



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01P 1/185 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2019108964, 27.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.03.2019

Дата регистрации:  
31.05.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.03.2019

(45) Опубликовано: 31.05.2019 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,  
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

Сычев Александр Николаевич (RU),  
Рудый Николай Юрьевич (RU),  
Жаров Константин Константинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Томский государственный  
университет систем управления и  
радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2631904 C1, 28.09.2017. RU  
2141151 C1, 10.11.1999. RU 2585884 C1,  
10.06.2016. RU 2265260 C1, 27.11.2005. WO  
2009000431 A1, 31.12.2008. WO 2008108783  
A2, 12.09.2008.

## (54) СВЧ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО ТИПА

(57) Реферат:

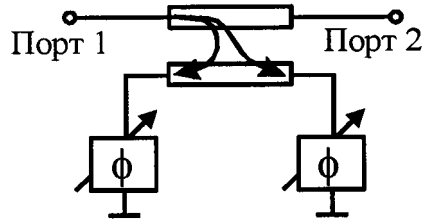
Использование: для создания СВЧ фазовращателя отражательного типа (ФВОТ). Сущность полезной модели заключается в том, что ФВОТ содержит квадратурный мост на отрезке связанных линий, у которого в качестве входного и выходного портов выступают ближний и дальний концы одной из линий, а к ближнему и дальнему концам другой линии подключаются отражательные нагрузки. Построение и необходимое свойство транснаправленности квадратурного моста достигается тем, что над заземленным основанием

с небольшим воздушным зазором устанавливается вертикальная плата с высокой диэлектрической проницаемостью (около 16...20), на левой и правой поверхностях которой расположены полосковые проводники с сильной лицевой связью (около 3 дБ) и с отношением скоростей нормальных волн, близким к 3:1. Технический результат: обеспечение возможности упрощения схемы и конструкции, улучшения повторяемости характеристик и повышения рабочих частот. 6 ил.

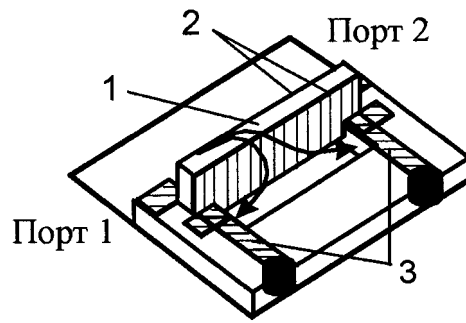
RU 189725 U1

RU 189725 U1

Транснаправленный мост  
 $Z_0 = 50 \text{ Ом}$      $C = 3 \text{ дБ}$   
 $\theta_c = 90 \text{ град.}$      $\theta_{\pi} = 270 \text{ град.}$



Фиг. 1



Фиг. 2

RU 189725 U1

RU 189725 U1

Полезная модель относится к технике сверхвысоких частот (СВЧ), в частности к фазосдвигающим устройствам СВЧ и может быть использована в высокочастотной измерительной технике, в приеме-передающих трактах радиоэлектронных систем, в диаграммообразующих устройствах фазированных антенных решеток, в перспективных системах связи 5G.

Известны СВЧ фазовращатели отражательного типа (ФВОТ), построенные на квадратурном мосте и двух идентичных отражательных нагрузках, обеспечивающих необходимый управляемый фазовый сдвиг [1]. При этом наиболее часто в качестве квадратурного моста используют либо двушлейфный мост, либо отрезок связанных линий, в том числе ответвитель Ланге.

Недостаток ФВОТ на двушлейфном мосте - гальваническая связь между всеми портами - входным, выходным и двумя внутренними, что требует разделительных конденсаторов между СВЧ каналом и цепями подачи смещения на управляющие элементы [1].

Недостатком ФВОТ, содержащего обычный противонаправленный мост на отрезке связанных линий, в том числе на ответвителе Ланге, является наличие гальванической связи как входного, так и выходного портов с соответствующими внутренними портами, что опять же требует разделительных конденсаторов и усложняет схему подачи смещения на управляющие элементы [1].

