

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**  
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Разработка и сравнительный анализ фильтров для модулей смесителей  
частот**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Яковлева Дениса Дмитриевича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Консультант

Инженер – технолог 2 категории

АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон»

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.Ю. Андреева

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Общая характеристика работы.**

Разработка данных фильтров необходима для смесителей частот блока синтезатора частот оборонного госзаказа. Сравнительный анализ и замена подложек фильтров позволили усовершенствовать прибор: уменьшить массу и стоимость.

### **Цель и задачи бакалаврской работы.**

Целями дипломной работы являются разработка и сравнительный анализ фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2.

Для выполнения данных целей решались следующие задачи:

- Анализ научной литературы по теме исследования;
- Рассчитать фильтры на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
- Провести настройку фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
- Измерить амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
- Провести сравнительный анализ фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2.

### **Структура бакалаврской работы.**

Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ и СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 3 основных раздела:

1. Классификация фильтров по виду АЧХ;
2. Расчёт полосовых фильтров;
3. Экспериментальная часть.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В разделе 1** произведен анализ литературы, посвящённой фильтрам. Изучена основная классификация фильтров по виду амплитудно-частотной характеристики. Приведены идеализированные АЧХ фильтров.

В разделе 2 произведен анализ литературы, посвященный расчётам полосовых фильтров. Изучены расчёты широкополосного и узкополосного полосового фильтра.

В разделе 3 описываются экспериментальные работы исследования, а именно:

### Исследуемая структура

На базе АО «НПЦ «АЛМАЗ-ФАЗОТРОН» был разработан узел фильтров, электрическая схема которого представлена на рисунке 1.

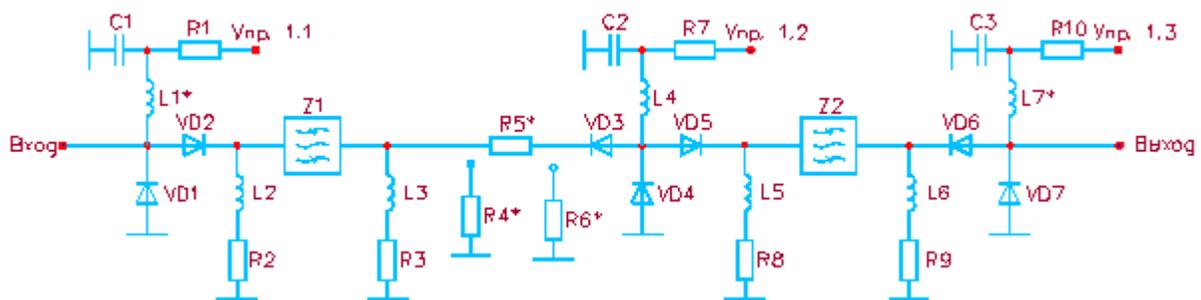


Рисунок 1 – Схема электрического узла фильтра

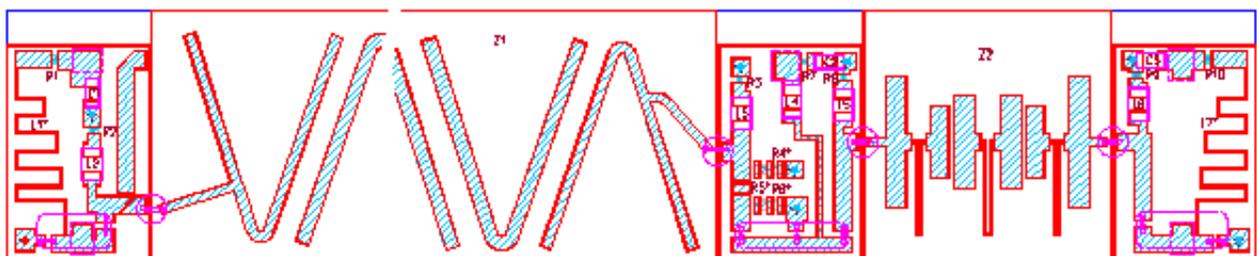


Рисунок 2 – Сборочный чертёж узла полосового фильтра

В данной схеме Z1 – фильтр на подложке ПК-1-г-В 100 длиной 46 мм, шириной 14 мм, толщиной 1 мм. Проектирование топологии фильтра и моделирование его параметров выполнялось в САПР Advanced Design System (ADS). В результате проектирования была получена следующая топология рисунок 3.

