

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 183997

### РАДИОЧАСТОТНАЯ КАТУШКА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТОМОГРАФА

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2017143679

Приоритет полезной модели 13 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 11 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 13 декабря 2027 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A61B 5/055 (2006.01); G01R 33/3875 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017143679, 13.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
13.12.2017

Дата регистрации:  
11.10.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.12.2017

(45) Опубликовано: 11.10.2018 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,  
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Слобожанюк Алексей Петрович (RU),  
Щелокова Алена Вадимовна (RU),  
Глыбовский Станислав Борисович (RU),  
Хуршкайнен Анна Александровна (RU),  
Белов Павел Александрович (RU),  
Абдеддаим Мохамед Реда Бенаоуда (FR),  
Стефан Энох (FR),  
Никулин Антон Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
национальный исследовательский  
университет информационных технологий,  
механики и оптики" (Университет ИТМО)  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

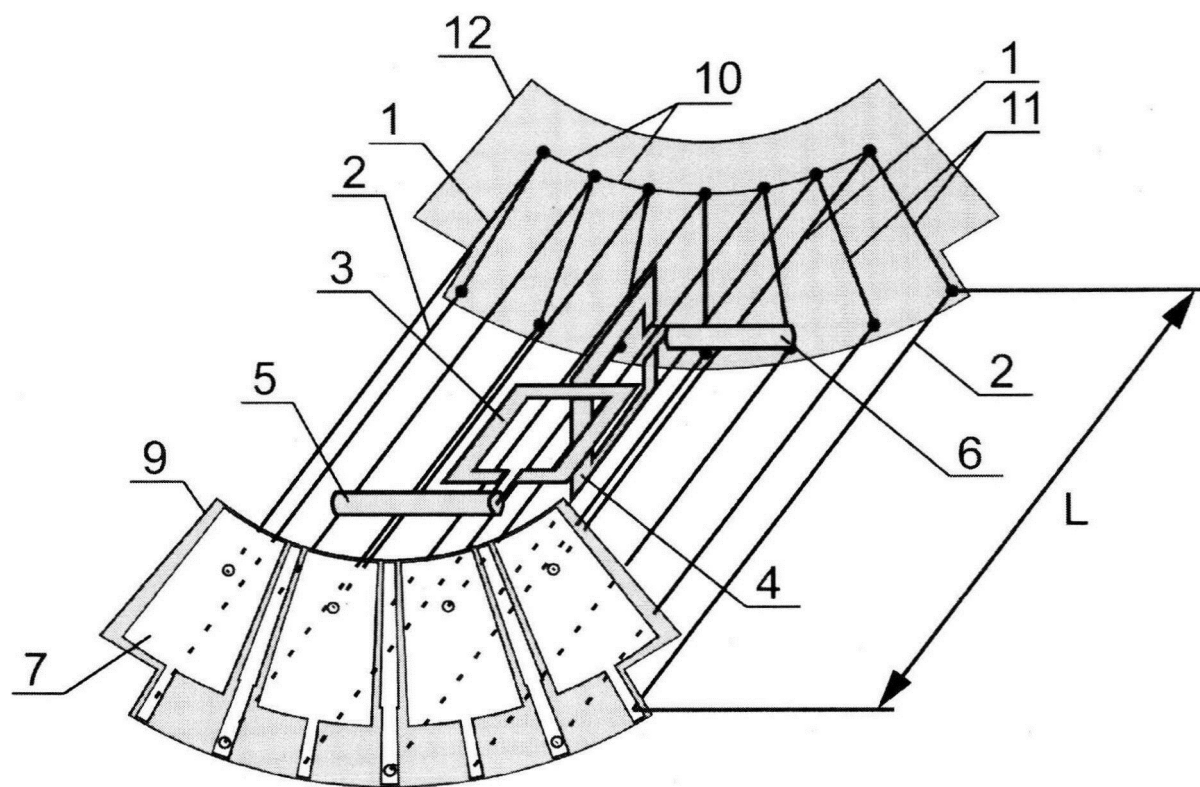
о поиске: US6980003B2, 27.12.2005.  
RU2009128239A, 27.01.2011. US5280248,  
18.01.1994. EP1113286A2, 04.07.2001.  
US2010213941A1, 26.08.2010.