Известен ФВОТ с квадратурным мостом, сформированным из сосредоточенных LC-элементов [2]. Однако, его недостатком является гальваническая связь как входного, так и выходного портов с землей через соответствующие катушки индуктивности, что не всегда бывает приемлемым.

Как видим, все представленные аналоги ФВОТ как на распределенных двушлейфных мостах и связанных линиях, так и на сосредоточенных элементах имеют схемы подачи смещения на управляющие элементы ФВОТ неприемлемые, в случае, когда требуется передача постоянного тока по СВЧ каналу с входного порта на выходной порт.

Наиболее близким аналогом, выбранным в качестве прототипа из-за схожести структуры и выполняемой функции, является ФВОТ описанный в [3], который содержит транснаправленный мост, построенный на отрезке связанных линий по сосредоточенно-распределенной схеме с межлинейными конденсаторами, поддерживающими фазовую и импедансную связь для обеспечения транснаправленного режима работы, а также пару идентичных отражающих нагрузок. Особенностью прототипа является гальваническая развязка между каналом СВЧ и цепями управления, обуславливающая передачу постоянного тока по СВЧ каналу с входного порта на выходной порт и простую схему подачи смещения на отражательные нагрузки.

Однако, основные недостатки этого ФВОТ состоят в сложности его схемы и конструкции, а также технологии изготовления. Сложность схемы моста заключается в том, что она является сосредоточенно-распределенной со множеством конструктивных конденсаторов, требующих высокой точности расчета и изготовления. Кроме того, конструкция содержит множество слоев, выполненных из труднодоступных диэлектрических материалов, и требует дорогостоящей технологии изготовления многослойных печатных плат. Эти особенности ведут к ухудшению повторяемости частотных характеристик и относительно невысоким рабочим частотам (около 3 ГГц).

Технический результат предлагаемой полезной модели - упрощение схемы и конструкции, улучшение повторяемости характеристик и повышение рабочих частот (более 10 ГГц).

Указанный технический результат достигается с использованием транснаправленного

моста, построенного на связанных линиях с сильной связью (3 дБ), выполненных на одной вертикальной плате, установленной над заземленным основанием с небольшим воздушным зазором. При этом в сравнении с прототипом устраняются: многослойная конструкция, межлинейные конденсаторы и другие избыточные схемно-конструктивные

5 элементы.

Заявляемый СВЧ ФВОТ содержит квадратурный мост на отрезке связанных линий, у которого в качестве входного и выходного портов выступают ближний и дальний концы одной из линий, а к ближнему и дальнему концам другой линии подключаются отражательные нагрузки. Построение и требуемое свойство транснаправленности

10 квадратурного моста обеспечивается тем, что над заземленным основанием с небольшим воздушным зазором устанавливается вертикальная плата с высокой диэлектрической проницаемостью (около 16...20), на левой и правой поверхностях которой расположены полосковые проводники с сильной лицевой связью (около 3 дБ) и с отношением

15 скоростей нормальных волн близким к 3:1. При этом сохраняется приемлемое импедансное согласование с подводящими линиями в портах и полная гальваническая развязка между каналом СВЧ и цепью управления.

Таким образом, упрощение схемы и конструкции ФВОТ в сравнении с прототипом достигается переходом от сосредоточенно-распределенной схемы к полностью

20 распределенной, при котором многослойная конструкция, содержащая несколько (три и более) межлинейных конструктивных конденсаторов и несколько (два и более) диэлектрических слоев, заменяется одной вертикальной платой над заземленным основанием, что улучшает повторяемость характеристик и повышает рабочие частоты ФВ.

Заявляемая полезная модель и ее частотные характеристики изображены на

25 следующих фигурах.

Фиг. 1 - структурно-функциональная схема ФВОТ на транснаправленном мосте.

Фиг. 2 - общий вид конструкции ФВОТ на транснаправленном мосте по настоящей заявке.