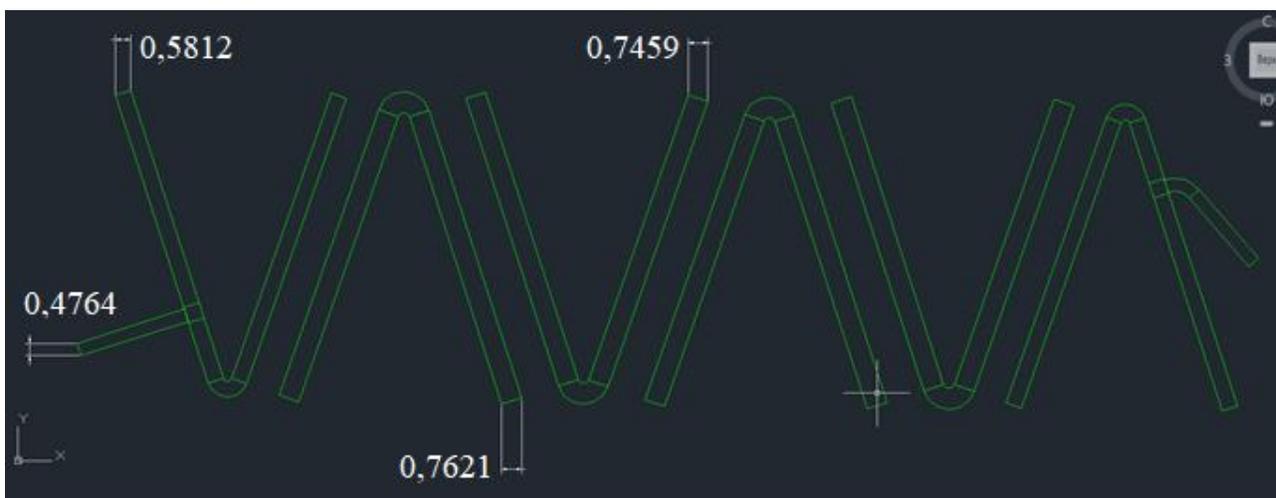


Рисунок 3 – Топология полосового фильтра с центральной частотой пропускания 800 МГц на ПК-1-г-В 100, полученная в результате расчёта в САПР ADS. Цифры на топологии указаны в мм

Моделирования параметров данного фильтра дало следующие результаты (рисунки 4).

