



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015116737/28, 05.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.05.2015

(45) Опубликовано: 27.05.2016 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 7525711 B1, 28.04.2009. US 5140338 A1, 18.08.1992. RU 2138887 C1, 27.09.1999. US 0007190315 B2, 13.03.2007;US 20130278481 A1, 24.10.2013 .

Адрес для переписки:

109378, Москва, ул. Федора Полетаева, 24, корп.  
4, кв. 23, Кухаренко А.С.

(72) Автор(ы):

Кухаренко Александр Сергеевич (RU),  
Елизаров Андрей Альбертович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Кухаренко Александр Сергеевич (RU)

**(54) ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНАЯ ВЫСОКОИМПЕДАНСНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛА**

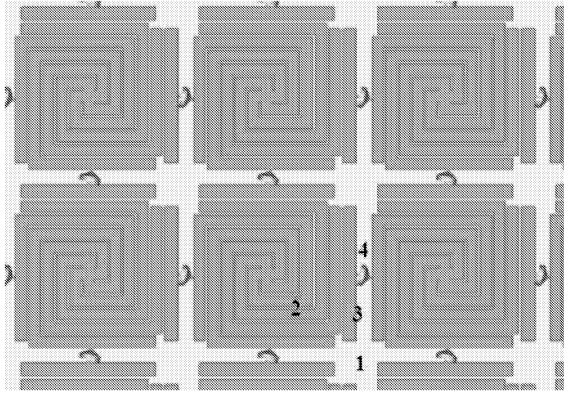
(57) Реферат:

Использование: для создания частотно-селективной высокоимпедансной поверхности. Сущность изобретения заключается в том, что частотно-селективная высокоимпедансная поверхность содержит однослойную экранированную печатную плату, с одной стороны которой выполнена импедансная решетка из связанных не менее чем двумя емкостными зазорами микрополосковых многозаходных спиралей Архимеда, в центрах которых расположены металлизированные переходные отверстия, соединенные с общим

металлическим экраном, емкостные зазоры выполнены в виде микрополосковых копланарных линий. Технический результат: обеспечение возможности создания частотно-селективной высокоимпедансной поверхности, которая имеет отрицательные значения эффективной диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также поверхностный импеданс, перестраиваемый в данном частотном диапазоне, и существенно превосходящий волновое сопротивление свободного пространства. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 585 178 C1

RU 2 585 178 C1



Фиг. 1

R U 2 5 8 5 1 7 8 C 1

R U 2 5 8 5 1 7 8 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2015116737/28, 05.05.2015**  
 (24) Effective date for property rights:  
**05.05.2015**  
 Priority:  
 (22) Date of filing: **05.05.2015**  
 (45) Date of publication: **27.05.2016** Bull. № 15  
 Mail address:  
**109378, Moscow, Feodora Poletayeva str, house 24,  
 build. 4, app 23**

(72) Inventor(s):  
**Kukhareenko Alexander Sergeyeovich (RU),  
 Elizarov Andrej Albertovich (RU)**  
 (73) Proprietor(s):  
**Kukhareenko Alexander Sergeyeovich (RU)**

(54) **FREQUENCY-SELECTIVE HIGH-IMPEDANCE SURFACE BASED ON METAMATERIAL**

(57) Abstract:

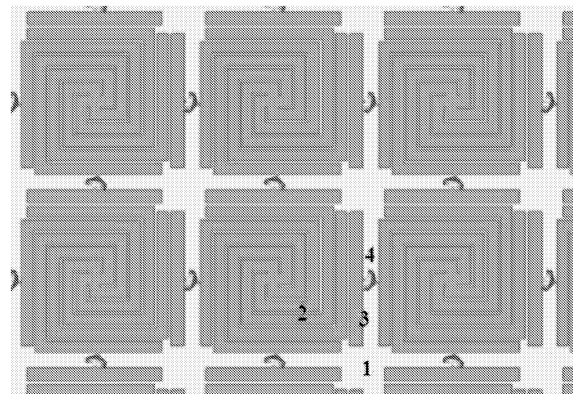
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention can be used for creation of frequency-selective high-impedance surface. Present invention consists in that frequency-selective high-impedance surface comprises shielded one-layer printed circuit board, on one side of which is impedance array of related at least two capacitive gaps microstrip multi-coil Archimedean spirals, in centres of which are arranged metallised transition holes connected with common metal screen, capacitive gaps are made in form of microstrip coplanar lines.

