



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015132552/28, 04.08.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.08.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.08.2015

(45) Опубликовано: 10.12.2016 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 140975 U1, 20.05.2014. RU 2501129 С1, 10.12.2013. RU 137159 U1, 27.01.2014. SU 1228256 А1, 30.04.1986. US 4255731 А, 10.03.1981.

Адрес для переписки:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГАОУ ВО НИ ТПУ, отдел ПОРИД

(72) Автор(ы):

Артёменко Сергей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" (RU)

**(54) РЕЗОНАНСНЫЙ СВЧ КОМПРЕССОР**

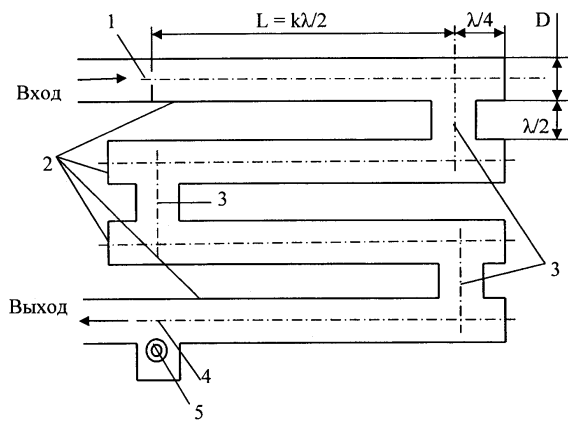
(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники. Особенностью заявленного резонансного СВЧ компрессора является то, что резонатор выполнен планарно-объемным в форме меандра путем деления отрезка волновода длиной  $L_0 = N\lambda/2$  на  $m$  одинаковых секций длиной  $L = k\lambda/2$  каждая, где  $k = N/m$  - число вариант рабочей волны вдоль секции,  $k \approx N^{1/2}$  и сравнимо с количеством секций  $m$ , а меандр образован расположением секций параллельно в ряд в одной плоскости на одинаковом расстоянии между секциями, торцы секций соединены лежащими в

этой же плоскости идентичными Н-тройниками, каждый из которых выполнен с четвертьволновым короткозамкнутым прямым плечом и полуволновыми другими плечами, при этом к свободному торцу предыдущей секции подключено свободное прямое плечо очередного Н-тройника и к боковому плечу этого Н-тройника подсоединено боковое плечо Н-тройника следующего, а к свободному прямому плечу следующего Н-тройника подсоединен свободный торец следующей секции. Техническим результатом является обеспечение компактности резонансного СВЧ компрессора. 1 ил.

С 1  
 7  
 0  
 1  
 4  
 0  
 9  
 2  
 R U

R U  
 2  
 6  
 0  
 4  
 1  
 0  
 7  
 С 1



Фиг.1

RU 2604107 C1

RU 2604107 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015132552/28, 04.08.2015  
 (24) Effective date for property rights:  
04.08.2015  
 Priority:  
 (22) Date of filing: 04.08.2015  
 (45) Date of publication: 10.12.2016 Bull. № 34  
 Mail address:  
 634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 30, FGAOU VO NI  
 TPU, otdel PORID

(72) Inventor(s):  
Artemenko Sergej Nikolaevich (RU)  
 (73) Proprietor(s):  
 Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
 obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
 obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij  
 Tomskij politekhnicheskij universitet" (RU)

(54) **RESONANT MICROWAVE COMPRESSOR**

(57) Abstract:

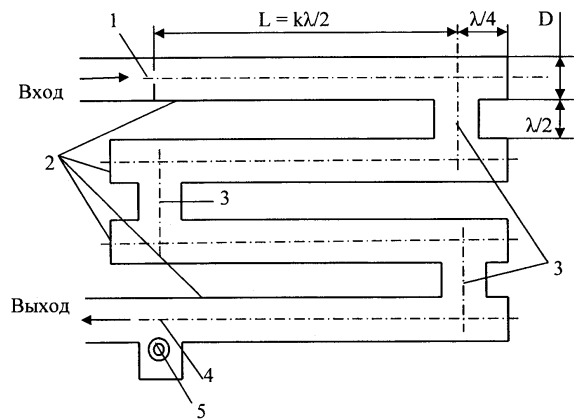
FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention relates to radio engineering. Feature of the disclosed resonant microwave compressor, is that resonator is made planar-volumetric in form of meander by wave guide section with length  $L_0 = N\lambda/2$  division to  $m$  identical sections with length  $L = k\lambda/2$  each, where  $k = N/m$  is version number of working wave along section,  $k \approx N^{1/2}$  and is comparable with number of sections  $m$ , and meander is formed by arrangement of sections in parallel in a row in one plane at equal distance between sections, sections ends are connected by identical H-tees located in same plane, each of which is made with quarter-wave short-circuited right arm and half-wave other arms, wherein next H-tee-piece free direct arm is connected to previous section free end and following H-tee lateral arm is connected to said H-tee lateral arm, and next section free end is connected to next H-tee free forward

arm.

