



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H03B 19/00 (2022.08); H01P 1/203 (2022.08); H01P 1/2082 (2022.08); H01P 7/082 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022109627, 11.04.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.04.2022Дата регистрации:  
29.11.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.04.2022

(45) Опубликовано: 29.11.2022 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,  
отдел патентной и изобретательской работы

(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 2734448 C1, 16.10.2020. RU  
2763482 C1, 29.12.2021. RU 2756841 C1,  
06.10.2021. RU 2758540 C1, 29.10.2021. CN  
102386464 A, 21.03.2012. CN 204375894 U,  
03.06.2015. CN 111244587 A, 05.06.2020. EP  
0108003 A1, 09.05.1984.

## (54) ПОЛОСКОВЫЙ УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

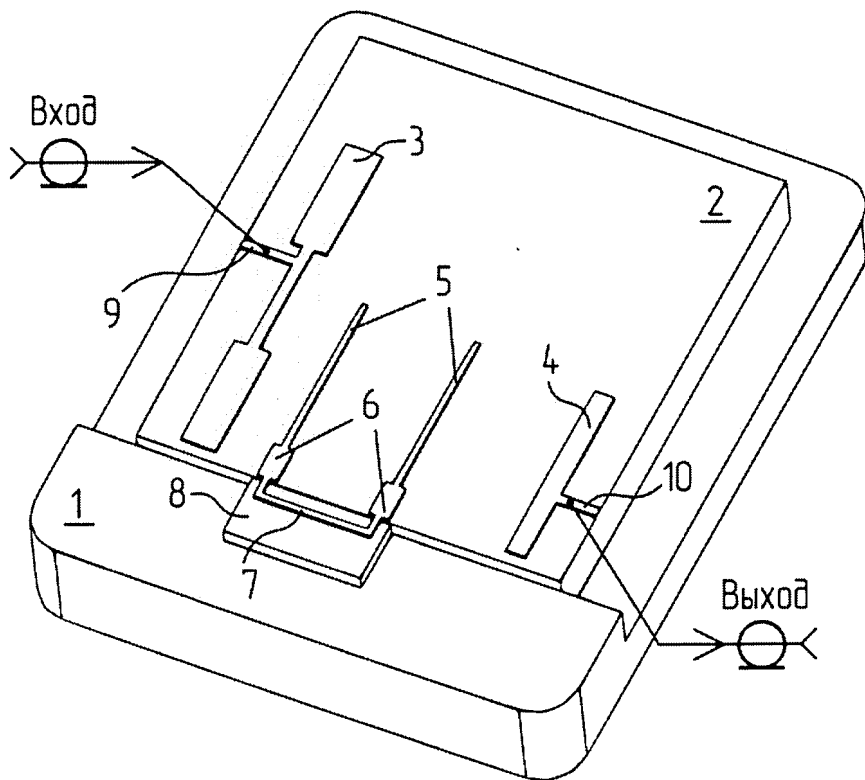
(57) Реферат:

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 повышение коэффициента преобразования устройства и расширение полосы рабочих частот при сохранении высокой радиационной стойкости. Полосковый удвоитель частоты содержит металлическое основание и каскадно-соединенные входной и выходной микрополосковые фильтры. Металлическое

основание служит экраном. Выходной резонатор входного фильтра одновременно является входным резонатором выходного фильтра. Первая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра равна частоте входного сигнала. Вторая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра и резонансная частота выходного резонатора выходного фильтра равны частоте выходного сигнала устройства. В качестве нелинейного элемента используется магнитная пленка. Входной резонатор входного фильтра является нерегулярным, т.е. выполнен со скачком

волнового сопротивления, и частота его второй моды колебаний  $f_2$  выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ . Отрезки двух параллельных микрополосковых линий, соединенных смежными концами отрезком несимметричной полосковой линии с воздушным заполнением, образуют выходной резонатор входного фильтра с П-образной формой

полоскового проводника. Магнитная пленка помещается между полосковым проводником и экраном в отрезке несимметричной воздушной полосковой линии. Частота третьей моды колебаний  $f_3$  выходного резонатора входного фильтра не кратна частоте первой моды колебаний  $f_1$ . 5 ил.



