

УДК 621.372.411

А.А. Соркин

Волноводные двухмодовые полосно-пропускающие фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами

Рассмотрены волноводный полуволновой резонатор со шлейфом и конструкции фильтров на его основе. Показано, что расположение шлейфа в центре полуволнового резонатора приводит к увеличению затухания сигнала вблизи полосы пропускания фильтров по сравнению с фильтрами на полуволновых резонаторах. С помощью данного типа резонатора полюс затухания можно получать как ниже полосы пропускания, так и выше нее. Приведены геометрические размеры четырех- и восьмизвенного фильтров с симметричной АЧХ. Изготовлен образец дуплексера, включающий в себя четырехзвенный полосно-пропускающий фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами, имеющий несимметричную АЧХ. Получено хорошее совпадение рассчитанных и экспериментальных характеристик.

Ключевые слова: волноводный резонатор, шлейф, полюс затухания, полосно-пропускающий фильтр.

DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-26-33

В X-диапазоне частоты приема и передачи находятся очень близко (частоты приема – 7,25–7,75 ГГц, частоты передачи: 7,9–8,4 ГГц), поэтому использование классических волноводных полосно-пропускающих фильтров на полуволновых резонаторах с индуктивными диафрагмами приводит к тому, что фильтры получаются довольно большими по длине из-за большого количества резонаторов [1, 2]. В данном частотном диапазоне целесообразно применять фильтры с полюсами затухания, имеющие симметричную или несимметричную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

В статьях [3, 4] рассматриваются волноводные полосно-пропускающие фильтры на резонаторах со скачком волнового сопротивления, однако такое решение не позволяет получать АЧХ с полюсами затухания. Улучшается только полоса заграждения выше полосы пропускания и становится возможным подавление до второй гармоники.

В классические волноводные фильтры можно ввести ТЕ₃₀₁-синглеты или ТЕ₂₀₁-синглеты, формирующие полюса либо ниже полосы пропускания, либо выше нее [5]. Такой подход позволяет формировать симметричные и несимметричные АЧХ. Недостатком таких фильтров является то, что каждый синглет увеличивает продольный размер на половину длины волны. Волноводные фильтры на полуволновых резонаторах с использованием емкостных и индуктивных диафрагм и шлейфов на входе и выходе, у которых резонаторы располагаются ступенчато в Е-плоскости, исследованы в [6].

Такой тип фильтров позволяет увеличивать ослабление на частотах второй гармоники. Недостатком является то, что используются полуволновые резонаторы, увеличивающие продольный размер, и то, что сама ступенчатая структура увеличивает еще и высоту фильтра.

Широко известные двухмодовые фильтры на цилиндрических полуволновых резонаторах позволяют получать эллиптическую АЧХ [7], однако нет возможности получать несимметричную АЧХ. Авторы работы [8] исследовали объемные резонаторы

со штырем с двойным резонансом. В зависимости от вида штыря можно получать полюса затухания выше или ниже полосы пропускания. Рассмотренные резонаторы позволяют проектировать фильтры с симметричными и несимметричными АЧХ. Недостатком является работа этих резонаторов на моде Н₂₀₁, что увеличивает ширину.

Авторы статьи [9] исследуют частотно-зависимые триплеты и фильтры на их основе с секциями, формирующими полюса затухания. При всех плюсах рассмотренного метода недостатком является увеличение габаритов. Фильтр на полуволновых резонаторах с организацией связи между несоседними резонаторами рассмотрен в [10]. Недостатком является использование полуволновых резонаторов, не позволяющих сократить продольный размер, также связь между несоседними резонаторами не позволяет получить несимметричную АЧХ.

Изучен фильтр, полуволновые резонаторы которого работают на модах Н₁₀₁ и Н₁₀₂ [11]. У него организована связь между входным и выходным волноводами. В зависимости от ширины окна связи и от того, насколько окно связи удалено от входной диафрагмы фильтра, получается разное количество полюсов затухания как ниже полосы пропускания, так и выше. Недостатком является окно связи между входным и выходным волноводами, которое дополнительно увеличивает продольный размер. В состав фильтров можно вводить нерезонирующие неоднородности различных типов [12–14]. Такой подход позволяет получать симметричные и несимметричные АЧХ.

Недостатком является увеличение ширины и длины фильтров. Еще один способ получения симметричных и несимметричных АЧХ рассмотрен в работе [15]. У классических фильтров на полуволновых резонаторах с индуктивными диафрагмами производят замену индуктивных диафрагм многоэлементными диафрагмами или штырями, смещенными на определенное расстояние от центра широкой стенки волновода. Недостатком является невозможность сократить продольный размер.

Также рассмотрен фильтр [16], один из резонаторов которого работает на моде H_{102} , что позволяет реализовать отрицательную связь между несоседними резонаторами, которая формирует полюса затухания: один – выше полосы пропускания, другой – ниже.

Задачу создания фильтра с малыми потерями в X-диапазоне с возможностью формирования как симметричной, так и несимметричной АЧХ предлагается решить с помощью волноводного фильтра на полуволновых резонаторах с четвертьволновыми шлейфами в центре каждого резонатора. Данные резонаторы имеют три полуволновых отрезка, два из которых формируют полосу пропускания, а один – полюс затухания либо ниже полосы пропускания, либо выше, т.е. данный резонатор является двухмодовым. Эти резонаторы могут работать как на моде H_{101} , так и на моде E_{110} . Таким образом, данные фильтры позволяют сократить продольный размер минимум в два раза.