EFFECT: enabling resonant UHF compressor compact design.

1 cl, 1 dwg



Фиг.1

RU 2 604 107 C1

RU 2 604 107 C1

Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано для формирования мощных наносекундных СВЧ импульсов средней длительности с огибающей, близкой к прямоугольной.

Известен ряд оригинальных конструкций резонансных СВЧ компрессоров, работающих на основе накопления и быстрого вывода СВЧ энергии в резонансном объеме [А.Н. Диденко, Ю.Г. Юшков. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984, с. 112]. Наиболее распространенными среди них являются компрессоры, накопительный объем которых выполнен в виде линейного объемного резонатора из регулярного одномодового прямоугольного либо круглого волновода, а устройство вывода организовано в виде интерференционного СВЧ переключателя на основе Т-образного волноводного Н-тройника [Августинович В.А., Артеменко С.Н., Юшков Ю.Г. RU патент №2328062, публ. 27.06.2008; В.А. Августинович, С.Н. Артеменко, В.Ф. Дьяченко, В.Л. Каминский, С.А. Новиков, Ю.Г. Юшков. Исследование переключателя СВЧ компрессора с коммутацией в круглом волноводе. ПТЭ, 2009, №4, с. 106-109]. Одно из прямых плеч такого переключателя используется в качестве накопительного объема и имеет длину  $n\lambda_B/2$ , где  $n \gg 1$ ,  $\lambda_B$  - длина волны в волноводе. Второе прямое либо боковое плечо выполняется полуволновым и ограничивается короткозамыкателем. В этом плече на расстоянии  $\lambda_B/4$  от короткозамыкателя размещается СВЧ коммутатор. Свободное плечо связывается с нагрузкой и через это плечо осуществляется вывод энергии. Длительность Т выходных импульсов таких компрессоров определяется длиной L резонатора, а также групповой скоростью v рабочей волны вдоль резонатора, равна отношению  $2L/v$ . Из этого выражения следует, что для формирования достаточно длинных наносекундных СВЧ импульсов (от нескольких десятков до ста наносекунд) такие компрессоры требуют применения достаточно длинных накопительных резонаторов. При обычной, для одномодовых волноводов, групповой скорости порядка 0,7 скорости света время пробега волновода длиной 1 м составляет ~10 нс. Поэтому формирование наносекундных импульсов средней длительности (~10-100 нс) требует использования резонаторов длиной ~1-10 м, что не всегда приемлемо.

Известны также СВЧ компрессоры, в которых для накопления энергии используются относительно компактные сверхразмерные объемные резонаторы с элементом вывода энергии также в виде интерференционного СВЧ переключателя на основе Т-образного Н-тройника, подсоединенного снаружи к резонатору [например, Альварец Р., Биркс Д., Берн Д., Лауэр Е., Скалапино Д., Сжатие СВЧ энергии во времени для использования в ускорителях заряженных частиц. - Атомная техника за рубежом, 1982, №11, С. 36-39]. Такие СВЧ компрессоры позволяют формировать наносекундные импульсы средней длительности, однако огибающая сформированных таким образом импульсов отличается от прямоугольной. Она имеет крутой фронт и экспоненциальный спад, что также не всегда приемлемо.

