

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

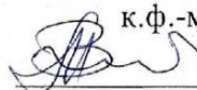
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 23 » января 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

РАЗРАБОТКА, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И НАСТРОЙКА МАКЕТА ТРЕХЗВЕННОГО
МИКРОПОЛОСКОВОГО ФИЛЬТРА НА ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ НА
ЧАСТОТУ 2,5 ГГц ПО ТЗ

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Луковец Владислав Витальевич

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент



В.А. Журавлёв

«__» января 2023 г.

Автор работы

студент группы № 778



В.В. Луковец

Томск-2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 20 » декабря 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку ВКР специалиста
студенту 778 группы Луковцу Владиславу Витальевичу

1. Тема ВКР: Разработка, изготовление и настройка макета трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах на частоту 2,5 ГГц по ТЗ

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

- а) на кафедре 20.01.2023,
б) в ГЭК 01.02.2023.

3. Краткое содержание работы:

Работа направлена на разработку, изготовление и настройку макета трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах на частоту 2,5 ГГц по ТЗ. Включает виртуальное моделирование, проектирование макета и его настройку.

4. Календарный график выполнения ВКР:

- | | |
|---|-------------------------|
| а) обзор литературы по проблеме курсовой работы | 22.12.2022 – 28.12.2022 |
| б) моделирование макета фильтра в Microwave Office | 24.12.2022 – 28.12.2022 |
| в) изготовление макета фильтра и его настройка | 24.12.2023 – 16.01-2023 |
| г) написание ВКР и сдача в ГЭК | 12.01.2023 – 01.02-2023 |
| д) размещение текста ВКР в электронной библиотеке ТГУ | 26.01.2023 – 29.01.2023 |

5. Дата выдачи задания «20» декабря 2022 г.

Руководитель ВКР –
канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры радиоэлектроники
Задание принял к исполнению



В.А. Журавлёв

В.В. Луковец

РЕФЕРАТ

Отчет 43 страниц, 5 глав, 16 рисунков, 6 источников.

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ, ТРЕХЗВЕННЫЙ МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ФИЛЬТР, ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ.

Объектом исследования является макет трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах.

Цель работы – аналитический расчёт параметров, разработка и настройка трехзвенного микрополоскового фильтра по ТЗ на четвертьволновых резонаторах, а также сравнение преимуществ и недостатков микрополосковых фильтров на четвертьволновых и полуволновых резонаторах.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Теоретические сведения.....	7
1.1 Фильтры.....	7
1.2 Микрополосковый резонатор	8
1.3 Добротность микрополоскового резонатора	15
1.4 Микрополосковые фильтры	15
1.5 Основные параметры АЧХ фильтра	17
1.6 Условия оптимальной настройки фильтра	19
1.7 Фильтры на полуволновых и четвертьволновых МПР	20
2 Практическая часть	23
2.1 Расчёт длины резонатора.....	23
2.2 Алгоритм расчета и моделирование АЧХ трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах в программе AWR Microwave Office	24
3 Изготовление и настройка макета фильтра	26
3.1 Алгоритм изготовления	26
3.2 Настройка фильтра.....	27
4 Сравнение фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах ..	32
4.1 Сравнение площадей топологии фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах	32
4.2 Сравнение АЧХ фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах.....	34
5 Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья	38
5.1 Общие требования охраны труда	38
5.2 Требования охраны труда перед началом работ.....	38
5.3 Требования охраны труда во время работы	39
5.4 Требования охраны труда в аварийных ситуациях	40
5.5 Требования охраны по окончании работы	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	43

ВВЕДЕНИЕ

Частотно избирательные устройства являются важнейшими элементами в технике связи и радиолокации. Особое же место среди всех селективных устройств занимают фильтры. В настоящее время наиболее широкое распространение в технике получили миниатюрные фильтры двух типов. К одному из них относятся фильтры на диэлектрических резонаторах (ДР), признанные лучшими в сантиметровом диапазоне волн. Их достоинствами являются сравнительно малые размеры и незначительные вносимые потери. Кроме того, фильтры на ДР, снабженные цепью электронной перестройки, могут изменять рабочую частоту на несколько процентов, что используется для автоматической подстройки фильтра на заданную частоту. Основными недостатками фильтров на ДР считаются сложность борьбы с близко расположенными паразитными резонансами и поштучная настройка каждого фильтра, неудобная и трудоемкая при массовом производстве. В дециметровом диапазоне волн фильтры на ДР становятся очень громоздкими и использование их на частотах ниже 2 ГГц затруднительно.

Другим типом миниатюрных фильтров, используемых в технике, являются фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ). К их достоинствам относятся миниатюрность, высокая технологичность и низкая стоимость при массовом производстве. Однако в полной мере эти достоинства реализуются на низких частотах, включая метровый диапазон волн. Недостатками фильтров на ПАВ являются сравнительно высокие вносимые потери, потребность в дорогих пьезоэлектрических материалах, необходимость фотолитографии высокого разрешения. Кроме того, фильтры на ПАВ допускают возможность электронной перестройки рабочей частоты лишь на несколько десятых долей процента.

Изготовление фильтров на ПАВ для дециметрового диапазона сталкивается с проблемой электронной литографии высокого разрешения, а также с возрастанием вносимых потерь. Поэтому применение фильтров на

ПАВ в дециметровом диапазоне волн очень ограничено и возможно лишь до частот примерно 1,5 ГГц.

В настоящее время в дециметровом диапазоне в нашей стране и за рубежом активно конструируются и исследуются фильтры на коаксиальных резонаторах с диэлектрическим заполнением.

Известно, что селективные свойства любого фильтра можно значительно улучшить, если на его АЧХ сформировать полюсы затухания вблизи полосы пропускания. В микрополосковых фильтрах (МПФ) количество полюсов затухания и их положение на АЧХ зависит от степени кондуктивного (автотрансформаторного) подключения резонаторов к линиям передачи, от длины области связи микрополосковых резонаторов (МПР) друг с другом и от других параметров МПФ. Очевидно, что при конструировании микрополосковых фильтров с заданными АЧХ полезно знать закономерности поведения полюсов затухания при изменении тех или иных параметров МПФ.

В результате прямоугольность АЧХ такого фильтра по сравнению с обычным МПФ на параллельно связанных резонаторах почти в два раза выше, а потери в полосе заграждения на 10 – 15 дБ больше.

Как известно, важнейшими устройствами современных радиотехнических систем передачи, приема и обработки сигналов являются полосно-пропускающие фильтры, от которых зависит не только качество радиоаппаратуры, но и нередко ее габариты и даже цена. Поэтому разработка новых миниатюрных конструкций фильтров, обладающих низкой стоимостью при массовом производстве, является важной и актуальной задачей [1].

Настоящая работа посвящена исследованию амплитудно-частотных характеристик трехзвенных микрополосковых секций, кондуктивно подключенных к линиям передачи.

1 Теоретические сведения

1.1 Фильтры

Известно, что фильтрами называют устройства, осуществляющие частотную селекцию электромагнитных сигналов, заключающуюся в подавлении помех полезному сигналу при его приеме и передаче. На сегодняшний день известно достаточно большое количество различных конструкций фильтров. В зависимости от рабочего диапазона электромагнитного спектра условно различают рентгеновские фильтры, ультрафиолетовые фильтры, светофильтры, тепловые фильтры, сверхвысокочастотные (СВЧ) фильтры, радиотехнические фильтры, а также фильтры ультразвуковых, звуковых и инфразвуковых частот (рисунок 1).



Рисунок 1 – Диапазоны электромагнитного спектра

Видно, что диапазон сверхвысоких частот располагается между радиодиапазоном и инфракрасным диапазоном и охватывает частоты, которым соответствуют электромагнитные волны длиной от 1 м до 1 мм. Это частоты от 300 МГц до 300 ГГц. Диапазон СВЧ делят на три поддиапазона: дециметровый, сантиметровый и миллиметровый. Иногда к диапазону СВЧ относят также метровые и субмиллиметровые волны. Поддиапазон (30-300 МГц) называют очень высокими частотами (ОВЧ), дециметровый (0,3-3 ГГц) – ультравысокими частотами (УВЧ), сантиметровый (3-30 ГГц) – сверхвысокими частотами (СВЧ), миллиметровый (30-300 ГГц) – крайне высокими частотами (КВЧ), субмиллиметровый (0,3-3 ТГц) – гипервысокими частотами (ГВЧ).

В фильтрах СВЧ диапазона в полной мере проявляются волновые свойства электромагнитных колебаний. Здесь уже перестают работать уравнения электро- и магнитостатики и вытекающее из них правило Кирхгофа для замкнутого контура, используемые в теории цепей радиодиапазона. Но еще не начинают работать законы геометрической оптики. Это связано с тем, что структуры диапазона СВЧ содержат элементы, размеры которых могут быть соизмеримы с длиной волны. Поэтому их строгое описание возможно только на основе электродинамических уравнений Максвелла.

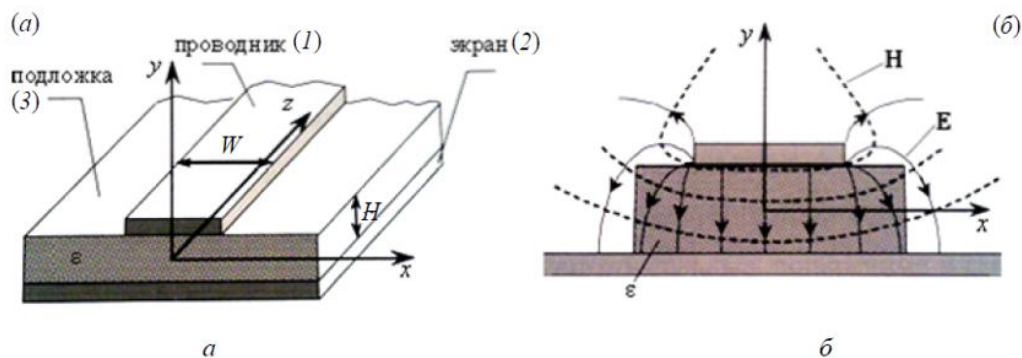
По тому, какие частоты фильтром пропускаются (подавляются), фильтры подразделяются на фильтры нижних частот (ФНЧ), фильтры верхних частот (ФВЧ), полосно-пропускающие фильтры (ППФ) и полосно-заграждающие или режекторные фильтры.