Принцип работы полуволнового резонатора со шлейфом

В статье [17] предложен резонатор, состоящий из трех отрезков волновода различной длины, близкой к $\Lambda/4$ (Λ – длина волны в волноводе). На рис. 1, а показана продольная конфигурация резонатора. Отрезок 1-2 называется основным, а отрезки 1-3 и 3-2 – дополнительными. Электромагнитная волна, проходящая через четвертьволновые отрезки 1 и 2, является основной модой данного резонатора H_{101} . Моды, образованные отрезками 1-3 и 3-2, называются смешанными, потому что отрезки 1 и 2 работают на волне H_{10} , а отрезок 3 – на волне типа E . Если шлейф (отрезок 3) находится в центре резонатора, т.е., отрезки 1 и 2 имеют равную длину, то положение полюса и второго резонанса в полосе пропускания определяется длиной отрезка 3. Если длина отрезка 3 больше длины отрезка 1 или 2, то полюс и второй резонанс в полосе пропускания будут находиться ниже основного резонанса по частоте, а если длина отрезка 3 меньше длины отрезка 1 или 2, то выше. В общем случае длины отрезков 1 и 2 не равны, положение полюса определяется соотношением полуволновых отрезков 1-2, 1-3 и 3-2.

Назовем описанный резонатор резонатором первого типа (тип 1). В настоящей работе рассматриваются другие варианты резонаторов, позволяющие реализовать более компактные фильтры. На рис. 1, б показана поперечная конфигурация резонатора. Электромагнитная волна, проходящая через четвертьволновые отрезки 1 и 2, является основной модой данного резонатора E_{110} . Моды, образованные отрезками 1-3 и 3-2, назовем смешанными потому, что отрезки 1 и 2 работают на волне типа E , а отрезок 3 – на волне типа H . Положение полюса, как и в предыдущем случае, определяется соотношением полуволновых отрезков 1-2, 1-3 и 3-2. Данный резонатор назовем резонатором второго типа (тип 2).

На рис. 1, в показана конфигурация резонатора, у которого электромагнитная волна, проходящая

через четвертьволновые отрезки 1 и 2, является модой смешанного типа, а мода H_{101} является дополнительной (отрезок 1-3). Данный резонатор назовем резонатором третьего типа (тип 3).

На рис. 1, г показана конфигурация резонатора, у которого электромагнитная волна, проходящая через четвертьволновые отрезки 1 и 2, также является модой смешанного типа, а мода E_{110} является дополнительной (отрезок 3-2). Данный резонатор назовем резонатором четвертого типа (тип 4).

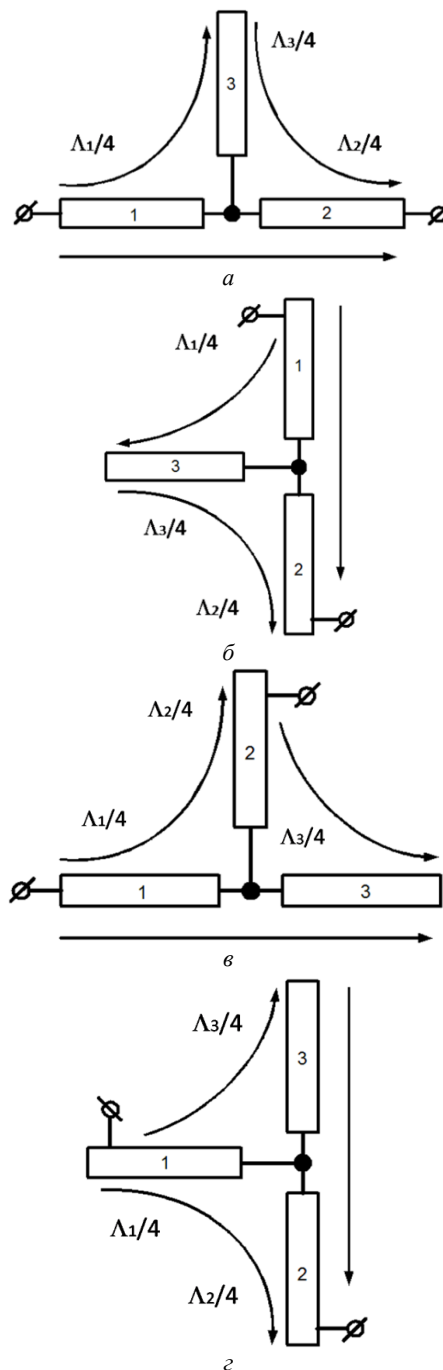


Рис. 1. Структурные схемы волноводных полуволновых резонаторов со шлейфами разной конфигурации: продольная (тип 1) – а; поперечная (тип 2) – б; с основной модой смешанного типа: продольная (тип 3) – в; поперечная (тип 4) – г

Волноводный полосно-пропускающий фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1

Для реализации волноводных полосно-пропускающих фильтров на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1 рассматривается сначала отдельный резонатор. Его электродинамическая модель показана на рис. 2, а, она состоит из подводящих волноводов сечением $28,5 \times 12,6$ мм, индуктивных диафрагм на входе и выходе резонатора и полуволнового резонатора со шлейфом, находящимся в центре. Для данного резонатора можно получить полюс затухания ниже полосы пропускания (см. рис. 2, б и в), S_{11} – обратные потери, S_{21} – характеристика передачи. Положение полюса и дополнительного резонанса в полосе пропускания зависит от высоты шлейфа. Если высота шлейфа больше половины продольной длины резонатора, то полюс получается ниже полосы пропускания, а если меньше, то выше.