Фиг. 3 - вариант схемы электрической принципиальной ФВОТ на транснаправленном

30 мосте.

Фиг. 4 - измеренные частотные зависимости возвратных потерь ФВОТ.

Фиг. 5 - измеренные частотные зависимости вносимых потерь ФВОТ.

Фиг. 6 - измеренные частотные зависимости управляемого фазового сдвига ФВОТ.

Структурно-функциональная схема СВЧ ФВОТ на транснаправленном мосте с

35 требуемыми параметрами моста и обозначением портов изображена на фиг. 1; здесь также показана пара управляемых отражательных фазосдвигающих нагрузок, подключенных к двум внутренним портам.

Общий вид конструкции СВЧ ФВОТ согласно настоящей заявке показан на фиг. 2. ФВОТ включает в себя квадратурный мост на отрезке связанных линий, у которого в

40 качестве входного и выходного портов выступают ближний и дальний концы одной из линий, а к ближнему и дальнему концам другой линии подключаются управляемые фазосдвигающие отражательные нагрузки 3. Построение и требуемое свойство транснаправленности квадратурного моста обеспечивается тем, что над заземленным основанием с небольшим воздушным зазором устанавливается вертикальная плата 1

45 с высокой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon_r=16...20$ ) с тем, чтобы достичь отношения фазовых скоростей нормальных волн (противофазной и синфазной)  $v_{\Pi}/v_c$  близкого к 3:1 в полосковых проводниках 2 с сильной лицевой связью (около 3 дБ), которые расположены на левой и правой поверхностях вертикальной платы. При этом на

центральной частоте рабочего диапазона обеспечиваются требуемые электрические длины связанных линий - 270 и 90 град., соответственно (см. фиг. 1). Также сохраняется приемлемое импедансное согласование с подводными линиями в портах и полная гальваническая развязка между каналом СВЧ и цепью управления.

5 На фиг. 3 показана электрическая принципиальная схема варианта осуществления предлагаемого ФВОТ. Фазовращатель состоит из транснаправленного моста, сформированного на вертикальной платке, и пары отражательных нагрузок, в которых управляющими элементами являются варикапы, а сосредоточенные индуктивности  $L_s$  и емкости  $C_p$  сформированы короткими ( $\lambda/8$ ) линиями передачи. Конструкция моста  
10 имеет межлинейную продольно-вертикальную плоскость симметрии, что позволяет применить к ней метод синфазно-противофазного возбуждения при анализе функционирования. При этом важно отметить, что вертикальная плата имеет весьма высокую диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_r=16\dots 20$ , а окружающий ее воздух - низкую, равную примерно единице.

15 Принцип работы предлагаемого ФВОТ основан на использовании троекратного отношения скоростей нормальных волн при синфазном и противофазном возбуждении квадратного моста на связанных линиях, а также преобразовании данным мостом, волн отраженных от пары отражательных нагрузок в сигнал, поступающий в выходной  
20 порт. При синфазном возбуждении моста поле концентрируется прежде всего в воздухе с малой диэлектрической проницаемостью. При противофазном возбуждении поле концентрируется прежде всего в диэлектрике вертикальной платы с высокой диэлектрической проницаемостью, образуя среду замедляющую. Таким образом, когда синфазная волна, распространяющаяся прежде всего в воздухе и являющаяся  
25 «быстрой», обретает фазовый сдвиг  $\theta_c=90$  град., противофазная волна, распространяющаяся прежде всего в диэлектрике вертикальной платы и являющаяся троекратно замедленной, набирает фазовый сдвиг  $\theta_{\pi}=270$  град. Откуда следует, что разность фаз между напряжениями противофазной («медленной») и синфазной («быстрой») и волн на выходе основной линии на центральной частоте полосы достигает  
30 180 град., и полное напряжение становится равным нулю; следовательно, режим транснаправленной работы моста обеспечивается (см. фиг. 1). Требуемый управляемый фазовый сдвиг в выходном порту обеспечивается парой идентичных отражательных нагрузок 3, подключенных к внутренним портам (см. фиг. 2).

