

# Модификация Hairpin топологии микрополосковых полосовых фильтров для обеспечения подавления паразитных полос пропускания с минимизацией габаритов

А.Е. Рудь<sup>1,2</sup>, А.В. Гречишкин<sup>1,2</sup>, Л.Э. Черноиванов<sup>1,2</sup>, А.В. Останков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Концерн «Созвездие»

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** в данной работе исследовалась модификация Hairpin топологии микрополосковых полосовых фильтров. Измерялись амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) макетов фильтров и их габаритные характеристики. Проведено сравнение фильтров топологии Hairpin и её модификации сопоставимых порядков. Продемонстрирована возможность реализации модифицированного микрополоскового полосового фильтра порядком выше, чем у исходного с сопоставимыми габаритами.

**Ключевые слова:** микрополосковый фильтр, полосовой фильтр, hairpin, модификация

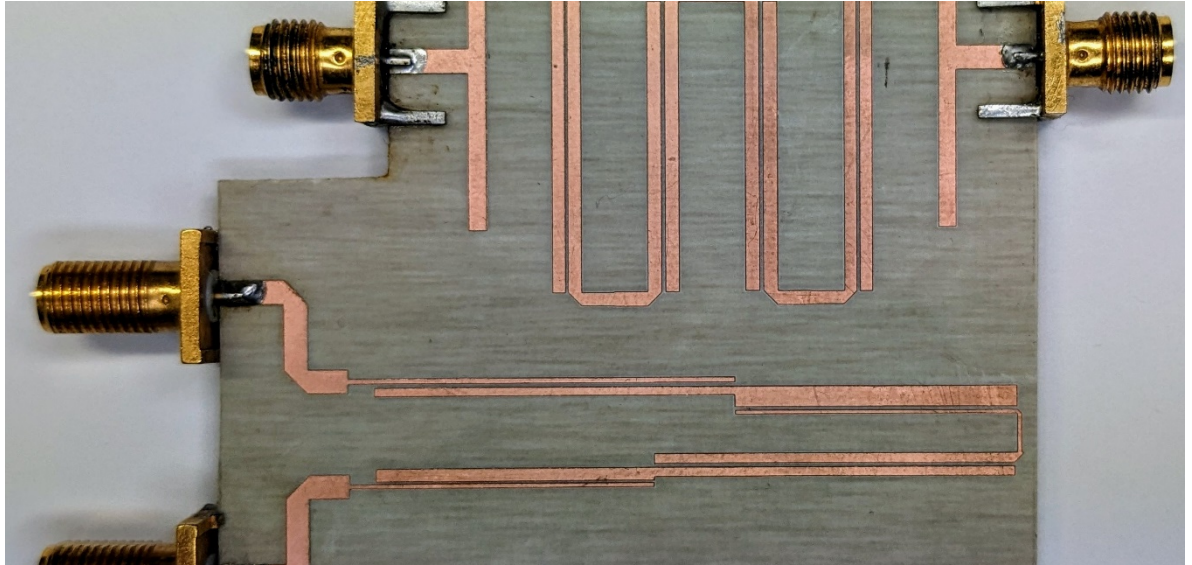
## 1. Введение

Микрополосковые полосовые фильтры Hairpin топологии имеют широкую и пологую полосу пропускания [1], но вместе с тем, физическая реализация фильтра имеет большие габариты, что является важным недостатком при проектировании коммерческих продуктов, стремящихся к уменьшению габаритов и массы. Также рассматриваемая топология имеет паразитные полосы пропускания [2-6], в которых необходимо максимизировать подавление. Для минимизации описанных недостатков предлагается модифицировать исходную топологию путем внесения асимметрии, а также разделения исходных резонаторов с образованием новых связей между разделенными частями.

В рамках работы проведено сравнение габаритов и характеристик микрополосковых полосовых фильтров топологии Hairpin и её модификации.

