



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*H03B 19/00 (2022.08); H01P 1/20318 (2022.08); H01P 7/082 (2022.08)*

(21)(22) Заявка: 2022109814, 11.04.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.04.2022Дата регистрации:  
21.03.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.04.2022

(45) Опубликовано: 21.03.2023 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,  
ФИЦ КНЦ СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),  
Соловьев Платон Николаевич (RU),  
Лексиков Александр Александрович (RU),  
Лексиков Андрей Александрович (RU),  
Говорун Илья Валериевич (RU),  
Афонин Алексей Олегович (RU),  
Угрюмов Андрей Витальевич (RU),  
Скоморохов Георгий Витальевич (RU),  
Боев Никита Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный  
исследовательский центр "Красноярский  
научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО  
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2758540 C1, 29.10.2021. RU  
2756841 C1, 06.10.2021. RU 2108656 C1,  
10.04.1998. RU 2708342 C1, 05.12.2019. CN  
204375894 U, 03.06.2015. JP 2006128912 A,  
18.05.2006. JP 2011159940 A, 18.08.2011.  
ГОВОРУН И.В., АФОНИН А.О., УГРЮМОВ  
А.В., ЛЕКСИКОВ А.А., БОЕВ Н.М.  
Магнитный умножитель частоты //  
Современные проблемы радиоэлектроники.  
2022. С.267-273.

## (54) УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ НА ТОНКОЙ МАГНИТНОЙ ПЛЕНКЕ

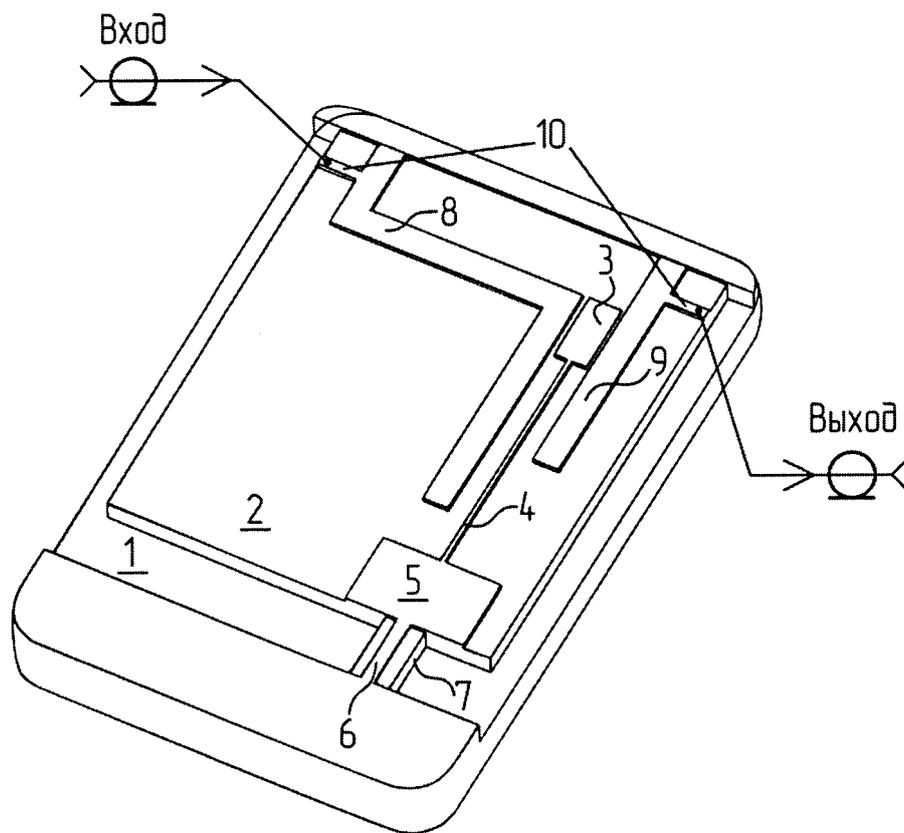
(57) Реферат:

Изобретение относится к технике  
сверхвысоких частот и предназначено для  
умножения частоты СВЧ-сигналов в системах  
связи, радиолокации, радионавигации, различной  
измерительной и специальной радиоаппаратуре.  
Техническим результатом изобретения является  
расширение полосы рабочих частот. Удвоитель  
частоты на тонкой магнитной пленке  
дополнительно содержит два четвертьволновых