35 Для экспериментальной проверки работоспособности предлагаемого ФВОТ был изготовлен макет (прототип) со следующими параметрами конструкции (см. фиг. 2): относительная диэлектрическая проницаемость вертикальной платы  $\epsilon_r=20$ ; толщина вертикальной платы  $h=0,5$  мм; ее ширина, совпадающая с шириной полосковых линий с лицевой связью  $w=0,8$  мм; расстояние (зазор) между вертикальной платой и  
40 заземленным основанием  $s=0,25$  мм; длина вертикальной платы  $l = 6,5$  мм. Площадь горизонтального заземленного основания -  $12 \times 12$  мм<sup>2</sup>. Материал вертикальной платы - В-20 производства ООО «Керамика» (Санкт-Петербург); плата монтируется как обычный поверхностно-монтируемый компонент (SMD). Отражательные нагрузки содержат варикапы АА631А от АО «НИИПП» (Томск). Варикапы реализованы как  
45 GaAs диоды с барьером Шотки со следующими электрическими параметрами: средняя емкость  $C(U_r=6V)=(0,4 \pm 0,1)$  пФ; коэффициент перекрытия по емкости  $K_c=C_{\max}(U_r=0V)/C_{\min}(U_r=50V)=2,8\dots 3,3$ ; добротность  $Q(f=1 \text{ ГГц})=250\dots 340$ . Варикапы смещались следующим обратным напряжением  $U_r=(0,05 \ 1 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 20 \ 40)$  В при токе менее

0,01 мА. Размеры корпуса диода - 1,3 мм (диаметр) на 1,2 мм (высота).

Измеренные характеристики прототипа ФВОТ в зависимости от частоты и обратного напряжения смещения показаны на фиг. 4-6. Обнаружено хорошее согласие расчетных и экспериментальных результатов. ФВОТ работает в диапазоне от 9,5 до 11,5 ГГц (20%),  
 5 обеспечивает регулирование фазы (0...125)° с вносимыми потерями (1,5...3) дБ, включая потери в разъемах, и возвратные потери лучше, чем (12...15) дБ во всех фазовых состояниях.

Таким образом, эксперимент подтвердил, что предлагаемый ФВОТ, построенный на транснаправленном мосте на связанных линиях с вертикальной платой реализуем,  
 10 работоспособен и достаточно эффективен.

Связанные линии моста ФВОТ выполняются на одной вертикальной плате, устанавливаемой как обычный поверхностно-монтируемый компонент, что упрощает схему и конструкцию, улучшает повторяемость характеристик и повышает рабочие частоты фазовращателя (более 10 ГГц).

15 Список использованных источников

1. Хижа Г.С., Вендик И.Б., Серебрякова Е.А. СВЧ фазовращатели и переключатели: Особенности создания на р-и-п диодах в интегральном исполнении - М.: Радио и связь, 1984. - 184 с.

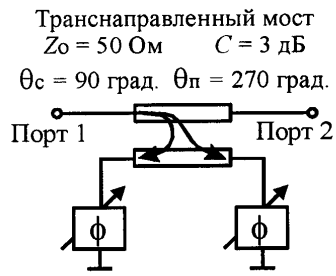
2. Pat. 10181833 US. Int. Cl. H01L 29/78. Reflection type phase shifter with active device tuning / Arigong B. (US) et al. - Assignee: Infineon Tech. AG (DE), Application No: 15/460297,  
 20 Filed: 16.03.2017, Publ.: 15.01.2019.

3. Мунина И.В., Туральчук П.А. Гибридный СВЧ ответвитель мощности с гальванически развязанными плечами // Всероссийская конф. С.П-б.: 4-7 июня 2012 - Микроэлектроника СВЧ. - С. 209-212. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://mwelectronics.ru/2012/Poster/C48\\_I.V.%20Munina\\_Gibiidny%60y%20SVCh%20otvetvitel'.pdf](http://mwelectronics.ru/2012/Poster/C48_I.V.%20Munina_Gibiidny%60y%20SVCh%20otvetvitel'.pdf)  
 25 (дата обращения 5.03.2019).

