

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**Оптимизация основных характеристик  
микрорешетчатых фильтров СВЧ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 431 группы  
направления 030302«Физика»  
физического факультета СНИГУ имени Н.Г.Чернышевского

Ерофеевой Наталии Вячеславовны

Научный руководитель

профессор, д.т.н. А.Л.Хвалин

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

профессор, д. ф-м. н. А.А.Игнатьев

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2016 год

Оглавление  
Введение  
Структура и объем работы  
Содержание работы  
Заключение  
Список использованной литературы

## **Введение**

Фильтры находят широкое применение в различных радиотехнических устройствах.

В радиопередающих устройствах фильтры применяются для подавления гармоник за пределами разрешенной полосы частот на выходе, а также для выделения нужной гармоники при умножении частоты. В синтезаторах частот полосные фильтры используются для выделения нужной комбинационной частоты.

В радиоприемных устройствах фильтры выполняют одну из основных функций - фильтрующую функцию, в усилителях промежуточной частоты в качестве фильтров сосредоточенной селекции. Фильтры используются также как резонансные нагрузки в высокочастотной части радиодиапазона, особенно в диапазоне СВЧ.

Основной целью выпускной квалификационной работы является решение задачи параметрического синтеза основных рабочих характеристик фильтра нижних частот, с помощью программы MicrowaveOffice 2009.

Объектом исследований является прототип ступенчатого фильтра на микрополосковой линии передачи (Бахарев С. И., Вольман В. И. «Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств», М.:Радио и связь, 1982 г, 328 с.)

Защищаемые результаты – решение задачи параметрической оптимизации рабочих характеристик фильтра нижних частот. Полученные оптимальные характеристики ФНЧ существенно превосходят характеристики фильтра - прототипа.

Структура и объем работы. Дипломная работа состоит из введения, трех глав (1. Математическое описание элементов и методы анализа микрополосковых структур, 2. Метод гармонического баланса для анализа микрополосковой линии, 3. Моделирование фильтра в САПР-2009), заключения и списка используемой литературы. Объем работы составляет 58 страниц.

## Содержание работы

Во введении сформулированы цели и задачи выполняемой работы. Описана структура выпускной квалифицированной работы.

В первой главе описывается структура полосковой линии и постановка задачи параметрического синтеза основных характеристик микрополоскового фильтра. Сами полосковые линии образуются из параллельных металлических проводников и диэлектрических пластин. Различают симметричные и несимметричные полосковые линии передачи. В данной работе рассматривается несимметричная полосковая линия (НПЛ). Она состоит из металлического проводника (полоска), которая лежит на подложке, выполненной из диэлектрика и покрытой с внешней стороны медной гальваностойкой фольгой.

При расчете микрополосковой линии возникает необходимость определять величину, получившую название эффективной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_{\text{эфф}}$ ). Эта величина характеризует соотношение между энергиями, концентрирующимися в воздухе и диэлектрике. Для любой волны, распространяющейся в линии, фазовая скорость распространения  $C = f\lambda_0$  в свободном пространстве,  $v_{\text{ф}} = f\lambda_{\text{г}}$  при наличии диэлектрика.

Диэлектрическая проницаемость :

$$\epsilon_{\text{эфф}} = \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{г}}} \right)^2 ;$$
$$\text{т.е. } \lambda_{\text{г}} = \frac{\lambda_0}{(\epsilon_{\text{эфф}})^{\frac{1}{2}}} = \frac{c}{f(\epsilon_{\text{эфф}})^{\frac{1}{2}}}$$

где  $\lambda_{\text{г}}$  - длина волны в микрополосковой линии.

Ставить и решать задачи параметрического синтеза СВЧ устройств позволяют критерии и целевые функции. Требуемые характеристики должны достигаться в заранее определенной области изменения независимых

переменных (в частности, значений параметров элементов) и при заранее определенной области рабочих частот.

