

УДК 537.86

МЕТАПОВЕРХНОСТЬ ДЛЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИЕМА

Буров Д.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – канд. технических наук Серегин П.С.

(Университет ИТМО)

Научный консультант – Корешин. Е.А. (Университет ИТМО)

В данной работе представлены способы реализации многоканальной приемной метаповерхности для магнитно-резонансной томографии за счет использования поворотной симметрии четвертого порядка.

Введение. Применение многоканальных катушек в современной магнитно-резонансной томографии (МРТ) оправдано несколькими факторами. Во-первых, они могут обеспечивать одновременный сбор сигнала с большей анатомической области при прочих равных характеристиках, обладая возможностью гибкого управления профилем чувствительности. Во-вторых, многоканальные устройства могут быть использованы совместно с параллельной реконструкцией, сокращая время исследования. В-третьих, применение множества каналов, покрывающих анатомическую область, позволяет минимизировать собираемый шум, тем самым улучшая диагностическое качество изображений. Традиционно, катушки МРТ строятся на основе фазированных массивов, состоящих из некоторого числа петлевых антенн, развязанных между собой. Такая геометрия является наиболее простой и распространенной, но не единственной. Все больший научный интерес вызывают метаповерхности. Как правило — это тонкие плоскости из метаматериала, состоящего из элементарных ячеек, совокупное влияние которых на падающее излучение позволяет управлять волновым фронтом (поворачивать его угол, фокусировать, рассеивать, поляризовать и т. д.). В настоящей работе мы предлагаем двухканальное приемное устройство на основе резонансной метаповерхности, которое может использоваться как базовый элемент фазированного приёмного массива, вместо петлевых катушек.

Основная часть. Элементарная ячейка предлагаемой метаповерхности состоит из двух проводников, пересекающихся крестом с емкостями, введенными последовательно в каждую из четырех ветвей. Выбор геометрии был обусловлен тем, что такая структура ведет себя как искусственный диэлектрик с задаваемым коэффициентом укорочения, который показывает, насколько длина волны в среде меньше, чем в свободном пространстве. Большое значение этой величины необходимо, поскольку МР сканер с напряженностью постоянного магнитного поля 1,5 Тл работает на частоте 63 МГц, что соответствует длине волны 4.7 метра. Габариты нашего устройства эквивалентны типичной приёмной катушке и составляют десятки сантиметров. При этом, чтобы в таком образце укладывалось хотя бы одна длина волны, требуется обеспечить коэффициент укорочения порядка 10. Искусственный диэлектрик позволяет обеспечить и более высокие коэффициенты укорочения, за счет выбора структурных емкостей и геометрических параметров, в зависимости от частоты требуемого распределения электромагнитного поля. Его реализуемая область значений лежит в пределах 10–60. Численный анализ собственных мод конечного образца размеров 111 x 111 мм (5x5 ячеек) с емкостями 330 пФ показал, что на частоте 63.8 МГц может существовать мода Фабри-Перо с порядком $(m,p) = (1,2)$. Для возбуждения этой моды необходимо найти оптимальную точку питания. Для этого мы провели численную оптимизацию в CST Microwave Studio с целью минимизировать коэффициент отражения. Был обнаружен локальный минимум при положении точки питания в середине грани метаповерхности.

При повороте метаповерхности на 90, 180, 270 и 360 градусов вокруг нормали, она переходит сама в себя. Это означает, что такая структура обладает поворотной симметрией четвертого порядка. Так как геометрия становится такой же как до поворота, то и реализуемый набор мод будет тем же. То есть, если изменить точку питания на другую, отстоящую от изначальной на целое число 90-градусных шагов вокруг нормали, то в каждой такой точке будет реализовываться мода $(m,p) = (1,2)$. Однако, если смотреть на эту моду из стационарной системы отсчета (не повернутой вокруг нормали), то при повороте на нечетное целое число 90-градусных шагов (90, 270 градусов), то мода будет переходить в $(m,p) = (2,1)$. Таким образом, при смене точки питания указанным выше образом, метаповерхность реализует уже другую моду, которая, однако, находится на той же частоте. Эти две моды являются независимыми и ортогональными с порядками (1,2) и (2,1). По теореме взаимности эти две моды передающей метаповерхности соответствуют двум профилям чувствительности приемной метаповерхности. Два указанных профиля чувствительности мы предлагаем использовать как каналы для приемной МР-катушки. Проведя численное моделирование приемного устройства на основе искусственного диэлектрика, мы убедились в том, что каналы обладают минимальными коэффициентами прохождения $S_{21} = S_{12} = -25$ дБ и низкими коэффициентами отражения $S_{11} = S_{22} = -30$ дБ.

Выводы. В результате проведенного моделирования был получен способ достижения многоканальности в квадратной конечной метаповерхности за счет поворотной симметрии четвертого порядка. Предложенный подход с рассмотрением симметричных резонансных мод Фабри-Перо является универсальным и может быть использован для резонансных метаповерхностей другой геометрии, которые обладают поворотными симметриями. На основе проведенного моделирования можно создать метаповерхность, использующую два априорно развязанных канала, имеющую высокое соотношение сигнал-шум.

Буров Д.С.

Подпись

Серегин П.С.

Подпись