Фильтр нижних частот представляет собой устройство, эффективно пропускающее сигнал ниже некоторой частоты и подавляющее мощность электромагнитных волн выше этой частоты. Соответственно, фильтр верхних частот наоборот пропускает сигнал выше некоторой частоты и подавляет мощность электромагнитных волн ниже этой частоты. Полосно-пропускающий фильтр на выходе выделяет частотные составляющие входного сигнала, попадающие в полосу пропускания устройства. Остальные составляющие ниже и выше полосы пропускания ППФ подавляет–отражает, поглощает или ответвляет в зависимости от конструкции. Соответствующие области на оси частот называют полосами заграждения (рисунок 2). АЧХ полосно-пропускающего фильтра: 1 – полоса заграждения; 2 – полоса пропускания.

1.2 Микрополосковый резонатор

Простейшим микрополосковым фильтром может служить одиночный микрополосковый резонатор (МПР). Он представляет собой отрезок регулярной микрополосковой линии (МПЛ) передачи открытого типа,

состоящий из двух плоских металлических проводников, выполненных в виде полоскового проводника 1 и экрана 2 на обеих сторонах подложки 3 с диэлектрической проницаемостью ε и высотой H (рисунок 2).



а) Микрополосковая линия передачи, б) Распределение амплитуд высокочастотных магнитного поля и электрического поля

Рисунок 2 – Микрополосковая линия и структура поля в ней

Распределение амплитуд высокочастотных магнитного поля и электрического поля показано на рисунке 3, б. Видно, что структура поля в микрополосковой линии имеет достаточно сложный характер. Теоретический анализ поля в МПЛ усложняется тем, что лишь часть поля концентрируется в заполненном диэлектриком промежутке между полоской и заземленным проводником. Остальная часть поля, сосредоточена вблизи полоскового проводника и в воздухе над ним. В связи с этим распространяющаяся в линии мода является не чистой поперечной волной, а квазипоперечной волной. Квазипоперечная электромагнитная волна представляет собой волну, у которой существуют продольные составляющие электромагнитного поля, однако они намного меньше поперечных составляющих. С помощью термина «квазипоперечная» подчеркивается, что различие в структуре полей, обусловленное присутствием в линии слоистой среды воздух ($\varepsilon = 1$) – диэлектрик ($\varepsilon \neq 1$), для этих двух мод достаточно невелико. На низких частотах анализ, выполненный в предположении, что распространяется квазипоперечная мода, дает вполне приемлемую точность, однако по мере

повышения частоты все более заметными становятся продольные составляющие полей. В частности, заметно проявляется дисперсия волнового сопротивления линии и эффективной диэлектрической проницаемости подложки, эти характеристики МПЛ начинают зависеть от частоты. Величина продольных составляющих возрастает также и с увеличением толщины подложки или ширины полоскового проводника.

Продольными составляющими полей по сравнению с поперечными можно пренебречь в том случае, когда толщина подложки H и ширина полоскового проводника W много меньше длины поперечной волны в диэлектрике. При нулевой толщине полоскового проводника, в квазистатической области частот с приемлемой точностью можно использовать следующие формулы для вычисления основных характеристик микрополосковой линии:

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon+1}{2} + \frac{V(\varepsilon-1)}{2}, \quad (1)$$

где $V = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{12H}{W}}}$, при $W \geq H$.

$$V = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{12H}{W}}} + 0,04\left(1 - \frac{W}{H}\right)^2, \text{ при } W \leq H. \quad (2)$$

Величина ε_{eff} называется эффективной диэлектрической проницаемостью. Так как микрополосковая линия передачи является линией открытого типа, часть СВЧ мощности распространяется в подложке, между полосковым проводником и экраном, а часть мощности – в воздухе, вблизи полоскового проводника. В результате чего скорость электромагнитной волны в микрополосковой линии определяется как значением диэлектрической проницаемости подложки, так и диэлектрической проницаемости воздуха. Поэтому скорость распространения, и

соответственно, длина электромагнитной волны в микрополосковой линии передач определяются некой эффективной диэлектрической проницаемостью.

Построенные по формулам (1–2) нормированные зависимости $\varepsilon_{eff}/\varepsilon$ от относительной ширины полоскового проводника для трех широко распространенных в технике СВЧ материалов подложек $\varepsilon = 2,8$ (ФЛАН), $\varepsilon = 9,8$ (керамика поликор) и $\varepsilon = 80$ (керамика ТБНС) приведены на рисунке 3.

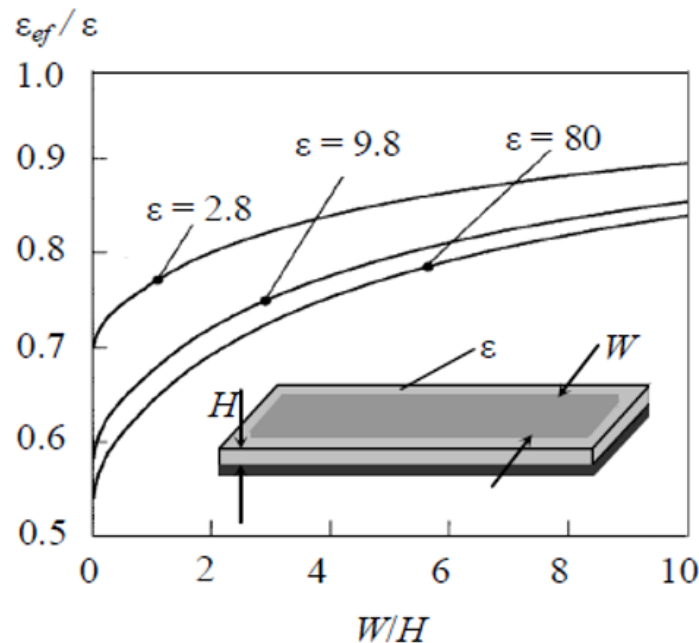


Рисунок 3 – Зависимости эффективной диэлектрической проницаемости от ширины полоскового проводника

Видно, что диапазон изменения эффективной диэлектрической проницаемости при варьировании W сравнительно большой для всех подложек. Так, например, микрополосковая линия на подложке толщиной $H = 1$ мм, изготовленной из керамики ТБНС ($\varepsilon = 80$), обладает $\varepsilon_{eff} \approx 45$ при $W = 0,1$ мм и $\varepsilon_{eff} \approx 67$ при $W = 10$ мм.

Волновое сопротивление отрезка микрополосковой линии может быть вычислено по следующим формулам:

$$Z = \frac{\sqrt{\frac{120}{\epsilon_{eff}}}}{\left(\frac{H}{W}\right)+1,393+0,667\ln\left(\frac{W}{H}+1,444\right)}, \text{ при } W \geq H. \quad (3)$$

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln\left(\frac{8H}{W} + \frac{W}{4H}\right), \text{ при } W \leq H. \quad (4)$$

На сравнительно низких частотах для основных типов волн в МПЛ зависимостью фазовой скорости от частоты можно пренебречь.

В общем случае в МПР существуют продольные, поперечные и смешанные моды колебаний. Они различаются тем, что при продольных модах колебаний электрические токи текут вдоль резонатора, а при поперечных – поперек. Смешанные моды колебаний представляют собой комбинацию связанных продольных и поперечных колебаний. В МПЛ продольные моды колебаний свойственны только поперечным и квазипоперечным волнам. Поперечные и смешанные моды колебаний характерны для волны высших типов, которые возникают на высоких частотах, когда по ширине полоскового проводника укладывается несколько длин полуволн.

При продольных колебаниях амплитуды высокочастотного электромагнитного поля между полосковым проводником и экраном однородны в поперечном сечении резонатора. Высокочастотное напряжение U и интегральный по сечению полоскового проводника электрический ток I распределяются по длине МПР по синусоидальному закону. Амплитуды тока I_0 и напряжения U_0 связаны с волновым сопротивлением Z микрополосковой линии следующим соотношением:

$$U_0 = ZI_0. \quad (5)$$

Нижайшую частоту собственных колебаний в регулярном отрезке МПЛ имеет первая продольная мода. В МПР с разомкнутыми концами

(рисунок 4) на любой моде его концах устанавливаются пучности электрического поля, а пучности магнитного поля устанавливаются внутри резонатора. В микрополосковом резонаторе с замкнутыми на экран концами наоборот пучности электрического поля устанавливаются внутри резонатора, а магнитного – на его концах.

Анализируя рисунок 4, можно сказать, что на резонансных частотах по длине резонатора (l) укладывается целое число (m) полуволен ($\lambda/2$), т. е.:

$$l = \frac{m\lambda}{2}, \quad (6)$$

где m – номер продольной моды;

$F = \frac{\omega}{2\pi}$ – частота;

$\lambda = \frac{c}{F\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ – длина волны в МПЛ.

Отсюда резонансная частота m -ой продольной моды резонатора:

$$f_m = \frac{mc}{2l\sqrt{\epsilon_{eff}}}. \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что резонансные частоты высших продольных мод МПР с разомкнутыми концами кратны нижней резонансной частоте, т.е. спектр резонансных частот регулярных МПР почти эквидистантный. Отметим, что в реальных микрополосковых резонаторах с увеличением частоты возрастает дисперсия волнового сопротивления и эффективной диэлектрической проницаемости. Это выражается в постепенном уменьшении частот высших продольных мод колебаний с увеличением номера моды m . На этих частотах приходится учитывать волны высших типов в расчете и, следовательно, дисперсию.

Распределение высокочастотного напряжения (1, 2) и высокочастотного тока (3, 4) по длине резонатора с разомкнутыми концами для первой (1, 3) и второй (2, 4) моды колебаний (рисунок 4).