Фиг. 1

RU 2784658 C1

RU 2784658 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

H03B 19/00 (2022.08); H01P 1/203 (2022.08); H01P 1/2082 (2022.08); H01P 7/082 (2022.08)

(21)(22) Application: 2022109627, 11.04.2022

(24) Effective date for property rights:  
11.04.2022Registration date:  
29.11.2022

Priority:

(22) Date of filing: 11.04.2022

(45) Date of publication: 29.11.2022 Bull. № 34

Mail address:

660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,  
otdel patentnoj i izobretatelskoj raboty

(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 byudzhethnoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj  
issledovatel'skij tsentr "Krasnojarskij nauchnyj  
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii  
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)  
(RU)

## (54) STRIP FREQUENCY DOUBLER

(57) Abstract:

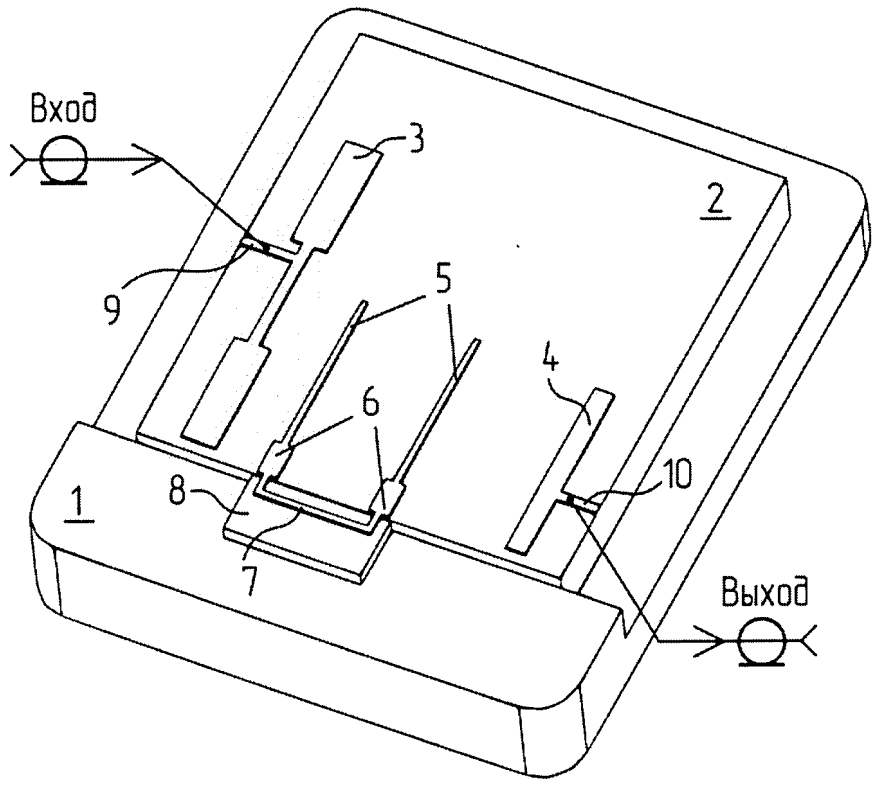
FIELD: microwave technology.

SUBSTANCE: invention relates to microwave technology and is intended for frequency multiplication of microwave signals in communication systems, radar, radio navigation, various measuring and special radio equipment. The strip frequency doubler contains a metal base and cascade-connected input and output microstrip filters. The metal base serves as a screen. The output resonator of the input filter is also the input resonator of the output filter. The first resonant frequency of the output resonator of the input filter is equal to the frequency of the input signal. The second resonant frequency of the output resonator of the input filter and the resonant frequency of the output resonator of the output filter are equal to the frequency of the output signal of the device. A magnetic film is used as a non-linear element. The input resonator of the input filter is

irregular, i.e. is made with a jump in wave resistance, and the frequency of its second oscillation mode  $f_2$  is higher than the doubled frequency of the first oscillation mode  $f_1$ . Segments of two parallel microstrip lines connected by adjacent ends by a segment of an unbalanced air-filled strip line form the output resonator of the input filter with a U-shaped strip conductor. The magnetic film is placed between the strip conductor and the screen in a segment of an asymmetric air strip line. The frequency of the third oscillation mode  $f_3$  of the output resonator of the input filter is not a multiple of the frequency of the first oscillation mode  $f_1$ .

