



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014135306/08, 29.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.08.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.08.2014

(45) Опубликовано: 20.12.2015 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2248074 C1 10.03.2005. RU 2192693
C2 10.11.2002. UA 26803 C2 12.11.1999.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

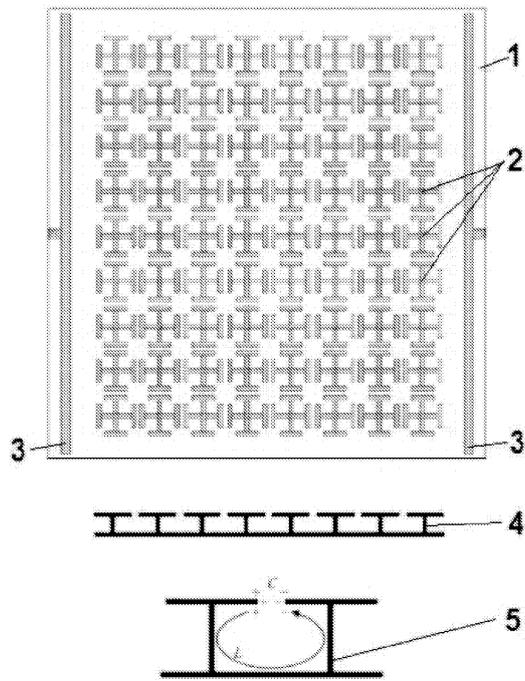
Кухаренко Александр Сергеевич (RU)

(54) РАЗВЯЗЫВАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА МЕТАМАТЕРИАЛЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и технике СВЧ и может быть использовано в радиоэлектронной аппаратуре. Достижимый технический результат - расширение полосы пропускания при повышении добротности и геометрических размерах, меньших рабочей длины волны. Развязывающий фильтр на метаматериале содержит экранированную с одной стороны однослойную или многослойную диэлектрическую плату с периодически расположенными рядами сквозных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных

колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, каждый колебательный контур представляет собой импедансный проводник, выполненный в виде квадрата, разорванного по углам, противоположные стороны которого соединены в центре крестообразным импедансным проводником, закрепленным в отверстии диэлектрической платы на полый металлической ножке, соединенной с экраном. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014135306/08, 29.08.2014**
 (24) Effective date for property rights:
29.08.2014
 Priority:
 (22) Date of filing: **29.08.2014**
 (45) Date of publication: **20.12.2015** Bull. № 35
 Mail address:
**109378, Moskva, ul. Fedora Poletaeva, d. 24, korp.
 4, kv. 23**

(72) Inventor(s):
**Kukhareno Aleksandr Sergeevich (RU),
 Elizarov Andrej Albertovich (RU)**
 (73) Proprietor(s):
Kukhareno Aleksandr Sergeevich (RU)

(54) **DECOUPLING FILTER ON METAMATERIAL**

(57) Abstract:

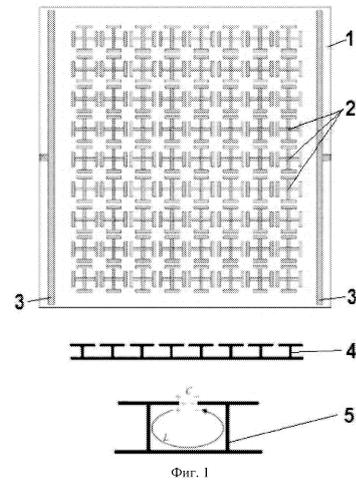
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: decoupling filter on metamaterial comprises a single-layer or multi-layer dielectric plate shielded on one side, having through-holes arranged periodically in rows, each hole fitted with identical metal elements in the form of distributed oscillatory loops coupled by capacitive gaps and having geometric dimensions much smaller than the operating wavelength, each oscillatory loop being an impedance conductor in the form of a square which is open at the corners, the opposite sides of which are connected at the centre by a cross-shaped impedance conductor mounted in the hole of the dielectric plate on a hollow metal leg connected to the shield.

EFFECT: wider transmission band with a high Q factor and geometric dimensions smaller than the

operating wavelength.

