

Перестраиваемый сверхзкополосный волноводный фильтр

М.А. Лукьянов

Саратовский Государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Аннотация: в данной работе рассматривается 3D численная модель одномодового полосно-пропускающего фильтра С/Х-диапазона на стандартном волноводе WR112 с индуктивными и емкостными металлическими штырями в Е- и Н-плоскости. Анализ амплитудно-частотных характеристик фильтра проводится методом конечных элементов. Предложен способ настройки и установлено влияние размеров фильтра на его электродинамические характеристики.

Ключевые слова: волноводные фильтры, СВЧ-диапазон, индуктивные и ёмкостные неоднородности, метод конечных элементов.

1. Введение

Наряду с жесткими требованиями к электродинамическим характеристикам устройств фильтрации электромагнитных (ЭМ) сигналов, используемых в радиолокационных и коммуникационных системах авиационной и космической техники, все более важными становятся требования по увеличению уровня рабочих мощностей и снижению их массогабаритных показателей [1]. Обеспечить выполнение данного требования способны волноводные фильтры на основе прямоугольного (ПрВ) волновода с различными типами реактивных неоднородностей в виде индуктивных и ёмкостных штырей, диафрагм, металлических вставок. С привлечением различных реактивных элементов в ПрВ можно реализовать фильтры нижних частот, фильтры верхних частот, полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ) и полосно-пропускающие фильтры (ППФ) [2].

Одной из перспективных конструкций сверхзкополосых ППФ является одномодовый фильтр, состоящий из отрезка ПрВ с двумя индуктивными штырями в Е-плоскости [3]. Данная конструкция проста в изготовлении, компактна, обладает небольшой массой и позволяет достичь 0.15% ширины полосы пропускания. Однако до сих пор оставался невыясненным вопрос о настройке его рабочей частоты. Распространённым техническим решением, позволяющим настраивать рабочую частоту, как известно [1], являются ёмкостные штыри в виде винтов, что позволяет варьировать длину штыря в волноводе, изменяя электродинамические характеристики неоднородности в ПрВ, а соответственно, и рабочую частоту. В данной работе предложен вариант конструкции подстроечного элемента, обеспечивающий возможность настройки рабочей частоты.

2. Результаты моделирования

Для анализа исследуемой штыревой волноводной структуры был использован метод конечных элементов (МКЭ) [4], реализованный в пакете программ COMSOL V.5.4. За основу был взят волновод WR-112 (6.85...9.93 ГГц). На предварительном этапе моделирования была рассмотрена структура фильтра с двумя индуктивными штырями и рабочей частотой на 5 ГГц меньше, чем в [3] с сохранением 0.15% ширины полосы пропускания. На рис.1 представлена полученная численно амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) такого фильтра.

