

**РАЗРАБОТКА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕЙ КАТУШКИ ДЛЯ ВЫСОКОПОЛЬНОЙ
ДОКЛИНИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ СУ-ШРИФФЕРА-ХИГГЕРА**

Курганов Г.Д. (Университет ИТМО), **Пучнин В.М.** (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доцент, кандидат физико-математических наук, Жирихин Д.В.
(Университет ИТМО)

Введение. Доклиническая магнитно-резонансная томография (МРТ) уверенно закрепила среди методов разработки новейших лекарств и методов лечения благодаря своей неинвазивности и высокой контрастности мягких тканей [1]. Однако, исследования на мелких модельных животных (мышьях и крысах) предъявляют повышенные требования к пространственному разрешению используемых методов визуализации, а крайне низкие концентрации исследуемых веществ в организмах – к чувствительности [2]. Чтобы соответствовать этим требованиям, активно разрабатываются новые радиочастотные (РЧ) катушки и импульсные последовательности [3, 4]. В то же время топологическая фотоника – раздел электродинамики, исследующий свойства систем, обусловленных их глобальными симметриями – активно развивается [5], однако ее открытия находят себе ограниченное практическое применение. Одна из систем, рассматриваемых топологической фотоникой – система Су-Шриффера-Хиггера (Su-Schrieffer-Heeger, SSH). Она представляет собой цепочку из резонансных элементов, соединенных связями чередующейся силы. На краю такой системы поддерживается краевое топологическое состояние, заключающееся в сосредоточении энергии электромагнитного поля. Применение этого явления в магнитно-резонансной томографии выглядит крайне перспективно.

Основная часть. Предлагается использовать системы SSH для создания равномерного распределения магнитного поля в области интереса. Применяемые цепочки SSH состоят из нечетного числа разомкнутых кольцевых резонаторов, в разрывах которых установлены конденсаторы для настройки системы на рабочую частоту. Системы ориентированы отделенными элементами внутрь, а заданный сдвиг фазы сигнала обеспечивает вращение вектора магнитного поля в поперечной плоскости. Применение восьми таких цепочек вокруг объекта исследования позволяет, с одной стороны, создать равномерное распределение магнитного поля, а с другой – при необходимости обеспечить развязку используемых резонаторов при помощи взаимного перекрытия.

При помощи полноволнового численного моделирования (CST Microwave Studio, Frequency Domain Solver) было выполнено сравнение пространственного распределения магнитного поля для трех типов резонаторов: классического кольцевого резонатора и двух типов топологических резонаторов в виде цепочки SSH – из 5 и 9 элементов. Размеры резонаторов подобраны с учетом размеров туннеля реального высокопольного томографа Bruker BioSpec 70/30, применяемого для доклинической МРТ, и составляют 200 мм х 30 мм. Высота топологических резонаторов составляет 35 мм и выбрана такой, чтобы в томографе осталось достаточно места для объекта исследования. Эта высота складывается из толщин колец, составляющих цепочку, а также расстояний между кольцами внутри цепочки, которые были оптимизированы для обеспечения наибольшего сосредоточения магнитного поля вблизи крайнего элемента системы. Конденсаторы, расположенные в разрывах колец, настраивают резонансную частоту систем на частоту 300 МГц – частоту ядерного магнитного резонанса для ядра водорода в постоянном магнитном поле величиной 7 Тл.

Результаты моделирования показали, что для топологических резонаторов электромагнитное поле концентрируется вблизи крайнего элемента цепочки, причем точка

максимума несколько вынесена за пределы резонатора. За счет того, что максимум поля находится ближе к области интереса, повышается эффективность передачи сигнала. Кроме того, поле крайне быстро падает со стороны противоположного конца резонатора, поэтому РЧ-катушка на основе топологического резонатора не требует дополнительного экранирования.

Кроме продемонстрированных в ходе моделирования преимуществ, топологические резонаторы имеют и другие свойства, которые могут оказаться полезными для доклинической МРТ:

- SSH-цепочка, помимо краевого топологического состояния, поддерживает и другие собственные состояния, что делает возможной работу катушки в многоканальном режиме со спектрами нескольких ядер одновременно;
- Явление топологической защищенности, свойственное топологическим системам, может обеспечивать большую устойчивость топологической РЧ-катушки к смене нагрузки.

Выводы. Выполнено сравнение распределений магнитного поля для резонаторов различной конфигурации. Топологические цепочки Су-Шриффера-Хиггера демонстрируют более выгодное пространственное распределение магнитного поля, а в перспективе способны продемонстрировать новые, недостижимые для классических систем свойства.

Список использованных источников:

1. Marzola P., Osculati F., Sbarbati A. High field MRI in preclinical research //European journal of radiology. – 2003. – Т. 48. – №. 2. – С. 165-170.
2. Beckmann N. et al. From anatomy to the target: contributions of magnetic resonance imaging to preclinical pharmaceutical research //The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists. – 2001. – Т. 265. – №. 2. – С. 85-100.
3. Pandit P. et al. Multishot PROPELLER for high-field preclinical MRI //Magnetic Resonance in Medicine. – 2010. – Т. 64. – №. 1. – С. 47-53.
4. Seo J. H., Han S. D., Kim K. N. Design of crisscrossed double-layer birdcage coil for improving B₁₊ field homogeneity for small-animal magnetic resonance imaging at 300 MHz //Journal of Magnetism. – 2015. – Т. 20. – №. 3. – С. 308-311.
5. Lu L., Joannopoulos J. D., Soljačić M. Topological photonics //Nature photonics. – 2014. – Т. 8. – №. 11. – С. 821-829.

Курганов Г.Д. (автор) _____

Жирихин Д.В. (научный руководитель) _____