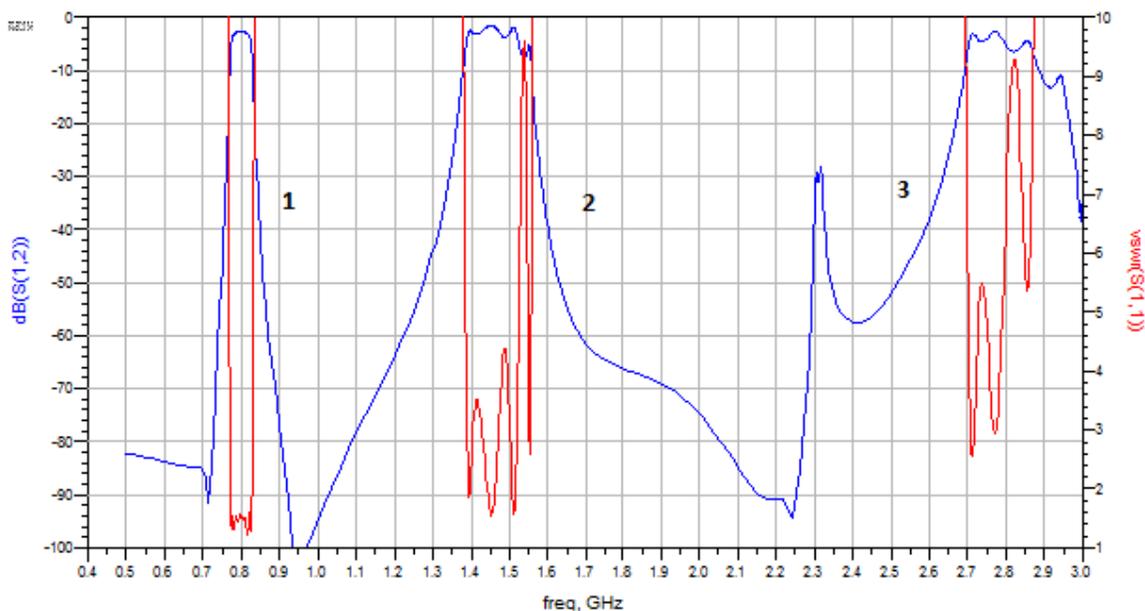


Рисунок 4 – Расчётная характеристика АЧХ полосового фильтра на подложке ПК-1-г-В 100 с центральной частотой пропускания 800 МГц, где 1 – основная полоса пропускания; 2 и 3 – паразитные полосы пропускания

Для подавления паразитных полос пропускания был спроектирован и смоделирован дополнительный фильтр (Z2). Для проектирования данного фильтра применялась САПР Filter Solution и САПР ADS. На первом этапе проектирования в САПР Filter Solution были заданы основные параметры полосового фильтра, а именно – ширина полосы пропускания (80 МГц) и центральная частота (800 МГц). Рассчитанная эквивалентная схема полосового фильтра была перенесена в ADS. После чего была смоделирована работа получившейся топологии.

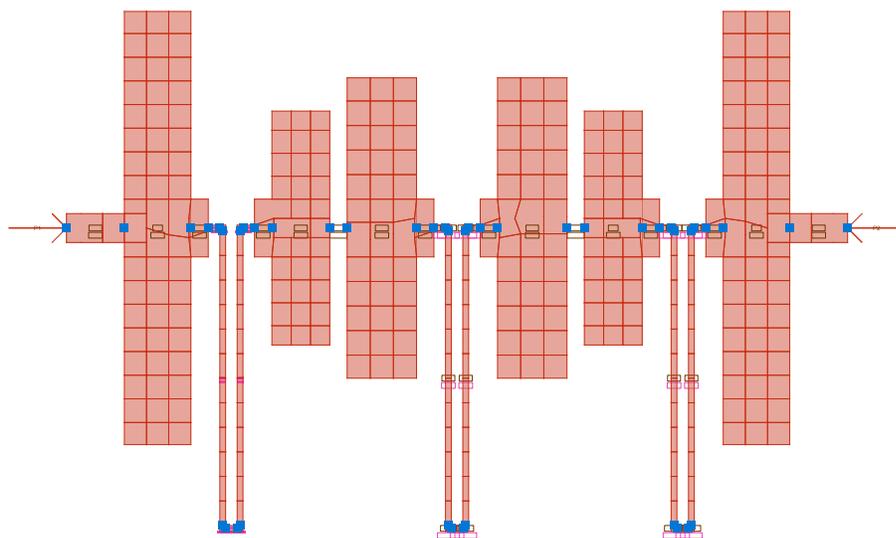


Рисунок 5 – Топология дофильтровщика для ПФ на ПК-1-г-В 100, полученная в результате расчёта в программе ADS на 800 МГц

В результате моделирования были получены следующие параметры.

