 1B, los elementos rayados representan los elementos de corrección para aberraciones sistemáticas y se indican como 4.

10 La elección de la rejilla de distribución como se muestra en las fig. 1A y 1B es especialmente adecuada para las geometrías en el uso. El número de elementos, las posiciones y la distribución de magnetización de los elementos de corrección individuales se pueden determinar para un único cuadrante.

La descripción matemática de la rejilla con relación a la descripción matemática del campo permite generar un sistema de ecuaciones, a partir del que se puede determinar la posición de la rejilla y la distribución de magnetización de dipolos magnéticos, que forman los elementos de corrección 4.

15 Como norma, el cálculo no requiere un procedimiento de optimización que consiste en anular los grupos de coeficientes sistemáticos, sino que los parámetros de número, posición y distribución de magnetización de los elementos de corrección se determinan disminuyendo dichos grupos de coeficientes reales por debajo de un valor umbral máximo predeterminado.

20 En cualquier caso, cuando los grupos de coeficientes con relación a los errores sistemáticos se anulan o se disminuyen por debajo del valor umbral máximo, en general se eliminan errores o aberraciones significativas, siendo el objetivo de un equilibrio óptimo entre el número de elementos de corrección, la distribución de magnetización y el tamaño volumétrico de los mismos.

25 Los grupos de coeficientes sistemáticos se pueden corregir antes o después de corregir los grupos de coeficientes no sistemáticos, ya que la corrección de cada grupo no altera, en teoría, los coeficientes de los demás grupos. Se pueden producir alteraciones insignificantes debido a tolerancias magnéticas y tolerancias de posicionamiento de los elementos de corrección.

30 Independientemente de la anulación de los grupos de coeficientes sistemáticos, ejemplo que se indica en la tabla 3, los grupos de coeficientes no sistemáticos se anulan o se reducen individualmente por debajo del valor umbral máximo. El procedimiento es similar a la descripción anterior con relación a errores o aberraciones sistemáticos. La tabla 3 muestra los valores de coeficientes, obtenidos después de corregir aberraciones sistemáticas, muestreando adicionalmente el campo magnético.

35 Aunque el sistema de ecuaciones puede ser tal que los parámetros de los elementos de corrección de los grupos de coeficientes con relación a errores o aberraciones no sistemáticos se puede determinar de la misma manera que se describe anteriormente en lo que respecta a los parámetros de los elementos de corrección con relación a errores o aberraciones sistemáticos, se obtienen más ventajas determinando los parámetros de los elementos de corrección con relación a errores no sistemáticos de otra manera.

Para determinar los parámetros de los elementos de corrección más rápidamente, es posible predefinir al menos unas pocas posiciones de los elementos sobre las rejillas, por ejemplo, proporcionando un conjunto de diferentes posiciones predeterminadas de los elementos de corrección y calculando las distribuciones de magnetización para obtener coeficientes por debajo de los valores umbrales predeterminados.

40 Por el procesamiento de diferentes combinaciones de número, de posición y eligiendo entre las muchas soluciones posibles la que implique los mejores resultados, los elementos de corrección, su número y sus posiciones dentro de la rejilla de posicionamiento, y la distribución de magnetización se pueden determinar satisfactoriamente con un número de etapas relativamente pequeño.

45 También es posible fijar un límite para el número de intentos repetidos de combinaciones seleccionadas, creando o fijando un esquema predeterminado para la selección de combinaciones y la permutación de las mismas. Este límite se puede basar en la experiencia o bien en la estadística continuamente actualizada, determinada por el algoritmo.

Este cálculo se repite para cada grupo independiente de coeficientes generados por las mismas características de simetría.

50 Después, los elementos de corrección así determinados se fijan en las posiciones resultantes sobre la rejilla de posicionamiento que se proporciona, en el ejemplo mostrado sin limitación sobre cada polo 1, 2. Se muestra un ejemplo en la fig. 1, en el que los elementos de corrección para errores no sistemáticos están indicados como 6, 6'.

Con referencia a los elementos indicados como 7, tanto para elementos de corrección destinados a eliminar aberraciones sistemáticas, como para los destinados a eliminar aberraciones no sistemáticas, también se pueden proporcionar posiciones dentro de un intervalo de tolerancia predeterminado. Por tanto, los elementos de corrección

también se pueden posicionar en posiciones ligeramente escalonadas, radialmente o bien angularmente con respecto a una posición precisa predeterminada. Esta posición escalonada se puede determinar sobre la base de la experiencia, es decir, empíricamente, o bien después de un cálculo preciso, es decir, realizado con respecto a esa posición.

- 5 Las operaciones para corregir errores o aberraciones sistemáticos y no sistemáticos se pueden repetir una vez o cualquier número de veces, de modo que las inhomogeneidades del campo se puedan corregir además recursivamente, donde las últimas se han minimizado hasta un grado insuficiente.

La tabla 5 muestra el resultado de una corrección de este tipo, en la que los grupos de coeficientes se han reducido hasta un grado tal que cumpla con las tolerancias de los valores umbrales máximos estrictos para coeficientes. La tolerancia se proporciona de acuerdo con las características de un campo magnético estático de una máquina de resonancia magnética nuclear.