3 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 571 385 C1

RU 2 571 385 C1

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

Известны развязывающие фильтры на сосредоточенных элементах, выполненные на основе Г-, Т- или П-образных ячеек, содержащих резисторы, подключаемые последовательно нагрузке, и емкости, подключаемые параллельно нагрузке [Изюмов Н.М., Линде Д.П. Основы радиотехники. - М.: Радио и связь, 1983, - с.52-54].

Недостатком таких фильтров с сосредоточенными постоянными являются большие потери и их малая собственная добротность в СВЧ-диапазоне.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является композитная высокоимпедансная поверхность 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 поверхность, имеющая импеданс, значительно превосходящий волновое сопротивление свободного пространства, равное $120\pi=376,7$ (Ом), находит практическое применение как излучающий или отражающий элемент миниатюрных антенн и не рассматривается как фильтрующая структура.

Технической задачей, на решение которой направлено данное изобретение, является создание малогабаритного развязывающего фильтра СВЧ-диапазона, обеспечивающего затухание не хуже 100 дБ при ширине полосы пропускания не менее 100 МГц, высокой собственной добротности структуры и геометрических размерах фильтра, значительно меньших рабочей длины волны.

Решение технической задачи достигается тем, что развязывающий фильтр содержит экранированную с одной стороны однослойную или многослойную диэлектрическую плату с периодически расположенными рядами сквозных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны. Согласно предложенному изобретению, каждый колебательный контур представляет собой импедансный проводник, выполненный в виде квадрата, разорванного по углам, противоположные стороны которого соединены в центре крестообразным импедансным проводником, закрепленным в отверстии диэлектрической платы на полый металлической ножке, соединенной с экраном.

Одной из отличительных особенностей развязывающего фильтра может являться выполнение в одном или нескольких промежуточных слоях диэлектрической платы, между каждым распределенным колебательным контуром и экраном, импедансного проводника в виде квадрата, со стороной, равной стороне квадрата импедансного проводника колебательного контура, и разрезанного по диагоналям на четыре идентичных изолированных треугольных сектора.

Другой отличительной особенностью развязывающего фильтра может являться выполнение в одном или нескольких промежуточных слоях диэлектрической платы, между каждым распределенным колебательным контуром и экраном импедансных проводников в виде одного или нескольких вложенных друг в друга изолированных колец, с диаметром наибольшего кольца, не превышающим сторону квадрата импедансного проводника колебательного контура.

Техническим результатом, достигаемым при осуществлении всей совокупности заявляемых существенных признаков, является обеспечение затухания не хуже 100 дБ при ширине полосы пропускания не менее 100 МГц, высокой собственной добротности

структуры и геометрических размерах, значительно меньших рабочей длины волны, что позволяет создать малогабаритный развязывающий фильтр СВЧ диапазона.

Предлагаемое изобретение иллюстрируется чертежами, где

на фиг.1 показана конструкция и топология развязывающего фильтра на
5 метаматериале, выполненная на диэлектрической подложке из стеклотекстолита FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью 4,6 и габаритными размерами 100x100 мм, где цифрой 1 обозначена экранированная диэлектрическая плата, цифрой 2 - колебательные контуры с распределенными параметрами, цифрой 3 - емкостной зазор в виде двух микрополосковых линий, возбуждающий структуру метаматериала,
10 цифрой 4 - профиль металлических элементов конструкции фильтра (диэлектрическая плата не показана), цифрой 5 - образование эквивалентных индуктивности и емкости между двумя распределенными колебательными контурами;

на фиг.2 (а, б) показаны варианты топологий развязывающего фильтра на многослойных диэлектрических платах по пп.2 и 3 формулы изобретения соответственно;

15 на фиг.3 (а, б) приведены результаты расчетов комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты для рассматриваемых вариантов топологий (пп.1-3 формулы изобретения) развязывающих фильтров, полученные численно с помощью программных средств AWR Design Environment v.9.0.

20 Работа развязывающего фильтра на метаматериале осуществляется следующим образом.

