

Diseño mejorado de bobinas de gradientes transversales para las máquinas de imágenes por resonancia magnética Giroimag

Héctor Sánchez López

Centro de Biofísica Médica, Universidad de Oriente
Patricio Lumumba s/n, Santiago de Cuba 90500, Cuba
e-mail: hsanchez@cbm.uo.edu.cu

Recibido el 24 de noviembre de 1997; aceptado el 25 de junio de 1998

El diseño de la bobina de dieciséis arcos para generar un gradiente de campo magnético en la resonancia magnética de imágenes ha sido ampliamente difundida. En trabajos recientes, esta configuración se ha optimizado teniendo en cuenta sólo los grados de libertad que introduce el arco principal. Estos son: ampere-vuelta, posición axial y apertura angular. En este trabajo se considera el arco principal y el externo como una unidad. Esto introduce un grado de libertad más en el diseño de una nueva configuración. Las coordenadas de los vértices de cada vuelta son variadas hasta minimizar la raíz cuadrática media de la diferencia del campo magnético generado por la configuración en proceso y el campo objetivo. Con esta consideración se obtiene una bobina que produce un gradiente de campo magnético 1.92 veces más uniforme y 1.1 veces de menor inductancia. Se usa el método Simplex como herramienta matemática.

Descriptores: Resonancia magnética nuclear

The 16-arc saddle coil to yield a magnetic field gradient has been used extensively in magnetic resonance imaging machines. In recently works, this configuration had been optimized assuming only the degrees of freedom that introduces the main arc: ampere turn, axial position and angular width. In this work, assuming the main and the outer arc as a basic unity, we introduce a new degree of freedom. The coordinates of the vertices of each turn are moved in order to minimize the root mean square of the difference between the magnetic field generated by the processed configuration and the target magnetic field. We obtain a magnetic field gradient coil that is 1.92 times more uniform and produces 1.1 times less inductance. We use the Simplex method as a mathematical tool.

Keywords: Nuclear magnetic resonance

PACS: 85.70; 07.55.D; 07.55Db

1. Introducción

La calidad y velocidad de las imágenes por resonancia magnética dependen en gran medida de las características de todas las bobinas que componen la máquina de imágenes. Las bobinas de gradientes, utilizadas en la codificación espacial del objeto, son de los dispositivos que más aportan a estos factores.

Para los diseños de estas bobinas se tienen que tomar en cuenta varios aspectos relacionados entre sí [1]. Éstos son:

- El campo producido debe ser tan lineal como el comportamiento del campo especificado (menor de un 5% en el volumen de interés).
- La energía almacenada para minimizar los tiempos de subida debe ser baja.
- El campo asociado a la bobina debe ser bajo.
- La intensidad de gradiente debe ser alta.

El sistema de bobinas de gradientes, en la mayoría de los casos, consiste de tres conjuntos de bobinas separadas y enrolladas sobre una superficie cilíndrica. Una de ellas genera un gradiente longitudinal en la dirección del campo principal. Esta configuración consiste en un par de ciclos con corrientes antiparalelas espaciados apropiadamente y se conoce como

par de Maxwell [2]. El otro par genera un gradiente transversal a la dirección del campo principal. Esta configuración consiste en ocho arcos en forma de monturas de caballo (*double-saddle*). El diseño fue primeramente descrito por Golay [3] y fue desarrollado por Hoult en armónicos esféricos [4].

En la década de los noventa los experimentos de RMI impusieron severas exigencias en la uniformidad, intensidad y energía almacenada por el gradiente [1]. Las bobinas descritas hasta el momento no cumplían tales requerimientos. Para resolver esta situación otros autores, aplicando el método inverso, obtuvieron distribuciones continuas de corrientes sobre una superficie cilíndrica [5]. Esta técnica produce configuraciones muy versátiles, pero introduce errores en la implementación práctica al discretizar la distribución de corriente obtenida.

Siebold, en 1990 [6], describió una variante de la bobina simple de Golay. En este trabajo cada arco de la configuración introduce tres grados de libertad: ampere-vuelta, posición axial y ancho angular del arco. La bobina de dieciséis arcos obtenida por Siebold no cumple con nuestros requerimientos. En este trabajo se busca una configuración que resuelva el compromiso linealidad-inductancia-intensidad y pueda ser utilizada para la obtención de imágenes rápidas en las máquinas cubanas de imágenes por resonancia magnética giroimag.

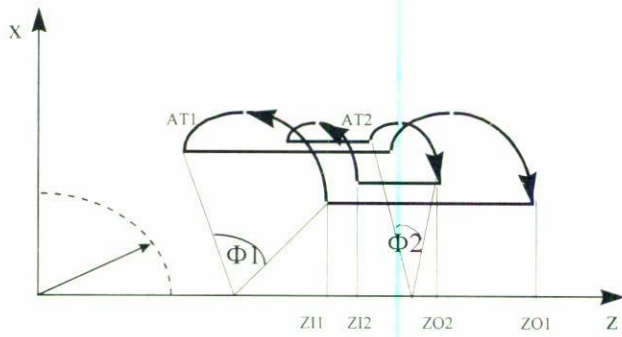


FIGURA 1. Representación de un cuarto de la bobina saddle de dieciséis arcos. La nomenclatura presentada es igual a la de Siebold [6].