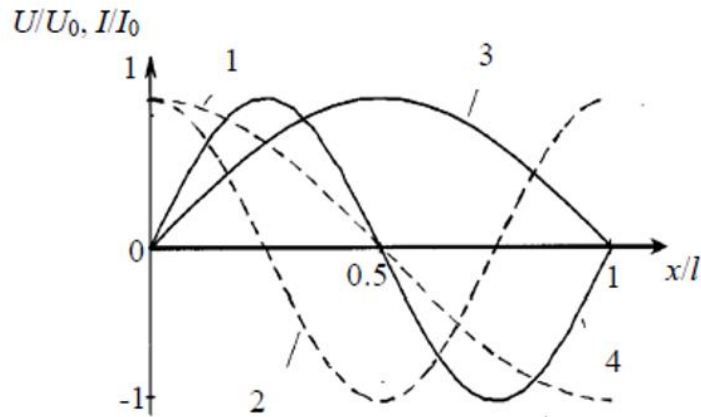


Рисунок 4 – Распределение напряжений и токов по длине резонатора

На практике для улучшения селективных характеристик микрополосковых фильтров используют не один, а несколько электромагнитно связанных (полностью или частично) микрополосковых резонаторов. Наиболее распространенные конструкции фильтров представляют собой четырехполосники, отражающие СВЧ мощность электромагнитных волн в полосах заграждения. Селективные свойства таких фильтров, характеризуют функции частотных зависимостей прямых и обратных потерь:

$$L(f) = -10\lg|S_{21}(f)|^2 R(f) = -10\lg|S_{11}(f)|^2, \quad (8)$$

где S_{ij} – элементы матрицы рассеяния четырехполосника;

f – частота;

$L(f)$ – зависимость амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) фильтра.

1.3 Добротность микрополоскового резонатора

Добротность произвольной колебательной системы есть безразмерная величина Q , определяемая по формуле (9):

$$Q = \frac{\omega w}{p}, \quad (9)$$

где ω – частота колебаний;

w – запасенная системой энергия;

P – усредненная по времени мощность потерь.

Собственная добротность Q_0 характеризует свойства уединенной колебательной системы, а внешняя добротность Q_e характеризует величину связи колебательной системы с внешним окружением.

Собственная добротность микрополоскового резонатора определяется добротностью диэлектрической подложки и добротностью металлических проводников:

$$Q_0 = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta + \frac{\Delta}{H}}, \quad (10)$$

где $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь материала подложки;

Δ – глубина скин-слоя в металлической полоске;

H – высота диэлектрической подложки.

1.4 Микрополосковые фильтры

Микрополосковые фильтры получили достаточно широкое распространение в аппаратуре СВЧ за счет таких преимуществ, как высокие селективные свойства, миниатюрность, простота изготовления и хорошее совпадение расчетных характеристик с измеренными.

Рассмотрим последовательность изготовления микрополосковых фильтров методом гравировки по лаку. Для изготовления фильтра обычно

используется диэлектрическая подложка из высокодобротной керамики (рисунок 3) толщиной $H = 0,5...2$ мм с двухсторонним напылением меди. Верхняя сторона подложки покрывается защитным слоем специального лака и прорезается по лаку предварительно рассчитанный рисунок линий. Затем с мест, подлежащих травлению, лак механически удаляется, а остается он только там, где должны быть медные микрополосковые проводники резонаторов фильтра. Затем происходит травление незащищенных участков раствором хлорного железа. Толщина проводников в несколько раз больше глубины скин-слоя металла. Нижняя сторона подложки остается полностью металлизированной и припаивается на заземляемое основание (экран). В качестве примера показан трехзвенный (состоящий из трех звеньев резонаторов) микрополосковый фильтр (рисунок 5) [2].

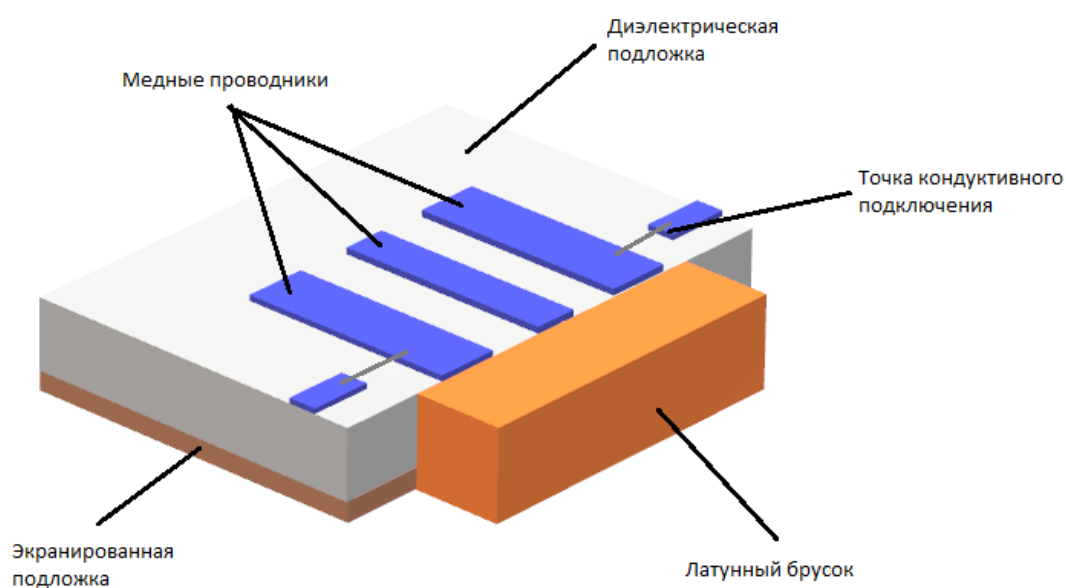


Рисунок 5 – Топология проводников и конструкция трехзвенного микрополоскового фильтра

Один из резонаторов конструкции связан с входной, а другой с выходной линией передачи. Место соединения резонаторов с линиями передачи называется точкой кондуктивного подключения (ТКП).

В настоящей работе подробно будет рассмотрена конструкция полосно-пропускающего трехзвенного микрополоскового СВЧ фильтра на четвертьволновых резонаторах (рисунок 6). Несмотря на небольшое количество резонаторов, такой фильтр обладает достаточно высокими селективными характеристиками. К достоинствам конструкции можно отнести то, что АЧХ такого фильтра может быть оптимально настроена даже при отсутствии достаточного опыта в конструировании подобных устройств.

1.5 Основные параметры АЧХ фильтра

Для формального описания АЧХ полосно-пропускающих фильтров обычно используется набор параметров, характеризующих полосу пропускания и полосу заграждения. Основные из этих параметров представлены на рисунке 6. Это минимальные потери L_0 и допустимый относительный уровень затухания L_{pass} в полосе пропускания, частоты нижней f_{lpass} и верхней f_{hpass} границ, а также минимальные обратные потери R_{min} в полосе пропускания. Границы полосы заграждения f_{stop} определяются заданным уровнем затухания L_{stop} .

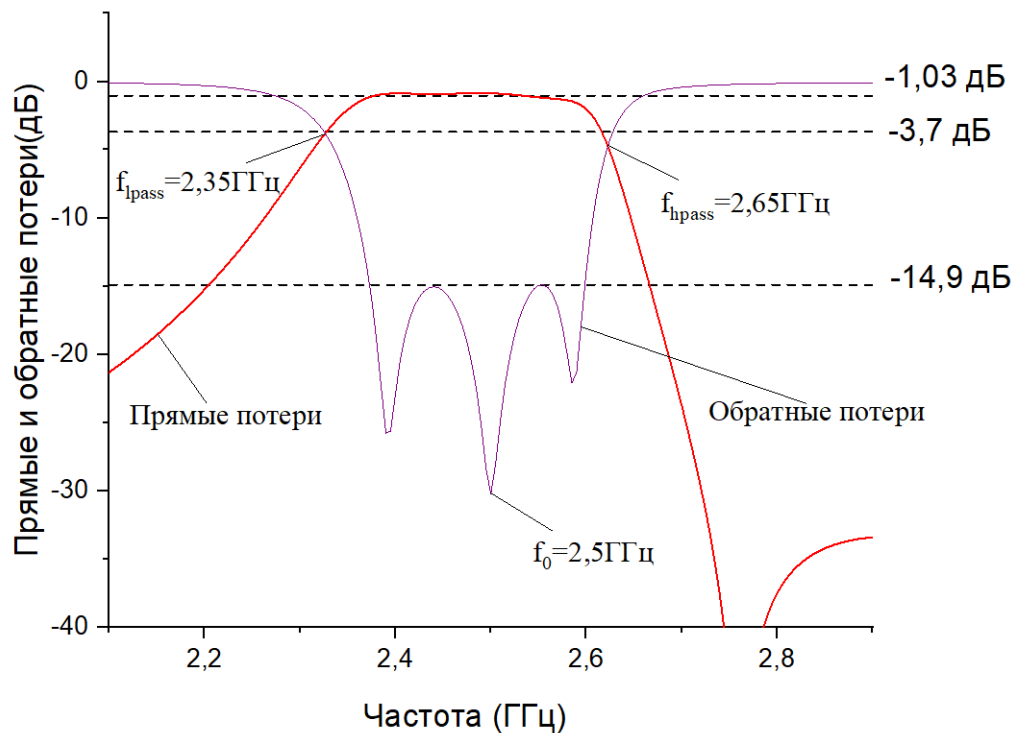


Рисунок 6 – Основные параметры АЧХ фильтра

Оптимальной АЧХ будем называть такую АЧХ, в которой число пиков функции обратных потерь $R(f)$ в полосе пропускания совпадает с числом микрополосковых резонаторов конструкции n , а глубина всех минимумов R , ($I = 1, 2, \dots, n - 1$), расположенных между этими пиками, равна заданной величине R_{min} .