Композитная поверхность метаматериала фильтра возбуждается с помощью емкостного зазора, образованного двумя параллельными микрополосковыми линиями 3, расположенными по краям диэлектрической платы 1 (фиг.1). Конструктивные размеры
25 каждого из колебательных контуров 2, образующих метаматериал, много меньше рабочей длины волны возбуждения. Распределенные колебательные контуры метаматериала могут быть представлены эквивалентной схемой 5, содержащей индуктивности, образованные полыми цилиндрическими металлическими ножками, соединенными с экраном, и емкости, сформированные между соседними контурами. Такая эквивалентная схема представляет собой схему линии передачи с отрицательной
30 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.

35 Возможность достижения цели достигается сравнением затухания, обеспечиваемого высокоимпедансной поверхностью (метаматериала) фильтра, 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
40 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
45 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.3а показаны зависимости комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученные для развязывающего фильтра с импедансной металлической поверхностью (кривая 1) и фильтра с метаматериалом, выполненного по фиг.1 (кривая 2). Сравнение данных характеристик показывает более чем двухкратный рост затухания колебаний у метаматериала 121,2 - 115,1 дБ против 55,4 - 34,8 дБ у металлической поверхности в диапазоне 4020 - 4150 МГц.

Резонансная природа метаматериала не позволяет, к сожалению, обеспечивать развязку в широкой полосе частот. Так, рассмотренная выше конструкция фильтра обеспечивает полосу пропускания 130 МГц. Расширение полосы достигается применением многослойных плат с расположением в промежуточных слоях между каждым колебательным контуром и экраном импедансных проводников в виде разрезанных по диагоналям квадратов (фиг.2а) или вложенных друг в друга изолированных колец (фиг.2б). Использование таких многослойных конструкций приводит к небольшому снижению добротности электродинамической структуры фильтра, увеличивая эквивалентные параметры индуктивности и емкости каждого колебательного контура метаматериала, и позволяет расширить полосу пропускания. На фиг.3б показаны результаты численного эксперимента, полученного для развязывающего фильтра с топологией, изображенной на фиг.2б (кривая 3), в сравнении с топологией фильтра фиг.1 (кривая 4). Сравнение результатов демонстрирует полосу пропускания 3960 - 4230 МГц для фильтра на метаматериале с изолированными кольцами, при затухании 84,3 - 94,7 МГц. Таким образом, достигается более чем двухкратное расширение полосы пропускания - до 270 МГц, при среднем снижении затухания на 28,6 дБ.

Достоинством изобретения является достижение высокой собственной добротности структуры при геометрических размерах, значительно меньших рабочей длины волны, что позволяет создать малогабаритный развязывающий фильтр СВЧ-диапазона.

Формула изобретения

1. Развязывающий фильтр, содержащий экранированную с одной стороны однослойную или многослойную диэлектрическую плату с периодически расположенными рядами сквозных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, отличающийся тем, что каждый колебательный контур представляет собой импедансный проводник, выполненный в виде квадрата, разорванного по углам, противоположные стороны которого соединены в центре крестообразным импедансным проводником, закрепленным в отверстии диэлектрической платы на полой металлической ножке, соединенной с экраном.

2. Развязывающий фильтр по п.1, отличающийся тем, что в одном или нескольких промежуточных слоях диэлектрической платы, между каждым распределенным колебательным контуром и экраном, выполнен импедансный проводник в виде квадрата, со стороной, равной стороне квадрата импедансного проводника колебательного контура, и разрезанного по диагоналям на четыре идентичных изолированных треугольных сектора.

3. Развязывающий фильтр по п.1, отличающийся тем, что в одном или нескольких промежуточных слоях диэлектрической платы, между каждым распределенным колебательным контуром и экраном выполнены импедансные проводники в виде одного или нескольких вложенных друг в друга изолированных резонаторных колец,

с диаметром наибольшего кольца, не превышающим сторону квадрата импедансного проводника колебательного контура.

