УДК 537.953.07

РАЗРАБОТКА ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩЕГО ДАТЧИКА МАЛОГО ОБЪЕМА ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ТОМОГРАФОВ

Баязитов А.А.[1], Хундиряков В.Е.[2]

[1]ФГБУН Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, Россия, 420029 Казань, Сибирский тракт, 10/7
[2]ФГФУВО Казанский(Приволжский) федеральный университет, Россия, 420008 Казань, ул. Кремлевская,18.
bayazitov.alfis@kfti.knc.ru

В работе описаны математические модели распределения поля для цилиндрической и эллиптической формы датчика. Также проводилась оценка однородности поля вдоль оси X, Y и Z в центре датчика в области 150x100x60 мм. При моделировании катушек изменялись такие параметры, как число витков, расстояние между витками, размеры полуосей. По результатам моделирования был предложен макет датчика и измерено распределения амплитуды сигнала вдоль оси X датчика.

Введение

В данной работе представлены результаты исследования и разработки датчика малого объема для малогабаритных магнитно-резонансных томографов. Приемный датчик в дальнейшем именуемый датчиком «Кисть» имеет преимущественно эллиптическую форму. В работе проводилась оценка однородности поля и амплитуды сигнала для контуров, состоящих из 4 витков (цилиндр), 6 витков (цилиндр) и 6 витков (эллипс). Переход от цилиндра к эллипсу позволяет увеличить коэффициент заполнения контура и, следовательно, увеличить амплитуду сигнала, что впоследствии положительно скажется на увеличении отношения сигнал/шум.

Объекты и методы исследования

Цель данной работы заключается в исследовании конфигурации датчика, с целью обеспечить однородное распределение поля в заданной области пространства.

Как известно для обеспечения однородного магнитного поля и увеличения области однородности поля используют несколько катушек Гельмгольца [1]. Как альтернатива катушкам Гельмгольца, катушки Бэкера [2] представляют собой четыре основных катушки одного и того же диаметра. Катушки, расположенные в крайнем левом и правом положениях имеют количество витков в два раза больше чем те, что расположены ближе к центру. Семейство таких катушек обеспечивают однородность поля в объёме сферической формы примерно вдвое больше по диаметру, чем аналогичный объём, обеспечиваемый катушками Гельмгольца. Исходя из этой теории и более ранних результатов в рамках данной темы, проводилось математическое моделирование катушки и расчет поля от её витков [3], а также оценивалась однородность поля в заданной области наблюдения. Оценка однородности поля проводилась с учетом формулы [4]:

$$\delta=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}}{\bar{X}}; \quad (1)$$

В работе оценивалась однородность поля для 4 витков (цилиндр), как основа для сравнения при увеличении числа витков до 6 и последующей оптимизацией, а затем переход к эллипсу. Область, в которой производилась оценка однородности поля по формуле 1, следующая: вдоль оси X 150 мм, вдоль оси Y 100 мм, вдоль оси Z 60 мм.

В работе производилось моделирование поля для различных конфигураций. В ходе расчетов для цилиндрических датчиков, фиксировались параметр Rz и Ry, а также параметр X1, а параметр X2 принимал значение от 1 до 15 см, получая семейство графиков. Затем X1 изменялся на 1 см и повторялся процесс. Для расчетов датчика эллиптической формы, фиксировался параметр Ry= 8 см и для каждого параметра Rz в интервале от 8 см до 2 см повторялся

этап расчета для параметров X1 и X2. Затем производилась оценка однородности поля по формуле 1.

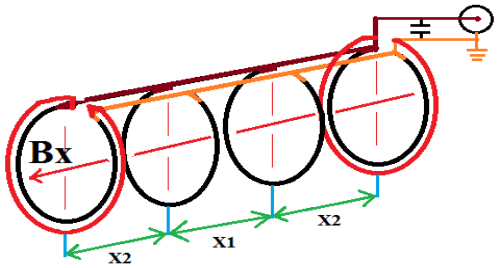

Рис. 1. Схема датчика с 6 витками. В датчике с 4 витками вторые (внешние) кольца на краях контура отсутствуют.