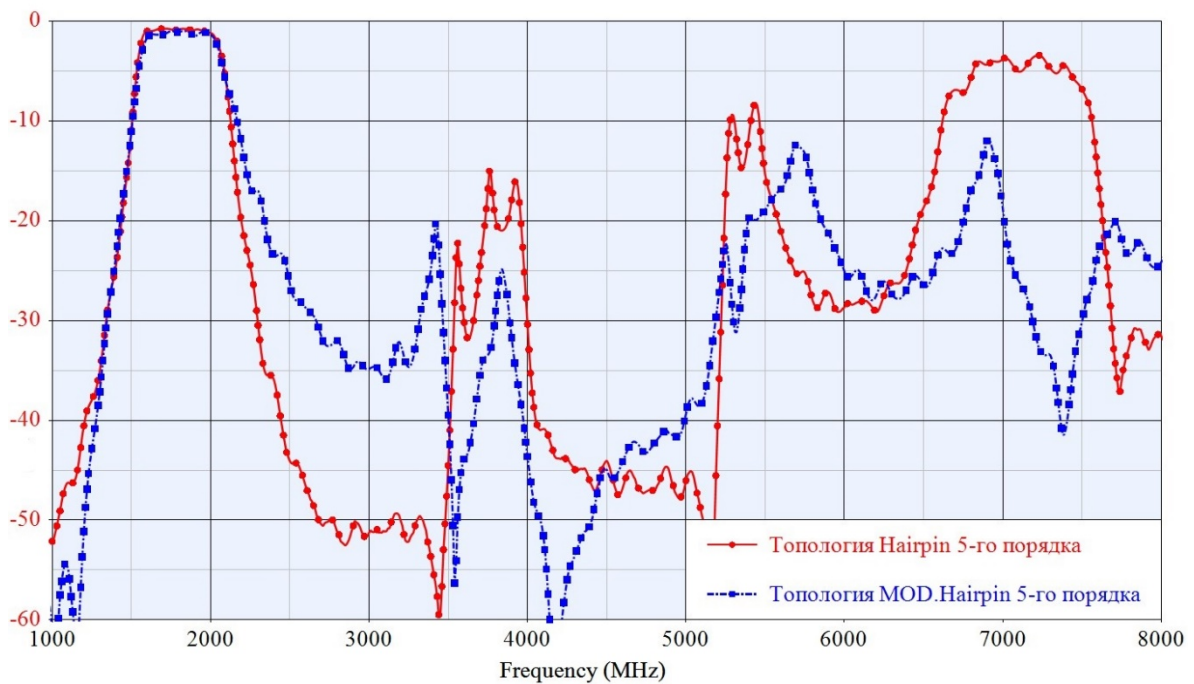
## 2. Сравнение исходной и модифицированной топологий

Для сравнения характеристик был выполнен расчет, моделирование и макетирование полосовых микрополосковых фильтров 5-го порядка топологии Hairpin и её модификации с полосой пропускания 1600-2000 МГц. Фильтры изготавливались фрезерованием топологии на фольгированном диэлектрическом материале RO4003 фирмы Rogers [7]. Изображения полученных макетов представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Внешний вид макетов микрополосковых полосовых фильтров 5-го порядка Hairpin-топологии (сверху) и модифицированной Hairpin-топологии (снизу)

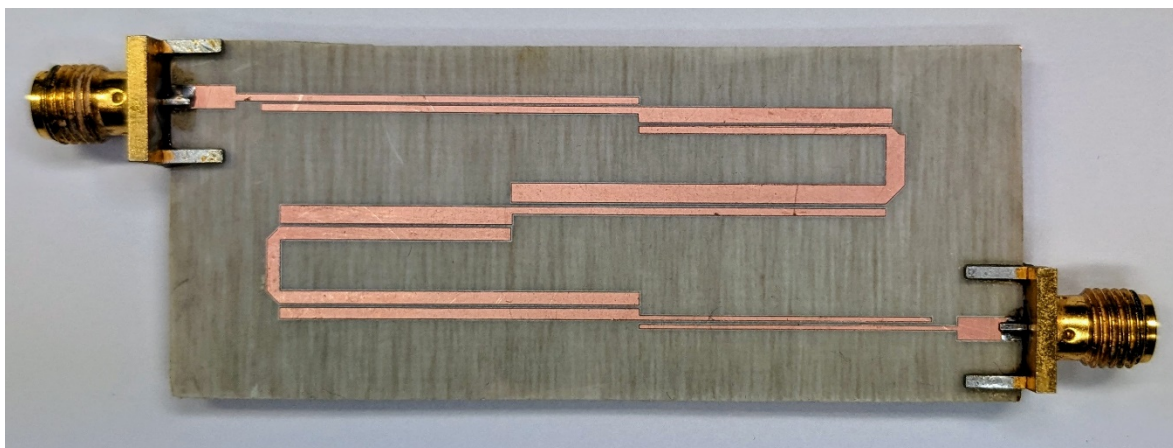
Измерения АЧХ проводились с помощью векторного анализатора цепей С4420 ПЛАНАР. На рисунке 2 представлены измеренные АЧХ, в таблице 1 приведено сравнение характеристик и габаритов изготовленных фильтров.