микрорезонаторов, один из которых  
является входным, а другой – выходным. Один  
конец полоскового проводника каждого из  
микрорезонаторов соединен с  
металлическим основанием. Ширина и длина  
входного резонатора подобраны таким образом,  
что резонансная частота его первой моды  
колебаний равна  $f_1$ , резонансная частота второй  
моды колебаний превышает  $2f_1$ . Ширина и длина

выходного резонатора подобраны таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $2f_1$ . Входной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют входной фильтр,

центральная частота рабочей полосы которого составляет  $f_1$ . Выходной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют выходной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $2f_1$ . 5 ил.



Фиг. 1

RU 2792265 C1

RU 2792265 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*H03B 19/00 (2022.08); H01P 1/20318 (2022.08); H01P 7/082 (2022.08)*(21)(22) Application: **2022109814, 11.04.2022**(24) Effective date for property rights:  
**11.04.2022**Registration date:  
**21.03.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **11.04.2022**(45) Date of publication: **21.03.2023** Bull. № 9

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,  
FITS KNTS SO RAN, patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Belyaev Boris Afanasevich (RU),  
Solovev Platon Nikolaevich (RU),  
Leksikov Aleksandr Aleksandrovich (RU),  
Leksikov Andrej Aleksandrovich (RU),  
Govorun Ilya Valerievich (RU),  
Afonin Aleksej Olegovich (RU),  
Ugryumov Andrej Vitalevich (RU),  
Skomorokhov Georgij Vitalevich (RU),  
Boev Nikita Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj  
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj  
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii  
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)  
(RU)**(54) **FREQUENCY DOUBLER ON A THIN MAGNETIC FILM**

(57) Abstract:

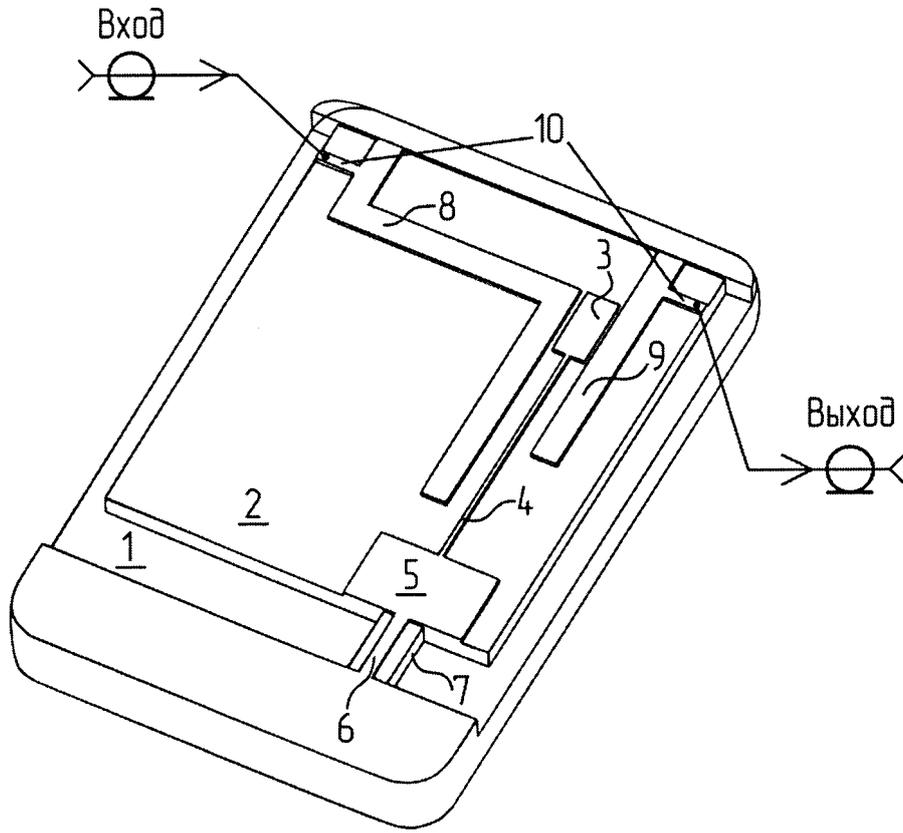
FIELD: ultrahigh frequency technology.