- 15 Cuando las etapas anteriores del procedimiento se examinan más a fondo, con referencia a la figura 4, la estructura de imán se puede definir como la compuesta de ocho octantes geoméricamente idénticos, con un material magnético permanente que siempre tiene la misma dirección y el mismo sentido de magnetización (a lo largo del eje z). Esta subdivisión implica la subdivisión de las dos rejillas opuestas cada una en cuatro cuadrantes Q1, Q2, Q3, Q4 y Q1', Q2', Q3', Q4'. El volumen controlado, siendo en este caso una esfera, está centrado ventajosamente con respecto a la cavidad de los imanes (aunque esto no sea absolutamente necesario).

- 20 Una vez se define una distribución de magnetización $M(r, \theta, \varphi)$ en el primer octante, es decir, en uno de los cuadrantes de una de las rejillas, la distribución de magnetización en los siete octantes restantes no se puede determinar. Será el resultado de posicionar simétricamente los otros elementos de corrección, por ejemplo, pero sin restricción, de acuerdo con las siguientes normas:

$$\mathbf{M}(r, \theta, -\varphi) = \mathbf{M}(r, \theta, \varphi) *s_1$$

$$\mathbf{M}(r, \theta, 180-\varphi) = \mathbf{M}(r, \theta, \varphi) *s_2$$

$$\mathbf{M}(r, 180-\theta, \varphi) = \mathbf{M}(r, \theta, \varphi) *s_3$$

- 25 con $S=(s_1, s_2, s_3)$ y teniendo s_1, s_2, s_3 posibles valores ± 1 . S es un vector que identifica la simetría relevante y así un determinado grupo de coeficientes. Hay ocho vectores de simetría a priori, que definen los grupos de coeficientes, que se enumeran en la siguiente tabla:

s1	s2	s3	A_n^m	B_n^m
1	1	1	\neq n par m par	0
-1	-1	-1	0	n impar m impar
1	-1	1	n impar m impar	0
1	1	-1	n impar m par	0
-1	-1	1	0	n par m par
-1	1	-1	0	n par m impar
1	-1	-1	n par m impar	0
-1	-1	-1	0	n impar m par

De acuerdo con la simetría seleccionada (s_1, s_2, s_3), sólo se generarán coeficientes A y B con n y m pares o impares. De este modo, el conjunto de coeficientes se subdivide en ocho grupos, reflejando las simetrías en uso.

Parece evidente que posicionando el sentido de la magnetización $M(r, \theta, \varphi)$ de acuerdo con la simetría impuesta por S , es posible compensar selectivamente sólo un grupo de coeficientes, dejando los otros sin cambios, excepto desviaciones pequeñas pero inevitables, provocadas por tolerancias en el posicionamiento y la magnetización del material. De la comparación entre las tablas 2 y 3 (corrección de coeficientes sistemáticos) y 3 y 4 (corrección de un grupo de coeficientes no sistemáticos), parece claramente que la corrección de los coeficientes de una simetría sólo perturba ligeramente, debido a tolerancias, los coeficientes de las otras simetrías.

La tabla de simetrías y la tabla 1, con relación a los coeficientes diseñados, muestran que se reflejan errores o aberraciones sistemáticos por la simetría correspondiente al vector $S(1, 1, 1)$. De acuerdo con la descripción anterior, una vez se ha definido la posición de un elemento de corrección 4 sobre un octante (en coordenadas esféricas determinadas por las coordenadas (r, θ, φ)) y por lo tanto sobre un cuadrante de una de las dos rejillas para posicionar los elementos de corrección, con respecto a la estructura de imán y a la posición del sistema de coordenadas, se pueden generar coeficientes sistemáticos (es decir, del mismo tipo que los generados por la propia estructura de imán), y de ningún otro tipo, posicionando simétricamente otros siete objetos en sus respectivos siete octantes, es decir, en los otros tres cuadrantes de la primera rejilla y en los cuatro cuadrantes de la otra rejilla, eligiendo el mismo sentido de magnetización que el del elemento de corrección situado en el primer octante, es decir, en el primer cuadrante de la primera rejilla. Por lo tanto, las posiciones serán: (r, θ, φ) , $(r, \theta, -\varphi)$, $(r, \theta, 180-\varphi)$, $(r, \theta, 180+\varphi)$, $(r, 180-\theta, \varphi)$, $(r, 180-\theta, -\varphi)$, $(r, 180-\theta, 180-\varphi)$, $(r, 180-\theta, 180+\varphi)$. Un objeto en la posición (r, θ, φ) ayudará a generar una cantidad determinable y/o medible de coeficientes A con n y m pares. Tales valores serán idénticos a los obtenidos para los otros siete objetos simétricos en las posiciones indicadas anteriormente, y con el mismo sentido de magnetización. Cada objeto o elemento de corrección genera otros coeficientes no sistemáticos, pero posicionando simultáneamente los ocho elementos de corrección definidos (como posición y sentido de magnetización), se obtiene un valor nulo teórico para estos otros coeficientes.

La comparación entre las tablas 3 y 4 muestra que hay un grupo de coeficientes A con n y m impares, correspondiente por tanto, a un vector de simetría $S=(1, 1, -1)$ (véase tabla anterior). Una corrección basada en octantes, es decir, basada en cuadrantes de rejillas de distribución, se realiza orientando el sentido de magnetización del material de acuerdo con dicho vector de simetría $S=(1, 1, -1)$ y requiere que en todos los cuadrantes de una primera rejilla, seleccionada para definir la posición del/de los primer(os) elemento(s) de corrección, los últimos tienen un sentido y una magnitud de magnetización idénticas, mientras que en los cuadrantes de la segunda rejilla de posicionamiento, asociada al otro polo, el sentido de magnetización, es decir, la polaridad, se invierte, mientras que las posiciones no se cambian. Esta condición es evidente en las figuras 1A y 1B, estando los elementos de corrección relacionados con el grupo de coeficientes asociados a esta simetría indicados como 6 en la primera rejilla y como 6' en la segunda rejilla.