При параметрическом синтезе каскадно соединенных четырехполюсников и которая является одной из реализаций критерия наименьших квадратов

$$F = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{2} \left[ \left( \frac{f_{ik}}{g_{ik}} - 1 \right)^2 + \left( \frac{g_{ik}}{f_{ik}} - 1 \right)^2 \right]$$

где  $f_{ik}$  - значение  $i$ -й характеристики, получаемое в результате анализа на частоте  $\omega_k$ ;  $g_{ik}$  - требуемое значение той же характеристики на той же частоте.

При параметрическом синтезе устройств, для которых допуски на характеристики заранее известны, можно воспользоваться следующей целевой функцией:

$$F = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{||f_{ik} - g_{ik}| - \Delta g_{ik} (|f_{ik} - g_{ik}| - \Delta g_{ik})|}{2|f_{ik} - g_{ik}|} \right\}^2$$

Где  $\Delta g_{jk}$  - допуск на  $i$ -ю характеристику на  $k$ -й частоте. Применение функции оправдано при небольшом числе (от одной до трех) характеристик. При большем их числе в результате оптимизации достигается не наилучший результат, а лишь допустимый; при заданных допусках возможно отсутствие удовлетворительного решения; процесс параметрического синтеза может остановиться после того, как часть характеристик окажется в пределах допусков, а другая часть останется за их пределами.

Во второй главе производится разбор используемого фильтр нижних частот на несимметричной микрополосковой линии. Главным назначением фильтров является подавление одних частотных составляющих сигнала и пропускания других. Частотная характеристика фильтра является кривая зависимости затухания в нем от частоты.

В данной работе рассматривается фильтр нижних частот. В идеале мы бы хотели получить фильтр, который пропускает без искажений все частоты ниже  $\omega_0$  и полностью подавляет все частоты выше  $\omega_0$ . Такой ФНЧ называют идеальным, и он не реализуем на практике.

Реализуемые же ФНЧ всегда вносят какие-то искажения в полосу пропускания и не до конца подавляет в полосе заграждения. На рисунке 2. показаны идеальная и реальная АЧХ ФНЧ. Синим показана АЧХ идеального фильтра, красным - реального.

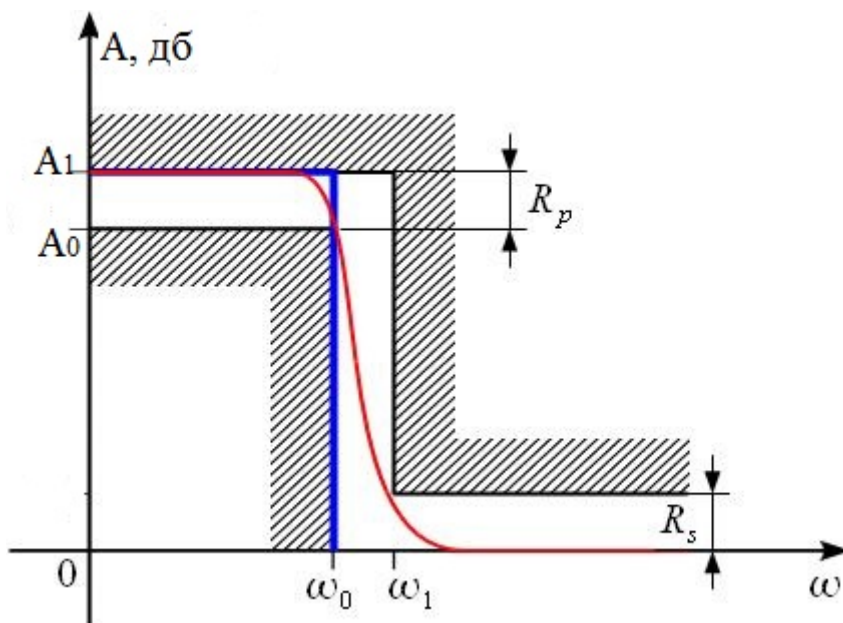
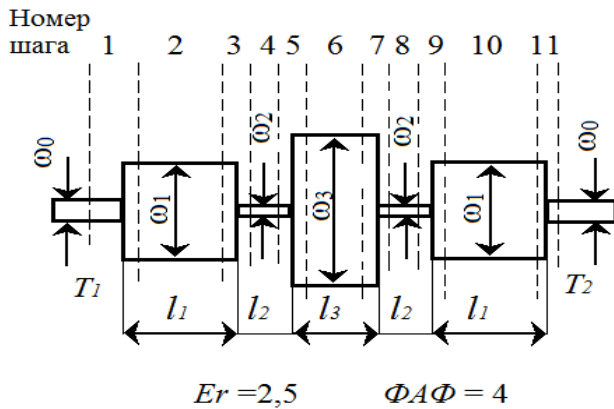