Как известно, уменьшение минимальных потерь L_0 при заданной полосе пропускания (f_{lpass}, f_{hpass}) и заданном уровне минимальных обратных потерь R_{min} достигается выполнением определенных условий. Важно отметить, что равенство резонансных частот должно выполняться с учетом взаимодействия всех МПР между собой, а также крайних МПР с входной и выходной линиями передачи. Характер влияния этих связей на резонансную частоту может быть самым различным. Поэтому в оптимально настроенном фильтре полосковые проводники, как правило, имеют неодинаковую длину.

Относительную ширину полосы пропускания фильтра, измеряют обычно в процентах. Рассчитать ее можно по следующей формуле:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f_{hpass} - f_{lpass}}{f_0} * 100\%. \quad (11)$$

Как было сказано выше, f_{lpass} и f_{hpass} – частоты нижней и верхней границ полосы пропускания, измеренные по уровню 3 дБ от уровня минимальных потерь L_0 , а f_0 – центральная частота полосы пропускания фильтра. Так, на рисунке 7 в качестве примера приведена АЧХ фильтра с центральной частотой полосы пропускания $f_0 = 2,5$ ГГц и относительной шириной полосы пропускания $12 \pm 0,1\%$.

Отметим, что наибольшее влияние на ширину полосы пропускания оказывает изменение величины зазоров между резонаторами. При этом увеличение расстояния между резонаторами уменьшает полосу пропускания, а уменьшение расстояния соответственно увеличивает полосу [2].

1.6 Условия оптимальной настройки фильтра

Первым условием является совпадение центральной частоты полосы пропускания с заданной величиной $(F_{lpass} + F_{hpass})/2$. Известно, что резонансные частоты МПР обратно пропорциональны их длине l_r . Поэтому настройка центральной частоты на заданную производится пропорциональным изменением длин l_r всех полосковых проводников. Причем для понижения центральной частоты следует увеличить длину резонаторов, а для повышения – укоротить.

Вторым условием является совпадение ширины полосы пропускания с заданной $(F_{hpass} - F_{lpass})$. Величина расщепления резонансных частот, взаимодействующих МПР и ширина полосы пропускания фильтра пропорциональны коэффициенту связи резонаторов. Поэтому для настройки ширины полосы пропускания следует производить те операции, которые влияют на коэффициент $k_{св}$. К числу этих операций прежде всего относится вариация зазора S между полосковыми проводниками. При этом увеличение S приводит к уменьшению ширины полосы пропускания и наоборот. В

меньшей степени шириной полосы пропускания можно управлять изменением ширины полосковых проводников. Увеличение w также приводит к уменьшению ширины полосы пропускания и наоборот.

Необходимо отметить, что при заданном значении коэффициентов $k_{св}$ некоторое влияние на ширину; полосы пропускания оказывает и величина связи крайних резонаторов с линиями передачи. При малой средней величине этой связи, когда разрешаются все пики обратных потерь, увеличение ее приводит к сужению полосы пропускания и наоборот. Однако, как будет видно ниже, настраивать ширину полосы пропускания варьированием величины связи МПР с линиями передачи не следует.

Третьим условием является обеспечение требуемого по техническому заданию уровня максимума потерь на отражение в полосе пропускания не более -14 дБ. Это значение соответствует величине коэффициента стоячей волны (КСВн), равного 1,2 [3].

1.7 Фильтры на полуволновых и четвертьволновых МПР

Целью прошлой годней курсовой работы являлись: разработка, изготовление и настройка макета трехзвенного микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах на частоте 2,5 ГГц по ТЗ. В результате работы был изготовлен трехзвенный микрополосковый фильтр со сдвигом крайних резонаторов, позволяющим получить симметричную АЧХ относительно центральной частоты фильтра (рисунок 7).

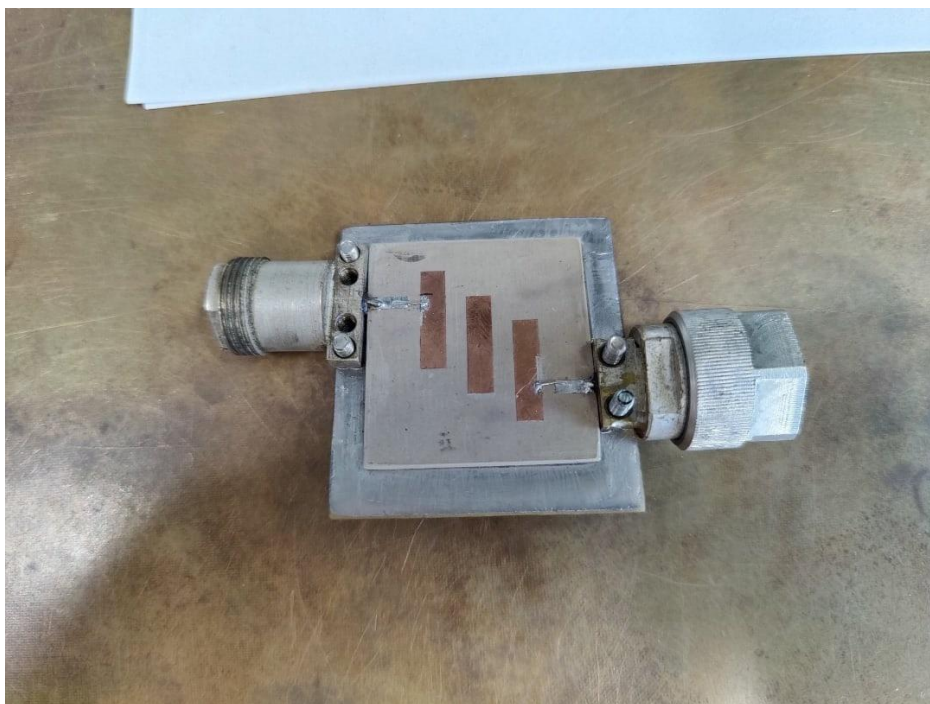


Рисунок 7 – Макет трехзвенного полуволнового микрополоскового фильтра

Изготовленное изделие имеет параметры, приведенные в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Параметры АЧХ полуволнового микрополоскового фильтра

Параметры АЧХ	Значения
Центральная частота (f_0)	2,507 ГГц
Ширина полосы пропускания	315 МГц
Коэффициент прохождения L_0	-0,79 дБ $\pm$ (0,21) дБ
Коэффициент отражения R_{min}	-14,38 дБ $\pm$ (1,31) дБ

Таблица 2 – Параметры топологии полуволнового микрополоскового фильтра

Параметры топологии	Значения
Диэлектрическая проницаемость ε	16,5
Ширина резонаторов W	4 мм
Длина резонаторов L_r	16,5 мм
Расстояние между резонаторами S	3,2 мм
Расстояние точек подключения L_c	5,36 мм
Расстояние от края до первого полоска L_a	9 мм

Фильтры на четвертьволновых МПР менее технологичны в изготовлении, так как требуют замыкания полосок МПР на экран. Однако эти фильтры отличаются рядом преимуществ по сравнению с фильтрами на полуволновых МПР. Они существенно миниатюрнее и, как правило, обладают более высокими селективными свойствами при одинаковом количестве звеньев в устройстве. У четвертьволновых резонаторов в спектре собственных колебаний отсутствуют все четные моды, поэтому у фильтров на их основе не существует четных, паразитных полос пропускания [4].

2 Практическая часть

В этой главе будет производиться расчет основных параметров топологии фильтра.

2.1 Расчёт длины резонатора

Для расчёта длины резонатора необходимо знать:

- а) относительную диэлектрическую проницаемость подложки ε ;
- б) толщину подложки d (мм);
- в) ширину полоски W (мм);
- г) центральную частоту f_0 (ГГц);
- д) скорость света в свободном пространстве c (м/с).

Неизменяемые параметры:

- а) $\varepsilon = 8,6$;
- б) $Q = 200$;
- в) $H = 2$ мм;
- г) $W = 4$ мм;
- д) $f_0 = 2,5 \pm 0,01$ ГГц;
- е) $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;
- ж) $Z_i = 150$ Ом;
- з) $L_i = 2$ мм.

Для расчета длины резонатора нам нужно рассчитать ε_{eff} и воспользоваться формулой 7:

$$\varepsilon_{eff} = \frac{8,6+1}{2} + \frac{\frac{1}{\sqrt{7}}(8,6-1)}{2} = 6,23.$$

$$l = \frac{cm}{3f_0\sqrt{\varepsilon_{eff}}} = 16 \text{ мм.}$$

При расчете трехзвенного фильтра в программе AWR Microwave Office была подобрана более точная длина резонатора $L_r = 11,67$ мм.

2.2 Алгоритм расчета и моделирование АЧХ трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах в программе AWR Microwave Office

Программа AWR Microwave Office предназначена для моделирования АЧХ трехзвенного микрополоскового фильтра. Интерфейс данной программы представлен на рисунке 8.