Mientras se examinan todas las simetrías, los diferentes grupos de coeficientes se corrigen de la misma manera que se describe para las simetrías $S=(1, 1, 1)$ y $S=(1, 1, -1)$, obteniendo así la corrección de errores o aberraciones previstas para los otros grupos de coeficientes.

Las etapas para determinar el número, la posición y la distribución de magnetización de los elementos de corrección para cada grupo de coeficientes, que representan errores sistemáticos o bien no sistemáticos están seguidas, de acuerdo con la descripción anterior, de la parte más general del procedimiento. El procedimiento anterior también es directamente aplicable a imanes que implican una fabricación diferente y/o una configuración diferente, tal como un imán con forma de U o de C.

De acuerdo con el procedimiento de la invención, el número de los elementos de corrección para errores sistemáticos y/o no sistemáticos se puede minimizar, inclinando los polos. En este caso, las placas ferromagnéticas 201, 202, que forman los dos polos opuestos están soportadas de modo que puedan moverse con respecto a su orientación. Esto se puede proporcionar por medio de soportes móviles para estas placas, en combinación con medios de movimiento, por ejemplo espigas de empuje, cada una asociada con un área periférica de la placa 201, 202. De esta manera, es posible corregir, o en cualquier caso variar la inclinación de dicha placa 201, 202, con respecto al plano horizontal.

La descripción anterior muestra claramente la simplicidad, versatilidad y adaptabilidad considerables del procedimiento de acuerdo con la invención. Haciendo uso del concepto para ordenar los coeficientes en grupos independientes de acuerdo con las simetrías proporcionadas y para la elección del sistema de referencia para el volumen controlado, se obtienen operaciones más fáciles para calcular el procedimiento de corrección, y el enfoque ya no está vinculado a las morfologías particulares de los volúmenes de muestreo en el uso. La forma de la estructura magnética y de las características del campo sólo se expresan por la presencia o ausencia de una simetría. Además, estableciendo rejillas de posicionamiento fijas, al menos para una banda específica alrededor de las posiciones definidas por las rejillas, se reducen los tiempos de cálculo. El procedimiento de acuerdo con la invención proporciona la combinación de diferentes elementos de corrección con diferentes valores de magnetización, para obtener cualquier valor de magnetización necesario.

Esto permite obtener una reducción en el número de diferentes piezas para diferentes valores de distribución de magnetización, limitando así los costes para el almacenamiento de un número suficiente de piezas.

Naturalmente, la invención no está limitada a la descripción anterior ni a las ilustraciones, sino que se puede variar ampliamente, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones a continuación. La expansión armónica de la expresión

que describe el campo también se puede producir con referencia a otros tipos de funciones armónicas. Las rejillas para el posicionamiento de los elementos de corrección también pueden ser diferentes a la que se ilustra, y pueden ser tanto plana como proporcionada sobre superficies curvadas o tridimensionales. Para determinar los parámetros característicos de los elementos de corrección, se pueden usar diferentes tipos de algoritmos de aproximación. La elección puede depender de la geometría de la estructura de imán y de la simetría del campo magnético, así como de la morfología del volumen de muestreo. Se ha de desear que el procedimiento de acuerdo con la invención siempre conduzca a la optimización del campo, incluso con independencia de las elecciones particulares realizadas, y de la posibilidad de que proporcionen un cálculo y una aplicación más rápidos y más convenientes de los elementos de corrección.

Esto último se puede realizar tanto con un material permanentemente como no permanentemente magnetizado o con combinaciones de dichos materiales. Además, los elementos de corrección pueden tener diferentes formas, tales como discos, paralelepípedos, placas u otros.

Otra ventaja remarcable del procedimiento de acuerdo con la invención consiste en que se pueden realizar pequeñas correcciones, para variaciones debidas a diferentes condiciones de instalación ambiental, muy rápida y fácilmente y con muy poco esfuerzo, de modo que se puedan realizar por personal específicamente entrenado, pero sin un conocimiento científico de alto nivel.

De acuerdo con una mejora ventajosa, la etapa, en la que los elementos de corrección para errores sistemáticos o no sistemáticos están posicionados, se puede subdividir en dos o más etapas, en las que sólo una parte de los elementos de corrección están posicionados en la rejilla. Entre dichas etapas, se proporciona una operación de muestreo de verificación y se repite el cálculo de los elementos de corrección restantes. De acuerdo con el resultado de este cálculo y con la comparación con el resultado de cualquier operación de cálculo o de muestreo de verificación previa entre dos etapas y/o de acuerdo con el resultado de la primera operación de muestreo, se pueden seleccionar diferentes opciones: una etapa de posicionamiento posterior, basada en el resultado del primer cálculo inicial de los elementos de corrección o en cualquier cálculo de verificación, llevando a cabo así el posicionamiento de los elementos de corrección; o con una etapa adicional, para el posicionamiento de otra parte de los elementos de corrección, basada en el resultado del cálculo inicial o del cálculo de verificación, siguiendo una cualquiera de las operaciones de muestreo previas; y/o realizando de nuevo o retocando la primera o previa(s) etapa(s) de corrección; o proporcionando una combinación de estas opciones.

