

УДК 681.325.3:003.23

ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

© 1996, П.А.Галайдин, П.П.Парамонов*, В.С. Юраков**

*С-Петербургский Институт Точной механики и оптики,
*ОКБ "Электроавтоматика",
**Балтийский университет*

Поступила в редакцию 22.05.96

В статье рассмотрено влияние различных параметров аппаратуры на качество получаемого изображения в магниторезонансной томографии. Дана оценка разрешающей способности магниторезонансных измерительных преобразователей.

В магниторезонансной томографии основным показателем является качество получаемого изображения. Очевидно, качество изображения будет зависеть, в основном, от разрешающей способности аппаратуры и контрастности. Разрешающая способность определяется наименьшим расстоянием между точками образца, которое система может различить. Ее ограничивают различные параметры аппаратуры. Чтобы исследовать их влияние, обратимся к случаю формирования изображений прямым преобразованием Фурье.

В этом методе комплексная амплитуда сигнала имеет вид [1]:

$$s(G_y, t) = \iint m(x, y) e^{i\gamma G_y x} e^{i\gamma G_x t} e^{-i/T_2} dx dy \quad (1)$$

где: $m(x, y)$ — поперечная намагниченность элемента объема с координатами x, y ;

G_x, G_y — градиенты по осям x, y ;

γ — гиромангнитная постоянная;

τ — длительность радиочастотного импульса;

T_2 — постоянная времени спин-спиновой релаксации.

Здесь считывающий градиент G_x всегда имеет одну и ту же величину. Пусть длительность получения сигнала равна T , а пространственное поле формирования изображения представляет собой квадрат со стороной x_p . Так как сигнал комплексный, допустимо поместить опорную частоту детектирующей системы в центр спектра сигнала. Это определяет, на основании теоремы Шеннона, минимальную частоту сбора:

$$F = \gamma G_x x_p / 2\pi. \quad (2)$$

Если поляризующее поле идеально однородно, градиенты идеально постоянны и переключаются одновременно, исследуемая длина по оси X в обратном пространстве выражается следующим образом:

$$k_x = \gamma G_x T. \quad (3)$$

Предел разрешения в прямом пространстве, следовательно, будет:

$$\delta_x = 2\pi/k_x = 2\pi/\gamma G_x T \quad (4)$$

Если N — число точек сбора, имеем:

$$N = FT \text{ и } \delta_x = x_p/N. \quad (5)$$

Как и следовало ожидать, разрешение будет тем лучше, чем меньше будет шаг сбора. Однако, несовершенство аппаратуры и, в особенности, неоднородность и нестабильность поляризующего магнитного поля задают верхний предел числу отсчетов.

Определим связь между разрешающей способностью аппаратуры, величиной и линейностью считывающего градиента и однородностью поляризующего поля в рабочем объеме. Пусть число точек, которые необходимо разрешить, равно N . Тогда частотный размер шага между точками

$$\omega_N = \gamma G_x x_p / N. \quad (6)$$

С другой стороны, ширина разрешения спектральной линии, связанная с неоднородностью поляризующего поля ΔB_0

$$\omega_B = \gamma \Delta B_0. \quad (7)$$

Приравнивая частоты и разделив обе части на B_0 , получим

$$\delta B_0 = \frac{\Delta B_0}{B_0} \leq \frac{G_x x_p}{B_0 N}. \quad (8)$$

Воспользовавшись (5), определим дискрету разрешения

$$\delta_x \geq \frac{B_0}{G_x} \delta B_0 \quad (9)$$

Таким образом, разрешение растет с уменьшением неоднородности поляризующего поля и ростом градиента.

Оценим необходимую линейность градиентного поля. Резонансная частота связана с положением следующим соотношением:

$$\omega(x) = \omega_0 + \gamma G_x x. \quad (10)$$

Если предположить, что в измерении частоты нет ошибки, то можно связать относительную погрешность в положении x с относительной ошибкой воспроизведения градиента

$$\delta x = \delta G_x, \quad (11)$$

где: $\delta x = \frac{\Delta x}{x}, \quad \delta G_x = \frac{\Delta G_x}{G_x}.$

Максимальная абсолютная погрешность положения будет, следовательно, иметь вид

$$\Delta x_{\max} = x_p \delta G_x = x \delta G_x / 2. \quad (12)$$

Величина Δx_{\max} должна быть того же порядка, что и пространственное разрешение δx , так как сдвиг положения, обусловленный нелинейностью градиента, не должен превышать ширины элемента изображения. Отсюда

$$\delta G_x \leq 2\delta_x / x, \quad (13)$$

В качестве примера определим необходимые параметры систем магниторезонансного измерительного преобразователя с поляризующим полем 0,1 Тл, градиентным полем 5 мТл/м и рабочим объемом с линейным размером 200 мм при необходимой разрешающей способности 0,2 мм. По формулам (8), (13) необходимая нелинейность градиента должна быть не менее 1%, а неоднородность поляризующего поля не должна превышать 10 м.д. (1 м.д. = 10^{-6}).

Литература

1. Эрнст Р., Броденхаузен Дж., Вокаун А. ЯМР в одном и двух измерениях: Пер. с англ. под ред. К.М.Салихова., М., Мир, 1990.

RESOLUTION EVALUATION OF MAGNETORESONANCE TRANSDUCERS

P.A.Galaidin, P.P.Paramonov, V.S.Jurakov
St. Petersburg Institute of Fine Mechanics and Optics
ELEKTROAVTOMATIKA Special Design Bureau
Baltic University

The paper discusses the effect of various instrumental parameters on the quality of magneto-resonance tomography images. The resolution of the magneto-resonance transducers is evaluated.