В работе [Артеменко С.Н., Каминский В.Л., Юшков Ю.Г. Вывод СВЧ энергии из крупногабаритных осесимметричных резонаторов через сверхразмерную коаксиальную линию. ЖТФ, 1993, Т. 63, №2, С. 106-112] в качестве устройства вывода из сверхразмерных аксиально-симметричных резонаторов предложено использовать интерференционный переключатель на основе сверхразмерного коаксиального волновода с последовательно включенной в волновод радиальной линией. Переключение резонатора из режима накопления в режим вывода осуществляется СВЧ коммутатором, расположенным в этой линии. Рабочей волной является низшая магнитная либо электрическая аксиально-симметричная волна. Более существенная, по сравнению с

переключателем на основе Н-тройника из прямоугольного либо круглого волновода, площадь сечения такого переключателя обеспечивает более высокую рабочую мощность СВЧ компрессора как за счет большей площади сечения устройства вывода, так и за счет более быстрого вывода энергии. Вместе с тем, такие компрессоры также формируют наносекундные импульсы средней длительности с крутым фронтом и экспоненциальным спадом. Кроме того, вывод энергии в таких компрессорах идет на аксиально-симметричной волне, неудобной на практике и требующей использования трансформатора типа волны для преобразования рабочей волны в основную волну круглого или прямоугольного волновода.

По технической сущности наиболее близким к предлагаемому устройству является наиболее простой и распространенный активный резонансный СВЧ компрессор с одномодовым призматическим или цилиндрическим накопительным резонатором и устройством вывода в виде интерференционного СВЧ переключателя на основе Т-образного волноводного Н-тройника [В.А. Августинovich, С.Н. Артеменко, В.Ф. Дьяченко, В.Л. Каминский, С.А. Новиков, Ю.Г. Юшков. Исследование переключателя СВЧ компрессора с коммутацией в круглом волноводе. ПТЭ, 2009, №4, с. 106-109]. Такой переключатель, выполненный из круглого волновода, взят за прототип.

Одним из недостатков СВЧ компрессора-прототипа является большая длина накопительного резонатора, требуемая для формирования наносекундных СВЧ импульсов средней длительности с прямоугольной огибающей.

Задачей изобретения является создание компактного резонансного СВЧ компрессора, формирующего наносекундные СВЧ импульсы средней длительности (~10-100 нс) с прямоугольной огибающей и выводом энергии на основном типе волны одномодового волновода. Под компактностью понимаются малые габаритные размеры компрессора по сравнению с длиной цуга излучаемой компрессором электромагнитной волны.

Технический результат заключается в обеспечении компактности резонансного СВЧ компрессора, формирующего наносекундные импульсы средней длительности с огибающей прямоугольной формы и выводом энергии на основном типе волны прямоугольного или круглого волновода, использованием для накопления энергии резонатора специальной геометрии из одномодового волновода.

Указанный результат достигается тем, что резонансный СВЧ компрессор, как и прототип, содержит одномодовый резонатор длиной  $L_0 = N\lambda/2$ , где  $N$  - число вариант рабочей волны длиной  $\lambda$  вдоль резонатора,  $N \gg 1$ , с элементом ввода энергии на входной торцевой стенке резонатора и устройством вывода энергии в виде интерференционного СВЧ переключателя на основе Н-тройника с СВЧ коммутатором в короткозамкнутом плече тройника, в отличие от прототипа, резонатор выполнен планарно-объемным в форме меандра путем деления отрезка волновода длиной  $L_0 = N\lambda/2$  на  $m$  одинаковых секций длиной  $L = k\lambda/2$  каждая, где  $k = N/m$  - число вариант рабочей волны вдоль секции,  $k \approx N^{1/2}$  и сравнимо с количеством секций  $m$ , а меандр образован расположением секций параллельно в ряд в одной плоскости на одинаковом расстоянии между секциями, торцы секций соединены лежащими в этой же плоскости идентичными Н-тройниками, каждый из которых выполнен с четвертьволновым короткозамкнутым прямым плечом и полуволновыми другими плечами, при этом к свободному торцу предыдущей секции подключено свободное прямое плечо очередного Н-тройника и к боковому плечу этого Н-тройника подсоединено боковое плечо Н-тройника следующего, а к свободному прямому плечу следующего Н-тройника подсоединен свободный торец следующей секции.

На Фиг. 1 представлена схема примера выполнения предлагаемого резонансного СВЧ компрессора с элементом ввода энергии 1 на входной торцевой стенке, планарно-объемным резонатором, выполненным в форме меандра с четырьмя одинаковыми секциями  $2(m=4 \approx k \approx N^{1/2})$  длиной  $L=k\lambda/2$  каждая. Компрессор содержит идентичные Н-тройники 3 с полуволновыми входными прямыми плечами, короткозамкнутыми четвертьволновыми выходными прямыми плечами и полуволновыми боковыми плечами, соединяющими секции 2, лежащие параллельно в ряд в одной плоскости на расстоянии полдлины волны в резонаторе. На выходном торце выходной секции резонатора расположено устройство вывода 4 в виде интерференционного переключателя на основе Н-тройника с СВЧ коммутатором 5.