EFFECT: technical result is design of a frequency-selective high-impedance surface, which has negative values of effective dielectric and magnetic permeability, as well as surface impedance, tuned in this frequency

range, and significantly exceeding wave impedance of free space.

3 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 585 178 C1

RU 2 585 178 C1

Изобретение относится к радиотехнике и технике СВЧ и может быть использовано в радиоэлектронной аппаратуре.

Известны ферромагнитные материалы (ферриты) с большой величиной относительной магнитной проницаемости, поверхность которых обладает сопротивлением, превышающим волновое сопротивление свободного пространства, равное  $120\pi = 376,7$  (Ом) [Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994. 464 С.]. Однако такие ферромагнитные поверхности не обладают свойством частотной селекции колебаний и волн.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является композитная высокоимпедансная поверхность метаматериала в виде конструкции, образованной металлическими элементами в форме шестиугольных «грибочков», размер каждого из которых много меньше рабочей длины волны [Sievenpiper D., Zhang L., Broas R., Alexopolous N.G., Yablonovitch E. // IEEE Trans. Microw. Theory. 1999. Vol. 47. #11. P. 2059-2074]. Такая высокоимпедансная поверхность находит практическое применение как излучающий или отражающий элемент миниатюрных антенн и не рассматривается как частотно-селективная структура.

Технической задачей, на решение которой направлено данное изобретение, является создание частотно-селективной высокоимпедансной поверхности, которая, по отношению к электромагнитной волне СВЧ, имеет отрицательные значения эффективной диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также поверхностный импеданс, перестраиваемый в данном частотном диапазоне и существенно превосходящий волновое сопротивление свободного пространства, равное  $120\pi$  (Ом).

Решение технической задачи достигается тем, что частотно-селективная высокоимпедансная поверхность содержит однослойную экранированную печатную плату, с одной стороны которой выполнена импедансная решетка из связанных не менее чем двумя емкостными зазорами микрополосковых многозаходных спиралей Архимеда, в центрах которых расположены металлизированные переходные отверстия, соединенные с общим металлическим экраном. Согласно предложенному изобретению, емкостные зазоры выполнены в виде микрополосковых копланарных линий.

Одной из отличительных особенностей частотно-селективной высокоимпедансной поверхности может являться установка параллельно емкостным зазорам сосредоточенных емкостей, позволяющих обеспечивать настройку полосы заграждения в заданном диапазоне частот.

Другой отличительной особенностью частотно-селективной высокоимпедансной поверхности может являться установка параллельно одному из емкостных зазоров каждой пары связанных многозаходных спиралей диодов-варикапов, что позволяет обеспечить электронную перестройку полосы заграждения участка высокоимпедансной поверхности путем изменения значения обратного постоянного напряжения диодов-варикапов.

Техническим результатом, достигаемым при осуществлении всей совокупности заявляемых существенных признаков, является обеспечение, по отношению к электромагнитной волне СВЧ, отрицательных значений эффективной диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также поверхностного импеданса, перестраиваемого по частоте и существенно превосходящего волновое сопротивление свободного пространства, равного  $120\pi$  (Ом), что позволяет создать частотно-селективную высокоимпедансную поверхность.