SUBSTANCE: The invention is designed for multiplying the frequency of microwave signals in communication systems, radar, radio navigation, various measuring and special radio equipment. The frequency doubler on a thin magnetic film additionally contains two quarter-wave microstrip resonators one of which is the input and the other is the output. One end of the strip conductor of each of the microstrip resonators is connected to a metal base. The width and length of the input resonator are selected in such a way that the resonant frequency of its first mode of oscillation is equal to  $f_1$ , the resonant frequency of the second mode

of oscillation exceeds  $2f_1$ . The width and length of the output resonator are selected in such a way that the resonant frequency of its first mode of oscillation is equal to  $2f_1$ . The input resonator together with an irregular quarter-wave resonator form an input filter, the central frequency of the working band of which is  $f_1$ . The output resonator together with an irregular quarter-wave resonator form an output filter, the central frequency of the working band of which is  $2f_1$ .

EFFECT: The present invention enables to expand the operating frequency band.

1 cl, 5 dwg



Фиг. 1

RU 2792265 C1

RU 2792265 C1

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот и предназначено для умножения частоты СВЧ-сигналов в системах связи, радиолокации, радионавигации, различной измерительной и специальной радиоаппаратуре.

5 Известен умножитель частоты на полосковом резонаторе с магнитной пленкой [патент РФ №2756841, опубл. 06.10.21, Бюл. №28], содержащий металлическое основание, служащее экраном, отрезки микрополосковых линий и тонкую магнитную пленку, нанесенную на подложку. Полосковые проводники отрезков микрополосковых и несимметричных полосковых линий образуют полуволновый нерегулярный резонатор в виде буквы П, причем размеры всех его проводников подобраны таким образом, что  
10 резонансная частота его второй моды колебаний ровно в два раза превышает резонансную частоту первой моды колебаний  $f_1$ , а частота третьей моды не кратна частоте  $f_1$ . Тонкая магнитная пленка располагается между проводниками отрезков несимметричных воздушных полосковых линий и экраном резонатора. Выходной сигнал снимается в точке, где для входного сигнала в резонаторе располагается узел  
15 напряжения.

Недостатком известного устройства является низкий коэффициент преобразования (на частоте 1 ГГц и при входной мощности 2150 мВт коэффициент преобразования при умножении частоты на два составляет 0.18%) и узкая полоса рабочих частот (по оценкам относительная ширина полосы рабочих частот не превышает 1%).

20 Наиболее близким по совокупности существенных признаков аналогом является умножитель частоты на тонкой магнитной пленке [патент РФ №2758540, опубл. 29.10.2021, Бюл. №31], содержащий металлическое основание, служащее экраном, диэлектрическую подложку, отрезки микрополосковых линий и тонкую магнитную пленку, используемую в качестве нелинейного элемента. Отрезки микрополосковых  
25 линий вместе с отрезком несимметричной воздушной полосковой линии образуют нерегулярный четвертьволновый резонатор, размеры полосковых проводников которого подобраны таким образом, что резонансная частота его второй моды колебаний ровно в два раза превышает резонансную частоту первой моды колебаний  $f_1$ , а резонансная  
30 частота третьей моды не кратна резонансной частоте первой моды колебаний  $f_1$ . Тонкая магнитная пленка помещается между полосковым проводником и металлическим основанием в отрезке несимметричной воздушной полосковой линии, один конец которой соединен с металлическим основанием.

Такое устройство имеет более высокий, по сравнению с первым аналогом, коэффициент преобразования. Существенным недостатком конструкции-прототипа  
35 является узкая рабочая полоса частот (по оценкам, относительная ширина полосы рабочих частот не превышает 1%). Это обусловлено тем, что устройство-прототип содержит один резонатор, следовательно, эффективно работать оно может только на одной частоте, соответствующей резонансной частоте первой моды колебаний этого  
40 резонатора.