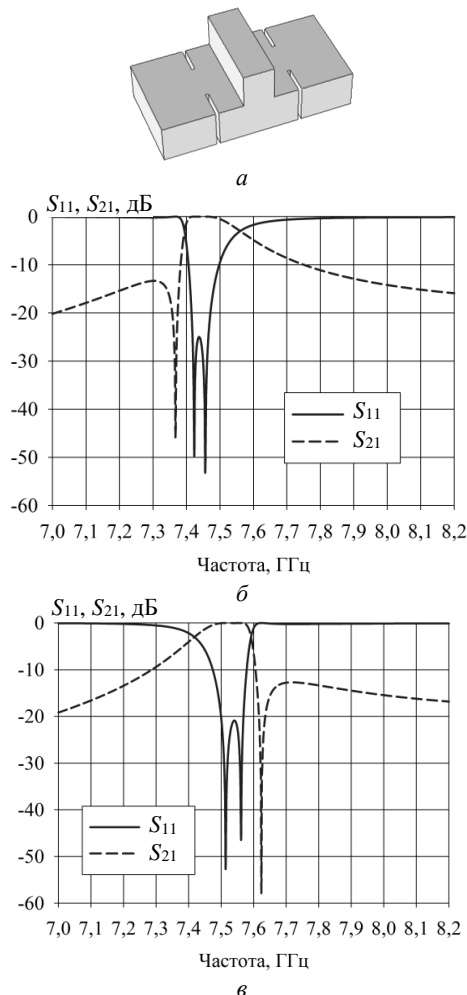


Рис. 2. Волноводный полуволновой резонатор со шлейфом – а; частотные характеристики резонатора: полюс ниже полосы пропускания – б; полюс выше полосы пропускания – в

Продольный размер шлейфа влияет на ширину полосы пропускания, если продольный размер шлейфа увеличивать, то полоса пропускания будет

расширяться, при этом положение полюса по частоте регулируется высотой шлейфа. Объясняется это тем, что увеличение продольного размера шлейфа, находящегося в центре полуволнового резонатора, увеличивает магнитную связь между модами, формирующими полосу пропускания.

С помощью пакета электродинамического моделирования были рассчитаны характеристики четырех- и восьмизвенных фильтров со шлейфами и без шлейфов. На рис. 3, а показаны геометрические размеры четырехзвенного волноводного фильтра на полуволновых резонаторах без шлейфов и со шлейфами, АЧХ приведены на рис. 3, б, серыми линиями показаны характеристики фильтра без шлейфов, черными – со шлейфами. На рис. 3, а размеры даны в миллиметрах.

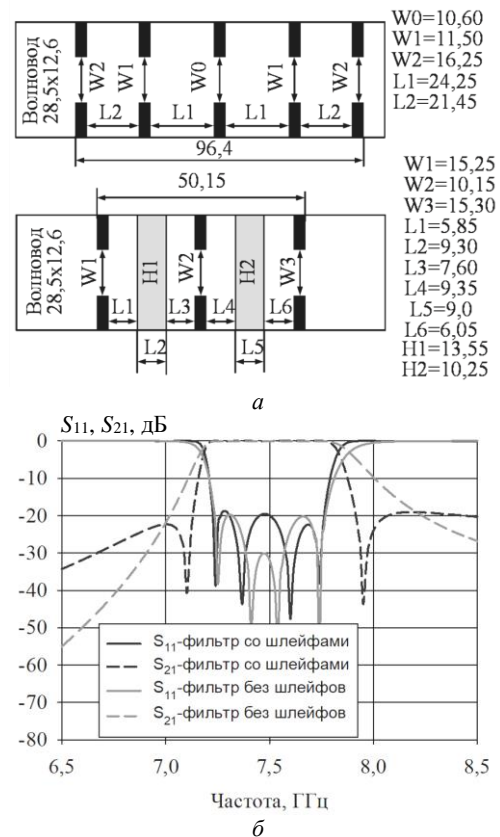


Рис. 3. Геометрические размеры четырехзвенного фильтра на полуволновых резонаторах – а; АЧХ фильтров – б

Из рис. 3 видно, что волноводный полосно-пропускающий фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами имеет длину 50,15 мм, фильтр на полуволновых резонаторах без шлейфов – 96,4 мм, т.е. фильтр со шлейфами имеет почти вдвое меньшую длину. Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) обоих фильтров не более 1,25, потери в полосе пропускания 0,1 дБ, на частоте 7,13 ГГц фильтр без шлейфов имеет затухание 9,44 дБ, а со шлейфами – 20 дБ, на частоте 7,915 ГГц фильтр без шлейфов имеет затухание 4,46 дБ, а со шлейфами – 20 дБ. Таким образом, фильтр со шлейфами имеет большую крутизну склонов АЧХ, чем фильтр без

шлейфов, но при этом продольный размер меньше почти в 2 раза без ухудшения потерь в полосе пропускания.

Размеры и характеристики восьмизвенного фильтра показаны на рис. 4. Видно, что волноводный полосно-пропускающий фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами имеет длину 105 мм, фильтр на полуволновых резонаторах без шлейфов – 203,1 мм, т.е. фильтр со шлейфами имеет почти вдвое меньшую длину.