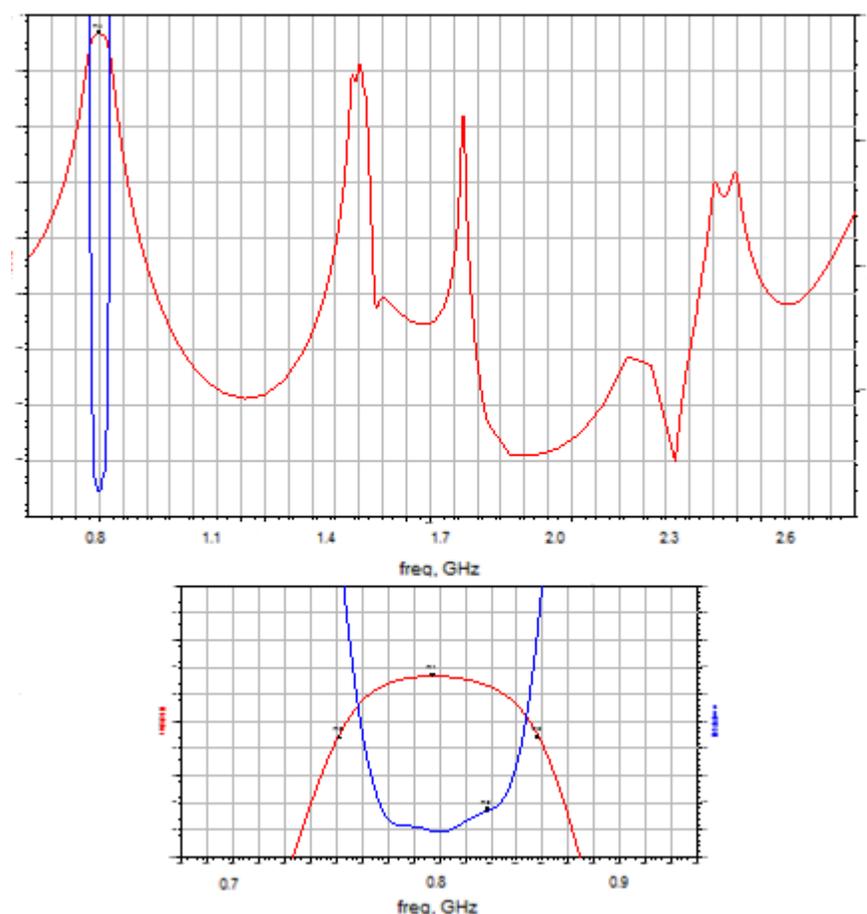


Рисунок 6 – Расчётная характеристика фильтра Z2 на подложке ПК-1-г-В 100 с частотой 800 МГц. График сверху и снизу отличаются масштабом

Как видно, из расчетов параметров фильтров Z1 и Z2, паразитные полосы пропускания этих фильтров будут подавлять друг друга.

В результате настройки фильтров были выявлены следующие проблемы:

1. Материал подложек ПК-1-г-В 100 достаточно хрупкий;
2. Из-за высокой диэлектрической проницаемости данного материала (100), процесс настройки становится очень трудоемким;
3. Материал является дорогостоящим.

В связи с полученными результатами было принято решение спроектировать и смоделировать альтернативные структуры фильтров на подложке ПК2 длиной 35 мм, шириной 14 мм, толщиной 1мм. Проектирование и моделирование производилось в ADS.