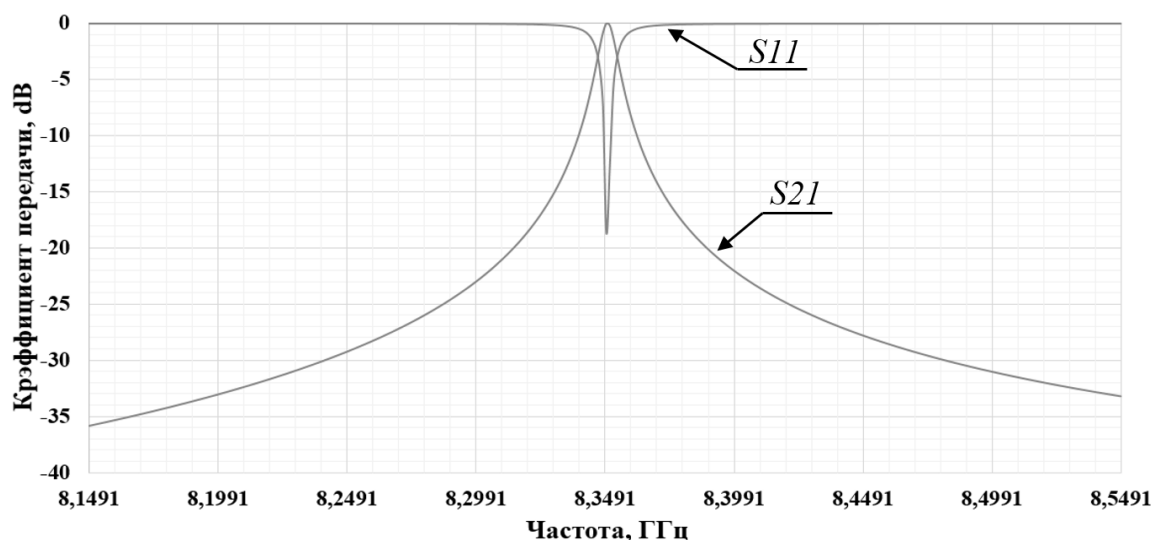


Рисунок 1. АЧХ одномодового волноводного фильтра в отрезке волновода WR-112

Наибольшее влияние на рабочую частоту фильтра согласно [3] оказывает диаметр штырей. В таблице 1 приведена расчётная зависимость рабочей частоты фильтра от допуска диаметра при изготовлении фильтра. При допуске ± 0.1 мм сдвиг рабочей частоты может достигать 60 МГц.

Таблица 1. Зависимость рабочей частоты фильтра от допуска диаметра штырей

Допуск диаметра штырей, мм	Рабочая частота, ГГц
-0.1	8.32
-0.05	8.33
0	8.35
+0.05	8.36
+0.1	8.38

Для настройки рабочей частоты предлагается дополнить конструкцию фильтра ёмкостным штырем диаметром 1 мм в Н-плоскости на одной из боковых стенок волновода. Конфигурация фильтра с подстроечным элементом представлена на рис. 2. В ходе численного моделирования были установлены следующие размеры данного СВЧ-устройства: $a = 28.5$ мм – длина широкой стенки волновода; $b = 12.6$ мм – длина узкой стенки волновода; $d = 8.2648$ мм – диаметр индуктивного штыря; $w = 15.56$ мм – расстояние от узкой стенки волновода до середины индуктивного штыря; $t = 1$ мм – диаметр подстроечного ёмкостного штыря; $l = 13.9745$ мм – расстояние от центра подстроечного штыря до центра индуктивного штыря; h – расстояние от широкой стенки волновода до центра подстроечного штыря; s – длина ёмкостного штыря.

Далее были рассчитаны рабочие частоты ППФ в зависимости от изменения длины штыря s и его местоположения в волноводе в плоскости YZ . Полученные кривые зависимостей рабочей частоты от длины подстроечного штыря приведены на рис.3.

Как видно из этих данных, изменение длины указанного штыря в диапазоне 8...20 мм ведёт к практически линейному изменению рабочей частоты ППФ. Наиболее выгодным решением с точки зрения изменения рабочей частоты фильтра на единицу изменения расстояния подстроечного штыря является вариант, при котором винт располагается строго между индуктивных штырей ближе к широкой стенке волновода. В зависимости от требований к точности настройки можно установить ширину диапазона перестройки от 115 МГц с шагом 9.58 МГц/мм (кривая 1) до 245 КГц с шагом 20.4 КГц/мм (кривая 8).