Предлагаемое изобретение иллюстрируется чертежами, где на фиг.1 показана топология участка частотно-селективной высокоимпедансной

поверхности, выполненной на диэлектрической подложке из стеклотекстолита с относительной диэлектрической проницаемостью 4,8 и габаритными размерами 210×210×1 мм, где цифрой 1 обозначена экранированная диэлектрическая плата, цифрой 2 - колебательные контуры в виде четырехзаходных прямоугольных спиралей Архимеда, цифрой 3 - емкостные зазоры, выполненные в виде микрополосковых копланарных линий, цифрой 4 - сосредоточенные емкости или варикапы;

на фиг.2 (а, б) приведены результаты расчетов комплексных коэффициента передачи  $S_{21}$  и коэффициента отражения  $S_{11}$  от частоты для рассматриваемого участка частотно-селективной высокоимпедансной поверхности при установке параллельно емкостным зазорам сосредоточенных емкостей с величинами 2,0 пФ (а) и 6,0 пФ (б), полученные численно с помощью программных средств AWR Design Environment v.9.0;

на фиг. 3 (а, б) приведены результаты расчетов зависимостей эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей от частоты для рассматриваемого участка частотно-селективной высокоимпедансной поверхности при установке параллельно емкостным зазорам сосредоточенных емкостей 6,0 пФ.

Работа участка частотно-селективной высокоимпедансной поверхности осуществляется следующим образом.

Участок частотно-селективной высокоимпедансной поверхности возбуждается с помощью емкостного зазора, образованного двумя параллельными микрополосковыми линиями, расположенными по краям диэлектрической платы 1 (на чертеже не показаны). Конструктивные размеры каждого из колебательных контуров 2, выполненных в виде связанных емкостными зазорами четырехзаходных прямоугольных спиралей Архимеда, много меньше рабочей длины волны возбуждения. Участок такой электродинамической структуры является метаматериалом, эквивалентная схема которого представляет собой линию передачи с отрицательной дисперсией, обладающую отрицательной фазовой скоростью и положительной групповой скоростью. Каждый из идентичных колебательных контуров, образующих метаматериал, обладает собственной добротностью  $Q > 100$  и при изменении геометрических размеров может иметь резонансную частоту от 0,1 до 100 ГГц. Выполнение емкостных зазоров в виде микрополосковых копланарных линий объясняется практической независимостью их волнового сопротивления от толщины подложки, что позволяет использовать подложки с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости и за счет этого уменьшать геометрические размеры структуры.

Возможность достижения технического результата достигается сравнением затухания, обеспечиваемого высокоимпедансной поверхностью метаматериала, и импедансной металлической поверхностью, имеющей аналогичные габаритные размеры. При расположении параллельно рассматриваемым поверхностям СВЧ-излучателя, например, горизонтального вибратора в нем возникает зеркально отраженный ток, эквивалентный наличию второго излучателя. Причем этот ток будет противофазен току при наличии импедансной металлической поверхности и синфазен в случае поверхности, образованной метаматериалом. Таким образом, при синфазных токах наличие отражения усиливает излучение вибратора, а при противофазных токах излучение вибратора будет компенсироваться. Следует также подчеркнуть еще одно преимущество метаматериала - поверхностный ток не затекает на обратную сторону экранированной диэлектрической платы, что полностью уничтожает обратное излучение, всегда возникающее в излучающей структуре с импедансной металлической поверхностью.

Проведенный анализ подтверждается результатами численного эксперимента, полученными с помощью программных средств AWR Design Environment (Microwave

Office v.9.0). На фиг.2(а) показаны зависимости комплексных коэффициента передачи  $S_{21}$  и коэффициента отражения  $S_{11}$  от частоты, полученные для участка частотно-селективной высокоимпедансной поверхности при установке параллельно емкостным зазорам сосредоточенных емкостей с величиной 2,0 пФ. На фиг.2(б) показаны аналогичные зависимости при величинах сосредоточенных емкостей, равных 6 пФ. Сравнение данных характеристик показывает смещение полосы заграждения участка поверхности 1,65-1,87 ГГц (фиг.2(а)) вниз до 1,59-1,67 ГГц при средней величине затухания (-10) дБ. На фиг.3(а) и 3(б) приведены результаты расчетов зависимостей эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей от частоты для рассматриваемого участка частотно-селективной высокоимпедансной поверхности при установке параллельно емкостным зазорам сосредоточенных емкостей 6,0 пФ. Из графиков видно, что в области резонанса структуры диэлектрическая и магнитная проницаемости принимают отрицательные значения.

