

DOI 10.37539/2949-1991.2024.19.8.011  
УДК 621.372.542.2

**Губарев Дмитрий Егорович,**  
АО «НПО «Орион», г. Москва

**Зикий Анатолий Николаевич,**  
АО «ТНИИС», г. Таганрог

**Ремпе Антон Борисович,**  
АО «ТНИИС», г. Таганрог

**Левченко Владимир Павлович,**  
АО «НПО «Орион», г. Москва

**Степанов Сергей Алексеевич,**  
АО «НПО «Орион», г. Москва

## **ФИЛЬТР ЧЕБЫШЕВА ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА**

**Аннотация:** Проведено моделирование и экспериментальное исследование фильтра нижних частот дециметрового диапазона. Приведены схемы, фото фирменного образца и макета, модель в пакете Microwave Office, экспериментальная амплитудно-частотная характеристика.

**Ключевые слова:** фильтр нижних частот, моделирование, амплитудно-частотная характеристика, макет.

### **Введение**

Для повышения коэффициента полезного действия выходные каскады передатчиков часто работают в нелинейном режиме, с отсечкой коллекторного тока. При этом возникают гармоники полезного сигнала, мешающие другим средствам связи. Обычным средством подавления гармоник являются фильтры нижних частот. По LC-фильтрам имеются многочисленные публикации, в том числе справочники [1,2], учебные пособия [3,4], статьи [5-9], однако повышение требований по подавлению гармоник заставляет разработчиков искать новые технические решения.

Объектом исследования в данной работе является фильтр нижних частот с частотой среза около 500 МГц.

Целью данной работы является получение амплитудно-частотной характеристики, подтверждающей достижение заданных параметров избирательности.

К фильтру предъявляются следующие требования:

- частота среза около 450-500 МГц;
- потери в полосе пропускания не более 3 дБ;
- заграждение на частоте 900 МГц не менее 40 дБ;
- заграждение на частоте 1800 МГц не менее 50 дБ;
- волновое сопротивление 50 Ом.

### **Схема и конструкция**

На рисунке 1 показана принципиальная схема фильтра нижних частот. Такой фильтр можно рассчитать по книге Ханзела [1]. Упрощенно фильтр можно представить состоящим из двух T-образных звеньев. В фильтре применяются три катушки из проволоки диаметром 2,7 мм. Проволоку можно заменить медной трубкой такого же диаметра. Конденсаторы применяются безвыводные, керамические.



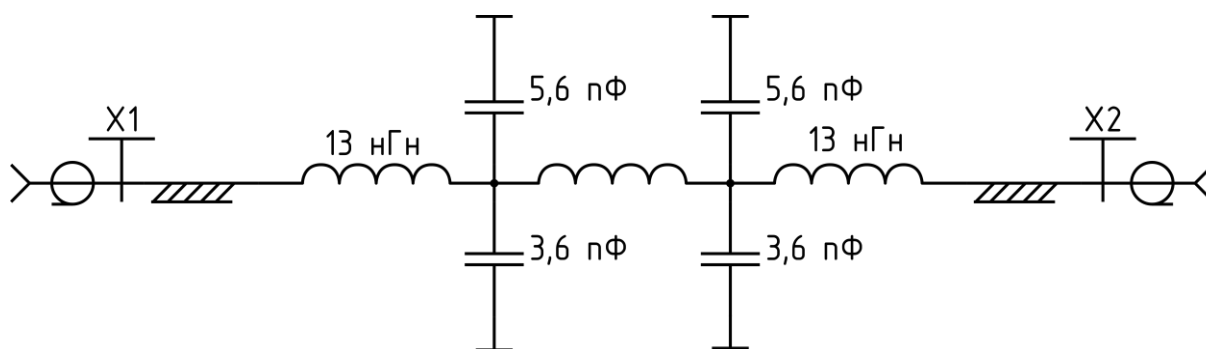


Рис. 1 – Принципиальная схема ФНЧ 430-440 МГц



Рис. 2 – Изображение аналогового фильтра [11].

Таблица 1

Моточные данные катушек индуктивности

Позиционное обозначение	Число витков	Диаметр оправки, мм	Диаметр провода, мм	Длина провода, мм	Индуктивность, мкГн
L1, L3	0,5	13	2,7	20,5	0,013
L2	1	13	2,7	41	0,027

Фильтр нижних частот размещается на печатной плате из фольгированного диэлектрика размером 100x30x2 мм, на рисунке 2 можно видеть фото печатной платы с установленными элементами. Значительная часть поверхности печатной платы покрыта земляным слоем, имеются металлизированные отверстия с шагом около 2 мм. Такая конструкция позволяет уменьшить паразитные параметры фильтра, в том числе увеличивает уровень заграждения на частотах выше 500 МГц.