Рисунок 2

Полоса частот от 0 до  $\omega_0$  называется полосой пропускания ФНЧ, полоса частот от  $\omega_1$  и выше называется полосой подавления или полосой заграждения. Полоса между  $\omega_0$  и  $\omega_1$  называется переходной полосой фильтра.

В третьей главе представлен теоретический расчет характеристик микрополоскового фильтра, пошаговое компьютерное моделирование фильтра с помощью программы САПР-2009, созданы графики характеристик фильтра, определены коэффициенты, была произведена оптимизация основных характеристик микрополоскового ФНЧ, и представлены результаты оптимизации по сравнению с изначальными параметрами.

Форма и геометрические размеры фильтра приведены на рисунке 3.(а, б). Устройство разбивается на 11 элементов двух типов: 1- стык проводников различной ширины, 2- отрезок регулярной линии.



i	0	1	2	3
$\omega_i/h$	2.8	6.0	0.9	9.3
$l_i/h$	6.75	6.35	6.75	6.25

а.

б.

Рисунок 3

В ходе работы смоделировали фильтр нижних частот с помощью программы САПР – 2009 с заданными характеристиками положки.

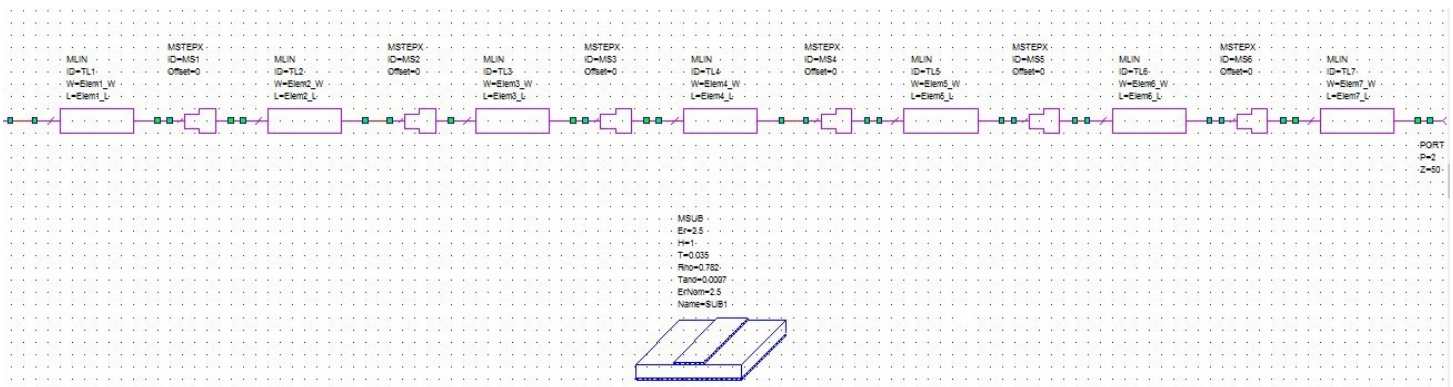
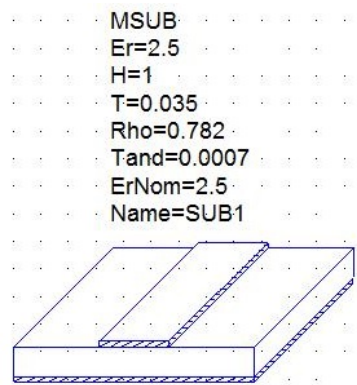