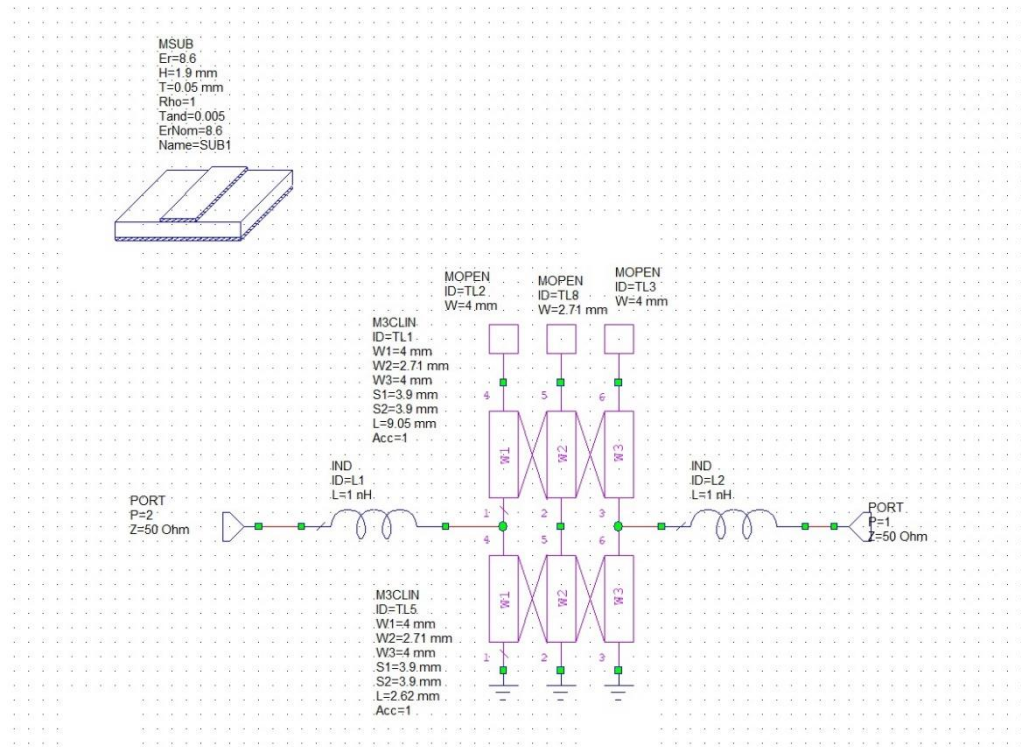


Рисунок 8 – Основные параметры топологии фильтра в программе AWR Microwave Office

В неё мы вводим параметры:

- полосу частот, в которой программа будет вычислять АЧХ (f_1 и f_2);
- добротность (Q);
- относительная диэлектрическая проницаемость подложки (E_r);
- толщина подложки (H);
- наличие металлического экрана (H_a);
- длина резонатора (L_r);
- расстояние подключения перемычки (L_c);
- ширина полосковых проводников (W);

- и) расстояние между полосками (S);
- к) волновое сопротивление перемычки (Z_i);
- л) длина перемычки (L_i).

По методике, настраиваем фильтр для получения симметричной АЧХ с помощью изменения параметров:

а) L_r (Для понижения центральной частоты следует увеличить длину резонаторов, а для повышения – укоротить);

б) S (увеличение приводит к уменьшению ширины полосы пропускания и наоборот);

в) W (увеличение приводит к уменьшению ширины полосы пропускания и наоборот);

г) L_c (для повышения среднего значения минимумов обратных потерь точку подключения МПР к линии передачи следует переместить дальше от середины резонатора (узла напряжения), а для понижения – ближе).

АЧХ настроенного фильтра приведен на рисунке 9.

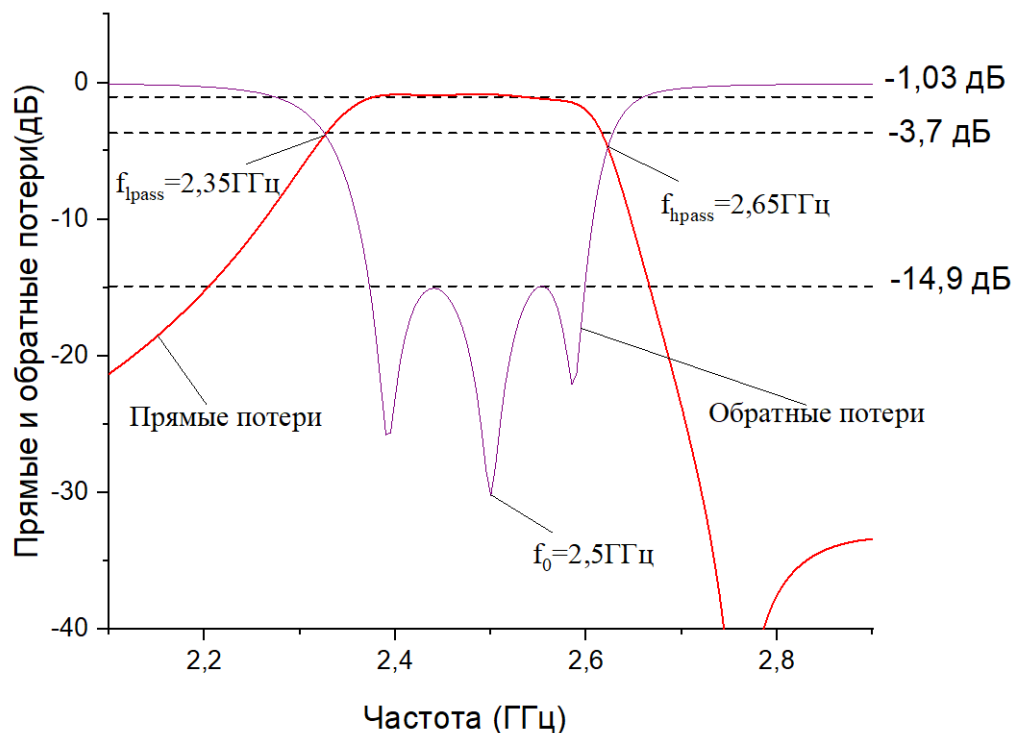


Рисунок 9 – АЧХ настроенного трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах

К основным параметрам фильтра относятся:

- а) относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 8,6$;
- б) центральная частота ($f_0 = 2,5$ ГГц);
- в) минимальные потери ($L_0 = -1,03$ дБ);
- г) частота нижней границы на уровне -3 дБ ($f_{lpass} = 2,35$ ГГц);
- д) частота верхней границы на уровне -3 дБ ($f_{hpass} = 2,65$ ГГц);
- е) минимальные обратные потери ($R_{min} = -14,9$ дБ);
- ж) ширина полосы пропускания ($f_{pass} = 300$ МГц).

Параметры топологии расчетного фильтра:

- а) толщина подложки $H = 2$ мм;
- б) наличие металлического экрана $H_a = 0$;
- в) длина резонатора $L_r = 11,67$ мм;
- г) расстояние подключения перемычки $L_c = 2,62$ мм;
- д) ширина крайних проводников $W = 4$ мм;
- е) ширина центрального проводника $W = 2,71$ мм;
- ж) расстояние между полосками $S = 3,9$ мм;
- з) волновое сопротивление перемычки $Z_i = 150$ Ом;
- и) длина перемычки $L_i = 2$ мм.

3 Изготовление и настройка макета фильтра

3.1 Алгоритм изготовления

Рассмотрим последовательность изготовления микрополосковых фильтров методом гравировки по лаку.

Создание макета происходило следующим образом:

- а) подготовка подложки (расчет размеров фильтра и вырезание подложки);
- б) наметка будущих микрополосок (нанесение меток, где должны быть микрополоски и их размеры);
- в) вырезка микрополосок (нанесение лака на подложку, вырезание технической бритвой топологии и удаление лишнего лака);

г) вытравка микрополосок (в данном этапе с помощью хлорида железа была вытравлена металлизация вокруг микрополосок);

д) заземление МПР на подложку при помощи латунной пластинки;

е) подсоединение точек подключения;

ж) настройка характеристик и снятие АЧХ.

Изготовленный макет трехзвенного микрополоскового фильтра приведен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Макет трехзвенного микрополоскового фильтра на четвертьволновых резонаторах

3.2 Настройка фильтра

Настройка фильтра проводилась с помощью измерителя модуля коэффициента передачи и отражения Р2М-04 фирмы «Микран», работающего в диапазоне частот 0,01 до 4 ГГц. После часового прогрева прибора проводилась его калибровка в соответствии с инструкцией [5,6], а после этого проводились измерения.

АЧХ изготовленного макета фильтра приведена на рисунке 11.

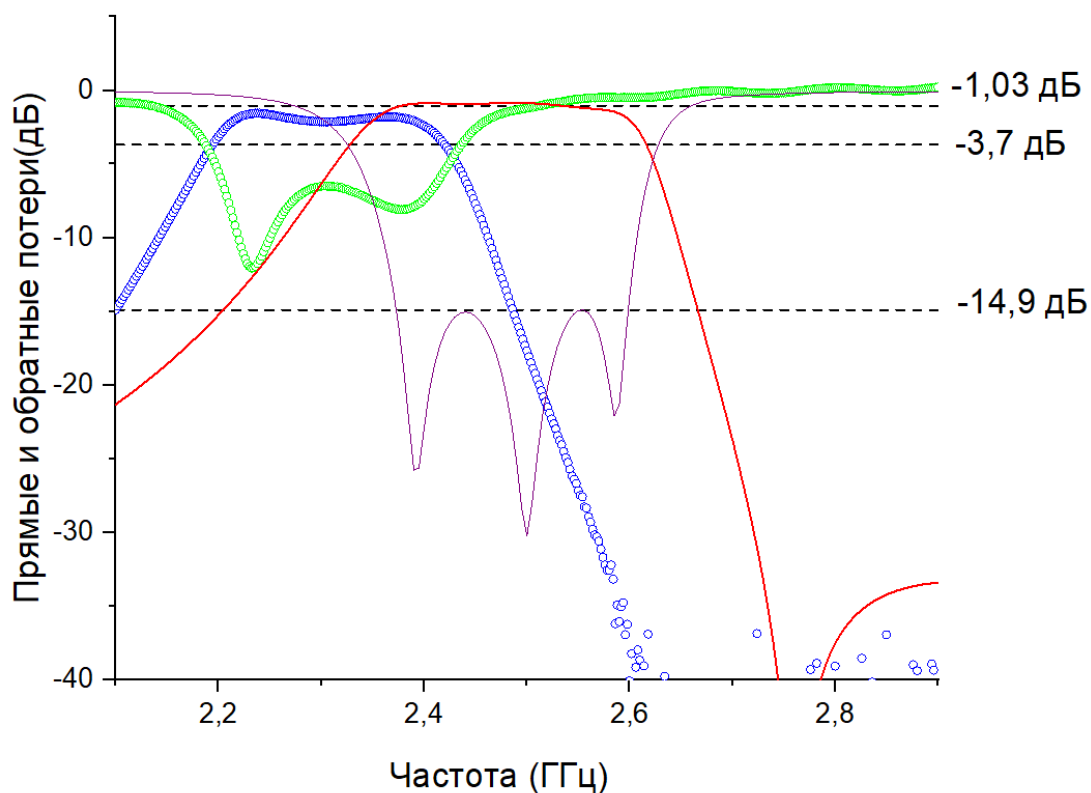


Рисунок 11 – Первоначальная АЧХ фильтра

Из рисунка видно, что на первоначальном измерении АЧХ смещена влево. Поэтому нужно увеличить резонансную частоту всех резонаторов. Для этого были равномерно укорочены МПР. Была укорочена длина всех МПР L_r с 12,76 мм до 12мм. Второй этап настройки АЧХ фильтра представлен на рисунке 12.