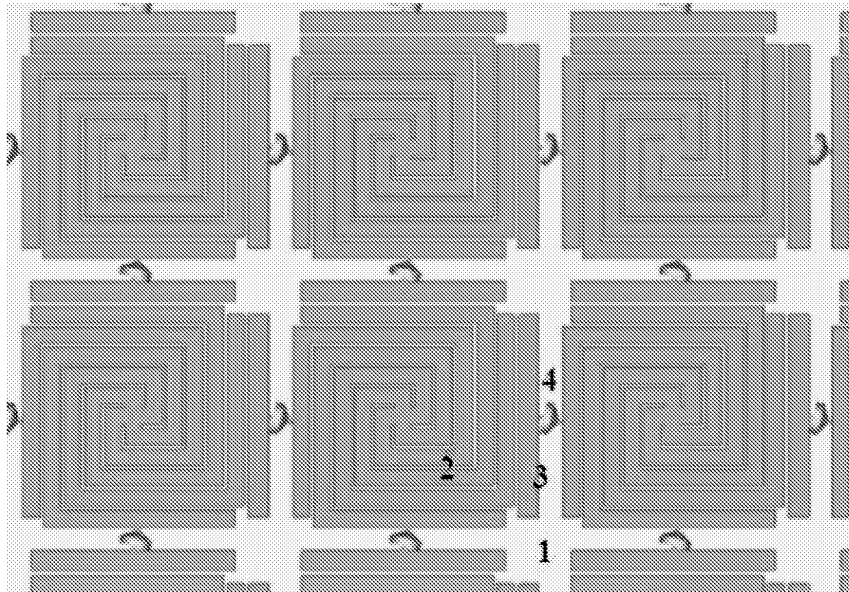
В случае установки параллельно одному из емкостных зазоров каждой пары связанных многозаходных спиралей диодов-варикапов, емкость которых меняется при изменении обратного постоянного напряжения, можно обеспечить электронную перестройку полосы заграждения участка высокоимпедансной поверхности, что является достоинством данного изобретения.

#### Формула изобретения

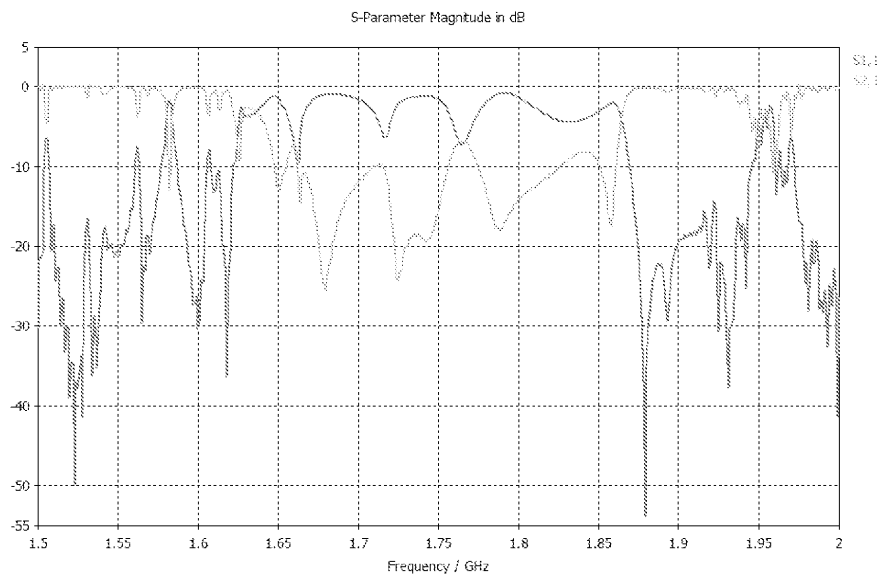
1. Частотно-селективная высокоимпедансная поверхность, содержащая однослойную экранированную печатную плату, с одной стороны которой выполнена импедансная решетка из связанных не менее чем двумя емкостными зазорами микрополосковых многозаходных спиралей Архимеда, в центрах которых расположены металлизированные переходные отверстия, соединенные с общим металлическим экраном, отличающаяся тем, что емкостные зазоры выполнены в виде микрополосковых копланарных линий.