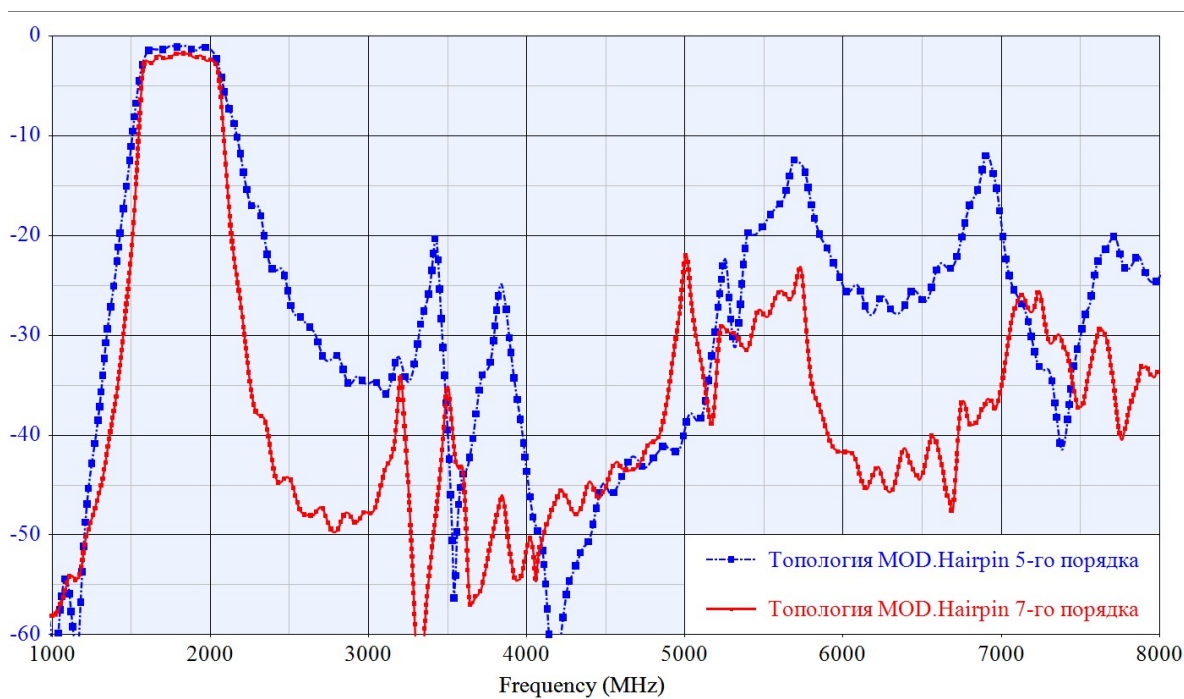
**Рисунок 2.** Сравнение АЧХ исходного и модифицированного фильтров

### 3. Реализация модифицированного фильтра высокого порядка

За счет модификации исходной топологии появляется возможность реализовать на сопоставимой, по сравнению с Hairpin-топологией, площади фильтр более высокого порядка. На рисунке 3 приведено изображение макета полосового микрополоскового фильтра 7-го порядка. На рисунке 4 приведено сравнение АЧХ фильтров модифицированных Hairpin-топологий 5-го и 7-го порядка.



**Рисунок 3.** Внешний вид макета микрополоскового полосового фильтра 7-го порядка модифицированной Hairpin-топологии



**Рисунок 4.** Сравнение АЧХ микрополоскового полосового фильтра 7-го порядка модифицированной Hairpin-топологии и 5-го порядка модифицированной Hairpin-топологии

На рисунке 5 представлено сравнение АЧХ всех изготовленных фильтров, в таблице 1 приведено сравнение их характеристик и габаритов.