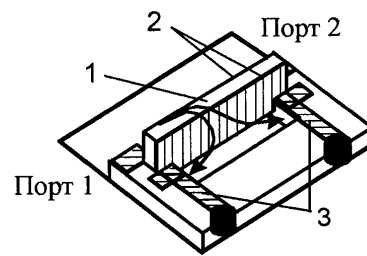
#### (57) Формула полезной модели

Фазовращатель СВЧ отражательного типа, содержащий транснаправленный  
 30 квадратурный мост на отрезке связанных линий, у которого в качестве входного и выходного портов выступают ближний и дальний концы одной из линий, а к ближнему и дальнему концам другой линии подключаются отражательные нагрузки,  
 отличающийся тем, что построение квадратурного моста и его необходимое свойство транснаправленности обеспечиваются установкой над заземленным основанием с  
 35 небольшим воздушным зазором вертикальной платы с высокой диэлектрической проницаемостью (около 16...20), на левой и правой поверхностях которой расположены полосковые проводники с сильной лицевой связью (около 3 дБ) и с отношением скоростей нормальных волн, близким к 3:1, при этом сохраняется приемлемое импедансное согласование в портах и полная гальваническая развязка между каналом  
 40 СВЧ и цепью управления.

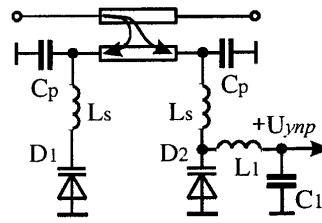
1



Фиг. 1

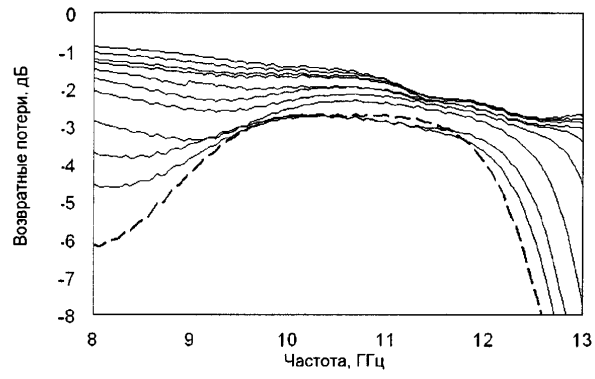


Фиг. 2

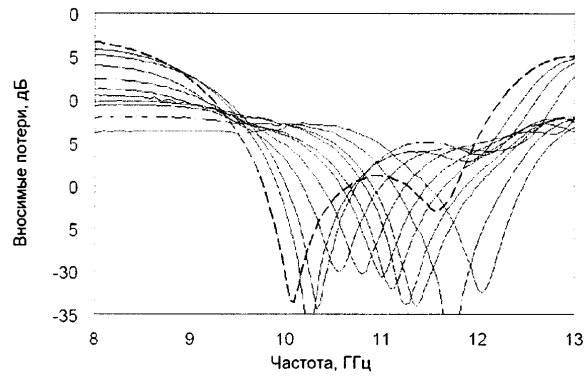


Фиг. 3

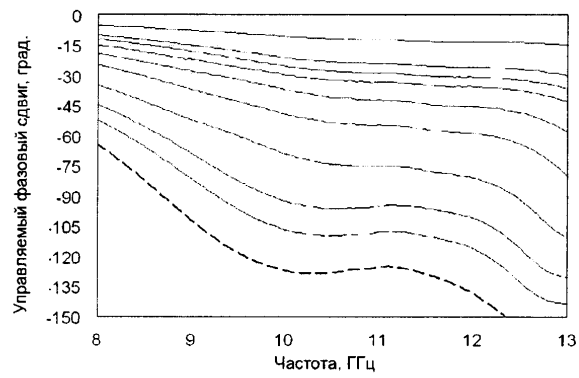
2



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6