Техническим результатом заявляемого изобретения является расширение полосы рабочих частот.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в удвоителе частоты на тонкой магнитной пленке, содержащем диэлектрическую подложку, металлическое  
45 основание, служащее экраном, используемую в качестве нелинейного элемента тонкую магнитную пленку, нерегулярный четвертьволновой резонатор, который сформирован регулярными отрезками микрополосковых линий и отрезком несимметричной воздушной полосковой линии, соединенной одним концом с металлическим основанием,

причем размеры регулярных отрезков линий подобраны таким образом, что резонансная частота его второй моды колебаний ровно в два раза выше резонансной частоты первой моды колебаний  $f_1$ , а резонансная частота третьей моды колебаний не кратна  $f_1$ , новым является то, что в устройство дополнительно введены два четвертьволновых микрополосковых резонатора, один из которых является входным, а другой - выходным, при этом один конец полоскового проводника каждого из них соединен с металлическим основанием, ширина и длина входного резонатора подобраны таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $f_1$ , резонансная частота второй моды колебаний превышает  $2f_1$ , а ширина и длина выходного резонатора подобрана таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $2f_1$ , при этом входной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют входной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $f_1$ , а выходной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют выходной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $2f_1$ .

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается тем, что в устройство дополнительно введены два четвертьволновых микрополосковых резонатора, один из которых является входным, а другой - выходным, при этом один конец полоскового проводника каждого из них соединен с металлическим основанием, ширина и длина входного резонатора подобраны таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $f_1$ , резонансная частота второй моды колебаний превышает  $2f_1$ , а ширина и длина выходного резонатора подобрана таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $2f_1$ , при этом входной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют входной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $f_1$ , а выходной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют выходной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $2f_1$ . Величина взаимодействия резонаторов в фильтрах определяет ширину полосы пропускания каждого из них, что отражается на ширине полосы рабочих частот всего устройства.

Таким образом, указанное выше отличие позволяет сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признак, отличающий заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлен в других технических решениях и, следовательно, обеспечивает заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами: на фиг. 1 показана конструкция заявляемого удвоителя частоты на тонкой магнитной пленке; на фиг. 2 показана модель тонкой магнитной пленки с указанием ориентации оси легкого намагничивания (ОЛН), а также направления высокочастотного  $H_{СВЧ}$  и постоянного подмагничивающего  $H_0$  магнитных полей в устройстве; на фиг. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика удвоителя частоты, а на фиг. 4 приведена его передаточная характеристика; на фиг. 5 приведена зависимость выходной мощности устройства от частоты входного сигнала.

Заявляемый удвоитель частоты на тонкой магнитной пленке содержит (фиг. 1) металлическое основание (1), служащее экраном, на которое помещена диэлектрическая подложка (2), с расположенным на ее поверхности отрезками полосковых линий (ПЛ)

(3), (4), (5), последовательное соединение которых с отрезком несимметричной воздушной ПЛ (6) формирует нерегулярный четвертьволновый резонатор (отдельно не обозначен). Один конец отрезка несимметричной воздушной ПЛ (6) соединен с отрезком ПЛ (5), а другой с металлическим основанием (1). Замыкание отрезка несимметричной воздушной ПЛ (6) на металлическое основание (1) приводит к формированию пучности магнитного поля в этом месте для всех мод колебаний. Подложка (7) с тонкой магнитной пленкой (ТМП) помещена между несимметричной воздушной ПЛ (6) и металлическим основанием (1). Длины и ширины ПЛ (3), (4), (5) и несимметричной воздушной ПЛ (6) выбраны исходя из следующих условий: частоты первой и второй мод колебаний нерегулярного четвертьволнового резонатора, сформированного этими линиями, должны равняться  $f_1$  и  $2f_1$  соответственно, а частота третьей моды колебаний должна быть некратна  $f_1$ .