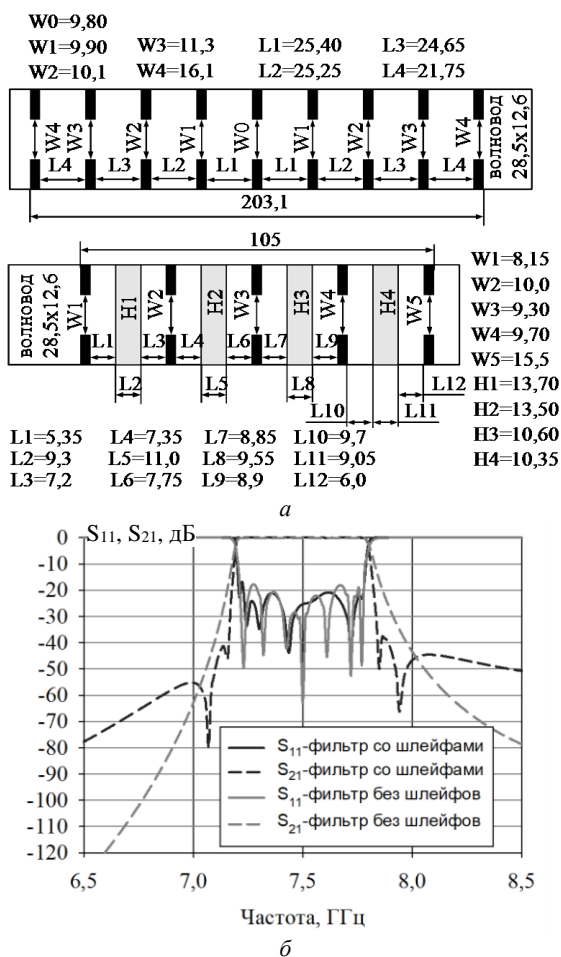


Рис. 4. Геометрические размеры восьмизвенных фильтров на полуволновых резонаторах – а; АЧХ фильтров – б

На рис. 4, а размеры даны в миллиметрах. КСВН обоих фильтров не более 1,3, потери в полосе пропускания 0,2 дБ, на частоте 7,13 ГГц фильтр без шлейфов имеет затухание 33 дБ, а со шлейфами – 42 дБ, на частоте 7,915 ГГц фильтр без шлейфов имеет затухание 28 дБ, а со шлейфами – 41 дБ. Таким образом, фильтр со шлейфами имеет большую крутизну склонов АЧХ, чем фильтр без шлейфов, но при этом продольный размер меньше почти в 2 раза без ухудшения потерь в полосе пропускания.

У резонаторов данного типа можно уменьшить поперечный размер, определяемый высотой шлейфа. Для этого надо уменьшить высоту продольного полуволнового отрезка резонатора, а шлейф свернуть.

статком этих резонаторов является уменьшение добротности, а значит, увеличение потерь в полосе пропускания. У резонаторов, показанных на рис. 5, а и рис. 6, а, продольный полуволновой отрезок и шлейф имеют высоту чуть меньше высоты подводящих волноводов, поэтому резонатор имеет поперечные габариты, немного превышающие сечение подводящих волноводов.

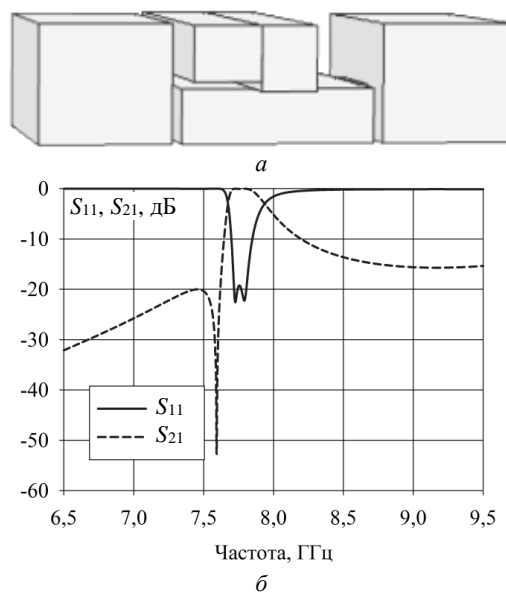


Рис. 5. Компактный полуволновой резонатор со свернутым шлейфом с полюсом затухания ниже полосы пропускания – а; его АЧХ – б

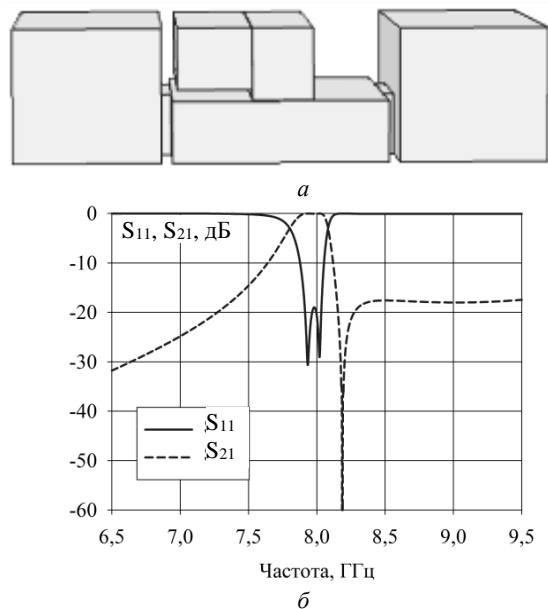


Рис. 6. Компактный полуволновой резонатор со свернутым шлейфом с полюсом затухания выше полосы пропускания – а; его АЧХ – б

Из рис. 3 и 4 видно, что фильтры со шлейфами, имея вдвое меньшую длину, обладают лучшей крутизной АЧХ. В отличие от двухмодовых фильтров на цилиндрических резонаторах и на ТМ-модах, данный фильтр может иметь и несимметричную АЧХ. Волноводные резонаторы со шлейфами могут чере-

доваться с резонаторами и без шлейфов, что еще больше расширяет область применения данного типа резонаторов. Паразитная полоса фильтра на резонаторах со шлейфами находится на частоте $1,6f_0$ при ширине полосы 6,6%, т.е. выше, чем у двухмодовых фильтров на цилиндрических резонаторах. При уменьшении ширины полосы пропускания паразитная полоса будет смещаться вверх по частоте.