Геометрические размеры катушек индуктивности приведены в таблице 1. При отсутствии медной проволоки нужного диаметра (2,7 мм) можно использовать отрезки коаксиального кабеля в жесткой медной трубке, например, РК50-2-29, РК50-2-28, РК50-2-25.

Для включения фильтра в измерительный тракт он имеет два гнезда типа IX по ГОСТ 13317-89.



### Моделирование ФНЧ

Моделирование ФНЧ проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office [10]. На рисунке 3 показана модель ФНЧ из MWO. В качестве исходных данных взяты параметры элементов из рисунка 1. Обе ёмкости увеличены с 9,2 пФ до 10 пФ. Таким образом можно учесть паразитные ёмкости контактных площадок. На рисунке 4 приведены АЧХ ФНЧ (S21) и возвратных потерь в диапазоне частот от 0 до 2 ГГц.

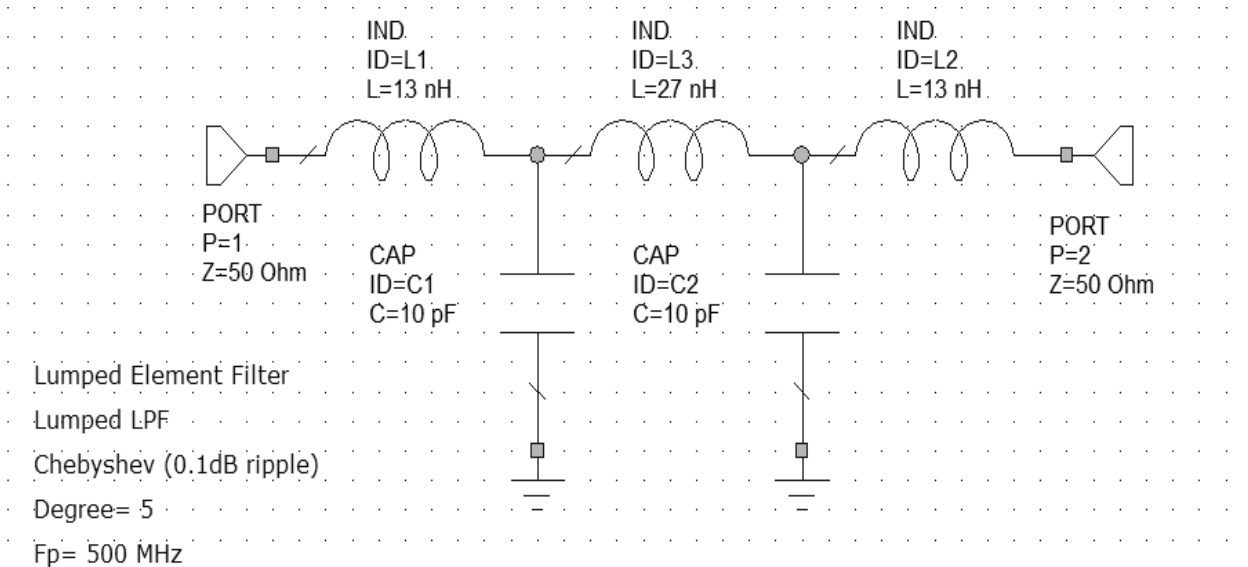


Рис. 3 – Модель фильтра нижних частот из MWO

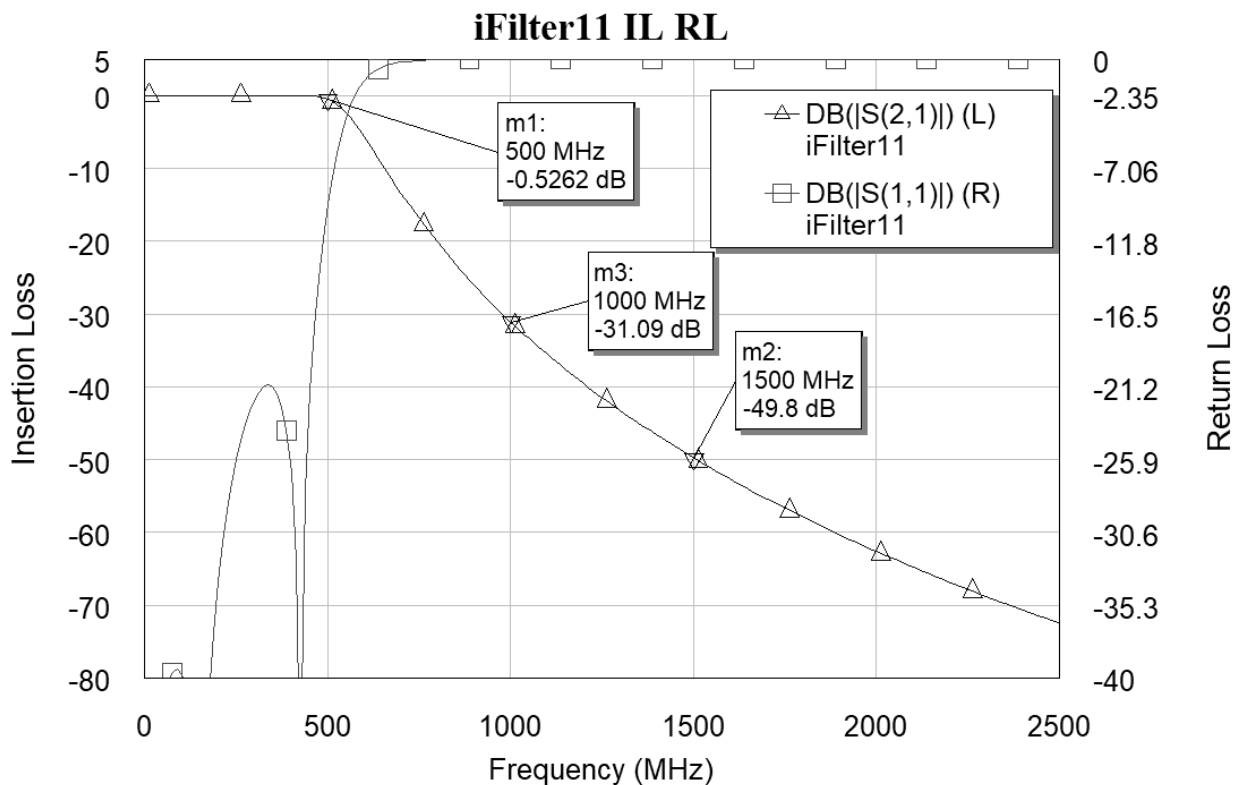