### (54) РАДИОЧАСТОТНАЯ КАТУШКА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТОМОГРАФА

(57) Реферат:

Полезная модель относится к медицинской технике, а именно является антенной - составной частью приемо-передающего тракта магнитно-резонансного доклинического или клинического томографа с уровнем постоянного поля магнита от 0.5 Тесла и выше. Устройство предназначено для передачи радиочастотных импульсов возбуждения ядерного магнитного резонанса спинов и приема радиочастотного сигнала отклика спинов на одной или нескольких частотах в задачах томографии и спектроскопии. Устройство представляет собой многомодовый резонатор на основе периодической структуры

из двух рядов металлических проводников, соединенных конструктивными емкостными нагрузками, возбуждаемый при помощи одной или нескольких рамочных антенн, подключенных к приемо-передающему устройству томографа посредством радиочастотных кабелей. Использование распределенных емкостей позволяет повысить соотношение сигнал/шум радиочастотной катушки, кроме того, использование двух ортогональных мод резонатора позволяет упростить процедуру настройки катушки на Ларморовы частоты.



Фиг. 1



## 1. Область техники

Предлагаемое техническое решение относится к медицинской технике, а именно является приемной и/или передающей антенной (радиочастотной катушкой) - составной частью приемо-передающего тракта магнитно-резонансного томографа. Устройство

## 2. Уровень техники

Для повышения соотношения сигнал-шум в изображениях МРТ путем модификации приемных и/или передающих радиочастотных катушек томографа были предложены различные методы.

Известна радиочастотная катушка с распределенной емкостью, а также томографическая система на ее основе, где распределенная емкость способствует повышению коэффициента полезного действия за счет снижения локализации электрического поля, а также повышению электрической прочности [Патент США 2013/0335086 A1, 19.12.2013]. В вышеупомянутом устройстве резонатор типа bird-cage (птичья клетка), включающий в себя первое оконечное кольцо с распределенной емкостью, второе оконечное кольцо с распределенной емкостью, а также множественные секции, подключенные между первым и вторым кольцами с распределенной емкостью, в котором по крайней мере одно из колец с распределенной емкостью содержит двухстороннюю подложку, в которой проводники одной группы нанесены на одну сторону, а проводники из другой группы нанесены на другую сторону, и изолятор нанесен на первую сторону таким образом, что изолятор покрывает значительную часть проводников первой группы. Недостатком известного устройства является возможность использования распределенной емкости для повышения соотношения сигнал-шум только в одной реализации приемопередающей катушки - объемного резонатора типа bird-cage, в котором объект исследования может располагаться исключительно целиком и внутри резонатора. В результате на основе известного решения нельзя построить локальную (поверхностную) катушку, которая дает наивысшее соотношение сигнал-шум за счет максимально близкого расположения к сканируемому объекту.

Известен также магнитно-резонансный томограф, включающий, по меньшей мере, источник постоянного магнитного поля, блок формирования градиентного магнитного поля, генератор радиочастотных импульсов, приемник, а также усилитель электромагнитного поля, выполненный в виде метаматериала и расположенный вблизи приемника, отличающийся тем, что метаматериал включает набор протяженных изолированных друг от друга преимущественно ориентированных проводников, каждый из которых характеризуется длиной  $L_i$ , среднее значение которой равно  $L$ , расположенных на расстояниях  $S_i$  друг от друга, среднее значение которых равно  $S$ , имеющих поперечные размеры  $d_i$ , среднее значение которых равно  $D$ , причем среднее значение длин проводников удовлетворяет условию  $0,4\lambda < L < 0,6\lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны радиочастотного сигнала в метаматериале, среднее значение расстояний между проводниками удовлетворяет условию  $0,001\lambda < S < 0,1\lambda$ , среднее значение поперечных размеров проводников удовлетворяет условию  $0,00001\lambda < D < 0,01\lambda$ , а проводники выполнены из немагнитного материала [Патент РФ №2601373 от 03.07.2015].

Недостатком вышеуказанного решения является необходимость заполнения объема метаматериала между проводниками диэлектриком с высоким значением диэлектрической проницаемости с целью миниатюризации усилителя электромагнитного поля, а также неравномерность магнитного поля вдоль проводников.

5 Наиболее близким техническим решением, принятым за прототип, является квадратурная радиочастотная катушка [Патент US 6,980,003 В2 от 27.12.2005, кл. 324/309], использующая две собственные моды многомодового резонатора в форме периодической структуры из связанных элементов. Радиочастотная катушка с двумя развязанными точками питания состоит из резонатора, квадратурной схемы  
10 подключения средства связи радиочастотной катушки с приемо-передающим устройством (радиочастотных кабелей) и схемы согласования. Резонатор представляет собой периодическую систему индуктивно-связанных резонансных отрезков ТЕМ линии передачи. Квадратурная схема подключения радиочастотных кабелей включает симметрирующую балансную схему согласования, подключенную к двум оконечным  
15 резонансным отрезкам ТЕМ линии передачи и состоящую из симметрирующего трансформатора, двух конденсаторов с фиксированной емкостью и одного перестраиваемого конденсатора. Схема согласования для второй моды состоит из одного перестраиваемого конденсатора, подключенного последовательно к центральному резонансному отрезку ТЕМ линии передачи. Недостатками данного  
20 устройства являются необходимость использования дорогостоящих сосредоточенных конденсаторов для согласования импеданса по двум точкам питания и настройки на Ларморову частоту. Другим недостатком является невозможность сканирования по нескольким ядрам, имеющим различные Ларморовы частоты, что ограничивает область ее применения.