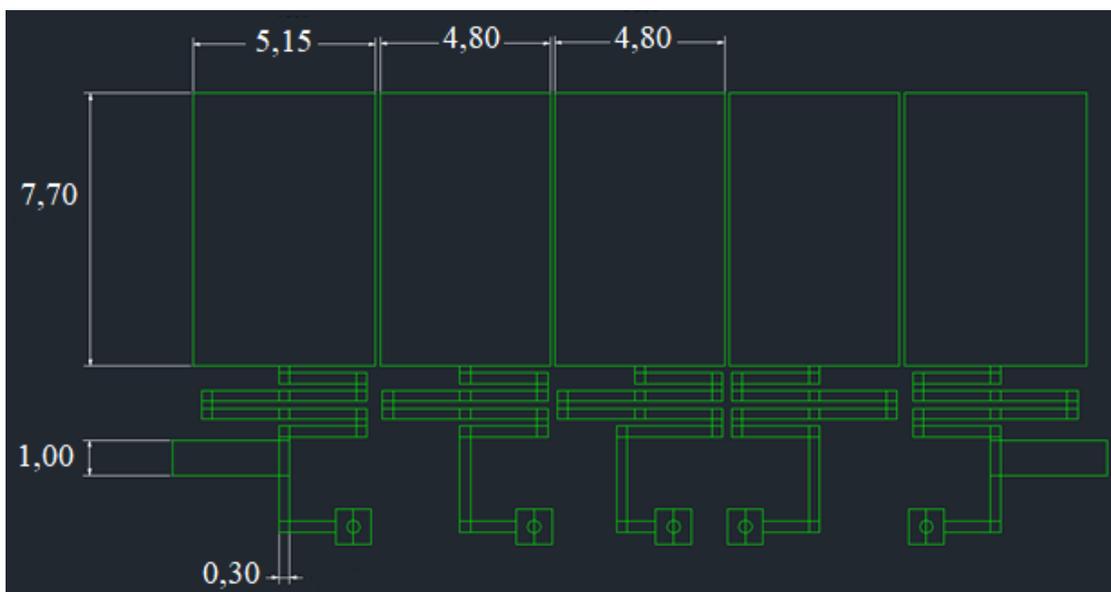


Рисунок 7 – Топология полосового фильтра на подложке ПК2, полученная в результате расчёта в программе ADS на 800 МГц. Цифры на топологии указаны в

ММ

В результате моделирования были получены следующие параметры.

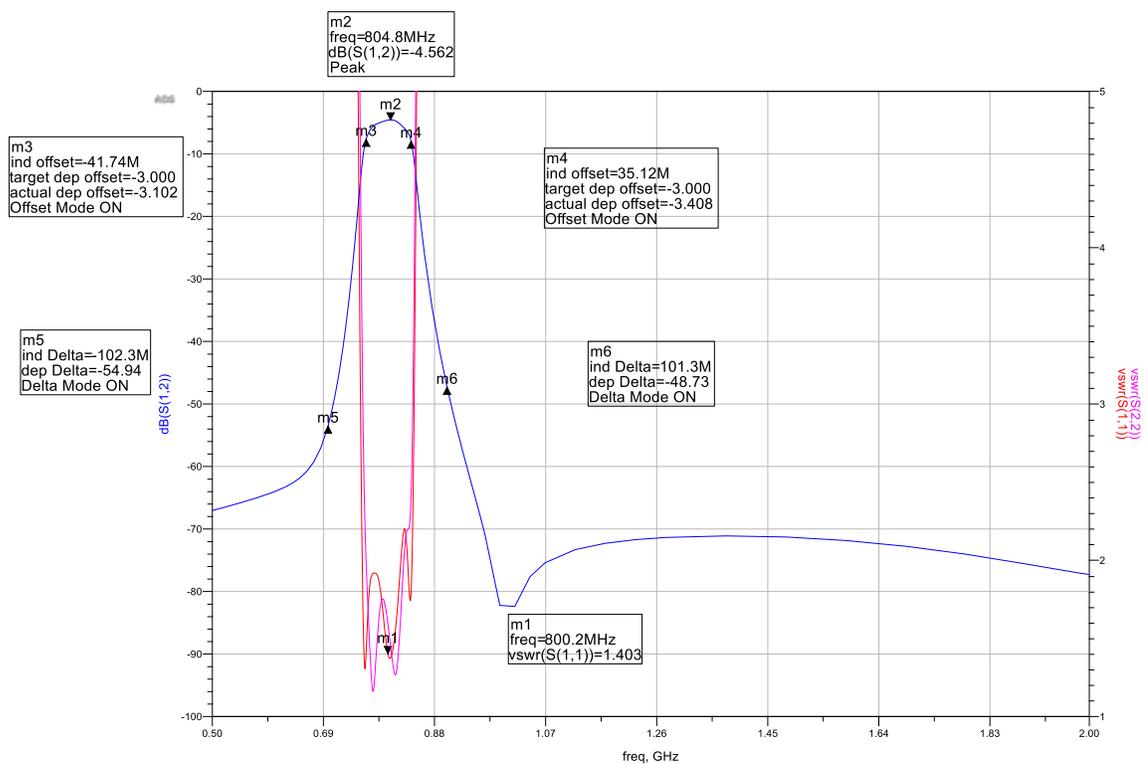


Рисунок 8 – Расчётная характеристика полосового фильтра на ПК2 с частотой 800 МГц