Волноводные полосно-пропускающие фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 2 и типа 4

Фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 2 и типа 4 также были рассчитаны с помощью пакета электродинамического моделирования. Волноводный резонатор со шлейфом типа 2 и его частотные характеристики с полюсом затухания ниже и выше полосы пропускания показаны на рис. 7, а–в.

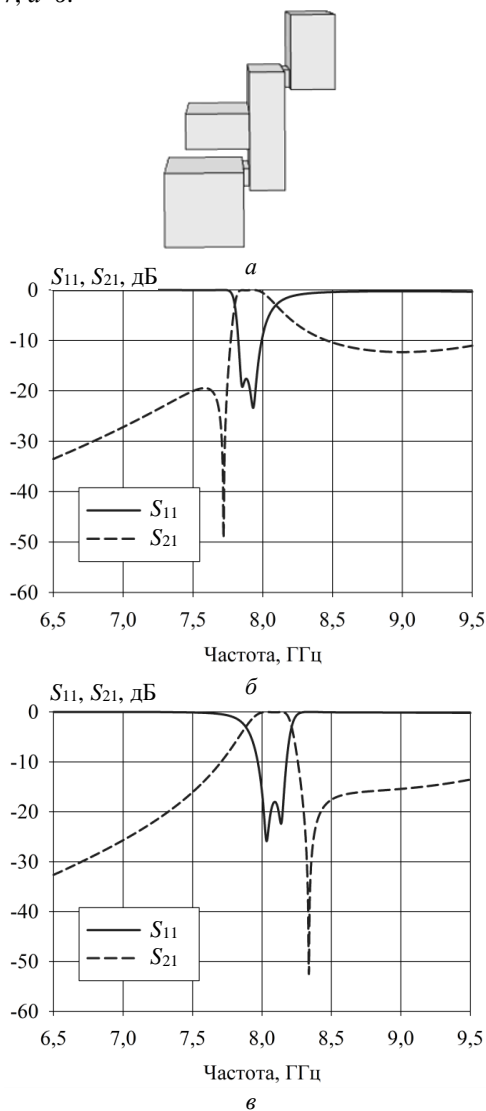


Рис. 7. Полуволновой резонатор со шлейфом типа 2 – а; АЧХ резонатора с полюсом затухания : ниже полосы пропускания – б; выше полосы пропускания – в

Структура фильтра на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 2 показана на рис. 8, а, его

частотные характеристики – на рис. 8, б. Стоит отметить, что у данного фильтра можно уменьшить продольный размер, если выполнить шлейфы с изгибом или на расширенном сечении.

Данный фильтр имеет ширину 28,5 мм, высоту 28,3 мм и длину 29,4 мм, что почти в два раза короче выше рассмотренного четырехзвенного фильтра на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1. Потери фильтра в полосе пропускания 0,25 дБ, КСВН не более 1,25, затухание на частоте 7,13 ГГц – 20,4 дБ, на частоте 7,915 ГГц – 12,37 дБ.

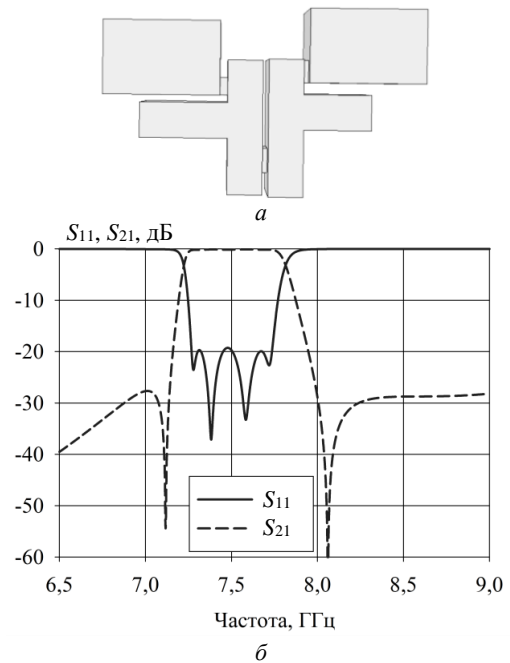


Рис. 8. Четырехзвенный фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 2 – а; его АЧХ – б

Структура фильтра на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 4 показана на рис. 9, а, его частотные характеристики – на рис. 9, б.

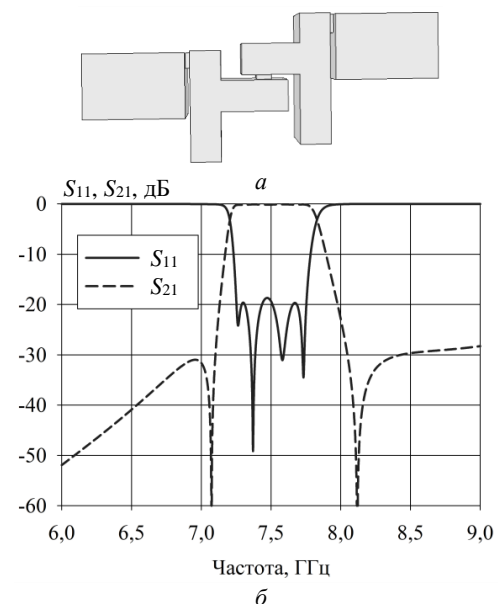


Рис. 9. Четырехзвенный фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 4 – а; его АЧХ – б

Данный фильтр имеет ширину 28,5 мм, высоту 31,55 мм и длину 39,6 мм, что почти в полтора раза короче, чем у рассмотренного выше четырехзвенного фильтра на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1. Потери фильтра в полосе пропускания 0,28 дБ, КСВН не более 1,25, затухание на частоте 7,13 ГГц – 34,3 дБ, на частоте 7,915 ГГц – 15,4 дБ.

