

УДК 621.372

**Дулин Михаил Игоревич,**  
к.т.н., начальник научно технического центра,  
Таганрогский научно-исследовательский институт связи  
Dulin Mikhail Igorevich,  
Taganrog Research Institute of Communications

**Зикий Анатолий Николаевич,** к.т.н, с.н.с.,  
Таганрогский научно-исследовательский институт связи  
Zikiy Anatoly Nikolaevich,  
Taganrog Research Institute of Communications

**Кочубей Алексей Сергеевич,**  
инженер-конструктор 1 категории,  
Таганрогский научно-исследовательский институт связи  
Kochubey Alexey Sergeevich,  
Taganrog Research Institute of Communications

**Москвитина Ксения Игоревна,**  
инженер 1 категории,  
Таганрогский научно-исследовательский институт связи  
Moskvitina Ksenia Igorevna,  
Taganrog Research Institute of Communications

### **ФИЛЬТР НА СПИРАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРАХ FILTER ON SPIRAL RESONATORS**

**Аннотация.** Рассмотрен спиральный фильтр для метрового диапазона волн. Проведены его расчёты и экспериментальное исследование.

В качестве результатов представлены:

- схема электрическая принципиальная;
- фото и описание конструкции;
- амплитудно-частотная характеристика в широкой полосе;
- амплитудно-частотная характеристика в узкой полосе.

Достигнуты следующие параметры:

- центральная частота – 120,75 МГц;
- ширина полосы пропускания 1,4 МГц на уровне минус 3дБ от максимума;
- потери на центральной частоте – 4 дБ;
- волновое сопротивление – 50 Ом.

**Abstract.** Let's consider a spiral filter for the meter wave band. We will carry out its calculations and experimental study.

The results include:

- an electrical schematic diagram;
- a photo and description of the design;
- an amplitude-frequency characteristic in a wide band;
- an amplitude-frequency characteristic in a narrow band.

The following parameters have been achieved:

- the central frequency is 120.75 MHz;
- the bandwidth is 1.4 MHz at a level of minus 3 dB from the maximum;
- losses at the center frequency – 4 dB;



- number of links – 3;
- wave impedance – 50 Ohm.

**Ключевые слова:** Фильтр; спиральный резонатор; расчёт; эксперимент; амплитудно-частотная характеристика; схема; конструкция.

**Keywords:** Filter; spiral resonator; calculation; experiment; amplitude-frequency characteristic; circuit; design.

### Введение

Фильтры на спиральных резонаторах занимают важное место среди других типов фильтров, особенно в метровом диапазоне, так как позволяют реализовать более узкие полосы, чем LC-фильтры, и имеют меньшие геометрические размеры, чем фильтры на коаксиальных резонаторах [1-9]. В последние несколько десятилетий широко используются фильтры на поверхностных акустических волнах [10], но их разработка и изготовление могут быть оправданы только при серийном производстве.

Для расчета спирального фильтра можно воспользоваться номограммой [2-3]. Существует программа – калькулятор для расчета спиральных фильтров из двух резонаторов Coil32 [11]. Более широкими возможностями обладает программа Helical [12]. Она работает с числом резонаторов от 2 до 12. Вероятно, наиболее мощным средством проектирования спиральных фильтров может служить среда CST Microwave Studio [13].

Целью данной работы является экспериментальное исследование фильтра на спиральных резонаторах. Объектом исследования является фильтр метрового диапазона, к которому предъявляются следующие требования:

- Центральная частота  $f_0 = 120,5 \pm 0,5$  МГц;
- Ширина полосы пропускания по уровню -3дБ не более 2 МГц и не менее 1 МГц;
- Потери на центральной частоте не более 2 дБ;
- Потери при отстройке на  $\pm 21.4$  МГц не менее 60 дБ;
- Волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом;
- Число резонаторов 3;

Предварительный расчет фильтра проводился с помощью программы Helical [12] для следующих исходных данных:

- Центральная частота  $f_0 = 120,5$  МГц;
- Ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ 1,2 МГц.
- Число резонаторов 3;
- Неравномерность АЧХ в полосе пропускания  $\pm 2$  дБ;
- Волновое сопротивление 50 Ом;
- Принципиальная схема фильтра показана на рисунке 1.