Рис. 4 – АЧХ ФНЧ (S21) из MWO



Рисунок 4 позволяет сделать следующие выводы:

- потери на частоте 500 МГц, не более 0,5329 дБ;
- потери на частоте 1 ГГц составляют 31,11 дБ;
- потери на частоте 1,5 ГГц составляют 49,8 дБ;
- возвратные потери на частотах ниже 450 МГц, не превышают 20 дБ.

### Эксперимент

Эксперимент проводился на измерительной установке, содержащей ноутбук, анализатор цепей типа P2M-18A, набор кабелей и переходов. В качестве объекта испытания использован макет ФНЧ, показанный на рисунке 5. Он намного скромнее фильтра, показанного на рисунке 2.

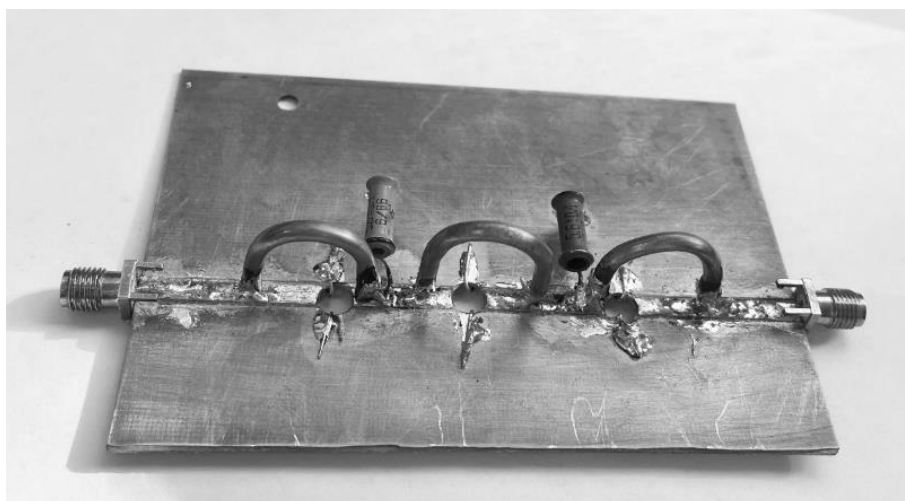


Рис. 5 – Объект испытания – собранный макет ФНЧ

На рисунке 6 можно видеть экспериментальную АЧХ ФНЧ. Из этого рисунка видно, что потери в полосе пропускания от 0 до 500 МГц менее 3 дБ, потери на частоте заграждения 900 МГц более 40 дБ, а потери на частоте заграждения 1800 МГц составляют более 50 дБ.