## **Оборудование и методика измерений**

Измерения проводились на анализаторе цепей «Обзор». К панораме подключаются кабели, фильтр помещается в специальную оснастку. Кабели подключались к оснастке. Далее измеряются параметры фильтра.

### **Результаты эксперимента**

На рисунке 9 и 10 приведены измеренные АЧХ и КСВН узла фильтров, а также на подложке ПК2. Стоит отметить, что, так как в узле фильтров было решено использовать два одинаковых фильтра данной топологии (Z1 и Z2), это позволило решить все ранее обнаруженные проблемы при работе с фильтрами на подложке ПК-1-г-В 100. Однако:

1. Подложка ПК2 является гораздо более адаптированной к технологическим возможностям предприятия, что позволяет избежать технологического брака;

2. Настройка фильтров на подложке ПК2 является менее трудоемкой из-за диэлектрической проницаемости материала (10). Земляные отверстия позволяют избавиться от паразитных полос пропускания. Металлизированные отверстия имеют различные паразитные индуктивности, что обусловлено технологическими возможностями изготовления на нашем предприятии и качеством пайки. Паразитная индуктивность и её неидентичность являются параметрами, максимально пагубно сказывающимися на АЧХ готового фильтра. Влияние этих параметров компенсируется в процессе настройки нанесением индиевых накладок вблизи металлизированных отверстий (нанесение накладок увеличивает емкость);

3. Подложка ПК2 гораздо дешевле подложки ПК-1-г-В 100, а ввиду невысокой диэлектрической проницаемости разброс значений от партии к партии несущественно влияет на АЧХ фильтра.

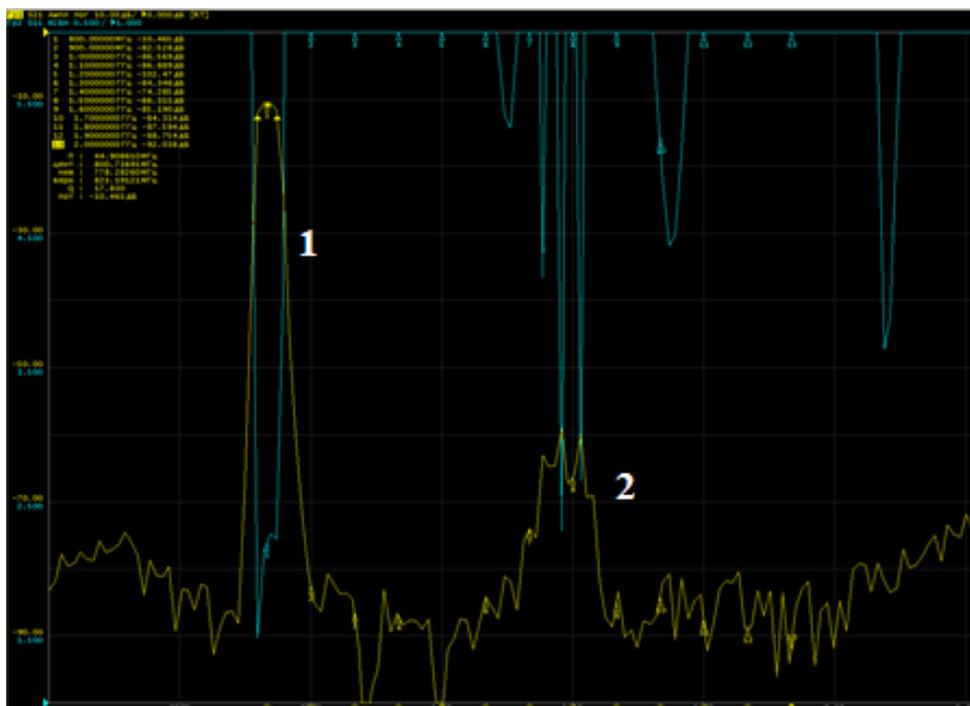


Рисунок 9 – Измеренные АЧХ и КСВН узла фильтров, где 1 – основная полоса пропускания; 2 – паразитная полоса пропускания