На поверхность диэлектрической подложки также нанесены два дополнительных соединенных с металлическим основанием (1) четвертьволновых резонатора, один из которых является входным резонатором (8), а другой - выходным (9). Резонансная частота второй моды колебаний входного резонатора (8) выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ . Резонансная частота первой моды колебаний выходного резонатора (9) равна удвоенной частоте первой моды колебаний входного резонатора (8) -  $2f_1$ . Входной резонатор (8) совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором, образованным последовательным соединением отрезков ПЛ (3), (4), (5) и отрезком несимметричной воздушной полосковой линии (6), образуют входной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $f_1$ , а выходной резонатор (9) совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют выходной фильтр. Таким образом, полосу пропускания входного фильтра с центральной частотой равной  $f_1$  формируют резонансы нижайших мод колебаний входного резонатора (8) и нерегулярного четвертьволнового резонатора. Резонансы второй моды колебаний нерегулярного четвертьволнового резонатора и первой моды колебаний выходного резонатора (9) формируют полосу пропускания выходного фильтра с центральной частотой  $2f_1$ . Таким образом нерегулярный четвертьволновой резонатор одновременно является выходным резонатором входного фильтра и входным резонатором выходного фильтра. Ширины полос пропускания входного и выходного фильтров определяют ширину рабочих частот конструкции удвоителя частоты. Изменением расстояния между резонаторами заявляемого устройства можно регулировать ширину полос пропускания входного и выходного фильтров, а, значит, можно формировать требуемую полосу рабочих частот всего устройства. Положение точек (10) кондуктивного подключения входного (8) и выходного (9) резонаторов выбирается из условия обеспечения необходимой степени связи этих резонаторов с внешними СВЧ-линиями. Источник сигнала подключается к входному резонатору (8), а полезный сигнал на удвоенной частоте снимается с выходного резонатора (9). На фиг. 2 показана подложка (7) с ТМП и ориентация ОЛН тонкой магнитной пленки, а также направления высокочастотного  $H_{СВЧ}$  и постоянного подмагничивающего  $H_0$  магнитных полей в устройстве. Ориентация ОЛН ТМП совпадает с направлением высокочастотного магнитного поля  $H_{СВЧ}$ , создаваемого СВЧ-током в несимметричной воздушной ПЛ (6), как указано на фиг. 1. Внешним источником создается постоянное подмагничивающее поле  $H_0$  (фиг. 2) под углом  $\phi$  к ОЛН ТМП.

Устройство работает следующим образом. Сигнал с частотой  $f_1$  поступает на входной

резонатор (8) и возбуждает в нем электромагнитные колебания на частоте  $f_1$ , которые возбуждают в нерегулярном четвертьволновом резонаторе, образованном отрезками ПЛ (3), (4), (5) и несимметричной воздушной ПЛ (6), электромагнитные колебания этой же частоты, что приводит к возбуждению вынужденных колебаний намагниченности в ТМП как на частоте  $f_1$ , так и на кратных  $f_1$  частотах благодаря нелинейным свойствам ТПМ. Колебания магнитного момента ТМП создают электромагнитные колебания на этих же частотах в нерегулярном четвертьволновом резонаторе, резонансные частоты двух нижайших мод колебаний которого составляют  $f_1$  и  $2f_1$ , поэтому именно на этих частотах в нем особенно эффективно возбуждаются электромагнитные колебания. На выход заявляемого устройства проходит сигнал только на частоте  $2f_1$ , так как резонанс первой моды колебаний выходного резонатора (9) совместно с резонансом второй моды колебаний нерегулярного четвертьволнового резонатора образуют полосно-пропускающий фильтр с центральной частотой  $2f_1$ . Если частоту второй моды колебаний нерегулярного четвертьволнового резонатора и частоту первой моды колебаний выходного резонатора (9) настроить на частоту  $3f_1$ , то устройство превратится в умножитель частоты на 3.

Для иллюстрации работоспособности заявляемого устройства был изготовлен макет заявляемого удвоителя частоты на тонкой магнитной пленке (фиг. 1). На металлическом основании (1) была размещена диэлектрическая подложка (2) с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=3,55$  и толщиной 0,5 мм, размеры подложки - 29 мм × 33 мм. Ширина входного (8) и выходного (9) резонаторов составляет 2 мм, их длина - 39 мм и 19,5 мм соответственно. Размеры отрезков ПЛ (3) - 5,0 мм × 2,45 мм, (4) - 17,7 мм × 0,3 мм, (5) - 5,3 мм × 8,7 мм. Несимметричная воздушная ПЛ (6) выполнена с шириной 1 мм и длиной 5,2 мм. Зазоры между отрезком ПЛ (3) и входным (8) и выходным (9) резонаторами составляют 0,44 мм и 0,28 мм соответственно. Однослойная тонкая магнитная пленка толщиной 100 нм, полученная вакуумным напылением пермаллоя состава  $N_{i70}F_{e30}$  на стеклянную подложку (7) толщиной 0,5 мм, располагается между проводником несимметричной воздушной ПЛ (8) и металлическим основанием (1). Положение точек (10) кондуктивного подключения входного и выходного фильтров к внешним линиям передачи определяется из условия, чтобы уровень отражения в рабочих полосах устройства не превышал -14 дБ. Общие размеры устройства составляют 29 мм × 40 мм. Внешнее подмагничивающее поле  $H_0=7,5$  Э было направлено (фиг. 2) под углом  $\phi=35^\circ$  к направлению сверхвысокочастотного магнитного поля  $H_{свч}$ .

