

**Радиочастотное беспроводное устройство для улучшения визуализации
абдоминальной области методом МРТ**

Шарипова Л.В. (ИТМО), Пучнин В.М. (ИТМО)

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., научный сотрудник Щелокова А.В.
(ИТМО)**

Введение. МРТ является эффективным и безопасным неинвазивным методом визуализации, который используется для диагностики патологических заболеваний и терапевтического наблюдения. Однако, диагностическая ценность получаемых МР изображений напрямую связана с электромагнитными свойствами возбуждаемого РЧ магнитного поля. Рассматривают следующие параметры: глубину проникновения, область локализации, амплитуду магнитного поля и однородность ее распределения в заданной области.

Недавно была предложена концепция повышения качества визуализации методом МРТ за счет использования беспроводных устройств на основе метаматериалов [1] и метаповерхностей [2]. Они располагаются на объекте исследования и при возбуждении внешним РЧ магнитным полем во время сканирования индуцируют вторичное поле. Это позволяет желаемым образом управлять распределением амплитуды РЧ магнитного поля в области интереса, в том числе повысить её однородность в области интереса. В настоящем исследовании предложена подкладка на основе разомкнутых кольцевых резонаторов. Такая подкладка позволяет взаимодействовать с внешним электромагнитным полем аналогично другим известным в литературе структурам [3], однако обладает преимуществами в виде гибкости частотной настройки и простоты изготовления.

Основная часть. В ходе работы была разработана и исследована подкладка на основе набора концентрических соосных разомкнутых кольцевых. Предложенная структура основана на шести металлических витках, в каждом из которых равномерно расположено четыре конденсатора. За счет подбора емкостей конденсаторов проводилась частотная настройка на рабочую частоту МРТ с индукцией постоянного магнитного поля 3 Тл — 123 МГц. Кроме того, проводилась частотная отстройка отдельных кольцевых резонаторов относительно друг друга. Значения емкостей конденсаторов подбирались таким образом, чтобы каждый внутренний резонансный элемент имел основное резонансное состояние в более высоком диапазоне частот относительно внешнего, сохраняя частоту основного гибридного состояния всей подкладки неизменной. Были рассмотрены конфигурации подкладки с различной разницей частот (Δf) между внутренним и внешним кольцевым резонатором.

В численном исследовании подкладка была расположена на однородном фантоме, размеры и электрические свойства которого имитируют торс человека. Подкладка возбуждалась с помощью рамочной антенны. Было получено, что при $\Delta f=0$ МГц РЧ магнитное поле локализуется вблизи подкладки так, что вблизи центрального кольцевого резонатора находится максимум амплитуды, которая спадает к области на периферии. При увеличении $\Delta f=0$ происходит перераспределение локализованного магнитного поля, что проявляется в уменьшении амплитуды в центральной части структуры и ее увеличении на периферии. Это приводит к уменьшению средней амплитуды магнитного поля в области интереса, но повышению ее однородности распределения.

На следующем этапе работы проведены численные и экспериментальные исследования применения разработанной подкладки на примере улучшения визуализации печени. Подкладка располагалась на вокселизированной модели человека, которая включала все ткани с соответствующими им электрическими параметрами. Возбуждение проводилось с помощью модели катушки типа “птичья клетка”, которая наиболее часто

встречается в клинических аппаратах МРТ. По результатам численного моделирования выявлено, что в случае рассмотрения модели без использования подкладки наблюдается выраженный минимум амплитуды магнитного поля в области печени, а именно в левой доле, который обусловлен возникновением артефакта стоячей волны. Однако, при использовании подкладки было получено увеличение амплитуды РЧ магнитного поля в печени на 35 %, что позволило компенсировать минимум.

Экспериментальные исследования МРТ печени проводились на аппарате МРТ «Siemens Trio» с индукцией магнитного поля 3 Тл с применением приемной абдоминальной катушки для тела. Результаты показали, что использование подкладки на основе разомкнутых кольцевых резонаторов увеличило среднее значение отношения сигнал-шум (ОСШ) на полученных МР изображениях в области интереса на 46 % по сравнению со случаем без подкладки (ОСШ = 93).

Выводы. Таким образом, в данной работе продемонстрировано, что предложенная подкладка на основе разомкнутых кольцевых резонаторов позволяет повышать диагностическую ценность метода МРТ за счет компенсации артефакта стоячей волны на получаемых изображениях. Это достигается за счет перераспределения РЧ магнитного поля приемо-передающей катушки аппарата МРТ. Было продемонстрировано, что перераспределением можно управлять за счет частотной отстройки кольцевых резонаторов в составе подкладки.

Список использованных источников:

1. de Heer P., et al., Increasing signal homogeneity and image quality in abdominal imaging at 3 T with very high permittivity materials. *Magnetic resonance in medicine*, 2012, 68, 1317-1324.
2. Vorobyev V., et al., Improving B_1^+ homogeneity in abdominal imaging at 3T with light, flexible, and compact metasurface. *Magnetic resonance in medicine*, 2022, 87, 496-508.
3. Webb A., et al., Novel materials in magnetic resonance imaging: high permittivity ceramics, metamaterials, metasurfaces and artificial dielectrics. *MAGMA*, 2022, 35, 875-894.