Cuando se proporcionan más de dos etapas de posicionamiento, se puede proporcionar una etapa de muestreo de verificación después de cada etapa de posicionamiento para determinar su parte respectiva de los elementos de corrección.

Esto permite tanto mantener el efecto de las tolerancias de posicionamiento y distribución de magnetización de los elementos de corrección bajo control, como verificar, localizar y, posiblemente corregir inmediatamente posibles errores limitados a un número restringido de piezas posicionadas con respecto a la totalidad de las mismas.

Con referencia a las figuras 1A y 1B, por ejemplo, la corrección de coeficientes sistemáticos, obtenidos por medio de los elementos 4 se realiza determinando los parámetros de todos los elementos de corrección, y disponiendo en la rejilla sólo los de algún/algunos círculo(s) más interior(es). El resultado de la operación de muestreo de verificación y del cálculo de los elementos de corrección restantes mostrará la posible necesidad de mantener la posición de los elementos de corrección restantes 4 de un/del grupo de anillos externos, de acuerdo con los parámetros determinados con el primer cálculo, de retocar los posicionados antes y/o de usar de los elementos de corrección restantes de un/del grupo de anillos externos, los elementos cuyos parámetros se han definido en el segundo cálculo de verificación, o de proporcionar una combinación de las últimas etapas. Si hubiera 3 o más anillos para el posicionamiento de los elementos de corrección 4, en lugar de la colocación de los elementos de corrección 4 sólo en dos anillos, después del posicionamiento de los elementos de corrección en el anillo intermedio, sería posible repetir las etapas de verificación anteriores, empezando por el anillo más interior, y eligiendo entre las opciones indicadas para posicionar los elementos de corrección en el tercer anillo más externo y, así sucesivamente. Cuando el número de anillos aún es mayor, se podrían obtener ventajas proporcionando etapas de muestreo de verificación intermedias entre las etapas para el posicionamiento de los elementos de corrección en un grupo de anillos. Evidentemente, la disposición en los anillos no se destina a modo de restricción. Las etapas progresivas para el posicionamiento de partes de los elementos de corrección con respecto a la distribución geométrica de sus posiciones dependen de la geometría de la rejilla seleccionada.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para corregir y/o calibrar campos magnéticos, particularmente para imanes en un equipo de imagen por resonancia magnética nuclear,

5 a) comprendiendo el dicho imán dos polos opuestos (1,2) que delimitan una cavidad (3) y medios (101, 201) para la generación de un campo magnético extendiéndose por la cavidad delimitada por los dichos polos (1,2),

comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:

b) generar un polinomio que representa el campo magnético generado por el imán y que comprende una pluralidad de términos armónicos, cada uno asociado a un coeficiente;

10 c) medir el campo magnético y muestrearlo en una pluralidad de ubicaciones, con una distribución del espacio predeterminada;

d) determinar los coeficientes a partir de los valores de muestra en el campo;

e) comparar los coeficientes medidos con los que describen el campo con las características deseadas;

f) definir una rejilla para el posicionamiento de los elementos de corrección, dependiendo de la estructura del imán y de la correlación de los mismos con la estructura del campo;

15 g) calcular los parámetros de posición y magnitud de uno o más elementos de corrección para obtener las características de campo deseadas;

caracterizado porque:

comprende entre la etapa b) y la etapa c) la siguiente etapa adicional:

b1) se define la morfología del volumen de muestra del campo magnético;

20 y comprende entre la etapa a) y la etapa b) las siguientes etapas adicionales:

h) se analizan los coeficientes del polinomio que representa el campo magnético y se subdividen en grupos independientes, de acuerdo con las simetrías del campo magnético y de las funciones armónicas correspondientes que se usan en la descripción del campo magnético;

25 i) se discriminan los grupos independientes de coeficientes y se ordenan de acuerdo con su pertenencia a las categorías de errores sistemáticos, es decir, provocados por la estructura geométrica y física del imán, si contienen coeficientes diferentes de cero en el polinomio que describe el campo con las características deseadas, o errores no sistemáticos, es decir, que derivan de las tolerancias de fabricación, si contienen coeficientes diferentes de cero en el polinomio que describe el campo con las características deseadas e iguales a cero en el polinomio que representa el campo magnético de muestra de acuerdo con las simetrías de la estructura magnética;

30 j) se reducen de forma separada los grupos independientes de coeficientes así formados por debajo de un valor absoluto umbral máximo, siguiendo una serie de etapas de cálculo;

35 k) determinar las características de número, distribución de magnetización y posición de los elementos de corrección con referencia a la estructura magnética, realizándose tal determinación gracias a la correlación entre una distribución de elementos de corrección en una rejilla de posicionamiento predeterminada y la expansión que describe el campo magnético, y teniendo en cuenta el efecto calculado y/o medible del campo generado por el elemento magnetizado de corrección en el campo magnético;

40 l) los dichos polos (1,2), que tienen una orientación relativa predefinida que se ajusta variando su inclinación, la dicha variación de la inclinación de los polos que tienen efectos compensando los errores o aberraciones sistemáticos y/o no sistemáticos similar a la disposición de los elementos de corrección con una distribución de magnetización predeterminada y dicha variación de la inclinación de dichos polos (1,2) se usa para minimizar el número de elementos de corrección.

2. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizado porque proporciona las siguientes etapas:

45 a) generar el polinomio que representa el campo magnético con las características deseadas finales, en forma de una función de campo general que consiste en la suma de términos armónicos, es decir, de términos ortogonales, es decir, independientes entre sí;

b) determinar grupos independientes de coeficientes, que describen errores sistemáticos, de acuerdo con las simetrías de la estructura magnética y con respecto al sistema de referencia seleccionado para el volumen controlado;

- c) procesar los valores de muestreo de campo por la función de la expansión polinómica, y comparar por separado los grupos independientes de los coeficientes medidos reales, que describen los errores sistemáticos, con los que describen las características deseadas finales del campo;
- 5 d) correlacionar la función de expansión polinómica que describe el campo con una rejilla o criterios para posicionar uno o más elementos de corrección;
- e) calcular los parámetros de posición, magnitud de distribución de magnetización y número de los elementos de corrección por dicha correlación, así como reducir los valores absolutos de los coeficientes a examen por debajo de un valor umbral máximo predeterminado, y optimizar el número de elementos de corrección y los parámetros de magnitud de los mismos;
- 10 f) disponer dichos elementos de corrección en dicha rejilla de posicionamiento, de acuerdo con la distribución de magnetización, el número y las posiciones determinadas.
3. Un procedimiento como se reivindica en las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque para determinar los parámetros de posición, distribución de magnetización y número de los elementos de corrección para aberraciones descritas por cada grupo independiente de coeficientes perteneciente a la categoría de errores o aberraciones no sistemáticos, se repiten las mismas etapas que las seguidas con respecto a los grupos de coeficientes relacionados con errores sistemáticos.
- 15 4. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las rejillas para el posicionamiento de los elementos de corrección pueden ser diferentes tanto en lo que respecta a errores o aberraciones sistemáticos como en los que respecta a errores o aberraciones no sistemáticos.
- 20 5. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la rejilla de posicionamiento se puede extender en superficies planas, curvas o tridimensionales.
6. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema de ecuaciones para determinar los parámetros de número, posición y distribución de magnetización del/de los elemento(s) de corrección para aberraciones sistemáticas y/o no sistemáticas se resuelve de forma precisa o de forma que los coeficientes de cada grupo a examen estén por debajo de un valor umbral máximo predeterminado.
- 25 7. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los parámetros de número, posición y distribución de magnetización del/de los elemento(s) de corrección para errores o aberraciones sistemáticos, así como dichos parámetros para los elementos de corrección de errores o aberraciones no sistemáticos, se determinan definiendo un conjunto de valores para uno o más parámetros, determinando el resto de los parámetros del/de los elemento(s) de corrección para cada valor del conjunto, y seleccionando la combinación de posición, número y distribución de magnetización lo que proporciona los mejores resultados en la corrección de las aberraciones, y en la optimización de la proporción entre el número de elementos de corrección, el tamaño volumétrico y la distribución de magnetización.
- 30 8. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 7, caracterizado porque el conjunto de valores se refiere al parámetro de posición de uno o más elementos de corrección.
- 35 9. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 8, caracterizado porque el conjunto de valores se refiere a una o algunas de las coordenadas del parámetro de posición de uno o más elementos de corrección.
10. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque el conjunto de valores se refiere al parámetro de distribución de magnetización de uno o más elementos de corrección.
- 40 11. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado porque el conjunto de valores se refiere al parámetro que describe el número de elementos de corrección.
12. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado porque es posible combinar más conjuntos de más parámetros entre sí.
- 45 13. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 7 a 12, caracterizado porque se predetermina un número máximo de elementos de corrección.
14. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la tasa para la que los valores dentro del conjunto relacionado con un parámetro se incrementa o disminuye puede ser constante o seguir una progresión precisa y predeterminada y puede ser diferente para cualquier parámetro o elemento de corrección individual.
- 50 15. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 7 a 14, caracterizado porque se procesan los parámetros de combinaciones diferentes simultáneas de elementos de corrección.

16. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se puede reiterar los cálculos para posiciones situadas entre las definidas por la rejilla de posicionamiento, dentro del intervalo de determinadas tolerancias.
- 5 17. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se proporciona una etapa de muestreo de campo magnético intermedia, antes de corregir los coeficientes relacionados con errores o aberraciones no sistemáticos.
- 10 18. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en caso de estructuras de imanes idénticas las correcciones de errores o aberraciones sistemáticos se llevan a cabo por grupos predeterminados de elementos de corrección predeterminados, de acuerdo con las etapas descritas en las reivindicaciones anteriores, y en las posiciones predefinidas para todos los imanes del mismo tipo.
19. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 18, caracterizado porque se obtienen posibles mejoras de las correcciones de aberraciones o errores sistemáticos, que se desvían de un valor medio, a través de las etapas descritas en las reivindicaciones anteriores.
- 15 20. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, en el que los parámetros del/de los elemento(s) de corrección de los errores o aberraciones no sistemáticos se determinan calculando, para cada elemento de corrección, o para una combinación de dos o más elementos de corrección, los parámetros de distribución de magnetización, de acuerdo con conjuntos predeterminados de posiciones en la rejilla de posicionamiento y seleccionando las mejores combinaciones de número de elementos, distribución de magnetización, tamaño volumétrico y posición.
- 20 21. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los algoritmos de procesamiento se pueden asociar con algoritmos estadísticos, que dirigen la elección del siguiente parámetro de posición, dentro del grupo de posiciones predeterminadas, de acuerdo con los resultados de las operaciones de procesamiento con relación a las posiciones previas.
- 25 22. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se define una subdivisión ideal de la estructura de imán en sectores, subdivisión que se basa en las simetrías de la estructura de imán y del sistema de referencia para el volumen controlado, y en base a esta subdivisión se crea un vector unitario para describir las simetrías y asimetrías de la estructura de imán, determinándose los parámetros en valor absoluto de posición y distribución de magnetización con respecto a uno de los sectores de los imanes, obtenido por la subdivisión ideal, mientras que en los sectores restantes, el sentido de la distribución de magnetización del/de los elemento(s) de corrección correspondiente(s) se define de acuerdo con el comportamiento indicado por el vector unitario de la simetría o asimetría relevante.
- 30 23. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 16, caracterizado porque la(s) rejilla(s) de posicionamiento también se somete(n) a una subdivisión correspondiente a la de la estructura de imán y a la del campo generado de este modo.
- 35 24. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las simetrías de la morfología de la superficie o del volumen de muestreo, es decir, los planos, ejes o puntos que las definen, están alineados con las simetrías de la estructura de imán, es decir, los planos, ejes o puntos que las definen.
- 40 25. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque determinados planos, ejes o puntos de simetría de la morfología de la superficie o del volumen de muestreo y/o de las rejillas de posicionamiento para el/los elemento(s) de corrección se pueden escalonar con respecto a los planos, ejes o puntos que definen las simetrías y asimetrías de la estructura del imán y del campo generado de este modo.
26. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los elementos de corrección se pueden magnetizar de forma permanente o someterse a magnetización por inducción por el campo magnético de la estructura de imán.
- 45 27. Un procedimiento como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la corrección de los grupos de coeficientes sistemáticos se puede proporcionar antes o después de la corrección de los grupos de coeficientes no sistemáticos y de forma separada para cada grupo.
- 50 28. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 1 o en una o más de las reivindicaciones 2 a 29, caracterizado porque la etapa en la que se posicionan los elementos de corrección para errores sistemáticos y no sistemáticos se subdivide en dos o más etapas, en las que sólo una parte de los elementos de corrección se posiciona en la rejilla, proporcionándose una operación de muestreo de verificación entre dichas etapas, y repitiéndose el cálculo de los elementos de corrección restantes, y de acuerdo con el resultado de dicho cálculo y con la comparación con el resultado de cualquier operación de muestreo de verificación previa entre dos etapas y/o de acuerdo con el resultado de la primera operación de muestreo, se proporciona una etapa de posicionamiento posterior, basada en el resultado del primer cálculo inicial de los elementos de corrección o en cualquier cálculo de verificación, llevando a cabo así el posicionamiento de los elementos de corrección, o se proporciona una etapa adicional, para posicionar otra parte de
- 55

los elementos de corrección, basada en el resultado del cálculo inicial o del cálculo de verificación, siguiendo una cualquiera de las operaciones de muestreo previas y/o se proporciona una repetición o un retoque de la(s) primera(s) o previa(s) etapa(s) de corrección; o una combinación de estas opciones.