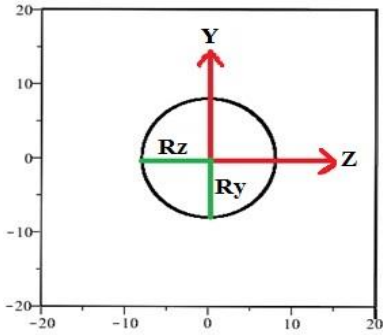

Рис. 2. Схема датчика в профиле, прараметры Rz и Ry полуоси эллипса.

На рис. 1 представлен общий вид датчика, где параметры X_1 и X_2 – расстояния между соседними кольцами датчика. На рис. 2 представлен разрез датчика, где прараметры Rz и Ry – полуоси эллипса. При Rz = Ry производилось моделирование датчика цилиндрической формы.

Обсуждения и результаты

В ходе работы было проведено математическое моделирование распределения поля от конфигурации катушек (рис. 1 и рис. 2), с различными параметрами.

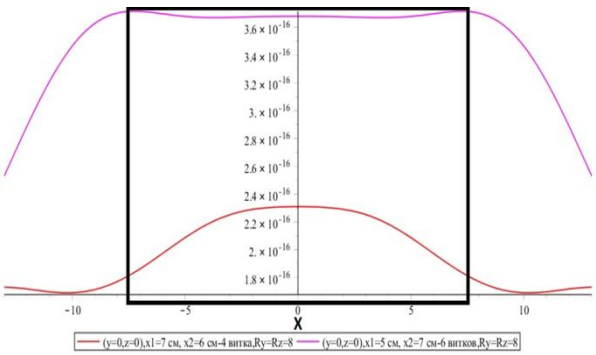

Рис. 3. Распределение поля вдоль оси X от 6 витков от 4 витков для оптимальных значений параметров контура.

Был проведен сравнительный анализ однородности распределение сигнала (рис. 3) для датчика цилиндрической формы состоящего из 4 и 6 витков (рис. 1). Оптимальное значения параметров для 4 *витков:* Ry=Rz=8 см, X1=7 см, X2 = 6 см: Acpx=2,5247E-16, δx=3,44E-02; Acpyz=2,5881E-16, δyz=4,03E-02; на краях датчика (x=7,y=0; x=7, z=0) Acpyz=2,3974E-16, δyz=1,75E-03;

Для *6 витков*: Ry=Rz=8 см, X1=5 см, X2=7 см; Acpx=3,6841E-16, δx=4,52E-03; Acpyz=3,6642E-16, δyz=7,01E-03; на краях датчика (x=7, y=0; x=7, z=0) Acpyz=3,7411E-16, δyz=6,07E-03. Где Acp – среднее значение амплитуды поля, δ – среднескадратичное отклонение от среднего значения поля (неоднородность поля). Данные результаты показывают что при оптимальных параметрах контура с 6 витками, однородность поля лучше,

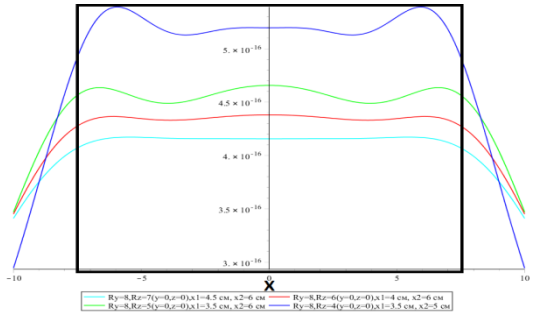

Рис. 4. Распределение поля вдоль оси X от 6 витков для различных значений полуоси эллипса Rz.

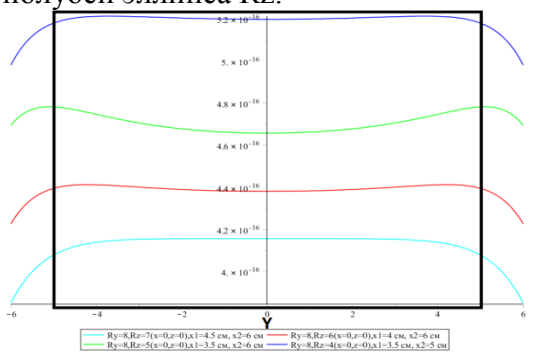

Рис. 5. Распределение поля вдоль оси Y от 6 витков для различных значений полуоси эллипса Rz.