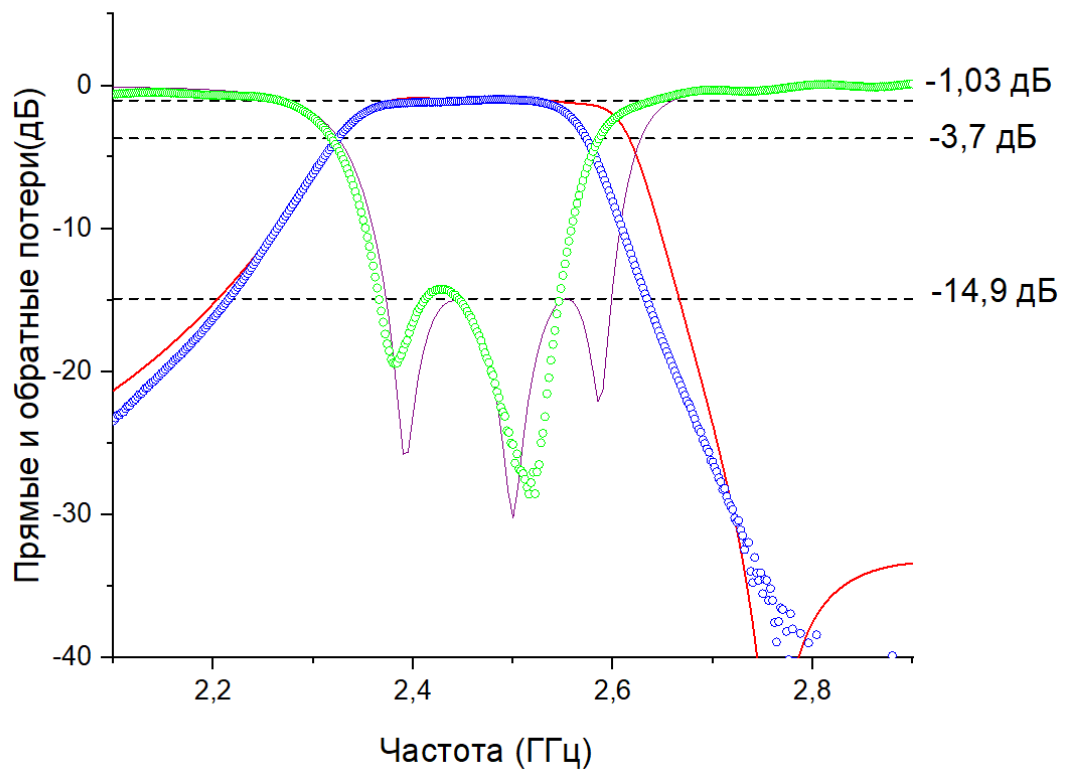


Рисунок 12 – Второй этап настройки АЧХ фильтра

На рисунке 12 видно, что не разрешились три пика обратных потерь. Для этого нужно было ослабить связь кондуктивного подключения МПР. Было уменьшено расстояние точек подключения L_c с 2,25 мм до 2 мм. Третий этап настройки АЧХ фильтра представлен на рисунке 13.

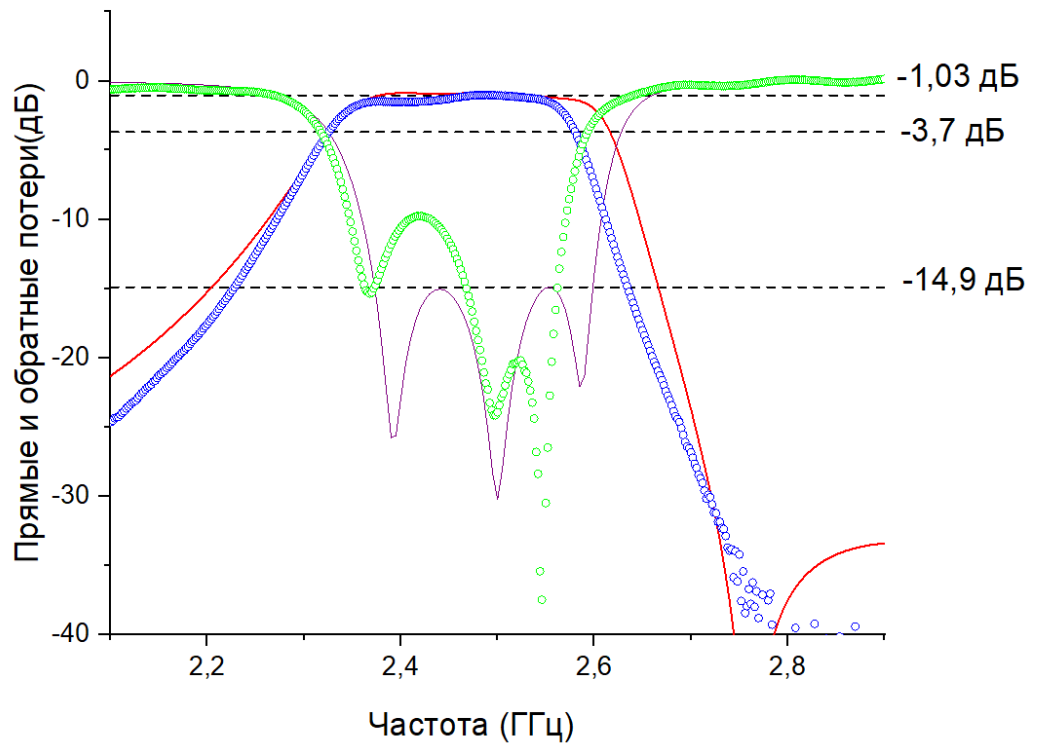


Рисунок 13 – Третий этап настройки АЧХ фильтра

Из рисунка 13 видно, что разрешились три пика обратных потерь, но минимумы обратных потерь находятся не на одном уровне ($R_{min1} < R_{min2}$). Для этого нужно увеличить резонансную частоту центрального полоска с помощью подрезания его длины L_r . Итоговая АЧХ фильтра представлен на рисунке 14.

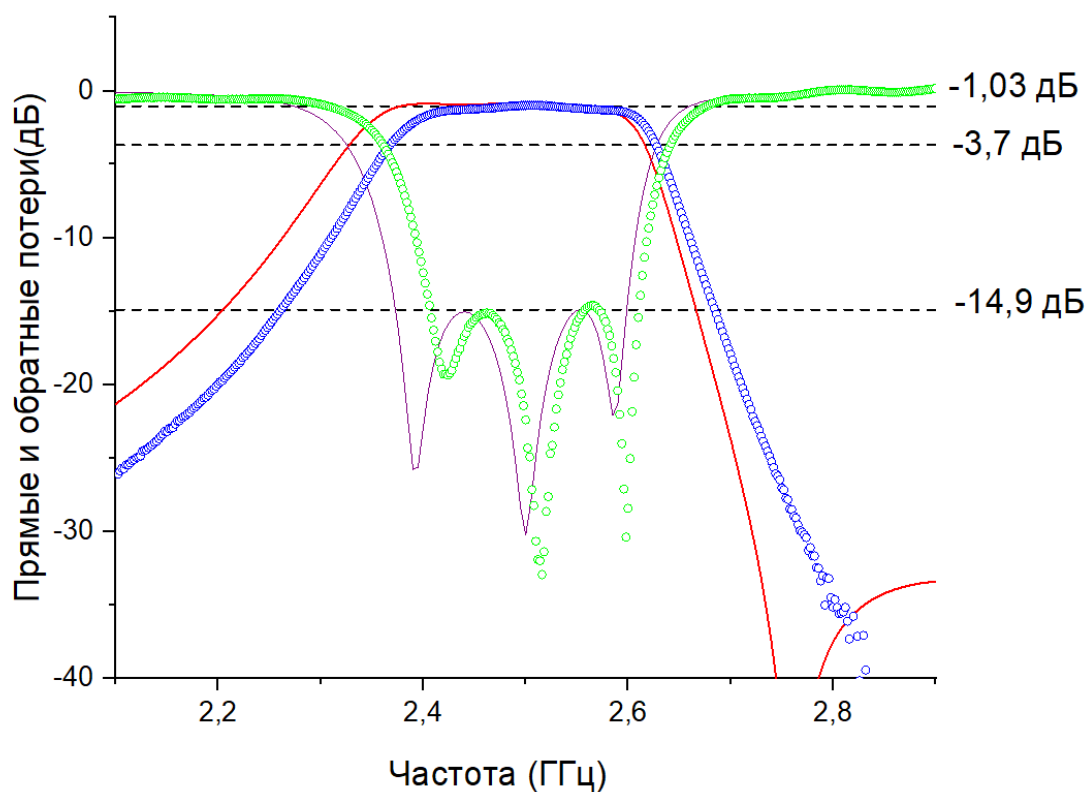


Рисунок 14 – Итоговая АЧХ фильтра

Значения экспериментального и расчетного фильтров представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение значений экспериментального и расчетного фильтров

Значения	Экспериментальный фильтр	Расчетный фильтр
Центральная частота (f_0)	2,499 ГГц	2,5 ГГц
Ширина полосы пропускания	280 МГц	300 МГц
Коэффициент прохождения L_0	-0,96 дБ ± (0,21) дБ	-1,03 дБ ± (0,22) дБ
Минимальные обратные потери	-14,87 дБ ± (1,31) дБ	-14,9 дБ ± (1,36) дБ

4 Сравнение фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах

В данном разделе производится сравнение характеристик фильтров, изготовленных на полуволновых и четвертьволновых резонаторах.