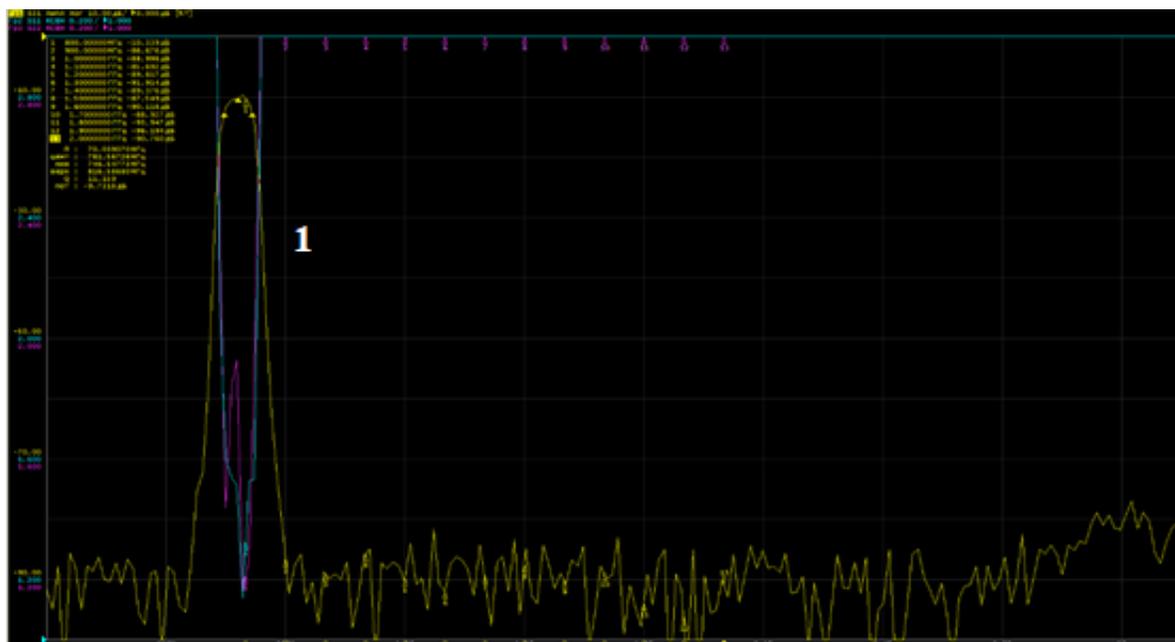


Рисунок 10 – Измеренные АЧХ и КСВН фильтра на подложке ПК2, где 1 – основная (рабочая) полоса пропускания

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы в ходе дипломной работы:

1. Было проведено проектирование и моделирование структур фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
2. Была проведена настройка фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
3. Были измерены амплитудно-частотные характеристики фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2;
4. Был проведен сравнительный анализ фильтров на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2, и поиск технических решений для устранения недостатков.

В ходе расчётов фильтров были получены следующие значения на подложках ПК-1-г-В 100 и ПК2:

Основная (рабочая) полоса пропускания ПФ на ПК-1-г-В 100 составляет 55 МГц, центральная частота – 800 МГц. Измерения параметров готовых фильтров совпали с расчетными значениями.

В ходе работы с подложкой ПК-1-г-В 100 был выявлен ряд недостатков (технологические сложности изготовления, трудоемкость настройки, паразитные полосы пропускания). В связи с этим был проведен поиск решений для устранения недостатков. Результатом стали альтернативные структуры фильтров на подложке ПК2.