Сравнивая фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами различных типов, можно сделать следующие выводы:

- наименьшие потери имеет фильтр на резонаторах типа 1;
- наименьшую длину имеет фильтр на резонаторах типа 2;
- наилучшую крутизну склона ниже полосы пропускания имеет фильтр на резонаторах типа 4, а выше – фильтр на резонаторах типа 1.

Эксперимент

Был разработан дуплексер, один канал которого рассчитан на частоты приема (7,25–7,75 ГГц), другой канал рассчитан на частоты передачи (7,9–8,4 ГГц). На рис. 10, а показан изготовленный образец дуплексера, на рис. 10, б – электродинамическая модель дуплексера, а на рис. 10, в – рассчитанные и экспериментальные частотные характеристики.

Приемным является волноводный десятизвенный полосно-пропускающий фильтр с индуктивными связями без Е-плоскостной симметрии [18, 19], передающим является волноводный четырехзвенный фильтр на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1, имеющий несимметричную АЧХ с полюсами затухания ниже полосы пропускания. Из рис. 10, в видно, что расчетные и экспериментальные частотные характеристики хорошо совпадают.

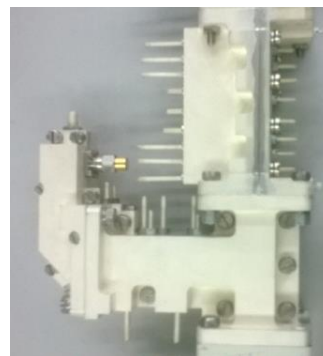
Размеры дуплексера следующие: ширина 28,5 мм, высота 76,3 мм и длина 117,9 мм. Данный дуплексер имеет следующие электрические характеристики:

- потери на частотах приема (7,25–7,75 ГГц) не более 0,7 дБ, КСВН в полосе пропускания десятизвенного фильтра не более 1,3, подавление на частотах передачи (7,9–8,4 ГГц) не менее 80 дБ;
- потери на частотах передачи (7,9–8,4 ГГц) не более 0,2 дБ, КСВН в полосе пропускания четырехзвенного фильтра на полуволновых резонаторах со шлейфами типа 1 не более 1,3, подавление на частотах приема (7,25–7,75 ГГц) не менее 38 дБ.

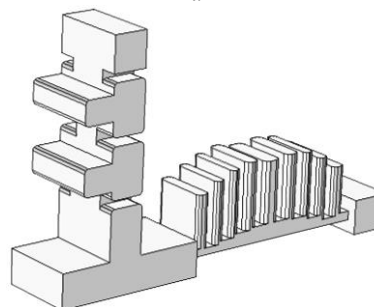
Заключение

Получен новый тип волноводного двухмодового резонатора. Фильтры на его основе обладают меньшими массогабаритными параметрами, высокой селективностью, возможностью формирования симметричной и несимметричной АЧХ. Рассмотрены фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами нескольких типов. Показаны достоинства и недостатки фильтров на каждом типе данных резонаторов. Приведены результаты сравнений четырехзвенных и восьмизвенных фильтров на полуволновых резонаторах типа 1 с соответствующими фильтрами без шлейфов. Изготовлен образец дуплексера, в котором используется фильтр на полуволновых резо-

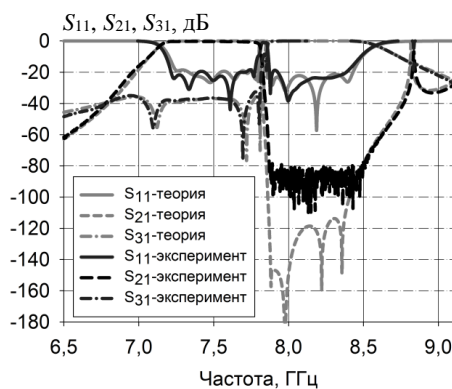
наторах со шлейфами типа 1, имеющий несимметричную АЧХ. Достигнуто хорошее совпадение рассчитанных и измеренных частотных характеристик.



а



б



в

Рис. 10. Изготовленный образец дуплексера – а; электродинамическая модель дуплексера – б; частотные характеристики дуплексера – в

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (номер FSRZ-2023-0008).

Литература

1. Lim Y.P. Design and synthesis of a Chebyshev response waveguide filter / Y.P. Lim., S. Cheab, P.W. Wong // 2018 International Conference on Intelligent and Advanced System (ICIAS). – 2018. – PP. 1–4. DOI: 10.1109/ICIAS.2018.8540610.
2. Melgarejo J.C. Space mapping for tuning microwave waveguide filters / J.C. Melgarejo, M. Guglielmi, S. Cogollos, V.E. Boria // 2019 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS). – 2019. – PP. 353–365. DOI: 10.1109/MWSYM.2019.8700926.
3. Valencia J. Compact wideband hybrid filters in rectangular waveguide with enhanced out-of-band response /