Рисунок 4. Компьютерная модель ФНЧ



На рисунке 5. показана модель фильтра в программе САПР-2009

Оптимизация основных характеристик микрополоскового фильтра нижних частот начиналась с изменения характеристик вручную до определенных целей оптимизации, для сокращения времени самостоятельной оптимизации программы. Достигнув максимальна приближена занчений к целей оптимизации, используем функцию симуляции – оптимизация с помощью определенных методов. В данной работе использовала метод SimplexOptimizer.

Результаты оптимизации по сравнению с параметрами фильтра – прототипа приведены на графиках.

- Коэффициент отражения (КО)показан на рисунке 6.

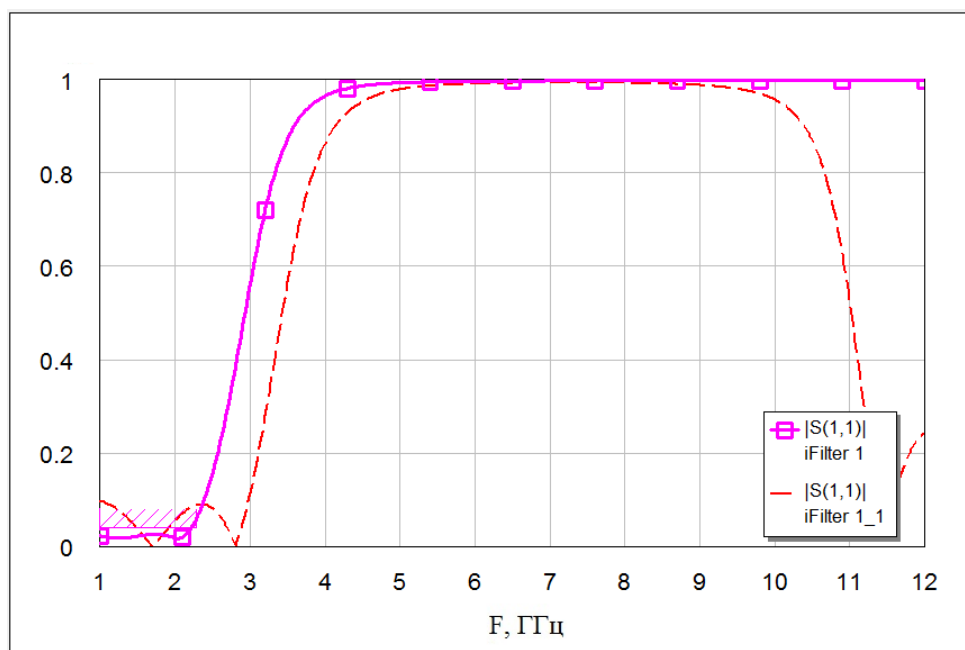


Рисунок 6. АЧХ КО.

Где: — Коэффициент отражения после оптимизации = 0.06

— Коэффициент отражения с параметрами прототипа [1]= 0.101



- Коэффициент передачи (КП) в сравнении перерасчета зависимости переходного ослабления фильтра от частоты. (рисунок 7.)