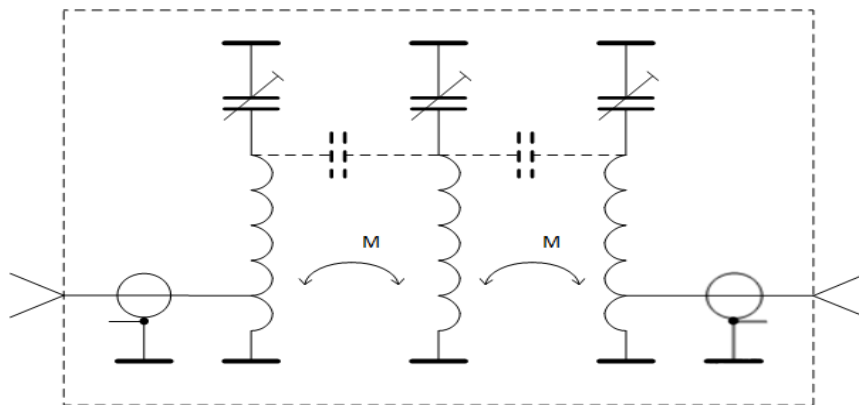


Рисунок 1. Схема фильтра на спиральных резонаторах



### Результаты расчёта:

Сопротивление резонатора 1250 Ом

#### Корпус:

– Высота корпуса 1,12 дюйма = 28,4 мм

– Ширина корпуса 0,74667 дюйма = 18,9 мм

#### Катушка:

– Диаметр 0,41067 дюйма = 1,04 см = 10,4 мм

– Длина 0,616 дюйма = 1,56 см = 15,6 мм

– Число витков 20,4

– Максимальный диаметр проволоки 0,01527 дюйма = 0,38 мм

– Отвод от 0,12416 витка

– Добротность для квадратного резонатора  $Q = 458$

– Добротность для круглого резонатора  $Q = 382$

– Высота окна связи между резонаторами 9,6 мм

После расчета был изготовлен макет фильтра, несколько отличающийся от результатов расчета. Корпус фильтра представляет собой пенал с внутренним размером 35x15 мм, изготовленный из листовой меди. На торцах корпуса установлены входной и выходной соединители тип IX ГОСТ 13317-89, гнездо. Внутри корпуса установлены три катушки, намотанные в натяг на каркасе диаметром 10 мм медным проводом диаметра 0,5 мм. Катушки содержат по 22 витка. Расстояние между осями катушек около 30 мм. Отвод от крайних катушек делается от 1 витка.

Каркасы резонаторов изготовлены из текстолита с нарезанной канавкой для укладки провода.

Крепление катушки к корпусу осуществляется винтами М3. Подстройка резонаторов ведется с помощью трех настроечных винтов, расположенных соосно с катушками. После настройки фильтра настроечные винты фиксируются контргайкой (рисунок 2).

Для удобства монтажа между соединителями и отводами крайних катушек они установлены на Г-образных кронштейнах,двигаемых в корпус после сборки. Слабая связь между резонаторами обеспечивается большим расстоянием между ними.



Рисунок 2. Фото спирального фильтра

### Эксперимент

Экспериментальное исследование фильтра проводилось на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3.



Первый эксперимент проводился в диапазоне частоты от 110 МГц до 134 МГц с шагом 1 МГц, при выходной мощности 0 дБм. Результаты измерений занесены в таблицу 1. По этим данным построен график на рисунке 4.

Второй эксперимент проводился в диапазоне частоты от 119,9 до 121,5 МГц с шагом 0,1 МГц, при выходной мощности 0 дБм. Результаты измерений занесены в таблицу 2. По этим данным построен график на рисунке 5.



Рисунок 3. Структурная схема измерительной установки.

Таблица 1

АХЧ фильтра

f, МГц	P <sub>вых</sub> , дБм
110	-62
111	-58
112	-55
113	-52
114	-47
115	-42
116	-37
117	-31
118	-24
119	-15
120	-7
121	-4,17
122	-12
123	-20
124	-27
125	-32
126	-36
127	-40
128	-43
129	-45
130	-47
131	-49
132	-51
133	-53
134	-54

Таблица 2

Вершина АХЧ фильтра

f, МГц	P <sub>вых</sub> , дБм
119,9	-8,17
120	-7,33



120,1	-6,83
120,2	-6
120,3	-5,33
120,4	-5
120,5	-4,5
120,6	-4,17
120,7	-4
120,8	-4
120,9	-4,17
121	-4,33
121,1	-4,67
121,2	-5,17
121,3	-5,83
121,4	-6,5
121,5	-7,5
$K_{\pi} = \frac{\Delta f - 40\text{дБ}}{\Delta f - 3\text{дБ}} = \frac{13,8}{1,4} \approx 10$	