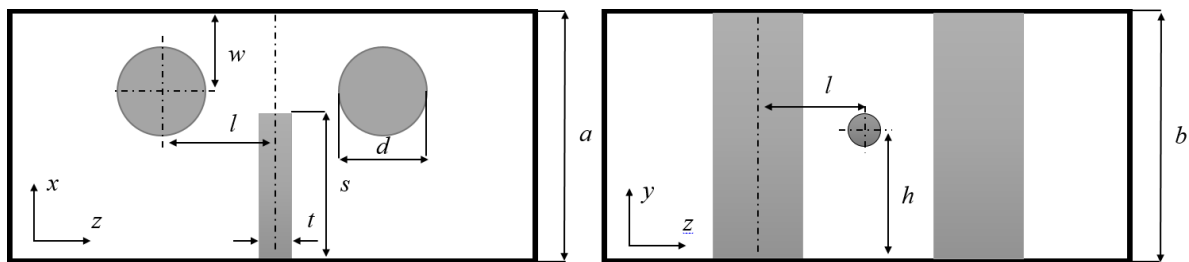


Рисунок 2. Геометрическая модель исследуемого фильтра

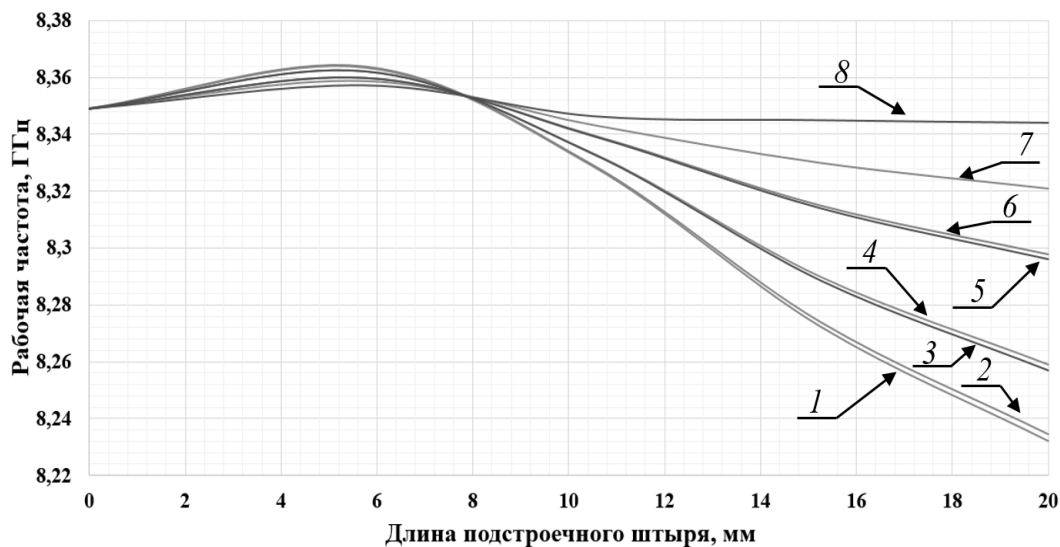


Рисунок 3. Зависимость рабочей частоты фильтра от длины подстроечного ёмкостного штыря. Кривая 1 – $h = 3.3$ мм, $l = 13.9745$ мм; кривая 2 – $h = 6.3$ мм, $l = 13.9745$ мм; кривая 3 – $h = 3.3$ мм, $l = 10.9745$ мм; кривая 4 – $h = 6.3$ мм, $l = 10.9745$ мм; кривая 5 – $h = 3.3$ мм, $l = 8.9745$ мм; кривая 6 – $h = 6.3$ мм, $l = 8.9745$ мм; кривая 7 – $h = 6.3$ мм, $l = 7.9745$ мм; кривая 8 – $h = 6.3$ мм, $l = 6.9745$ мм.

3. Заключение

Анализ результатов, полученных в данной работе показал возможность реализации системы подстройки рабочей частоты высокочастотного волноводного СВЧ-фильтра выполненного на индуктивных штырях, расположенных в Е-плоскости ПрВ, с помощью изменения длины ёмкостного штыря, расположенного в Н-плоскости. В зависимости от расположения настроечного штыря возможно изменение рабочей частоты волноводного ППФ в диапазоне от 1.38% до 0.003 % от центральной частоты.

Список литературы

1. Фильтрация и спектральный анализ радиосигналов. Алгоритмы, структуры, устройства / под ред. Ю.А. Гуляева - М.: Радиотехника, 2020.
2. Комаров В. В., Лукьянов М. А. Волноводные СВЧ-фильтры: технические решения, тенденции развития и методы расчёта // Журнал Радиоэлектроники. 2021. №.1. 18 с. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.1.9>
3. Fedi G., Manetti S., Pelosi G., Seller S. Design of cylindrical posts in rectangular waveguide by neural network approach // Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society Symposium. 2000. Salt-Lake City, USA, pp. 1054-1057. P. 1054-1057. <https://doi.org/10.1109/APS.2000>.
4. Григорьева А.Д. Методы вычислительной электродинамики // М.: Физмаилит, 2012.