4.1 Сравнение площадей топологии фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах

Топологии фильтров на четвертьволновых и полуволновых резонаторах приведены на рисунках 15 и 16.

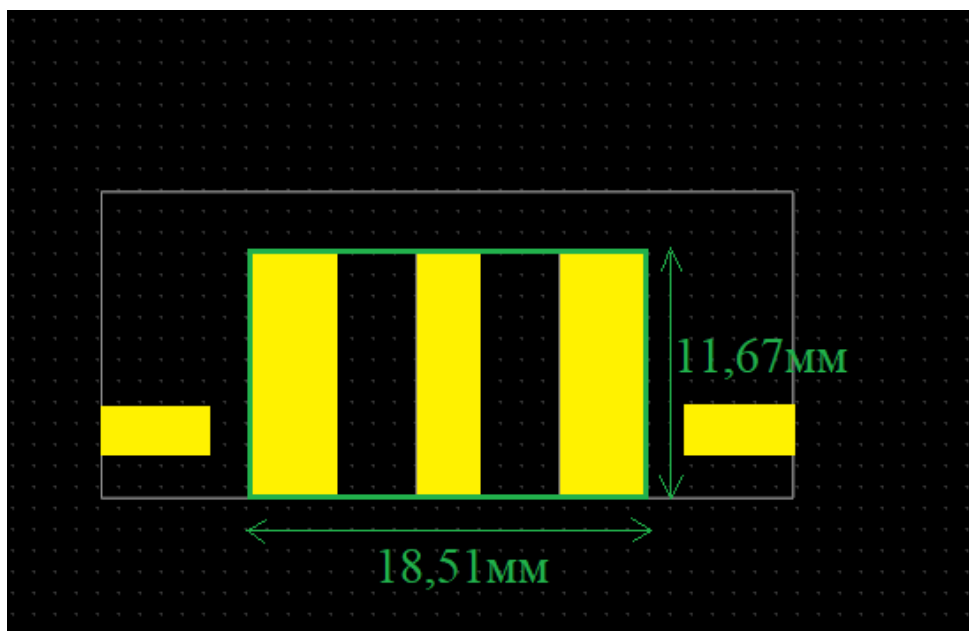


Рисунок 15 – Площадь топологии фильтра на четвертьволновых резонаторах

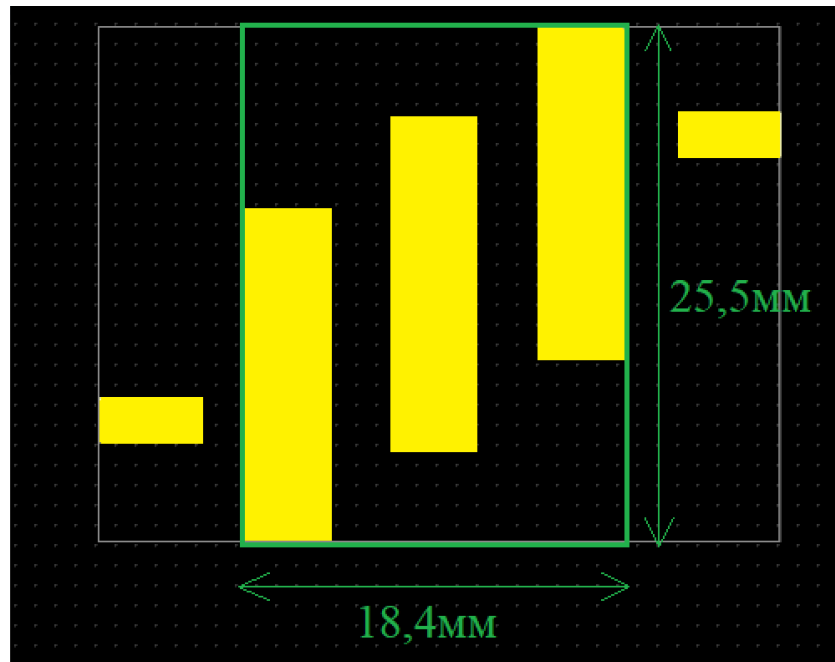


Рисунок 16 – Площадь топологии фильтра на полуволновых резонаторах

Эффективная диэлектрическая проницаемость для подложки с $\epsilon = 8,6$:

$$\epsilon_{eff1/4} = \frac{8,6+1}{2} + \frac{\frac{1}{\sqrt{7}}(8,6-1)}{2} \approx 6,23.$$

Эффективная диэлектрическая проницаемость для подложки с $\epsilon = 16,5$:

$$\epsilon_{eff1/2} = \frac{16,5+1}{2} + \frac{\frac{1}{\sqrt{7}}(16,5-1)}{2} \approx 11,68.$$

Так как диэлектрическая проницаемость подложек отличается, необходимо внести в расчет поправку:

$$\sqrt{\frac{\epsilon_{eff1/2}}{\epsilon_{eff1/4}}} = 1,37.$$

Площадь фильтра на четвертьволновых резонаторах с $\epsilon = 16,5$:

$$S_{1/4} = \frac{216}{1,37} = 157 \text{ мм}^2.$$

Площадь фильтра на полуволновых резонаторах с $\varepsilon = 16,5$:

$$S_{1/2} = 469 \text{ мм}^2.$$

Соотношение площадей топологий фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах:

$$\frac{S_{1/2}}{S_{1/4}} = 2,98.$$

Можно сделать вывод что фильтр на четвертьволновых резонаторах в 2,98 раза меньше фильтра на полуволновых резонаторах.

4.2 Сравнение АЧХ фильтров на полуволновых и четвертьволновых резонаторах

На рисунке 16 представлены АЧХ полуволнового и четвертьволнового микрополосковых фильтров.

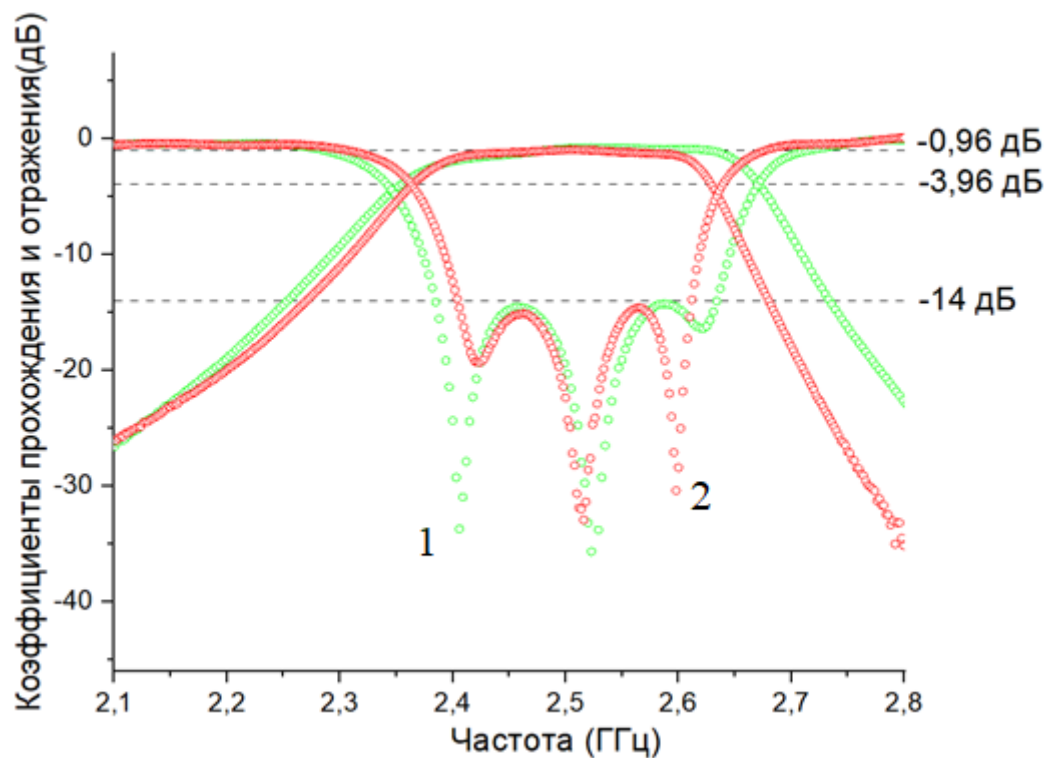


Рисунок 16 – Сравнение низкочастотного и высокочастотного склонов на полуволновых (1) и четвертьволновых (2) резонаторах

Была рассчитана крутизна низкочастотного и верхнечастотного склона для полуволнового и четвертьволнового фильтров.

Для четвертьволнового фильтра:

$$q_{low} = \frac{0,136}{0,3-0,136} = 0,83.$$

$$q_{high} = \frac{0,13}{0,21-0,13} = 1,625.$$

Для полуволнового фильтра:

$$q_{low} = \frac{0,146}{0,247-0,146} = 1,445.$$

$$q_{high} = \frac{0,17}{0,278-0,17} = 1,57.$$

Селективность фильтра характеризуется крутизной склона, чем больше коэффициент q , тем выше крутизна. При анализе расчетов можно сделать вывод, что низкочастотный склон круче у полуволнового, а верхнечастотный у четвертьволнового. В нашем случае мы не можем сделать однозначный вывод, что селективность четвертьволнового микрополоскового фильтра выше полуволнового.

**Выводы по сравнению АЧХ расчетного и экспериментального
четвертьволнового микрополоскового фильтра:**

- а) центральные частоты полосы пропускания на расчетном и экспериментальном фильтрах сошлись по значению в пределах погрешности;
- б) при сравнении расчетной и экспериментальной АЧХ мы видим, что коэффициенты отражения близки по значению;
- в) экспериментальная полоса пропускания получилась меньше расчетной на 20 МГц из-за подтравления МПР под лак в процессе изготовления фильтра.