25 Задачей, на решение которой направлена предлагаемая полезная модель, является понижение стоимости изготовления и улучшение качества получаемых изображений, а также расширение области применения радиочастотной катушки.

Поставленная задача решается за счет достижения технического результата, заключающегося в повышении соотношения сигнал/шум и упрощении процедуры  
30 настройки катушки.

Указанный технический результат достигается тем, что радиочастотная катушка, включающая в себя, по меньшей мере, резонатор радиочастотной катушки, состоящий из системы периодически расположенных немагнитных элементов одинаковой длины и средство связи радиочастотной катушки с приемо-передающим устройством магнитно-резонансного томографа в виде радиочастотных кабелей, отличается тем, что  
35 периодически расположенные немагнитные элементы выполнены в виде протяженных металлических проводников длиной не более пяти длин волн радиочастотного сигнала в воздухе и диаметром поперечного сечения не менее четырех ширин скин-слоя на Ларморовой частоте магнитно-резонансного томографа и не превышающим расстояние  
40 между проводниками, расположенных на нескольких соосных цилиндрических поверхностях на расстоянии не более четверти длины волны

радиочастотного сигнала на Ларморовой частоте магнитно-резонансного томографа в воздухе друг от друга, концы соседних проводников с одной стороны соединены друг с другом при помощи системы изолированных металлических дорожек, размещенных  
45 как минимум в одном слое печатной платы на изолирующей подложке, при этом с другой стороны концы соседних проводников соединены электрически, а средство связи радиочастотной катушки с приемо-передающим устройством выполнено посредством радиочастотных кабелей через рамочные антенны.

Упрощение настройки обеспечивается использованием двух ортогональных мод благодаря связи резонатора с приемо-передающим устройством магнитно-резонансного томографа через рамочные антенны, а повышение соотношения сигнал/шум - за счет использования распределенных емкостей.

5 Сущность заявляемой полезной модели поясняется фигурами. Общий вид предлагаемого устройства показан на фиг. 1 и фиг. 2, на фиг. 3 - поперечное сечение предлагаемого устройства, на фиг. 4 - эквивалентная схема соединения дорожек печатной платы и проводников резонатора радиочастотной катушки, на фиг. 5 - схема  
10 расположения дорожек на печатной плате резонатора радиочастотной катушки, на фиг. 6 - схема расположения радиочастотной катушки в магнитно-резонансном томографе, на фиг. 7 - частотная зависимость коэффициента отражения предлагаемого устройства радиочастотной катушки, на фиг. 8 - рассчитанная зависимость нормированной амплитуды магнитного поля круговой поляризации в режиме передачи катушки от расстояния внутрь объекта сканирования на Ларморовой частоте изотопов  
15 фосфора-31 (81 МГц) и водорода-1 (200,1 МГц).

Радиочастотная катушка (фиг. 1) состоит из резонатора, представляющего собой множество протяженных металлических проводников 1 на верхней цилиндрической поверхности и проводников 2, расположенных на нижней цилиндрической поверхности. Над цилиндрической поверхностью, образованной множеством проводников 1, в  
20 центральной ее части установлена рамочная антенна 3, а между поверхностями, образованными множествами проводников 1 и 2, в плоскости, проходящей через центральные проводники множеств 1 и 2, установлена рамка 4. Средства связи в виде радиочастотных кабелей 5 и 6 соединяют рамочные антенны 3 и 4 с приемо-передающим устройством томографа. Распределенная емкость, соединяющая концы соседних  
25 проводников множеств 1 и 2, реализована в виде системы металлических дорожек 7 и 8 на изолирующей подложке 9. Противоположные концы проводников множеств 1 и 2 соединены между собой перемычками 10 и 11, реализующими электрический контакт проводников.

Предлагаемая радиочастотная катушка работает следующим образом. При передаче  
30 радиочастотного сигнала передатчиком томографа по радиочастотным кабелям 5 и 6, сигнал достигает рамочных антенн 3 и 4, соответственно, которые возбуждают две собственные моды периодической структуры множеств проводников 1 и 2, имеющие взаимно-ортогональные распределения радиочастотного магнитного поля при настройке соответствующих резонансных частот на две Ларморовы частоты,  
35 определяющиеся типами ядер. При резонансном возбуждении собственных мод периодической структуры в области сканирования непосредственно над множеством проводников 1, где расположен объект сканирования, создаются распределения радиочастотного магнитного поля, возбуждающего спины в объекте сканирования. За счет ортогональности распределений магнитного поля в объекте при возбуждении  
40 различных собственным мод, возможна независимая настройка двух соответствующих резонансных частот.