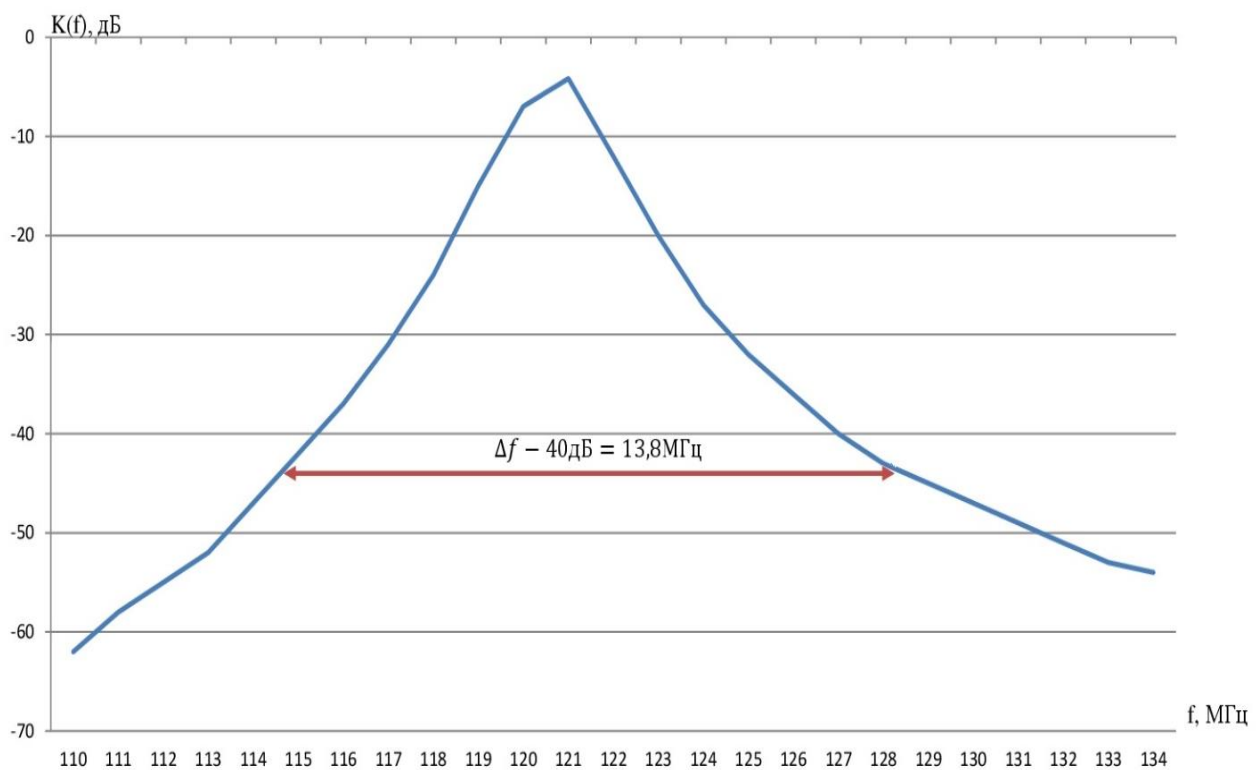


Рисунок 4. АЧХ фильтра



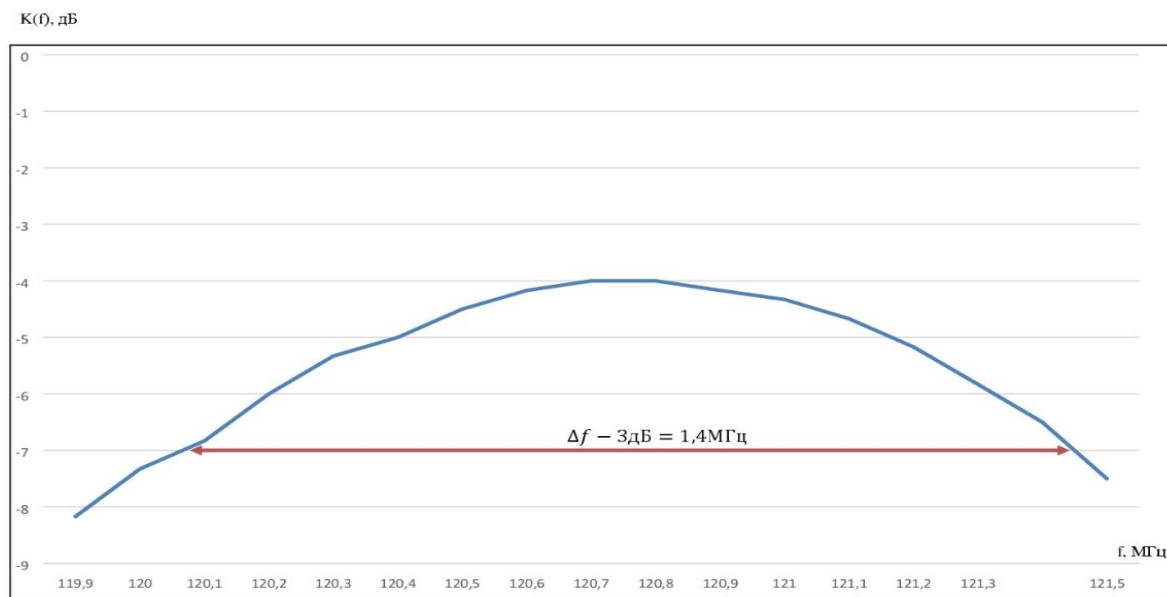


Рисунок 5. АЧХ фильтра (вершина)

### Выводы

1. Проведены расчеты и экспериментальное исследование фильтра на спиральных резонаторах.

2. Экспериментально получены следующие результаты:

– Центральная частота полосы пропускания – 120,75 МГц;

– Затухание в полосе пропускания – не более 7 дБ;

– Ширина полосы пропускания на уровне – минус 3 дБ от максимума более 1,4 МГц

– коэффициент прямоугольности –  $K_n = \frac{\Delta f_{-40дБ}}{\Delta f_{-3дБ}} = \frac{13,8}{1,4} \approx 10$ ;

– Волновое сопротивление – 50 Ом.

Эти результаты удовлетворяют предъявленным требованиям. Фильтр рекомендуется использовать во входной цепи приемника.

### Список литературы:

1. Ханзел Г.Е. Справочник по расчету фильтров. – М.: Сов. радио, 1974. – 228 с.;

2. Zverev A.I. Handbook of Filter Synthesis. N.Y., London, Sydney, John Wiley and Sons, Inc., 1967;

3. Кузнецов С., Чепыженко В. Применение спиральных резонаторов в любительской УКВ аппаратуре. Радиолобитель, 1991, №4, с. 25-26, №5, с. 44-45;

4. Кузнецов С., Чепыженко В. Практическое применение спиральных фильтров. Радиолобитель, 1991, №6 с. 13-15;

5. Усоскин Э.Г. и др. Применение спиральных объемных резонаторов (Обзор зарубежных материалов). Вопросы радиоэлектроники, серии ТПС, 1968, №7, с. 127-135;