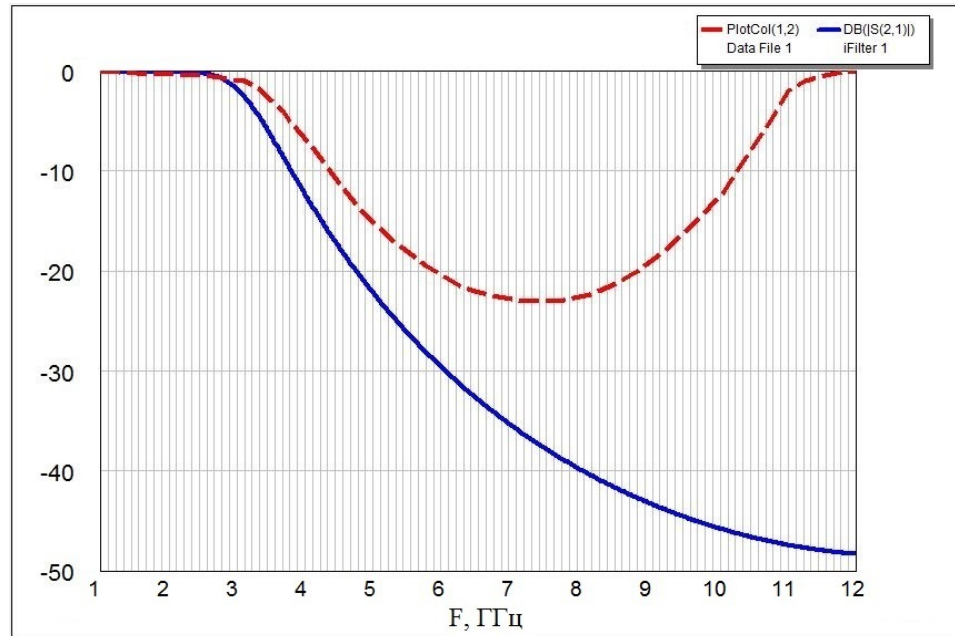


Рисунок 7. АЧХ КП.

Где: --- - Зависимости переходного ослабления фильтра[1].

— - Коэффициент передачи после оптимизации

- Коэффициент отражения от входа показан на рисунке 8.

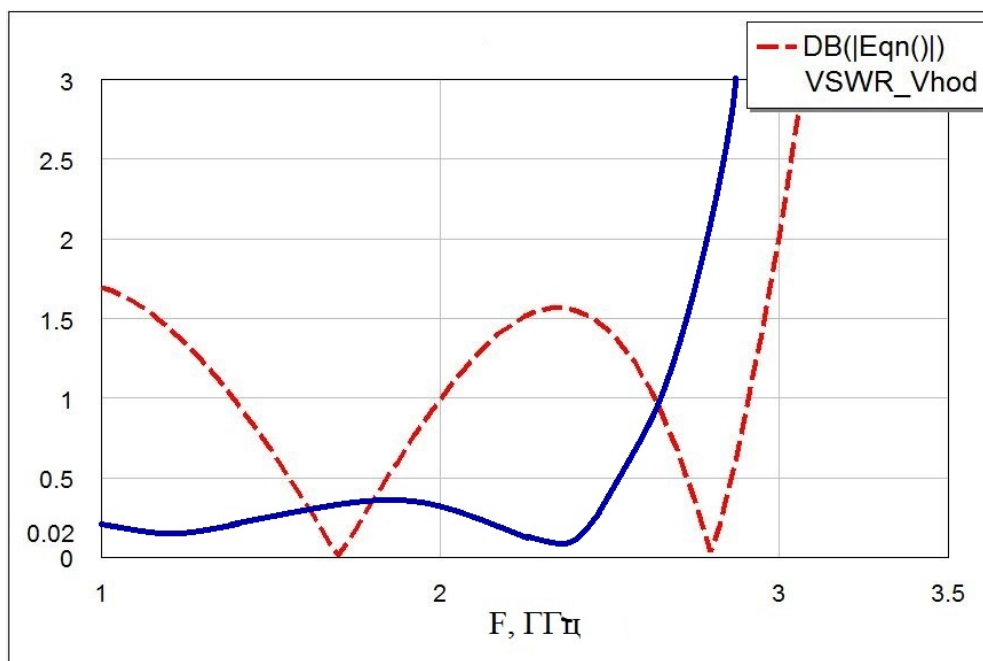


Рисунок 8. АЧХ КО от Входа.

Где: — - Коэффициент отражения от входа после оптимизации = 0.027,

--- - КО с параметрами фильтра - прототипа = 0.09.