2. Частотно-селективная высокоимпедансная поверхность по п.1, отличающаяся тем, что параллельно емкостным зазорам установлены сосредоточенные емкости.

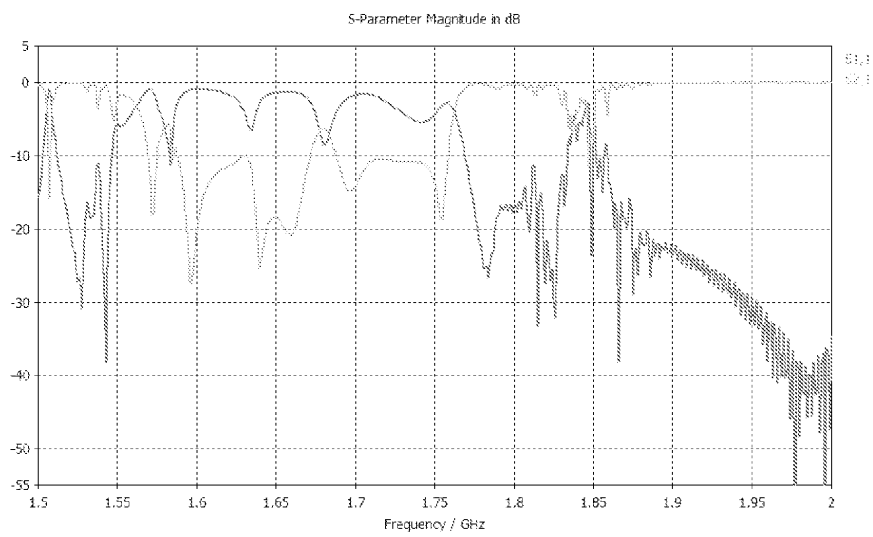
3. Частотно-селективная высокоимпедансная поверхность по п.1, отличающаяся тем, что параллельно одному из емкостных зазоров установлены диоды-варикапы.



Фиг. 1

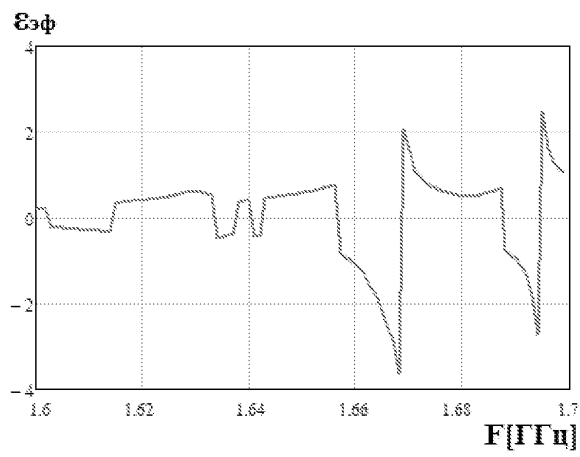


Фиг.2а

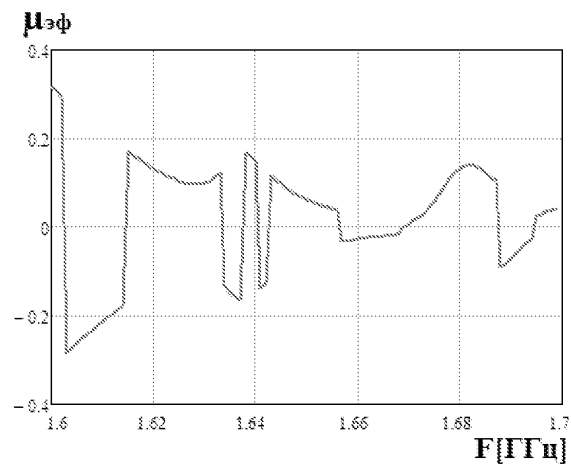


Фиг.2б





Фиг. 3а



Фиг. 3б