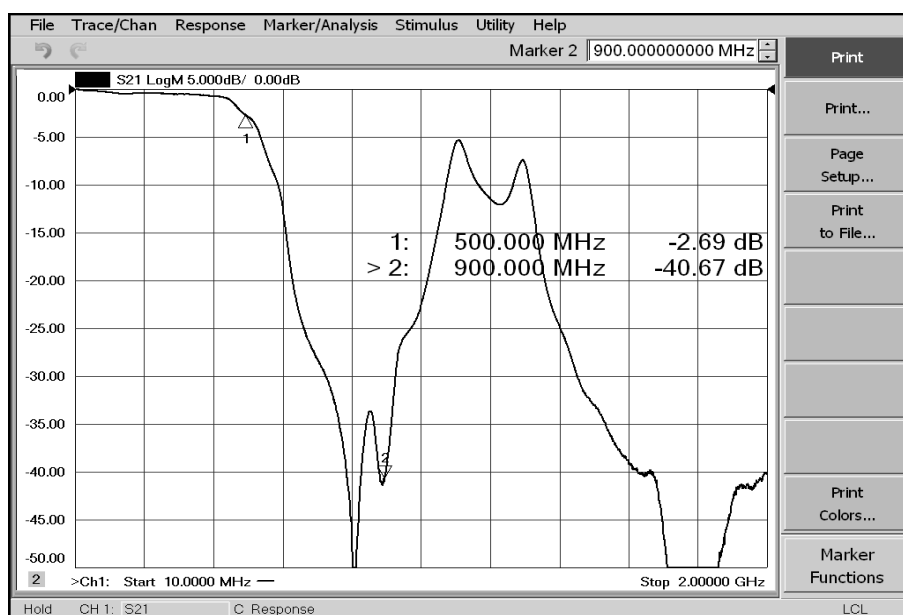


Рис. 6 – АЧХ ФНЧ Чебышева



### Выводы

Ниже в таблице проводится сравнение заданных и достигнутых параметров фильтра.

Таблица 2

Основные параметры фильтра

Наименование параметра, размерность	Задано	Модель	Эксперимент
Частота среза, МГц	$500 \pm 50$	540	500
Потери в полосе пропускания, дБ, не более	3	3	3
Заграждение на частоте 0,9 ГГц, дБ, не менее	30	26	40
Заграждение на частоте 1,8 ГГц, дБ, не менее	50	50	50
КСВН в полосе 400-500 МГц, не более	2	1.63	-

Из таблицы 2 видно, что все заданные требования к фильтру выполняются. Фильтр рекомендуется использовать в составе передатчика радиолюбительской связи диапазона 430 – 450 МГц.

### Список литературы:

1. Ханзел Г.Е. Справочник по расчету фильтров. – М.: Сов.радио, 1974. – 288 с.
2. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. –М.: Радио и связь, 1983. – 753 с.
3. Марченко А.Л. Частотные фильтры: пассивные, активные и цифровые. Учебное пособие. –М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 166 с.
4. Пилипенко А.М. Основы теории четырехполюсников и электрических фильтров. Учебное пособие. Ростов-на-Дону, издательство ЮФУ, 2019. 99 с.
5. Зикий А.Н., Зламан П.Н. Моделирование и экспериментальное исследование LC-фильтра декаметрового диапазона. Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2024, №1, с.68-72.
6. Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Волощук А.Ю., Швецов М.С., Трехзвенный полосовой фильтр УКВ диапазона. В сб. Высшая школа: Научные исследования. Материалы межвуз. Научного конгресса. 2019, с 156-160.
7. Андрианов А.В., Зикий А.Н. Моделирование и экспериментальное исследование полосового фильтра метрового диапазона волн. В сб.: Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего. Сб. материалов III МНТК. В 2-х томах, 2016, с 179-180.
8. Андрианов А.В., Баталова Е.А., Зикий А.Н. Фильтр метрового диапазона волн. «НАУКА РОССИИ: Цели и задачи». Сборник научных трудов по материалам XVIII международной научной конференции, Екатеринбург, 10 декабря 2019 г., с. 16-22.
9. Баталова Е.А., Губарев Д.Е., Зикий А.Н. Моделирование и экспериментальное исследование полосового фильтра КВ диапазона. Научный прогресс, 2019, №7, с.40-43.
10. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. –М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.
11. Фильтр нижних частот 430-440 МГц 70 см 500 Вт (LPF 500W) // Communication of like-minded people, owners of EB104 equipment, technical support [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eb104.ru/internet-magazin/430-440-mhz-power-amplifier/low-pass-filter-430-mhz-440-mhz-70-cm-lpf-500w> (дата обращения 15.05.2024).