Предлагаемый СВЧ компрессор работает следующим образом. Во входную секцию 2 резонатора на рабочей волне через элемент ввода энергии 1 поступает СВЧ энергия. В силу выбора короткозамкнутого прямого плеча Н-тройника 3 первой секции резонатора плечом четвертьволновым поступающая в резонатор волна без отражений проходит в боковое плечо этого Н-тройника. Далее в силу идентичности Н-тройников 3 волна без отражений проходит все Н-тройники и секции 2 резонатора и поступает к Н-тройнику устройства вывода 4. Так как устройство вывода 4 в режиме накопления закрыто, то волна отражается и возвращается к элементу ввода 1. Здесь, в силу выбора общей длины всех секций 2 длиной резонансной, вернувшаяся волна отражается от элемента ввода 1 и суммируется в фазе с волной, поступающей в резонатор, увеличивая свою амплитуду. Так процесс повторяется до тех пор, пока мощность потерь в стенках и на излучение через элемент ввода 1 не сравняется с мощностью, поступающей в резонатор. После достижения динамического равновесия процесс накопления заканчивается и включается СВЧ коммутатор 5. Устройство вывода 4 открывается, и волна из резонатора беспрепятственно поступает в нагрузку в течение времени  $T$  ее двойного пробега вдоль всего резонатора, приблизительно равного времени  $mT_0$  ее двойного пробега  $T_0$  вдоль одной секции 2 резонатора (в действительности длительность будет больше на время двойного пробега волны вдоль общих боковых плеч Н-тройников 3).

В качестве примера конкретного выполнения предлагаемого резонансного СВЧ компрессора с планарно-объемным накопительным резонатором рассмотрим разработанный и исследованный вариант такого СВЧ компрессора 10-см диапазона длин волн. Планарно-объемный резонатор исследованного компрессора выполнен из двух параллельных секций круглого волновода диаметром 90 мм, лежащих в одной плоскости на расстоянии, близком к половине длины волны в резонаторе. Один из торцов первой секции был короткозамкнут и имел входную диафрагму, являющуюся элементом ввода энергии 1. Ко второму торцу первой секции прямым плечом подсоединялся Т-образный Н-тройник с короткозамкнутым вторым прямым плечом и открытым боковым плечом. Длина секции от входной диафрагмы до плоскости симметрии бокового плеча, ортогональной Н-плоскости, составляла 665 мм, что на  $H_{11}$  рабочей волне на частоте 2804 МГц соответствовало числу  $k$  вариант поля вдоль секции, равному 9 при длине варианты  $\sim 75$  мм. Длина короткозамкнутого прямого плеча от этой плоскости симметрии до короткозамыкателя плеча равнялась 115 мм, т.е. была практически четвертьволновой. Вторая секция также имела длину 665 мм и со стороны одного торца ограничивалась Н-тройником, подсоединенным прямым плечом к секции, имевшей второе прямое плечо короткозамкнутым длиной 115 мм, и боковое плечо, объединенное с боковым плечом тройника первой секции. Общая длина

боковых плеч между осями секций составляла 178 мм, что на 28 мм больше длины волны в резонаторе и связано с влиянием высших типов волн на картину поля в месте сочленения плеч Н-тройников. Со стороны второго торца вторая секция также заканчивалась входным прямым плечом интерференционного СВЧ переключателя в виде Н-тройника, выходное прямое плечо которого связывалось с нагрузкой, а в полуволновом короткозамкнутом боковом плече располагался СВЧ коммутатор, который представлял собой газонаполненную продуваемую кварцевую трубку с электрическим разрядником подсветки разрядного промежутка.

На рабочей частоте 2804 МГц в резонаторе возбуждался  $H_{11(20)}$  вид колебаний. Из 20 вариант поля по длине резонатора по девять вариант располагалось в секциях волновода и две варианты в объединяющей секции общем боковом плече Н-тройников резонатора. Измеренная собственная добротность резонатора составляла  $3 \times 10^4$ . Расчетное время двойного пробега рабочей волны вдоль всех частей резонатора равнялось 15 нс. Коэффициент усиления мощности питающей волны такого резонатора, равный отношению собственной добротности резонатора к произведению циклической рабочей частоты на время двойного пробега волны вдоль резонатора, равнялся  $\sim 350$ , т.е. немного превышал 25 дБ.