На фиг. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика заявляемого удвоителя частоты на тонкой магнитной пленке. Видно, что центральная частота рабочей полосы выходного фильтра ровно в два раза выше центральной частоты входного фильтра:  $f_1=1,0028$  ГГц и  $f_2=2,0056$  ГГц. На фиг. 4 приведена зависимость мощности выходного сигнала на центральной частоте второй рабочей полосы от мощности входного сигнала с частотой 1,0028 ГГц. Выходная мощность на частоте 2,0056 ГГц составила 7,74 мВт при входной мощности на частоте 1,0028 ГГц равной 2040 мВт, таким образом, коэффициент преобразования устройства составил 0,4%. На фиг. 5 приведена зависимость выходной мощности устройства от частоты входного сигнала. Ширина рабочих частот по уровню 3 дБ составила 23 МГц, что соответствует 2,3% (по оценке, ширина рабочих частот конструкции прототипа не превышает 1%).

(57) Формула изобретения

Удвоитель частоты на тонкой магнитной пленке, содержащий диэлектрическую подложку, металлическое основание, служащее экраном, используемую в качестве нелинейного элемента тонкую магнитную пленку, нерегулярный четвертьволновой резонатор, который сформирован регулярными отрезками микрополосковых линий и отрезком несимметричной воздушной полосковой линии, соединенной одним концом с металлическим основанием, причем размеры регулярных отрезков линий подобраны таким образом, что резонансная частота его второй моды колебаний ровно в два раза выше резонансной частоты первой моды колебаний  $f_1$ , а резонансная частота третьей моды колебаний не кратна  $f_1$ , отличающийся тем, что в устройство дополнительно введены два четвертьволновых микрополосковых резонатора, один из которых является входным, а другой - выходным, при этом один конец полоскового проводника каждого из них соединен с металлическим основанием, ширина и длина входного резонатора подобраны таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $f_1$ , резонансная частота второй моды колебаний превышает  $2f_1$ , а ширина и длина выходного резонатора подобраны таким образом, что резонансная частота его первой моды колебаний равна  $2f_1$ , при этом входной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют входной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $f_1$ , а выходной резонатор совместно с нерегулярным четвертьволновым резонатором образуют выходной фильтр, центральная частота рабочей полосы которого составляет  $2f_1$ .