EFFECT: increasing the conversion factor of the device and expanding the operating frequency band while maintaining high radiation resistance.

1 cl, 5 dwg



Фиг. 1

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

Известен умножитель частоты [патент РФ №2108656, МПК H03B 19/05 опубл. 10.04.98], содержащий каскадно-соединенные входной и выходной микрополосковые фильтры, в которых выходной резонатор входного фильтра одновременно является входным резонатором выходного фильтра, к одному или обоим его концам подключены варакторные диоды, замкнутые на землю, его первая резонансная частота равна частоте входного сигнала, вторая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра равна частоте выходного сигнала устройства, а резонансная частота выходного резонатора выходного фильтра равна частоте выходного сигнала.

Недостатком конструкции известного устройства является его низкая радиационная стойкость, т.к. в нем в качестве нелинейного элемента используется варакторный диод.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является умножитель частоты [патент РФ №2734448, МПК H03B 19/00, опубл. 16.10.2020], содержащий каскадно-соединенные входной и выходной микрополосковые фильтры, в которых выходной резонатор входного фильтра одновременно является входным резонатором выходного фильтра, его первая резонансная частота равна частоте входного сигнала, вторая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра равна частоте выходного сигнала устройства, при этом резонансная частота выходного резонатора выходного фильтра также равна частоте выходного сигнала. В качестве нелинейного элемента в устройстве используется магнитная пленка, помещенная на полосковый проводник выходного резонатора входного фильтра. Устройство обладает повышенной радиационной стойкостью, так как в качестве нелинейного элемента в нем используется магнитная пленка.

Существенными недостатками конструкции-прототипа являются низкий коэффициент преобразования (при частоте входного сигнала 1 ГГц и входной мощности 10 Вт коэффициент преобразования при удвоении частоты составляет всего 0.01%), а также сравнительно узкая полоса рабочих частот (по оценкам, ширина полосы рабочих частот составляет не более 1%).

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение коэффициента преобразования устройства и расширение полосы рабочих частот при сохранении высокой радиационной стойкости.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в полосковом удвоителе частоты, содержащем металлическое основание, служащее экраном, каскадно-соединенные входной и выходной микрополосковые фильтры, в которых выходной резонатор входного фильтра одновременно является входным резонатором выходного фильтра, его первая резонансная частота равна частоте входного сигнала, вторая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра равна частоте выходного сигнала устройства, при этом резонансная частота выходного резонатора выходного фильтра также равна частоте выходного сигнала, причем в качестве нелинейного элемента используется магнитная пленка новым является то, что входной резонатор входного фильтра является нерегулярным т.е. выполнен со скачком волнового сопротивления, и частота его второй моды колебаний  $f_2$  выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ , а также тем, что отрезки двух параллельных микрополосковых линий, соединенных смежными концами отрезком несимметричной полосковой линии с воздушным заполнением, образуют выходной резонатор входного фильтра с П-образной формой полоскового проводника, при этом магнитная пленка

помещается между полосковым проводником и экраном в отрезке несимметричной воздушной полосковой линии, а частота третьей моды колебаний  $f_3$  такого резонатора не кратна частоте первой моды колебаний  $f_1$ .

5 Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается тем, что входной резонатор входного фильтра является нерегулярным, и частота его второй моды колебаний  $f_2$  выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ . Это обстоятельство приводит к повышению коэффициента преобразования устройства, так как полезный сигнал, имеющий удвоенную частоту, не проходит на  
10 вход устройства, благодаря чему уменьшаются его потери.