В экспериментах на высоком уровне мощности, при мощности входных СВЧ импульсов 1 МВт и коммутации в аргоне с добавлением  $\sim 5\%$  элегаза, сформированы СВЧ импульсы с практически прямоугольной огибающей, мощностью  $\sim 100$  МВт при длительности импульсов по уровню  $-3$  дБ около 11,5 нс. Усиление компрессора, таким образом, достигало 20 дБ. Отличие усиления от расчетного связано с конечностью длительности входного импульса, которая составляла 3 мкс, и значительными потерями в плазме при выводе, достигающими 2-3 дБ. Перепад мощности в течение 13 нс не превышал 3-5%.

Габаритные размеры СВЧ компрессора составляли  $0,95 \times 0,35 \times 0,2$  м<sup>3</sup> против  $\sim 1,6 \times 0,2 \times 0,2$  м<sup>3</sup> СВЧ компрессора с накопительным резонатором традиционной линейной конфигурации. Компоновка СВЧ компрессора предлагаемого типа, рассчитанного на формирование импульсов длительностью  $\sim 25$  нс, обеспечит габаритные размеры компрессора  $\sim 0,95 \times 0,7 \times 0,2$  м<sup>3</sup> против габаритов компрессора  $\sim 3 \times 0,2 \times 0,2$  м<sup>3</sup> при традиционной линейной геометрии накопительного резонатора.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили возможность решения поставленной технической задачи исполнением накопительного резонатора СВЧ компрессора специальной геометрии.

#### Формула изобретения

Резонансный СВЧ компрессор, содержащий одномодовый резонатор длиной  $L_0 = N\lambda/2$ , где  $N$  - число вариант рабочей волны длиной  $\lambda$  вдоль резонатора,  $N \gg 1$ , с элементом ввода энергии на входной торцевой стенке резонатора и устройством вывода энергии в виде интерференционного СВЧ переключателя на основе Н-тройника с СВЧ коммутатором в короткозамкнутом плече тройника, отличающийся тем, что резонатор выполнен планарно-объемным в форме меандра путем деления отрезка волновода длиной  $L_0 = N\lambda/2$  на  $m$  одинаковых секций длиной  $L = k\lambda/2$  каждая, где  $k = N/m$  - число вариант рабочей волны вдоль секции,  $k \approx N^{1/2}$  и сравнимо с количеством секций  $m$ , а меандр образован расположением секций параллельно в ряд в одной плоскости на одинаковом расстоянии между секциями, торцы секций соединены лежащими в этой

же плоскости идентичными Н-тройниками, каждый из которых выполнен с четвертьволновым короткозамкнутым прямым плечом и полуволновыми другими плечами, при этом к свободному торцу предыдущей секции подключено свободное прямое плечо очередного Н-тройника и к боковому плечу этого Н-тройника  
5 подсоединено боковое плечо Н-тройника следующего, а к свободному прямому плечу следующего Н-тройника подсоединен свободный торец следующей секции.

10

15

20

25

30

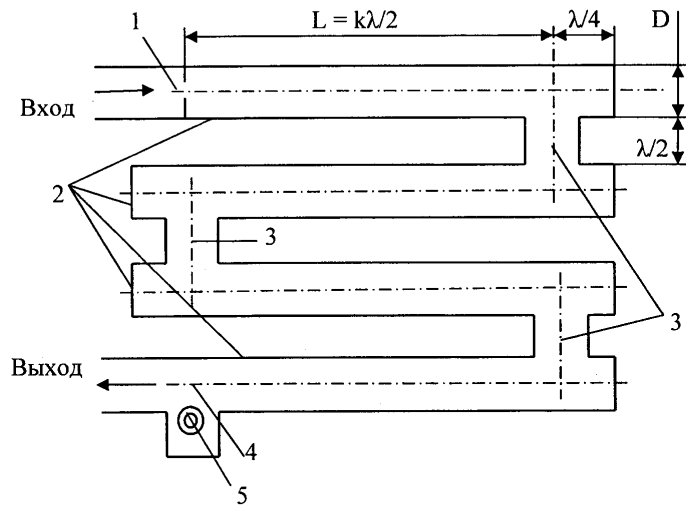
35

40

45



Резонансный СВЧ компрессор  
с планарно-объемным резонатором



Фиг.1