25

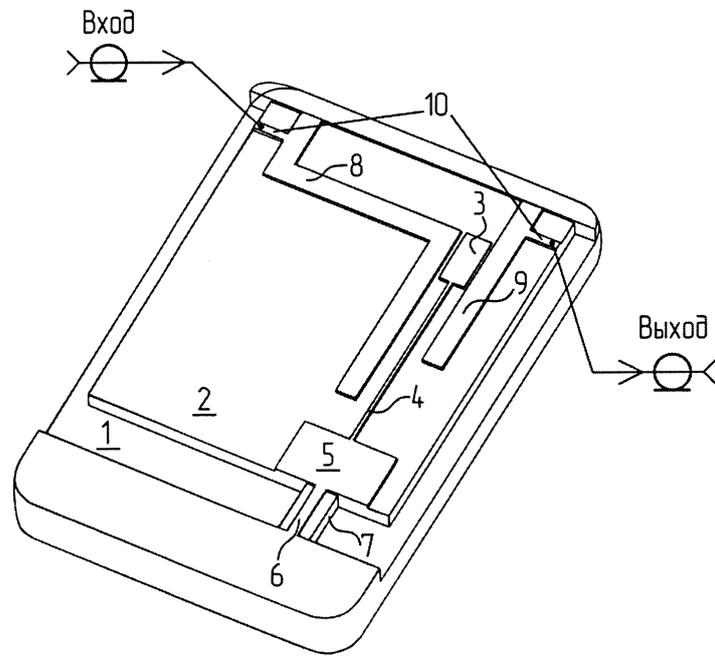
30

35

40

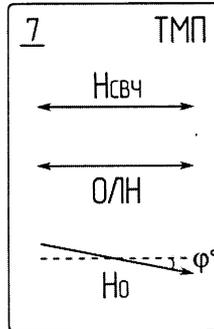
45

1

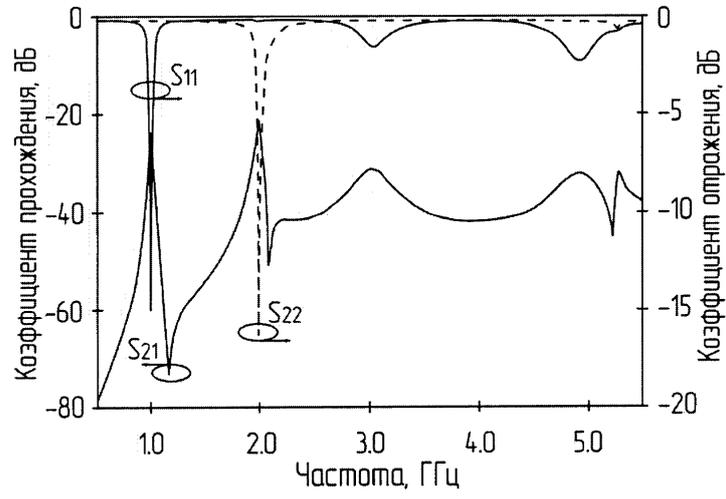


Фиг. 1

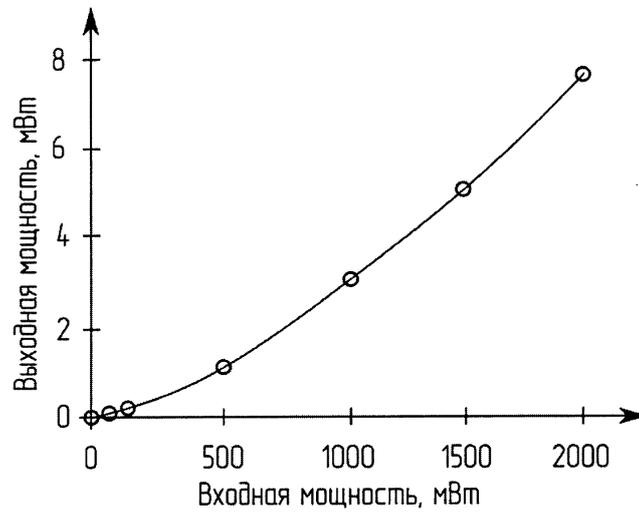
2



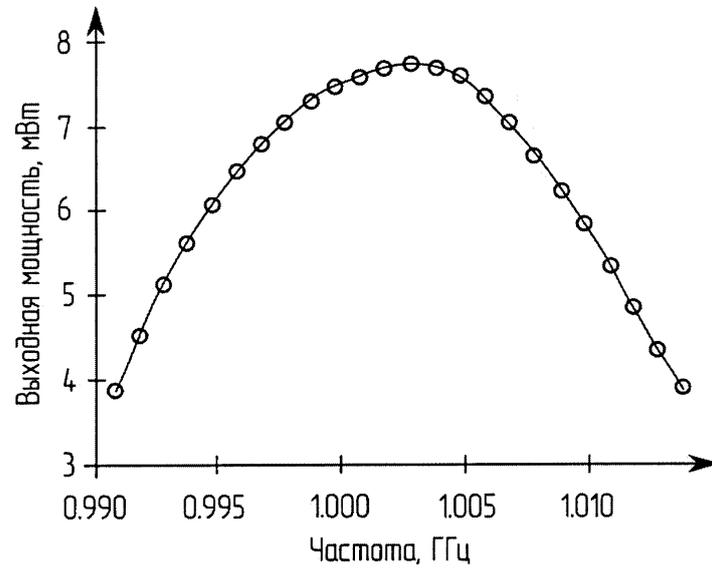
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

*Фиг. 5*