Периодическая структура радиочастотной катушки представляет собой, таким образом, резонатор с двумя рабочими собственными модами, который состоит из множеств проводников 1 и 2, параллельных друг другу, и состоящих, например, из  
45 немагнитных металлических проводников круглого сечения одинаковой длины  $L < 5\lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны радиочастотного сигнала в воздухе. Проводники в составе множеств проводников 1 и 2, имеющих радиусы цилиндрической поверхности  $r_b$  и  $r_n$ , распределены периодически. При этом их угловой период на цилиндрических поверхностях одинаков

и равен  $\alpha$ , а расстояние между соседними проводниками в каждом из множеств 1 и 2 должно быть не более  $\lambda/4$  и не менее расстояния от множества проводников 1 до поверхности объекта сканирования для достижения однородного изображения при сканировании. Количество проводников в каждом из множеств 1 и 2 должно быть не менее двух. Количество проводников в множествах 1 и 2 ограничено сверху следующим требованием, расстояние между соседними проводниками должно быть больше удвоенного диаметра поперечного сечения проводника.

Первая рабочая собственная мода формируется электрическими токами, текущими по множеству проводников 1, и в магнитном поле, создаваемом данной модой в области сканирования преобладает вертикальная компонента, которая определяет индуктивную связь с возбуждающей рамочной антенной 3 и возможность возбуждения посредством подачи сигнала в кабель 5. Вторая рабочая собственная мода формируется токами, протекающими по множествам проводников 1 и 2. В магнитном поле данной моды преобладает горизонтальная компонента в области сканирования, при этом между множествами проводников 1 и 2 вектор магнитного поля ориентирован по нормали к плоскости рамочной антенны 4, что позволяет возбуждать данную моду посредством подачи сигнала в кабель 6. Ортогональность поля собственных мод обеспечивает развязку радиочастотных кабелей 5 и 6 и независимую перестройку резонансных частот и согласование импеданса. Значения резонансных частот каждой из двух рабочих мод частот определяются длиной проводников  $L$  и расстоянием между ними. Т.к. резонансные длины дипольных проволочных антенн сопоставимы по порядку величины с  $\lambda/2$ , использование периодической структуры из ненагруженных резонансных проводников приводит к размерам структуры, превышающим имеющиеся размеры тоннеля томографа. С целью миниатюризации элементов периодической структуры в предлагаемом техническом решении применены конструктивные распределенные емкости, реализованные в виде печатных металлических дорожек 7 и 8, периодически нанесенных на обе стороны диэлектрической подложки печатной платы 9 и играющие роль оконечных нагрузок проводников. Соединение дорожек печатной платы и проводников в двух слоях периодической структуры реализует попарное соединение проводников через распределенные емкости в соответствии с эквивалентной схемой, показанной на фиг. 4. Емкости  $C_1$  и  $C_2$ , которые определяются диэлектрической проницаемостью печатной платы 9 и площадью перекрытия соседних дорожек, подключенных к различным проводникам периодической структуры, определяют наряду с длиной  $L$  резонансные частоты первой и второй рабочих мод, соответственно. Выбор вышеуказанных параметров позволяет настроить радиочастотную катушку на две различные Ларморовы частоты без использования сосредоточенных конденсаторов. В показанном на фиг. 1, 2, 3 примере реализации предложенной катушки дорожки 7 и 8 имеют форму двух соединенных секторов колец разного радиуса и угловой ширины. Емкостные свойства печатной платы 9, показанной на фиг. 1 и 2, достигаются за счет взаимного перекрытия соседних металлических дорожек, напечатанных на противоположных сторонах печатной платы. Перекрытие дорожек показано на фиг. 5. Примером является перекрытие показанных на фиг. 5 дорожки 7 (подключена к проводнику множества 1) и дорожки 8 (подключена к соседнему проводнику в пределах множества 2). Данное перекрытие реализует эффективную емкость  $C_1$ , соединяющую соседние проводники в множестве 1. Та же дорожка 7 имеет перекрытие с другим участком дорожки 8, подключенной к соответствующему проводнику в множестве 2, что определяет эффективную емкость  $C_2$ . Величина емкости  $C_1$  и  $C_2$  определяется

площадью перекрытия соответствующих дорожек  $S$ , толщиной подложки  $d$  печатной платы и величиной диэлектрической проницаемости подложки  $\epsilon$  как  $C=0.5 \epsilon \epsilon_0 S/d$ , где  $\epsilon_0=8.85$  пФ/м. Противоположные концы множеств проводников 1 и 2 соединены между собой через два типа перемычек 10 и 11, показанных на фиг. 1 и 2. Соединяющая перемычка 10 обеспечивает электрический контакт между концами всех проводников множества 1. Перемычка 11 содержит периодически расположенные металлические проводники, попарно соединяющие концы проводников множеств 1 и 2.