6. Зикий А.Н., Гончарова Т.О., Мишечка А.Н. Экспериментальное исследование спирального фильтра. В сб.: Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего. Сборник материалов II МНПК: в 2-х томах. 2016. с. 197-199;

7. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Мишечка А.Н. Экспериментальное исследование фильтра на спиральных резонаторах. «Наука XXI века: открытия, инновации, технологии». Сборник научных трудов по материалам МНПК 30 апреля 2016 г. Часть 3. Смоленск, ООО «Новаленсо», 2006, с. 16-18;



8. Губарев Д.Е, Зикий А.Н., Москвитина К.И., Моделирование и экспериментальное исследование спирального фильтра. САПР Электроники, 2023, №1, с. 48-52;
9. Усоскин Э.Г. Основные параметры спиральных объемных фильтров. Вопросы радиоэлектроники, серия ТПС. 1968, №7, с. 136-153;
10. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Власенко Д.В., Гончарова Т.О., Третьяк А.А. Фильтр на ПАВ. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2014, №3, том 10, с. 50-54;
11. Программа Coil32;
12. Программа Helical <https://tonnesoftware.com/downloads/HelicalInstall.exe>;
13. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.;
14. Абросимов А.А. Эллиптические фильтры с заданными частотами режекции в полосе заграждения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Новосибирск, НГТУ, 2013. – 24 с..