Существенным отличием является также то, что магнитная пленка помещается между металлическим основанием и полосковым проводником в отрезке несимметричной воздушной полосковой линии выходного резонатора входного фильтра.

Третьим существенным отличием заявляемого удвоителя частоты является то, что  
15 размеры полосковых проводников выходного резонатора входного фильтра подобраны таким образом, что его резонансная частота третьей моды колебаний  $f_3$  не кратна  $f_1$ . В результате этого из всего спектра колебаний магнитного момента, возбуждаемых в магнитной пленке, на выходном резонаторе входного фильтра эффективно наведутся только моды, резонансные частоты которых составляют  $f_1$  и  $2f_1$ , что существенно  
20 уменьшает потери СВЧ-мощности на высшие моды.

Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены  
25 в других технических решениях и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами: на фиг. 1 показана конструкция заявляемого полоскового удвоителя частоты; на фиг. 2 показана подложка с магнитной пленкой (МП) и ориентация оси легкого намагничивания (ОЛН) в ней, а также  
30 направления высокочастотного  $H_{СВЧ}$  и постоянного подмагничивающего  $H_0$  магнитных полей в устройстве; на фиг. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика полоскового удвоителя частоты; на фиг. 4 приведена его передаточная характеристика и на фиг. 5 приведена зависимость выходной мощности устройства от частоты входного сигнала.  
35

Заявляемый полосковый удвоитель частоты содержит (фиг. 1) металлическое основание (1), служащее экраном, на котором помещена диэлектрическая подложка (2) с нанесенными на нее полосковыми проводниками входного резонатора входного фильтра (3) и выходного резонатора выходного фильтра (4) и отрезками полосковых  
40 линий (ПЛ) (5), (6). Входной резонатор входного фильтра (3) является нерегулярным, его размеры выбраны таким образом, чтобы резонансная частота его второй моды колебаний  $f_2$  была выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ . Выходной резонатор входного фильтра образован отрезками ПЛ (5), (6) и отрезком несимметричной воздушной полосковой линии (7). Подложка (8) с нанесенной на нее МП помещена между отрезком несимметричной воздушной полосковой линии (7) и  
45 металлическим основанием (1). Длины и ширины отрезков ПЛ (5), (6) и отрезка несимметричной воздушной полосковой линии (7) выбраны исходя из следующих условий: частоты первой и второй мод колебаний выходного резонатора входного

фильтра, должны равняться  $f_1$  и  $2f_1$  соответственно, а частота третьей моды колебаний должна быть не кратна  $f_1$ . Выходной резонатор выходного фильтра (4) является регулярным и полуволновым. Резонансная частота его первой моды колебаний равна удвоенной частоте первой моды колебаний резонатора (3), т.е. равна  $2f_1$ . Таким образом,

5 полосу пропускания входного фильтра с центральной частотой, равной  $f_1$  формируют нижайшие моды колебаний входного резонатора входного фильтра (3) и выходного резонатора входного фильтра, содержащего МП. Взаимодействие второй моды колебаний этого выходного резонатора входного фильтра и первой моды колебаний

10 выходного резонатора выходного фильтра (4) обеспечивает полосу пропускания выходного фильтра с центральной частотой  $2f_1$ . Ширина полосы рабочих частот удвоителя определяется ширинами рабочих частот входного и выходного фильтров, которые зависят от величины связи резонаторов, а значит, от расстояния между ними. Уменьшение расстояния между резонаторами приводит к увеличению полосы рабочих

15 частот фильтров и, следовательно, к расширению рабочей полосы всего устройства. Положение точек (9), (10) кондуктивного подключения входного резонатора входного фильтра (3) и выходного резонатора выходного фильтра (4) выбирается из условия обеспечения необходимой величины связи этих резонаторов с внешними СВЧ-линиями. К входному резонатору входного фильтра (3) подключается источник сигнала, а с

20 выходного резонатора выходного фильтра (4) снимается сигнал с удвоенной частотой. На фиг. 2 показана модель магнитной пленки с указанием ориентации ОЛН, а также направления высокочастотного  $H_{СВЧ}$  и постоянного подмагничивающего  $H_0$  магнитных полей в устройстве. Направление ОЛН магнитной пленки перпендикулярно направлению

25 сверхвысокочастотного магнитного поля  $H_{СВЧ}$ , создаваемого СВЧ-током в несимметричной воздушной полосковой линии (7), как указано на фиг. 1. Внешним источником создается постоянное подмагничивающее поле  $H_0$  под углом  $f$  к  $H_{СВЧ}$  (фиг. 2).