- J. Valencia, V.E. Boria, M. Guglielmi, S. Cogollos // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2020. – Vol. 68, No. 1. – PP. 87–101. DOI: 10.1109/TMTT.2019.2947911.
4. Valencia J. Enhancing the performance of stepped impedance resonator filters in rectangular waveguide / J. Valencia, M. Guglielmi, S. Cogollos, J. Vague, V.E. Boria // 2017 47th European Microwave Conference (EuMC). – 2017. – PP. 989–992. DOI: 10.23919/EuMC.2017.8231012.
5. Macchiarella G. Design of inline waveguide filters with frequency-variant couplings producing transmission zeros / G. Macchiarella, G.G. Gentili, N. Delmonte, L. Silvestri, M. Bozzi // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2021. – Vol. 69, No. 8. – PP. 3746–3758. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3075971.
6. Valencia J. Hybrid wideband staircase filters in rectangular waveguide with enhanced out-of-band response / J. Valencia, M. Guglielmi, S. Cogollos, V.E. Boria // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2021. – Vol. 69, No. 8. – PP. 3783–3796. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3076061.
7. Ossorio J. Exploring the tunability range of classic circular waveguide dual mode filters using EM-based CAD / J. Ossorio, J. Vague, V.E. Boria, M. Guglielmi // 2017 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization for RF, Microwave, and Terahertz Applications (NEMO). – 2017. – PP. 1–3. DOI: 10.1109/NEMO.2017.7964277.
8. Tomassoni C. Double resonance waveguide cavity / C. Tomassoni, S. Bastioli, R.V. Snyder // 2018 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO). – 2018. – PP. 1–3. DOI: 10.1109/NEMO.2018.8503426.
9. Lu D. Planar/waveguide quasi-elliptic linear-phase filters using mixed cascaded frequency-dependent triplets with extracted pole sections / D. Lu, Y. Yang, Y. Wu, M. Yu // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2021. – Vol. 69, No. 6. – PP. 3070–3083. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3074602.
10. Reddy D.S. Virtual negative coupling in folded waveguide cavity filter for space applications / D.S. Reddy, B. Gowrish, V.K. Velidi, A.V.G. Subramanyam, V.V. Srinivasan, Y. Mehta // 2015 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC). – 2015. – PP. 118–120. DOI: 10.1109/IMaRC.2015.7411373.
11. Miek D. Ku-Band waveguide filter with multiple transmission zeros by resonant source to load and bypass cross-coupling / D. Miek, A. Morán-López, J.A. Ruiz-Cruz, M. Höft // 2019 49th European Microwave Conference (EuMC). – 2019. – PP. 57–60. DOI: 10.23919/EuMC.2019.8910677.
12. Xiao H. Design of W-band quasi-elliptic waveguide filters using non-resonating nodes / H. Xiao, J. Duan, B. Zhang, C. Huang, Y. Tian // 2018 IEEE International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET). – 2018. – PP. 176–180. DOI: 10.1109/CCET.2018.8542207.
13. Miek D. Additive manufacturing of symmetrical X-band waveguide filters for wide-band applications based on extracted pole filter design / D. Miek, S. Simmich, M. Höft // 2019 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP). – 2019. – PP. 13–15. DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2019.8880120.
14. Xiao Y. A novel W-band waveguide bandpass filter based on nonresonating nodes / Y. Xiao, T. Li, H. Sun // 2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). – 2016. – PP. 1–3. DOI: 10.1109/ICMMT.2016.7762458.
15. Zhang Y. Direct synthesis and design of dispersive waveguide bandpass filters / Y. Zhang, H. Meng, K. Wu // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2020. – Vol. 68, – No. 5. – PP. 1678–1687. DOI: 10.1109/TMTT.2020.2969385.
16. Ding J. WR-3 band quasi-elliptical waveguide filters using higher order mode resonances / J. Ding, S. Shi, K. Zhou, K. Zhao, Y. Zhao, D. Liu, W. Wu // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2017. – Vol. 7, No. 3. – PP. 302–309. DOI: 10.1109/TTHZ.2017.2686007.
17. Соркин А.А. Волноводные полосно-пропускающие фильтры на полуволновых резонаторах со шлейфами / А.А. Соркин, Ю.П. Саломатов // XXII Всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники»: сб. науч. трудов. – Красноярск: СФУ, 2022. – С. 216–220.
18. Соркин А.А. Компактные полосно-пропускающие волноводные фильтры с индуктивными связями с E-плоскостной симметрией и без E-плоскостной симметрии / А.А. Соркин, Ю.П. Саломатов // XXII Всерос. научно-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники»: сб. науч. трудов, Красноярск. – Красноярск: СФУ, 2022. – С. 257–262.
19. Соркин А.А. Компактные полосно-пропускающие волноводные фильтры с индуктивными связями с E-плоскостной симметрией и без E-плоскостной симметрии // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2022. – Т. 25, № 5. – С. 32–41.

Соркин Александр Анатольевич

Магистр по направлению «Радиоэлектроника», аспирант Сибирского федерального университета Свободный пр-т, 79, г. Красноярск, Россия, 660041
ORCID: 0000-0001-7088-8373
Тел.: 8-913-197-82-81
Эл. почта: alexandr.sorkin.781@mail.ru

Sorkin A.A.

Waveguide dual-mode bandpass filters based on half-wave resonators with stubs

A waveguide half-wave resonator with a stub and filter designs based on it are considered. It is shown that the location of the stub in the center of a half-wave resonator leads to an increase in signal attenuation near the passband of filters compared to filters based on half-wave resonators. Using this type of resonator, the pole can be obtained both below the passband and above. The geometric dimensions of the four- and eight-section filters with a symmetrical frequency response are given.

Keywords: waveguide resonator, stub, attenuation pole, band pass filter.

DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-26-33

Reference

1. Lim Y.P., Cheab S., Wong P.W. Design and synthesis of a Chebyshev response waveguide filter. *2018 International Conference on Intelligent and Advanced System (ICIAS)*, 2018, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICIAS.2018.8540610.
2. Melgarejo J.C., Guglielmi M., Cogollos S., Boria V.E. Space mapping for tuning microwave waveguide filters. *2019*

IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2019, pp. 353–365. DOI: 10.1109/MWSYM.2019.8700926.

3. Valencia J., Boria V.E., Guglielmi M., Cogollos S. Compact wideband hybrid filters in rectangular waveguide with enhanced out-of-band response. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2020, vol. 68, no. 1, pp. 87–101. DOI: 10.1109/TMTT.2019.2947911.

4. Valencia J., Guglielmi M., Cogollos S., Vague J., Boria V.E. Enhancing the performance of stepped impedance resonator filters in rectangular waveguide. *2017 47th European Microwave Conference (EuMC)*, 2017, pp. 989–992. DOI: 10.23919/EuMC.2017.8231012.

5. Macchiarella G., Gentili G.G., Delmonte N., Silvestri L., Bozzi M. Design of inline waveguide filters with frequency-variant couplings producing transmission zeros. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2021, vol. 69, no. 8, pp. 3746–3758. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3075971.

6. Valencia J., Guglielmi M., Cogollos S., Boria V.E. Hybrid wideband staircase filters in rectangular waveguide with enhanced out-of-band response. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2021, vol. 69, no. 8, pp. 3783–3796. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3076061.

7. Ossorio J., Vague J., Boria V.E., Guglielmi M. Exploring the tunability range of classic circular waveguide dual mode filters using EM-based CAD. *2017 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization for RF, Microwave, and Terahertz Applications (NEMO)*, 2017, pp. 1–3. DOI: 10.1109/NEMO.2017.7964277.

8. Tomassoni C., Bastioli S., Snyder R.V. Double resonance waveguide cavity. *2018 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO)*, 2018, pp. 1–3. DOI: 10.1109/NEMO.2018.8503426.

9. Lu D., Yang Y., Wu Y., Yu M. Planar/waveguide quasi-elliptic linear-phase filters using mixed cascaded frequency-dependent triplets with extracted pole sections. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2021, vol. 69, no. 6, pp. 3070–3083. DOI: 10.1109/TMTT.2021.3074602.

10. Reddy D.S., Gowrish B., Velidi V.K., Subramanyam A.V.G., Srinivasan V.V., Mehta Y. Virtual negative coupling in folded waveguide cavity filter for space applications. *2015 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, 2015, pp. 118–120. DOI: 10.1109/IMaRC.2015.7411373.

11. Miek D., Morán-López A., Ruiz-Cruz J.A., Höft M. Ku-Band waveguide filter with multiple transmission zeros by resonant source to load and bypass cross-coupling. *2019 49th European Microwave Conference (EuMC)*, 2019, pp. 57–60. DOI: 10.23919/EuMC.2019.8910677.

12. Xiao H., Duan J., Zhang B., Huang C., Tian Y. Design of W-band quasi-elliptic waveguide filters using non-resonating nodes. *2018 IEEE International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET)*, 2018, pp. 176–180. DOI: 10.1109/CCET.2018.8542207.

13. Miek D., Simmich S., Höft M. Additive manufacturing of symmetrical X-band waveguide filters for wide-band applications based on extracted pole filter design. *2019 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)*, 2019, pp. 13–15. DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2019.8880120.

14. Xiao Y., Li T., Sun H. A novel W-band waveguide bandpass filter based on nonresonating nodes. *2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, 2016, pp. 1–3. DOI: 10.1109/ICMMT.2016.7762458.

15. Zhang Y., Meng H., Wu K. Direct synthesis and design of dispersive waveguide bandpass filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2020, vol. 68, no. 5, pp. 1678–1687. DOI: 10.1109/TMTT.2020.2969385.

16. Ding J., Shi S., Zhou K., Zhao K., Zhao Y., Liu D., Wu W. WR-3 band quasi-elliptical waveguide filters using higher order mode resonances. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 302–309. DOI: 10.1109/TTHZ.2017.2686007.

17. Sorokin A.A., Y.P. Salomatov. *Volnovod-nyepolosno-propuskayushchie fil'try na poluvolnovykh rezonatorakh so shleifami* [Waveguide bandpass filters based on half-wave resonators with stubs]. XXII Vserossiyskayanauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Sovremennyye problem radioelektroniki»: sbornik nauchnykh trudov [XXII All-Russian Scientific and Technical Conference «Modern Problems of Radio Electronics»: Collection of Scientific Papers]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2022, pp. 216–220 (in Russ.).

18. Sorokin A.A., Y.P. Salomatov. *Kompaktnyepolosno-propuskayushchie volnovodnyefil'try s induktivnyemisvyazyami s E-ploskostnojsimmetriey bez E-ploskostnojsimmetrii* [Compact bandpass waveguide filters with inductive couplings with E-plane symmetry and without E-plane symmetry] XXII Vserossiyskayanauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Sovremennyye problem radioelektroniki»: sbornik nauchnykh trudov [XXII All-Russian Scientific and Technical Conference «Modern Problems of Radio Electronics»: Collection of Scientific Papers]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2022, pp. 257–262 (in Russ.).

19. Sorokin A.A. [Compact bandpass waveguide filters with inductive couplings with E-plane symmetry and without E-plane symmetry]. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*, 2022, vol. 25, no. 5, pp. 32–41 (in Russ.).

Alexander A. Sorokin

Master student majoring in «Radio Engineering»,
Graduate student, Siberian Federal University,
79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, Russia, 660041
Phone: +7-913-197-82-81
ORCID: 0000-0001-7088-8373
Email: alexandr.sorokin.781@mail.ru