- Коэффициент стоячей волны по напряжению соответствует рисунку 9.

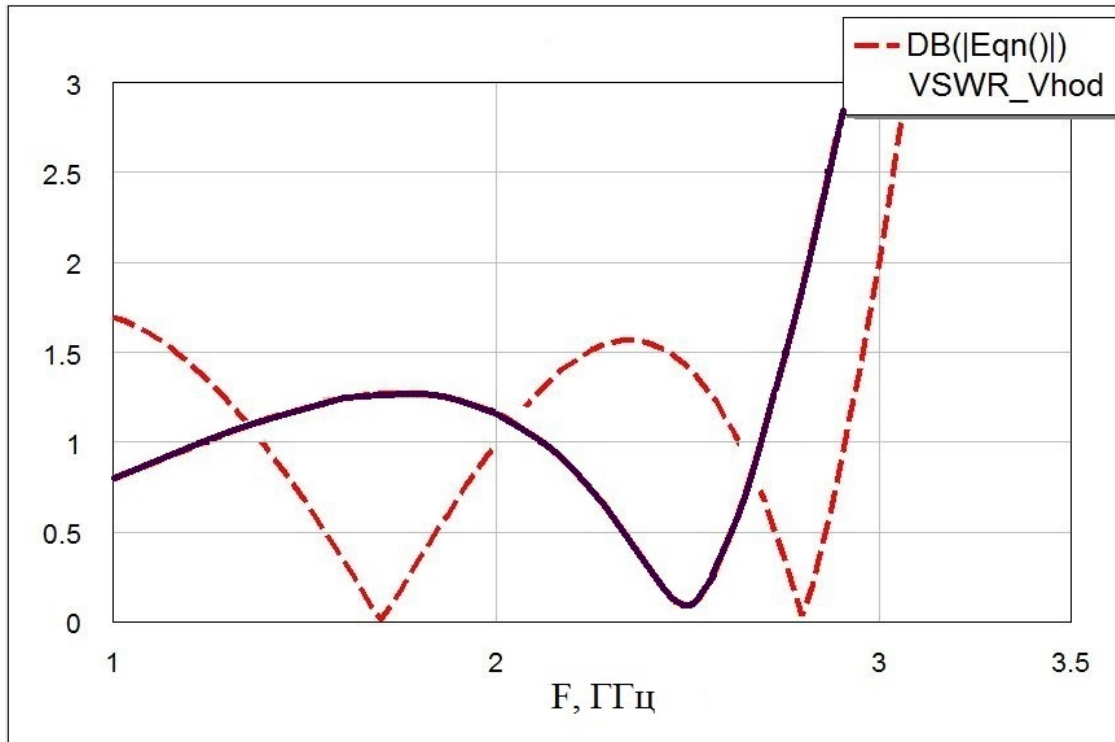


Рисунок 9. АЧХ КСВН. Где:

- - Коэффициент стоячей волны по напряжению после оптимизации = 1.1,
- - КСВН фильтра – прототипа [1] = 1.6