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

30 резонатор входного фильтра (3) и возбуждает в нем электромагнитные колебания на частоте  $f_1$ , которые возбуждают в выходном резонаторе входного фильтра, образованного отрезками ПЛ (5), (6) и отрезком несимметричной воздушной полосковой линии (7) электромагнитные колебания этой же частоты. Это приводит к возбуждению

35 вынужденных колебаний намагниченности в МП, как на частоте  $f_1$ , так и на кратных ей частотах благодаря ее нелинейности. Так как резонансная частота второй моды колебаний выходного резонатора входного фильтра составляет  $2f_1$ , то наиболее интенсивно в резонаторе возбуждаются колебания именно на этой частоте. Взаимодействие второй моды колебаний выходного резонатора входного фильтра и

40 первой моды колебаний выходного резонатора выходного фильтра (4) формируют полосу пропускания выходного фильтра, центральная частота которого составляет  $2f_1$ . Сигналы на частотах полосы пропускания поступают на выход устройства. Если частоту второй моды колебаний выходного резонатора входного фильтра и частоту первой моды колебаний выходного резонатора выходного фильтра (4) настроить на

45 частоту  $3f_1$ , то устройство превратится в умножитель частоты на 3.

Для иллюстрации работоспособности заявляемого устройства был изготовлен макет полоскового удвоителя частоты (фиг. 1). На металлическом основании (1) была размещена диэлектрическая подложка (2) с относительной диэлектрической

проницаемостью  $\epsilon=80$  и толщиной 2 мм, размеры подложки - 21 мм × 22 мм. Размеры

отрезков ПЛ входного резонатора входного фильтра (3) составляют 1.8 мм × 5.44 мм и 0.55 мм × 5.44 мм, а размеры выходного резонатора выходного фильтра (4) - 8.8 мм × 1 мм. Размеры отрезков ПЛ (5) - 7.5 мм × 0.3 мм, (6) - 1.7 мм × 1 мм, а несимметричной воздушной полосковой линии (7) - 5.3 мм × 0.43 мм, при этом расстояние между широкой частью входного резонатора входного фильтра (3) и отрезком (5) выходного резонатора входного фильтра составляет 2.6 мм, а расстояние между отрезком ПЛ (5) и выходным резонатором выходного фильтра (4) - 6.4 мм. Однослойная магнитная пленка толщиной 100 нм из пермаллоя состава Ni<sub>70</sub>Fe<sub>30</sub>, полученная вакуумным напылением на стеклянную подложку (8) толщиной 0.5 мм, помещается между несимметричной воздушной полосковой линией (7) и металлическим основанием (1). Положение точек (9), (10) кондуктивного подключения входного резонатора входного фильтра (3) и выходного резонатора выходного фильтра (4) к внешним линиям передачи определялось из условия, чтобы уровень отражения в рабочих полосах устройства не превышал - 14 дБ. Общие размеры устройства составили 21 мм × 25 мм. Конфигурация и размеры резонаторов, образующих устройство, расстояние между этими резонаторами выбраны таким образом, чтобы обеспечить ширину рабочих частот полоскового удвоителя около 3.4%. Внешнее подмагничивающее поле  $H_0=7.6$  Э было направлено (фиг. 2) под углом  $f=20^\circ$  к направлению высокочастотного магнитного поля  $H_{СВЧ}$ . На фиг. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика полоскового удвоителя частоты. Видно, что центральная частота рабочей полосы выходного фильтра ровно в два раза выше центральной частоты входного фильтра:  $f_1=0.9963$  ГГц и  $f_2=1.9926$  ГГц. На фиг. 4 приведена зависимость мощности выходного сигнала на частоте  $f_2$  от мощности входного сигнала с частотой 0.9963 ГГц. Выходная мощность на частоте 1.9926 ГГц составила 0.633 мВт при входной мощности на частоте 0.9963 ГГц, равной 2040 мВт. Таким образом, коэффициент преобразования удвоителя частоты составил 0.03% (коэффициент преобразования прототипа в 3 раза меньше - 0.01%). На фиг. 5 приведена зависимость выходной мощности устройства от частоты входного сигнала. Ширина рабочих частот по уровню 3 дБ составила 34.3 МГц, что соответствует 3.4% (ширина рабочих частот прототипа почти в 3 раза меньше - 11 МГц, что соответствует 1%).