2. Materiales y métodos

A diferencia de las consideraciones de Siebold, se considera una unidad, el arco principal y el externo. Esto introduce un nuevo grado de libertad (posición axial del arco externo), que permite aumentar el número de las posibles soluciones. Con esta nueva consideración el modelo cuenta con cuatro grados de libertad: ancho angular, posición axial del arco interno y externo y ampere-vuelta.

Con el propósito de obtener la configuración deseada se asumió una función objetivo como la suma de las siguientes componentes [7]:

$$F = \int_{VI} [B_z(x, y, z) - B_z^o(x, y, z)]^2 dV + \alpha \cdot L, \quad (1)$$

donde $B_z(x, y, z)$ es la componente axial del campo, calculada usando la ley de Biot-Savart; $B_z^o(x, y, z)$ es el campo magnético objetivo; L la inductancia y α es un factor de peso. Esta función está descrita de otras maneras en las Refs. 8 y 9.

Las magnitudes que forman la función objetivo dependen de las exigencias del experimento. Cada grado de libertad es variado iterativamente para minimizar esta función. El primer término en esta función representa la desviación respecto al campo magnético objetivo. En el segundo término, el parámetro α permite equilibrar el peso entre linealidad e inductancia según los requerimientos del experimento.

El campo $B_z^o(x, y, z)$ se especificó en el cuadrante positivo del plano xz en un radio de 20 cm [10] (ver Fig. 1). La inductancia se calculó con la expresión de la energía total del campo magnético [11].

En el proceso de optimización, los parámetros están sometidos a restricciones para evitar configuraciones que dificulten la implementación práctica. Cuando existe alguna violación se suma a la expresión (1) una función *penalty* que prohíbe el valor numérico del parámetro. La función objetivo (1) fue minimizada por el método Simplex. Se escogió esta rutina para evitar inestabilidades del potencial que se producen en métodos que dependen de derivadas analíticas de la fun-

TABLA I. Parámetros de la bobina presentada por Siebold y configuraciones optimizadas en este trabajo.

Parámetros	Siebold	Optimizada	Optimizada
		con $\alpha = 0$	con $\alpha = 10^{-6}$
AT1(A)	7.09	7	7
ZI1(m)	0.072	0.0761	0.0728
ZO1(m)	0.605	0.6049	0.5716
$\Phi 1(^{\circ})$	123.2	129.986	119.226
AT2	19.14	18	18
ZO2(m)	0.292	0.3108	0.3012
$\Phi 2(^{\circ})$	102.4	102.722	110.429
$L(\mu H)$	925	877	840
$G_x(T/m A)$	1.017×10^{-4}	9.901×10^{-5}	1.01×10^{-4}
$\Delta(\%)$	6.937	3.55	3.61

$\Delta(\%)$ - Desviación cuadrática media

ción objetivo. Los cálculos se realizaron con nuestro programa de diseño GXZDGN sobre MatLab 4.0 en una PC Pentium/120 MHz.

3. Resultados numéricos

La bobina estará soportada por un cilindro de radio 0.354 m y está limitada a una longitud de 1.20 m medidos desde el arco más externo. En nuestro caso el VI es una esfera de radio 0.20 m centrada en el origen. En los primeros cálculos la contribución de la inductancia se eliminó de la función (1), o sea, se consideró $\alpha = 0$ para valorar solamente la contribución del nuevo grado de libertad. En este caso, la bobina en proceso tiende a aumentar el número de vueltas y la longitud para cumplir con los requerimientos del campo magnético especificado. Estas configuraciones producen inductancias por encima de nuestros requerimientos. En la Tabla I, la primera columna muestra los parámetros de la bobina presentada en la Ref. 6, y la segunda columna, los parámetros de una de las configuraciones optimizadas en este trabajo.

Se comprobó numéricamente que con un valor de $\alpha = 10^{-6}$ las configuraciones obtenidas tienen 1.04 veces menos inductancia que en el caso anterior, aunque se degrada la uniformidad de gradiente en 1.02 veces. Esto era de esperar por la propia naturaleza del factor α . Comparada con la bobina reportada por Siebold, la nuestra resulta más lineal y con menos inductancia en 1.1 y 1.4 veces, respectivamente. En la Fig. 2 se muestra el mapa de uniformidad de esta configuración. Los resultados de esta configuración aparecen tabulados en la Tabla I (tercera columna).

Cuando en el proceso de optimización incluimos el parámetro α obtuvimos configuraciones en las que los anchos angulares de las bobinas se solapan. Estas soluciones fueron desechadas por dificultar el enrollado y montaje de las mismas.