В показанной на фиг. 1 и 2 предложенной РЧ катушке перемычки 10 и 11 выполнены в виде металлических дорожек, размещенных на общей печатной плате 12. Также перемычки могут быть реализованы как на одной двухслойной печатной плате, так и на двух однослойных. Удобство размещения перемычек на торцевой плате 12 заключается в возможности перестройки резонансных частот собственных мод за счет перемещения платы 12 вдоль направления множеств проводников 1 и 2. Для этого проводники множеств 1 и 2 должны соединяться с перемычками 10 и 11 скользящими электрическими контактами. Для независимой перестройки перемычки 10 и 11 должны быть расположены на разных печатных платах с возможностью независимого перемещения вдоль множеств проводников 1 и 2. При этом перемещение перемычки 10 за счет изменения эффективной длины множества проводников 1 изменяет резонансную частоту рабочей моды 1, а перемещение 11 за счет изменения эффективной длины множеств проводников 1 и 2 изменяет резонансную частоту моды 2.

Повышение конструктивных емкостей  $C_1$  и  $C_2$  нагрузки проводников 1 и 2 за счет геометрических параметров печатной платы или электрических параметров подложки ведет к снижению резонансных частот собственных мод резонатора при той же длине проводников множеств 1 и 2 пропорционально  $C_1^{-1/2}$  и  $C_2^{-1/2}$  соответственно. При сканировании по одному типу ядер может использоваться одна из имеющихся собственных мод резонатора. Так как длина проводников множеств 1 и 2 определяет длину рабочей области сканирования, а средняя ширина структуры  $(r_1+r_2) \cdot \sin(N \cdot \alpha)$  определяет ширину рабочей области сканирования, резонансная частота выбранной моды должна быть подобрана равной Ларморовой частоте путем подбора геометрических параметров дорожек 7 и 8, параметров подложки 9 и плотности расположения проводников на заданной средней ширине структуры  $(r_1+r_2) \cdot \sin(N \cdot \alpha)$ . Повышение числа проводников множеств 1 и 2 позволяет увеличить равномерность ближнего электромагнитного поля для каждой из собственных мод, в особенности - вблизи поверхности сканируемого объекта. При реализации предложенной РЧ катушки необходимо учитывать, что толщина проводников должна быть не менее четырех ширин скин-слоя во избежание влияния омических потерь.

В предлагаемом техническом решении обеспечивается повышение соотношения сигнал-шум по сравнению со стандартными РЧ катушками в виде нагруженных на сосредоточенные конденсаторы рамочных антенн. Повышение соотношения сигнал-шум достигается благодаря тому, что для настройки предложенной периодической системы в резонанс не требуются сосредоточенные конденсаторы. Вместо этого используется конструктивная емкость, распределенная в подложке торцевой печатной платы, что существенно снижает вносимые диссипативные потери и повышает добротность РЧ катушки при условии использования высококачественных материалов подложек печатной платы 9 (с тангенсом угла потерь не более 0.002). Другим достоинством предложенной катушки является возможность независимой настройки на две Ларморовы частоты томографа путем перемещения перемычек 10 и 11,



показанных на фиг. 1 и 2 и согласования импеданса без использования сосредоточенных конденсаторов.

При сканировании объекта радиочастотная катушка должна быть расположена внутри корпуса магнитно-резонансного томографа как показано на фиг. 6.

5 Радиочастотная катушка находится в постоянном магнитном поле  $B_0$  внутри радиочастотного экрана 13 так, что изоцентр магнита находится в пределах сканируемой области 14, а проводники множеств 1 и 2 параллельны вектору напряженности постоянного магнитного поля  $B_0$ .