## Заключение

Для создания конструкции СВЧ фильтра низких частот сформулирована и решена задача параметрического синтеза основных рабочих характеристик фильтра. В качестве целей оптимизации использованы частотные характеристики: коэффициента отражения (КСВН) от входа и выхода, коэффициента передачи. Конструкция фильтра выполнена на одиночной ступенчатой микрополосковой линии (МПЛ). В качестве прототипа фильтра использована классическая конструкция из семи ступенек МПЛ, представленная в Бахарев С. И., Вольман В. И. «Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств», М.: Радио и связь, 1982 г, 328 с. Задача анализа фильтра решается методом гармонического баланса. В качестве варьируемых параметров использованы геометрические размеры ступенек МПЛ. Проведенное сравнение результатов расчета фильтра - прототипа, полученных методом гармонического баланса и декомпозиционным методом, подтверждают адекватность созданной компьютерной модели. В результате решения задачи параметрического синтеза получена конструкция фильтра низких частот с улучшенными рабочими характеристиками. Результаты оптимизации по сравнению с параметрами фильтра – прототипа показывают, что коэффициент отражения от выхода стал равен значению 0.06, когда значение с параметрами прототипа было равно 0.101. Также в АЧХ фильтра - прототипа в полосе частот от 11 до 12 ГГц наблюдается уменьшение ослабления до значений порядка 1- 0.2 дБ. Решение задачи оптимизации позволило расширить диапазон частот заграждения до 12 ГГц. Коэффициент отражения от входа также изменился, значение коэффициента фильтр – прототипа = 0.09, а после оптимизации = 0.027. В коэффициенте передачи полоса пропускания остается на заданных значениях, но уровень заграждения стал ниже, переходная полоса фильтра - прототипа была от 3 ГГц до 6 ГГц, после оптимизации коридор стал от 3 ГГц до 4.5 ГГц, что показывает улучшенную характеристику коэффициента передачи.

## Список использованных источников

1. Бахарев С. И., Вольман В. И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. М.: Радио и связь, 1982 г., 328 с.
2. Сазанов Д. М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. Для радиотехнических специальных вузов. М.: Высшая школа, 1988 г., 432 с.
3. Кац Б. М. и другие. Оптимальный синтез устройств СВЧ с Т-волнами / Под редакцией В. П. Мещанова. М.: Радио и связь, 1984 г., 288 с.
4. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств: Перевод с английского. М.: Радио и связь, 1987 г., 432 с.
5. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Советское радио, 1967 г., 651 с.
6. [http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=010\\_EDA/eda414.mod/?cou=Default/020\\_ECA\\_D.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=010_EDA/eda414.mod/?cou=Default/020_ECA_D.cou). Быстрообразование Фурье
7. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990 г. 288 с.
8. Дмитриев Е. Е. Основы моделирования в MicrowaveOffice 2009. 2011 г. 177 с.
9. <http://elmica.ru/nasha-produkciya/sloistye-plastiki/folgirovannye-dielektriki/svch-dielektriki1.html>. СВЧ диэлектрики.
10. Справочник по элементам полосковой техники. / Под ред. А. Л. Фельдштейна. М.: Связь, 1979 г., 336 с.
11. Конструирование и расчет полосковых устройств. / Под ред. И. С. Ковалева. М.: Советское радио, 1974 г., 295 с.
12. <http://www.dsplib.ru/content/filters/ch2/ch2.html>. Типы фильтров. Параметры аппроксимации идеального ФНЧ. Коридор АЧХ.
13. Малорадский А. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М.: Советское радио, 1972 г., 232 с.
14. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование ФА. / Под ред. Д. И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1981 г., 431 с.
15. Пистолькорс А. А. Антенны. М.: Связьиздат., 1947 г. 480 с.

- 16.Альтман Дж. Устройства СВЧ. М.: Мир, 1968 г., 487 с.
- 17.[http://www.radiomir.org/index.php?productID=118.](http://www.radiomir.org/index.php?productID=118) ФАФ-4Д фторопласт фольгированный
- 18.Ханзель Г. Справочник по расчету фильтров. М.: Советское радио, 1974 г. 288 с.
- 19.Козлов В. И., Юфит Г. А. Проектирование СВЧ устройств с помощью ЭВМ. М.: Советское радио, 1975 г., 175 с.
20. Современная теория фильтров и их проектирование. / Под ред. Г. Темеша и С. Митра. М.: 1977 г., 560 с.
21. Фильтры и цепи СВЧ / Под ред. Матсумото. М.: Связь, 1976 г., 281 с.
- 22.МазеповаО. И., Мещанов В. П. Прохорова Н. И. и др. Справочник по элементам полосковой техники /Под ред. А. Л. Фельдштейн. М.: Связь, 1979 г., 366 с.
23. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ. / Под ред. В. В. Никольского. М.: Радио и связь, 1982г., 272 с.