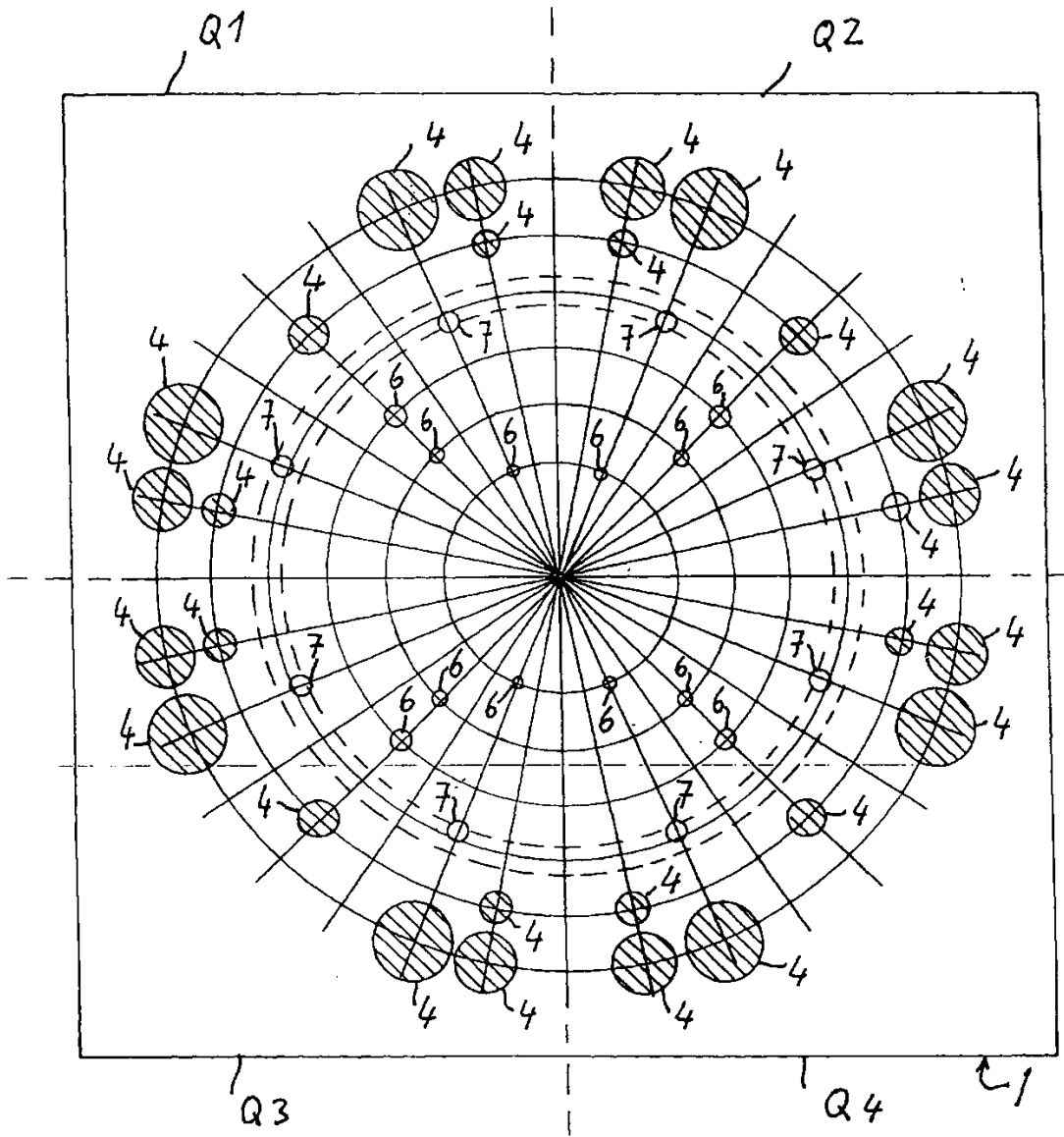


Fig. 1A

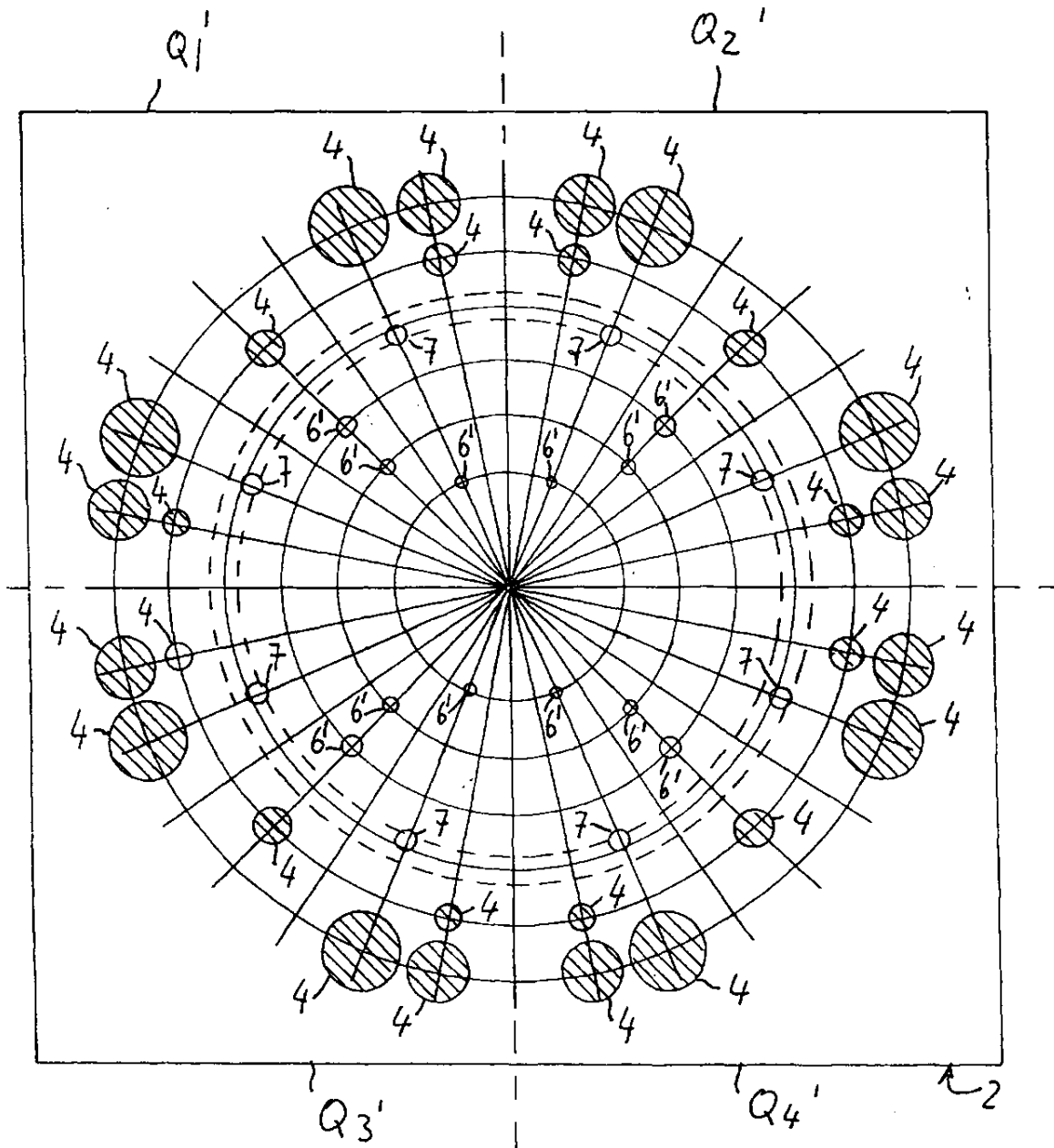


Fig. 1B

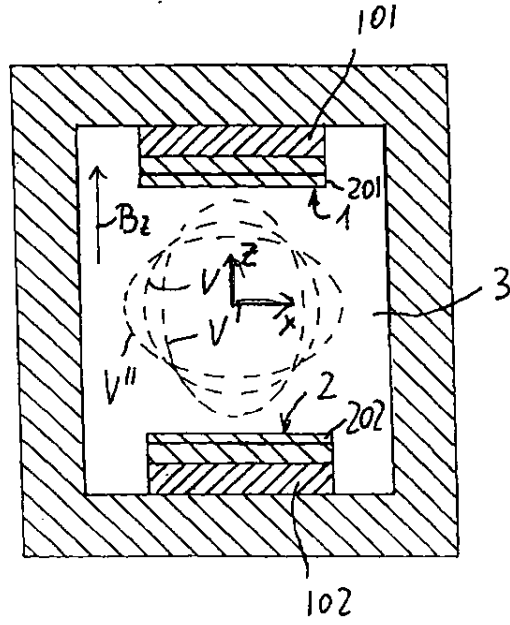


Fig. 2

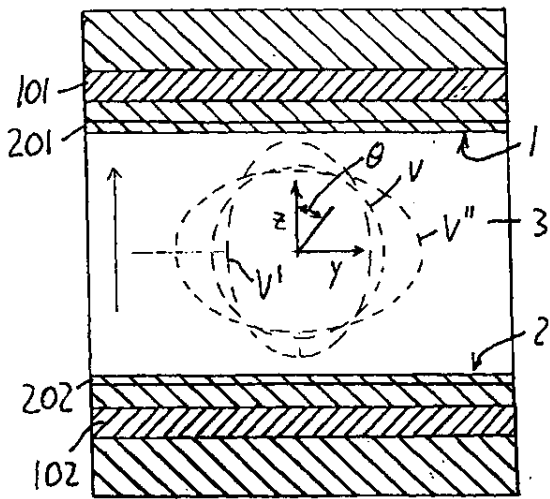


Fig. 3

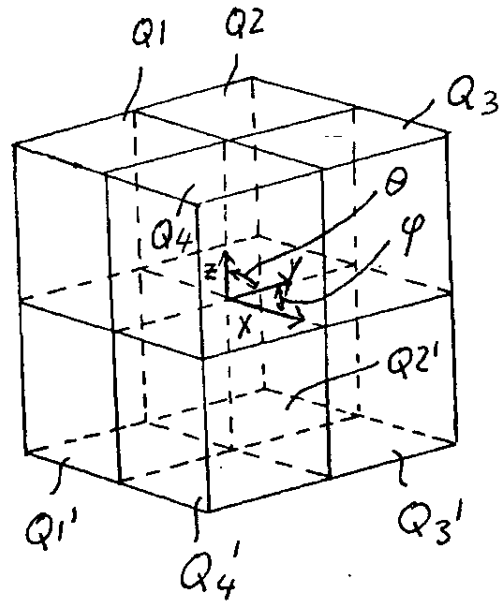


Fig. 4

TABLA 1

(n m)	A_n^m	B_n^m
(1 0)	0	
(1 1)	0	0
(2 0)	-604,3	
(2 1)	0	0
(2 2)	197,1	0
(3 0)	0	
(3 1)	0	0
(3 2)	0	0
(3 3)	0	0
(4 0)	89,9	
(4 1)	0	0
(4 2)	-61,3	0
(4 3)	0	0
(4 4)	75,5	0

Fig. 5

TABLA 2

(n m)	A_n^m	B_n^m
(1 0)	-156	
(1 1)	38,1	-11,4
(2 0)	-627	
(2 1)	4,6	3,5
(2 2)	274	-8,4
(3 0)	-54,4	
(3 1)	6,3	-3,2
(3 2)	-23,4	-5,9
(3 3)	-12	-1,7
(4 0)	91,7	
(4 1)	-0,8	-3,3
(4 2)	-40,8	-1,5
(4 3)	3,3	-4,3
(4 4)	73	4,8

Fig. 6

TABLA 3