10 В качестве примера практической реализации предлагаемого технического решения далее приводятся геометрические параметры радиочастотной катушки для доклинических МРТ исследований на томографе с диаметром радиочастотного экрана 260 мм и уровнем постоянного магнитного поля  $B_0=4,7$  Тл. При численном расчете была рассмотрена структура, показанная на фиг. 1, 2, 3. Параметры были выбраны по  
15 критерию настройки на Ларморову частоту водорода  $^1\text{H } f_1=200,1$  МГц, а также на Ларморову частоту фосфора  $^{31}\text{P } f_2=81$  МГц. Входной импеданс РЧ катушки чувствителен по отношению к объекту исследования, поэтому существует необходимость согласования входного импеданса РЧ катушки с приемо-передающими устройствами  
20 томографа в присутствии объекта исследования и в окружении РЧ экрана томографа. В предложенной РЧ катушке подстройка входного импеданса на Ларморовых частотах осуществляется с помощью перемещения независимых печатных плат с переключателями 10 и 11 вдоль множеств проводников 1 и 2, причем для настройки РЧ катушки на Ларморову частоту фосфора с использованием рабочей моды 1 необходимо перемещать  
25 плату с переключателями 10, соединяющую проводники множества 1, а для настройки РЧ катушки на Ларморову частоту водорода с использованием рабочей собственной моды 2 необходимо перемещать плату с переключателями 11, соединяющую посредством скользящих контактов проводники множества 1 с соответствующими проводниками  
множества 2 (см. фиг. 1 и 2). РЧ катушка расположена вплотную к однородному  
30 жидкостному фантому 14 (см. фиг. 6) цилиндрической формы (диаметр основания цилиндра 100 мм, высота 250 мм, удельная диэлектрическая проницаемость 34, электрическая проводимость 0.4 См/м). Конструктивные распределенные емкости, переключатели, а также рамочные антенны 5 и 6, показанные на фиг. 1 и 2 реализованы в виде печатных плат на одинаковых подложках марки Arlon AD1000 с диэлектрической  
35 проницаемостью 10 и тангенсом угла потерь 0.0023 толщиной 0.508 мм. Проводники множеств 1 и 2 выполнены в виде полых латунных трубок с внешним радиусом 1 мм. Выбранные геометрические параметры:

- Длина латунных трубок проводников множеств 1 и 2:  $L=50$  мм;
- Радиус латунных трубок проводников множеств 1 и 2: 1 мм;
- 40 - Общее количество проводников множеств 1 и 2: 14;
- Угловой период множеств проводников 1 и 2:  $\alpha=10$  градусов;
- Радиус, вдоль которого распределены 7 проводников множества 1:  $r_B=60$  мм;
- Радиус, вдоль которого распределены 7 проводников множества 2:  $r_H=90$  мм;
- Внутренний радиус печатной платы с распределенной емкостью:  $r_1=50,5$  мм;
- 45 - Средний радиус печатной платы с распределенной емкостью:  $r_2=81,5$  мм;
- Внешний радиус печатной платы с распределенной емкостью:  $r_3=92,5$  мм;
- Внутренний радиус печатной платы с распределенной емкостью: 50 мм;

- Внешний радиус печатной платы с распределенной емкостью: 93 мм;

Полученная в результате частотная зависимость коэффициента отражения радиочастотной катушки ( $\Gamma$ ) при подключении к радиочастотному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом показана на Фиг. 7. Видно, что данная радиочастотная катушка имеет настройку и согласование по уровню  $\Gamma < 0,02$  на обоих Ларморовых частотах 81 (Фиг. 7а) и 200 МГц (Фиг. 7б) без использования сосредоточенных конденсаторов.

На Фиг. 8а и 8б показана рассчитанная зависимость нормированной амплитуды магнитного поля круговой поляризации в режиме передачи катушки от расстояния внутри объекта сканирования на Ларморовой частоте изотопов фосфора-31 81 МГц и водорода-1 200,1 МГц (соответствующих напряженности постоянного поля магнита 4.7 Тл) соответственно. Сплошной черной линией показана кривая зависимости, полученная для предложенной РЧ катушки, штриховой линией - зависимость, соответствующая стандартной катушке в виде рамочной антенны диаметром 60 мм.

#### (57) Формула полезной модели

Радиочастотная катушка для магнитно-резонансной томографии объекта, включающая в себя, по меньшей мере:

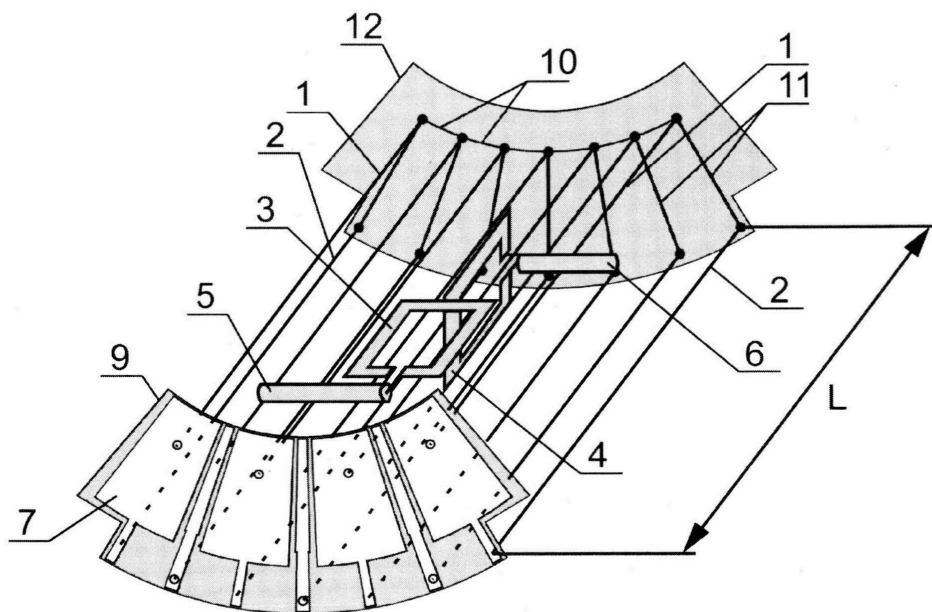
- резонатор радиочастотной катушки, состоящий из системы периодически расположенных немагнитных элементов одинаковой длины и

- средство связи радиочастотной катушки с приемо-передающим устройством магнитно-резонансного томографа в виде радиочастотных кабелей,

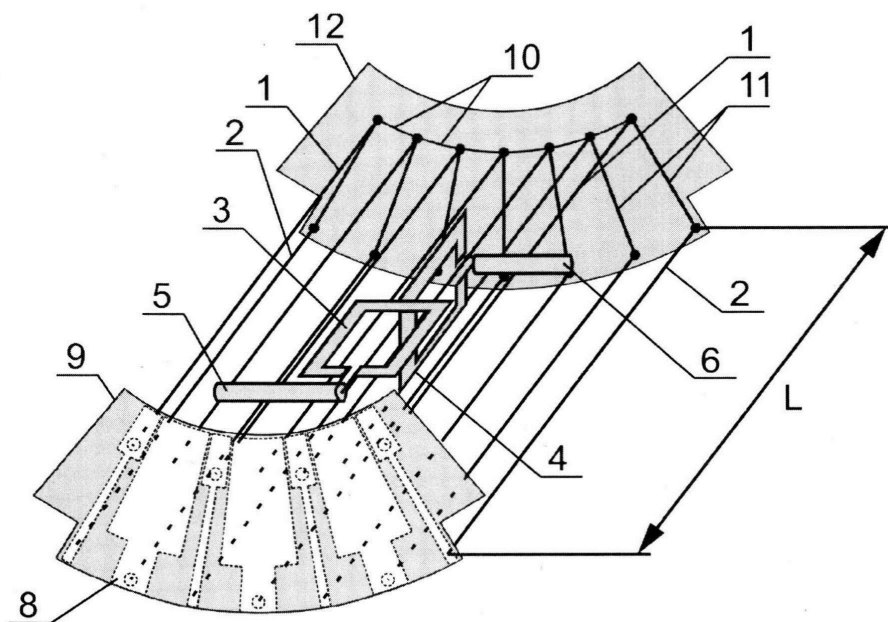
отличающаяся тем, что периодически расположенные немагнитные элементы выполнены в виде протяженных металлических проводников длиной не более пяти длин волн радиочастотного сигнала в воздухе и диаметром поперечного сечения не менее четырех ширин скин-слоя на Ларморовой частоте магнитно-резонансного томографа и не превышающим расстояние между проводниками, расположенных на нескольких соосных цилиндрических поверхностях на расстоянии не более четверти длины волны радиочастотного сигнала на Ларморовой частоте магнитно-резонансного томографа в воздухе друг от друга, концы соседних проводников с одной стороны соединены друг с другом при помощи системы изолированных металлических дорожек, размещенных как минимум в одном слое печатной платы на изолирующей подложке, при этом с другой стороны концы соседних проводников соединены электрически, а средство связи радиочастотной катушки с приемо-передающим устройством выполнено посредством радиочастотных кабелей через рамочные антенны.