#### (57) Формула изобретения

Полосковый удвоитель частоты, содержащий металлическое основание, служащее экраном, каскадно-соединенные входной и выходной микрополосковые фильтры, в которых выходной резонатор входного фильтра одновременно является входным резонатором выходного фильтра, его первая резонансная частота равна частоте входного сигнала, вторая резонансная частота выходного резонатора входного фильтра равна частоте выходного сигнала устройства, при этом резонансная частота выходного резонатора выходного фильтра также равна частоте выходного сигнала, причем в качестве нелинейного элемента используется магнитная пленка, отличающийся тем, что входной резонатор входного фильтра является нерегулярным т.е. выполнен со скачком волнового сопротивления, и частота его второй моды колебаний  $f_2$  выше удвоенной частоты первой моды колебаний  $f_1$ , а также тем, что отрезки двух параллельных микрополосковых линий, соединенных смежными концами отрезком несимметричной полосковой линии с воздушным заполнением, образуют выходной резонатор входного фильтра с П-образной формой полоскового проводника, при этом магнитная пленка помещается между полосковым проводником и экраном в отрезке несимметричной воздушной полосковой линии, а частота третьей моды колебаний  $f_3$



такого резонатора не кратна частоте первой моды колебаний  $f_1$ .

5

10

15

20

25

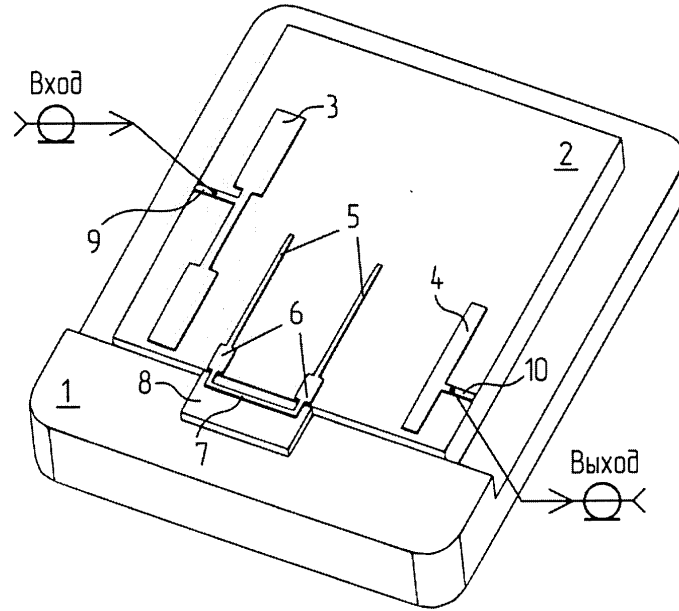
30

35

40

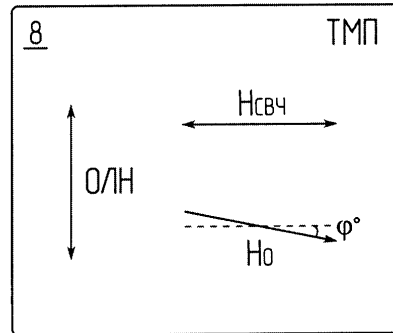
45

1

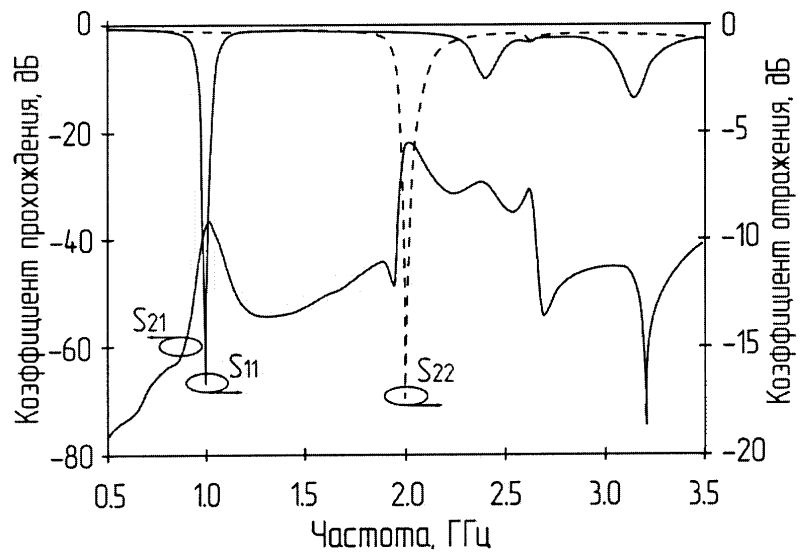


Фиг. 1

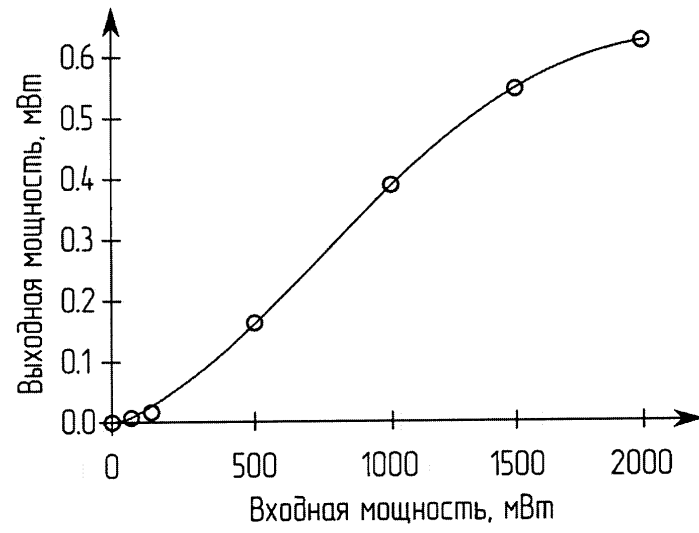
2

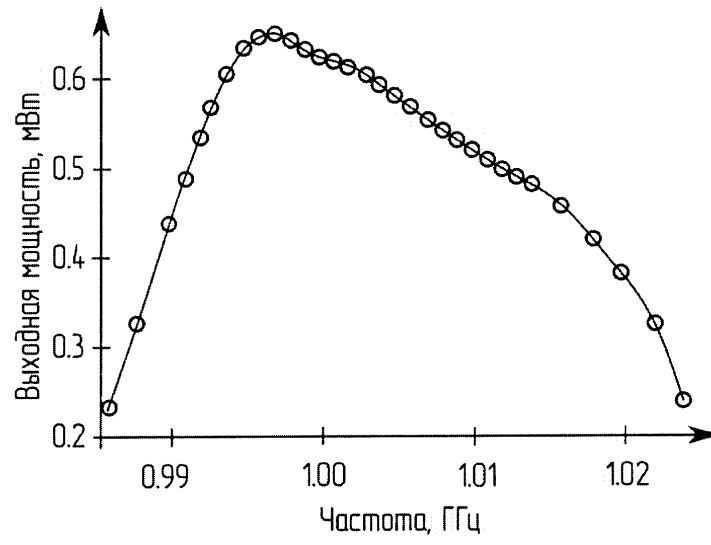


*Фиг. 2*



Фиг. 3

*Фиг. 4*

*Фиг. 5*