5

10

15

20

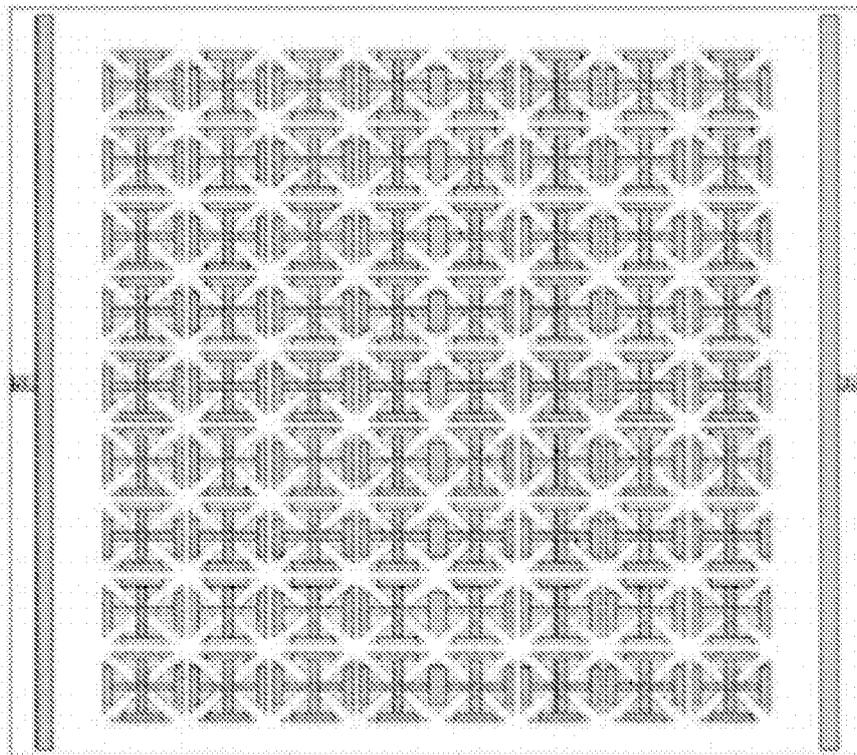
25

30

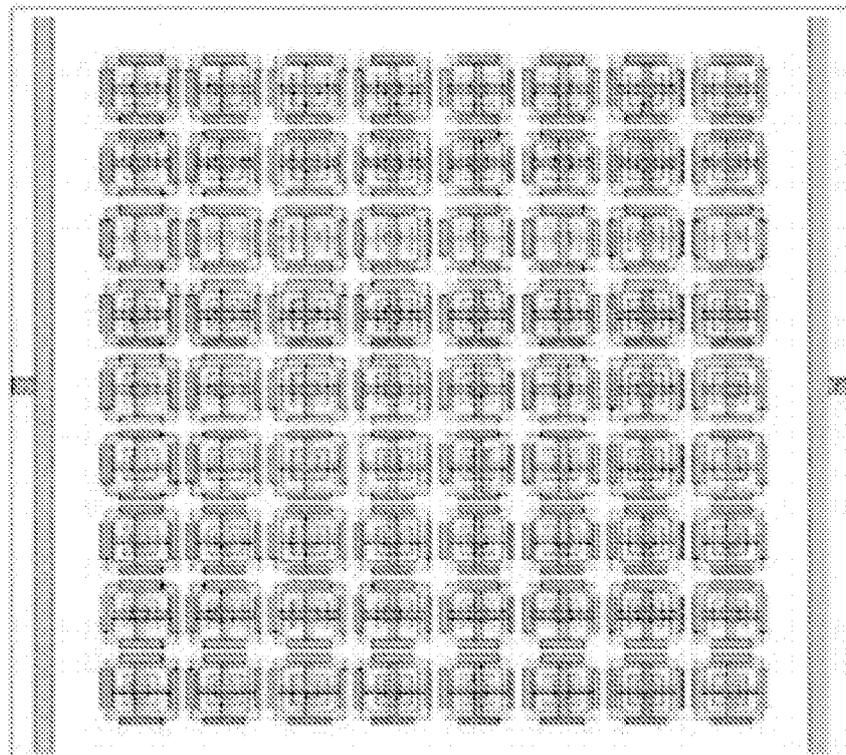
35

40

45