1

Радиочастотная катушка магнитно-резонансного томографа



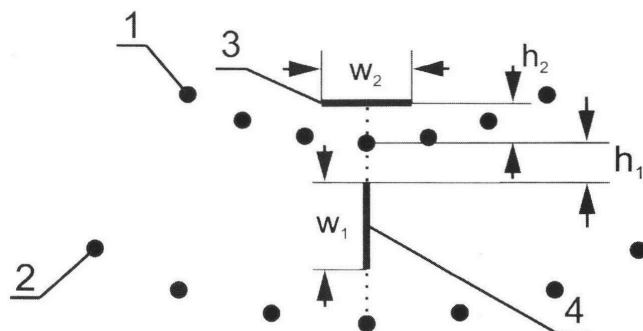
Фиг. 1



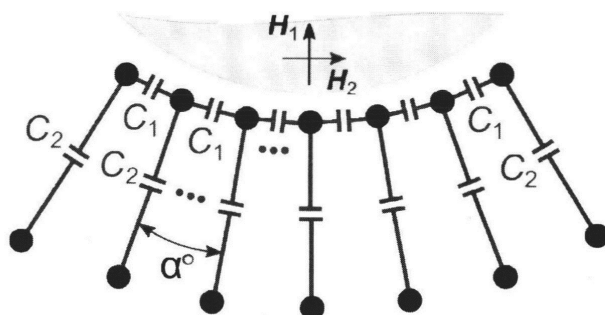
Фиг. 2

2

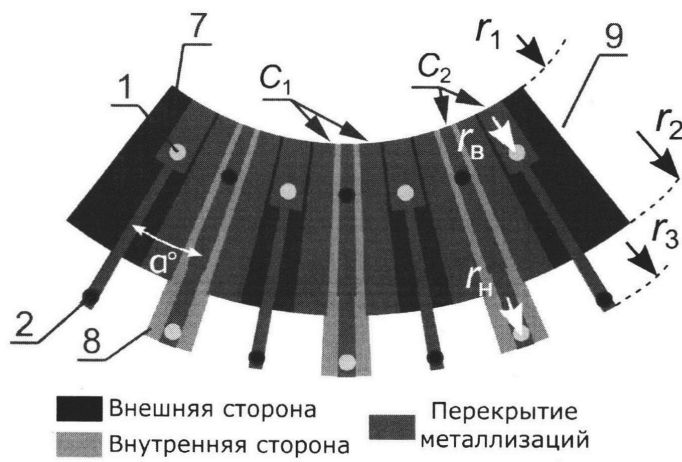
Радиочастотная катушка магнитно-резонансного томографа



Фиг. 3

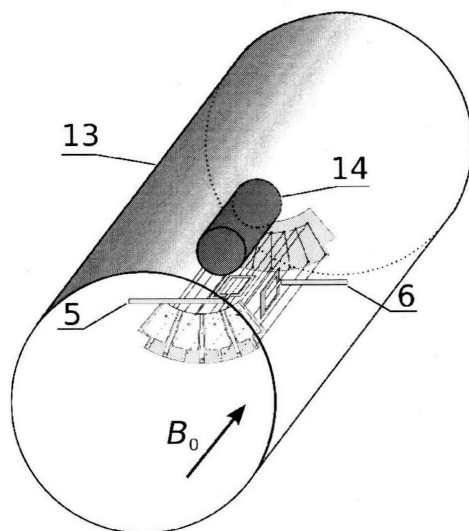


Фиг. 4

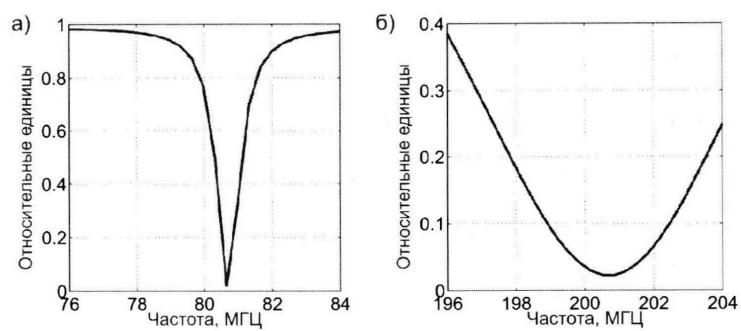


Фиг. 5

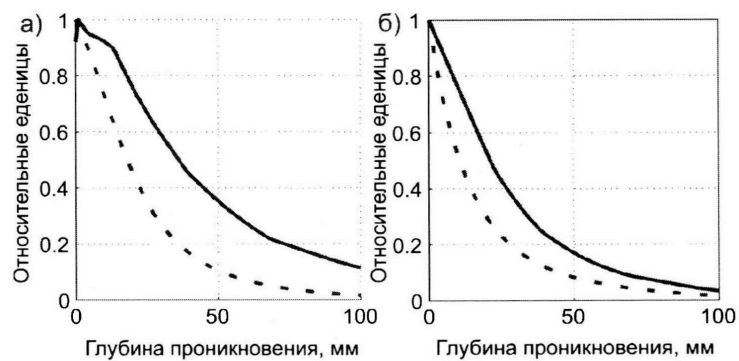
Радиочастотная катушка магнитно-резонансного томографа



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8