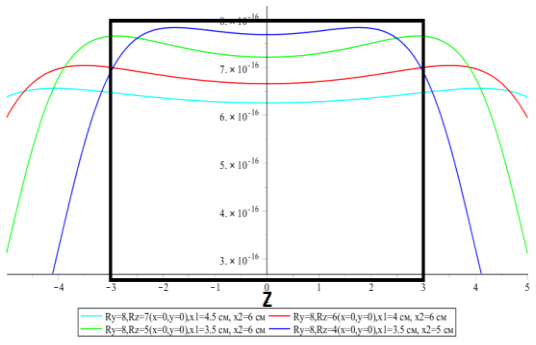

Рис. 6. Распределение поля вдоль оси Z от 6 витков для различных значений полуоси эллипса Rz.

область однородности шире, и амплитуда сигнала больше, чем для контура с 4 витками.

На рис. 4, 5 и 6 приведены семейство графиков с наилучшей характеристикой однородности поля для соответствующих контуров. Здесь Rz именяется от 4 до 7 см, верхний график соответствует параметру Rz=4 см, нижний Rz=7 см.

Прямоугольной фигурой обозначина область интересов при расчете однородности поля.

Расчеты однородности поля для данных графиков следующие. Рис. 3 для Rz=7 см: δ=0,6%; Rz=6: δ=0,3%; Rz=5: δ=1,2%; Rz=4: δ=2,3%.

Рис. 4 для Rz=7: δ=0,7% ; Rz=6: δ=0,7%;

Rz=5: δ=0,9%; Rz=4: δ=1,6%.

Рис. 5 для Rz=7: δ=0,5%; Rz=6: δ=1%; Rz=5: δ=0,4%; Rz=4: δ=0,5%.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам анализа приведенных данных была выбрана конфигурация датчика эллептической формы с параметрами Ry=8 см, Rz=5 см, X1=3.5 см, X2=6 см. С учетом данных результатов был собран макет датчика и проведены измерения характеристики распределеня амплитуды сигнала (рис. 7). Данные на рис. 6 приведены для макета датчика, витки которого включены поралельно. Результаты распределения амплитуды сигнала вдоль оси X в реальном макете и δ для этих значений выше, чем в математической модели, но укладываются в допустимые 10%.

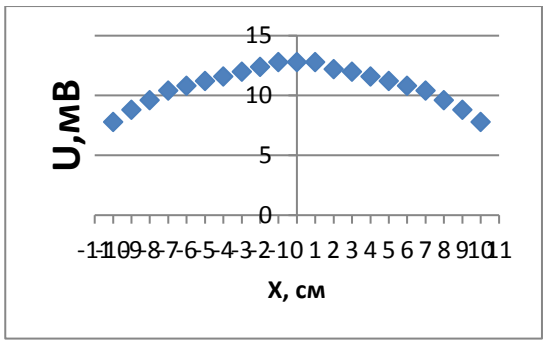

Рис. 7. Экспериментальное распределение сигнала от эллипса с параметрами Ry=8см, Rz=5 см, X1=3.5 см, X2=6 см.

Заключение

В цилиндрическом контуре с 6 витками амплитуда поля в 1,8 раза выше и однородность поля лучше, чем в контуре с 4 витками. При переходе от 6 витков цилиндра к 6 виткам эллипса амплитуда увеличивается, однородность уменьшается, но при этом остается выше, чем у цилиндрического контура из 4 витков. Переход от цилиндрической к эллиптической форме приводит к уменьшению объема датчика, что ведет к увеличению амплитуды принимаемого сигнала за счет увеличения коэффициента заполнения. В результате у 6 витков катушки эллиптической формы в математической модели амплитуда сигнала в 2 раза выше, чем у 4 витков катушки цилиндрической формы, а однородность поля вдоль оси X в 2,4 раза лучше.

Литература:

1. Использование катушек Гельмгольца для генерации высокочастотных магнитных полей. http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=163905
2. *Barker J.R.* British journal of applied physics, 1950. V.1. N. 3. P. 65-67.
3. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм. Том 2. М.: «Наука», 1971.
4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: «Наука», 1977.