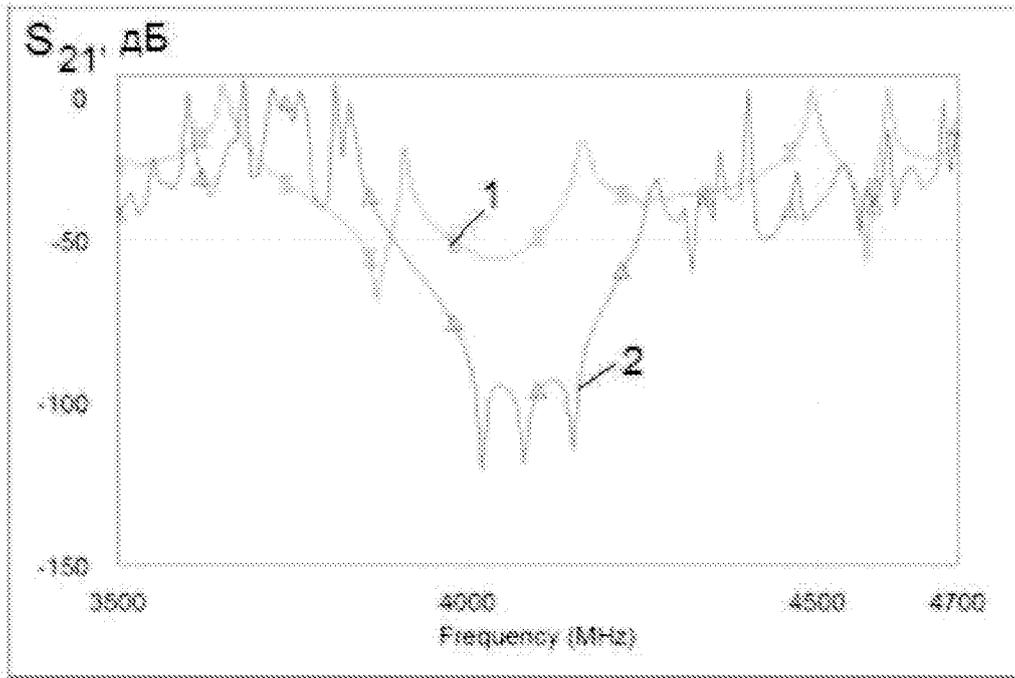


а

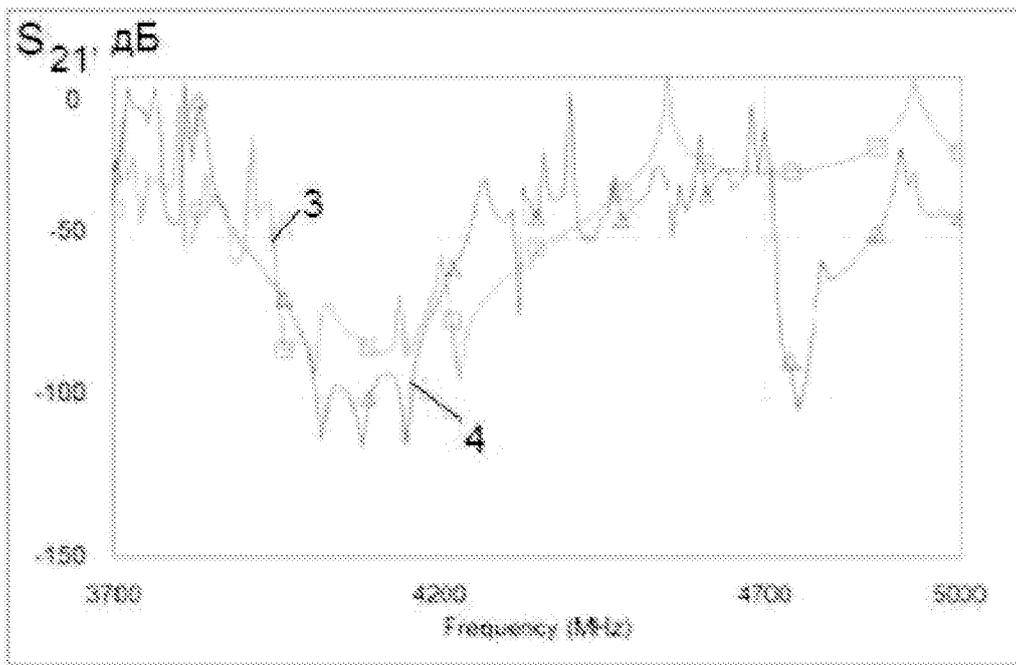


б

Фиг. 2



а



б

Фиг.3