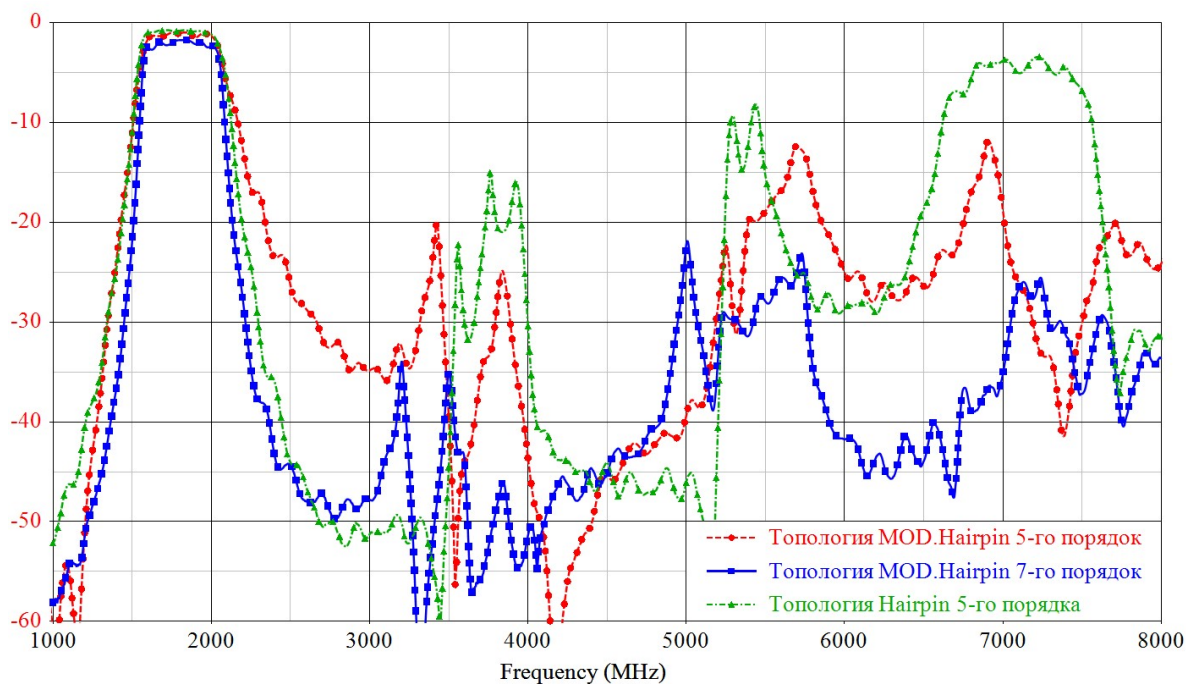


Рисунок 5. Сравнение АЧХ всех рассматриваемых микрополосковых полосовых фильтров

Таблица 1. Сравнение характеристик и габаритов

Топология	Полоса пропускания, МГц	Паразитные полосы пропускания, МГц	Подавление за полосой, дБ	ДхШ, см	Площадь, см <sup>2</sup>
Hairpin	1600-2000	3000-4000 4900-6000 6500-7600	-15 -8 -3.5	4.98 x 2.6	12.95
Мод. Hairpin 5-ый порядок	1600-2000	3000-4000 4900-6000 6500-7600	-20 -12.4 -11.8	6.2 x 1.1	6.82
Мод. Hairpin 7-ой порядок	1600-2000	3000-4000 4900-6000 6500-7600	-34 -21.8 -25.5	6.5 x 2	13

#### 4. Заключение

По результатам, представленным в таблице 1 и на рисунке 2, можно сделать вывод, что модификация топологии, с учетом одного и того же порядка, имеет лучшее подавление паразитных полос пропускания и меньшие габариты.

Также на рисунках 4 и 5 продемонстрирована возможность реализовать фильтр модифицированной топологии 7-го порядка с лучшей избирательностью и значительным подавлением паразитных полос пропускания с габаритами, сопоставимыми с фильтром 5-го порядка топологии Hairpin (таблица 1).

### Список литературы

1. Таланов А. Микрополосковые фильтры // Электронные компоненты. 2019. № 5. С. 15-17.
2. Kio, J. T. Design of parallel coupled microstrip filters with suppression of spurious resonances using substrate suspension / J. T. Kio, M. Jiang, and H. J. Chang // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. - 2004. - vol. 52. - № 1. - pp. 83-89.
3. Kio, J. T. Parallel coupled microstrip filters with suppression of harmonic response / J. T. Kio, W. H. Hsu, and W. T. Huang // IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett. - 2002. - vol. 12. - № 10. - pp. 383-385.
4. Microstrip bandpass filter at S-band using capacitive coupled resonator/ J. S. Mandeep // Microwave Journal. - 2007.
5. Bahl, I. J. Capacitively Compensated High Performance Parallel Coupled Microstrip Filters /I. J. Bahl // MTTTS Digest - 1989. - pp. 679-682.
6. Kuo, Jen-Tsai Enhanced Microstrip Filter With a Uniform Dielectric Overlay for Suppressing the Second Harmonic Response / Jen-Tsai Kuo, Meshon Jiang // IEEE Microwave and Wireless Corp. Lett. - 2004. - vol. 14. - № 9. - pp. 419-421.
7. Reference manual. RO4000 Laminates RO4003C and RO4350B – Data Sheet [Электронный ресурс] // rogerscorp.com: [сайт]. URL: <https://www.rogerscorp.com/-/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/ro4000-laminates-ro4003c-and-ro4350b---datasheet.pdf> [Дата обращения: 17 августа 2022].