(n m)	A_n^m	B_n^m
(1 0)	-208,3	
(1 1)	16,1	2,6
(2 0)	1,5	
(2 1)	-16	-1,9
(2 2)	-0,3	-12
(3 0)	-57	-6,1
(3 1)	-2,4	-4,4
(3 2)	-20,5	1,1
(3 3)	-6	
(4 0)	0,1	
(4 1)	-2,3	-6,2
(4 2)	1,5	0,3
(4 3)	-1	-4,9
(4 4)	0,5	1,7

Fig. 7

TABLA 4

(n m)	A_n^m	B_n^m
(1 0)	-21,3	
(1 1)	23,5	-1,25
(2 0)	-7,3	
(2 1)	-7,4	-1,8
(2 2)	-0,7	-9,8
(3 0)	-7,8	
(3 1)	-1,2	-4
(3 2)	-3,9	-3,4
(3 3)	-6,6	0,7
(4 0)	-1,2	
(4 1)	-2,8	-5,6
(4 2)	2,1	-0,1
(4 3)	-0,9	-5,1
(4 4)	0,9	1,7

Fig. 8

TABLA 5

(n m)	A_n^m	B_n^m
(1 0)	-3	
(1 1)	10,1	0,5
(2 0)	-3,6	
(2 1)	-1,4	-0,5
(2 2)	-4,4	1,8
(3 0)	-3,8	
(3 1)	-3,8	-1,5
(3 2)	-1,1	-2,5
(3 3)	-1,8	1
(4 0)	0,6	
(4 1)	2,4	0,9
(4 2)	1,3	-0,1
(4 3)	-0,8	-0,4
(4 4)	-0,8	0,2

Fig. 9