5 Обеспечение безопасности труда и охраны здоровья

5.1 Общие требования охраны труда

Под техникой безопасности обучающихся в профессиональном образовательном учреждении подразумевается комплекс мероприятий организационного и технического характера, направленных на создание безопасных условий и предотвращение несчастных случаев в ходе образовательного процесса. Задача охраны труда - свести к минимуму вероятность получения травм или заболевания работающего, обеспечить комфорт при трудовой деятельности. Охрана труда включает правовые, социально-экономические, организационные, технические, психофизиологические, санитарно-технические, лечебнопрофилактические, реабилитационные и иные мероприятия и средства. За безопасность обучающихся на занятиях несет ответственность преподаватель, поэтому все педагогические работники должны быть обеспечены инструкциями по технике безопасной организации групповых и индивидуальных занятий. Сотрудники и студенты должны соблюдать действующие в ТГУ правила внутреннего распорядка, графики работы, режим труда и отдыха. На рабочих местах запрещается: принимать пищу; курить, распивать алкогольные напитки, употреблять наркотические средства, психотропные или токсичные вещества; – являться на работу в состоянии алкогольного опьянения либо в состоянии, вызванном употреблением наркотических средств, психотропных или токсичных веществ.

5.2 Требования охраны труда перед началом работ

Перед началом работы необходимо подготовить рабочее место, для этого необходимо навести порядок на рабочем месте, обеспечить достаточную освещенность, убрать все посторонние предметы и приборы. Нужно создать такие условия для работы, чтобы иметь оптимальный обзор всех приборов и установок, обеспечить доступность к их органам управления и возможность быстрого отключения приборов от электросети. Перед

началом работы на установках следует: ознакомиться с блок-схемой и принципом действия установки, на которой предстоит работать, а также с инструкциями по эксплуатации всех приборов, входящих в установку; убедиться в исправности кабелей электропитания, состыковочных соединений, коммутационного оборудования, защитных и блокировочных устройств; удостовериться в надежном заземлении устройств (при отсутствии трехпроводной сети электропитания); убедиться в исправности контрольных приборов; удостовериться в наличии средств индивидуальной защиты, приспособлений и инструментов, обеспечивающих безопасную работу; осуществлять включение установки в сеть только с разрешения преподавателя, ведущего занятия, после проведения им контрольного опроса о порядке включения, методике измерений и в порядке, определенном инструкцией по эксплуатации.

5.3 Требования охраны труда во время работы

Необходимо выполнять только порученную преподавателем работу. Не допускается одновременно выполнять или участвовать в выполнении других работ. Поэтому нельзя включать в сеть установки и приборы, не имеющие отношения к выполняемой работе. Во время работы на экспериментальных установках следует: не прикладывать излишних усилий к органам управления приборов (все необходимые регулировки и подстройки осуществлять в полном соответствии с инструкцией по эксплуатации приборов); переставлять приборы, изменять коммутацию электрических цепей только при отключенном электрооборудовании; поддерживать порядок на рабочем месте, не загромождать его посторонними предметами (головные уборы, портфели, книги и пр.); коммутируя СВЧ тракты, понижать излучаемую в пространство электромагнитную энергию до безопасных пределов путем введения максимального затухания выходного аттенюатора или вовсе отключать генератор СВЧ; плотно стягивать фланцы волноводных узлов измерительного тракта болтами или струбцинами; при

появлении в установке неисправностей или отклонений от нормальной работы приборов (отсутствие или периодическое пропадание сигналов, искрение, звук электрического разряда, появление дыма или запаха горелой изоляции) необходимо выключить установку и сообщить об этом ведущему преподавателю или дежурному инженеру. Повторное включение установки в сеть допускается лишь после проверки ее исправности ведущим преподавателем (дежурным инженером) и с его разрешения. При работе на экспериментальных установках запрещено прикасаться к открытым токоведущим частям приборов и изменять электрическую коммутацию элементов лабораторной установки при включенных источниках высокого напряжения. Также запрещается проверять наличие СВЧ мощности по тепловому эффекту на любой части тела и заглядывать в открытый конец СВЧ тракта при включенном источнике мощности. При работе за компьютером, для предупреждения развития переутомления обязательными мероприятиями являются проведение упражнений для глаз через каждые 20-25 мин работы за ПЭВМ; проведение упражнений физкультминутки в течение 1-2 мин для снятия локального утомления, которые выполняются индивидуально при появлении начальных признаков усталости.

5.4 Требования охраны труда в аварийных ситуациях

В случае возникновения аварийной ситуации, представляющей реальную опасность для жизни работающих, необходимо отключить все оборудование общим выключателем и, соблюдая порядок и спокойствие, принять меры по обеспечению эвакуации людей. При возникновении неполадок в работе оборудования или приборов нужно незамедлительно сообщить преподавателю. При травмировании сотрудника или студента следует оказать ему первую (доврачебную) помощь, при необходимости, вызвать скорую помощь, и немедленно уведомить ответственного преподавателя. При возникновении несчастного случая с поражением электрическим током необходимо быстро обесточить установку и оказать

первую помощь пострадавшему (вызвать скорую помощь). В случае возникновения пожара необходимо: сообщить об этом в пожарную часть по телефону 01 (с мобильного телефона 101), по возможности принять меры по максимальному обеспечению безопасности людей, а также принять меры по тушению пожара и сохранности оборудования с использованием первичных средств пожаротушения (пламя гасить в зависимости от его происхождения: песком, огнетушителем, покрывалом для изоляции очага возгорания) и соблюдать меры безопасности; к тушению пожара приступить только в случае отсутствия явной угрозы жизни и наличия возможности покинуть опасное место в любой момент. При возгорании электроустановок они должны быть немедленно отключены. Запрещается применять воду для тушения горящих приборов и оборудования, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения электроустановок под напряжением предназначены углекислотный и порошковый огнетушитель.

5.5 Требования охраны по окончанию работы

По окончании работы необходимо отключить все устройства, кроме работающих в непрерывном режиме, от электросети, навести порядок на рабочем месте и сообщить преподавателю об окончании работы. [7]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- а) изучена литература по способам миниатюризации микрополосковых фильтров;
- б) проведен расчёт фильтров по техническому заданию с использованием специальной программы AWR Microwave Office;
- в) проведено изготовление макета фильтра;
- г) проведена настройка макета фильтра с помощью измерителя модуля коэффициента передачи и отражения P2M-04 фирмы «Микран»;
- д) проведено сравнение характеристик рассчитанного и экспериментального фильтра на четвертьволновых резонаторах;
- е) проведено сравнение площадей топологии и АЧХ фильтров на четвертьволновых и полуволновых резонаторах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1 Монолитный миниатюрный полосно-пропускающий фильтр на многопроводниковых полосковых резонаторах / Б.А. Беляев, А.М. Сержантов, Ан.А. Лексиков, Я.Ф. Бальва, Р.Г. Галеев, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН – Красноярск, Россия. 2 Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия. 3 Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия, 2021, № 13. – с. 16 – 20.

2 Параметрический синтез лестничного микрополоскового фильтра по заданной амплитудно-частотной характеристике: метод. указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Радиотехника» для студентов направления 210400 «Телекоммуникации» и 210300 «Радиотехника» очной формы обучения / сост.: Б. А. Беляев, А. М. Сержантов, С. А. Ходенков; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2010. – 44 с.

3 Беляев Б. А. Физические аспекты оптимальной настройки микрополосковых фильтров / Б. А. Беляев, А. В. Казаков, М. И. Никитина В. В. Тюрнев. – Красноярск: Институт физики имени им. Л.В. Киренского СО РАН, 1987. 41 с.

4 Препринт №730. Миниатюризированные микрополосковые СВЧ фильтры / сост. Б. А. Беляев, А. А. Лексиков, В. В. Тюрнев, Ю. Н. Трусов, В. Н. Шепов, Ю. Г. Шихов, Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН – Красноярск, 1993. – 17 с.

5 Измеритель модуля коэффициента передачи и отражения R2M-04. Руководство по эксплуатации. Ч.1. – Томск: Микран, 2012. – 27 с. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://download.micran.ru/kia/Manual/Library/R2M/User_Manual/R2M-04-UM-002_part1.pdf URL:(ата обращения 25.06.2021).

6 Измеритель модуля коэффициента передачи и отражения R2M-04. Руководство по эксплуатации. Ч.2. – Томск: Микран, 2011. – 96 с.

[Электронный ресурс] / Режим доступа:
https://download.micran.ru/kia/Manual/Library/R2M/User_Manual/R2M-04-UM-001_part2.pdf URL:(25.06.2021).

7 Инструкции по охране труда. [Электронный ресурс] / Режим доступа:
<https://goo.su/lmQE> URL:(дата обращения 28.01.2023).

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Малыхин Максим
Проверяющий: Малыхин Максим

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 68
Начало загрузки: 27.01.2023 10:48:21
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла: 6_.pdf
Название документа: 6_
Размер текста: 43 kB
Символов в тексте: 44515
Слов в тексте: 5202
Число предложений: 299

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 27.01.2023 07:48:23
Длительность проверки: 00:00:06
Комментарии: не указано
Модули поиска: Интернет Free

СОВПАДЕНИЯ
15,12%

САМОЦИТИРОВАНИЯ
0%

ЦИТИРОВАНИЯ
0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
84,88%

Совпадения — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или создателем которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которому шла проверка, по отношению к общему объему документа.
Совпадения, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определения корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	5,76%	5,99%	Исследование микрорезонаторов моделей полосно-пропускающих фильтров на одномерных фотонных кристаллах http://dslib.net http://elib.sfu-kras.ru	03 Июл 2016	Интернет Free	21	23	
[02]	4,56%	4,67%	3163. Техническая электродинамика Основы электродинамики и распространение радиоволн Антенны и уст. http://dslib.net	16 Мая 2020	Интернет Free	24	25	
[03]	1,57%	2,81%	3163. Техническая электродинамика Основы электродинамики и распространение радиоволн Антенны и уст. http://dslib.net	07 Мая 2017	Интернет Free	15	21	

Научный руководитель
И.Ф.И.И. Муравьев В.А.
В.И.И.