

**Влияние числа витков модального фильтра  
на его частотные и временные характеристики**

**М.С. Мурманский**

Научный руководитель: к.т.н., Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: [mihailmurmanskii@gmail.com](mailto:mihailmurmanskii@gmail.com)

**The influence of turns number of modal filter on its frequency and time characteristics**

**M.S. Murmanskii**

Scientific Supervisor: Ph.D., Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,  
Lenin str., 40, 634050

E-mail: [mihailmurmanskii@gmail.com](mailto:mihailmurmanskii@gmail.com)

**Abstract.** In this paper, the effect of changing the number of modal filter turns on the time and frequency characteristics is investigated. It is found that changing the number of turns from 3 to 11 increases the far-end crosstalk (FEXT) at a level of minus 20 dB at 210 MHz. Also the cutoff frequency increases by 45 MHz.

**Keywords:** modal filter, N-norms.

**Введение**

Современные радиотехнические системы подвержены влиянию сверхширокополосных (СШП) и узкополосных (УП) электромагнитных помех (ЭМП) [1]. Для подавления СШП и УП ЭМП используют различные частотно-селективные устройства, такие как [2–4]. В том числе к способам защиты от СШП и УП ЭМП можно отнести модальные фильтры (МФ) [5]. В статье [6] предлагается использование близкой трассировки проводников и пар проводников, для достижения максимального помехоподавления. А также увеличения частоты дальней перекрестной помехи по уровню -20 дБ. Однако в этой статье не было исследовано влияние числа витков МФ на его частотные и временные характеристики. Таким образом, цель работы – исследовать влияние числа витков МФ на его частотные и временные характеристики.

**Экспериментальная часть**

В качестве среды моделирования использована система квазистатического моделирования TALGAT. В качестве объекта исследования выбран МФ из [7], на рисунке 1 и 2 представлены поперечное сечение и эквивалентная схема включения которого изменялось с 3 до 11.

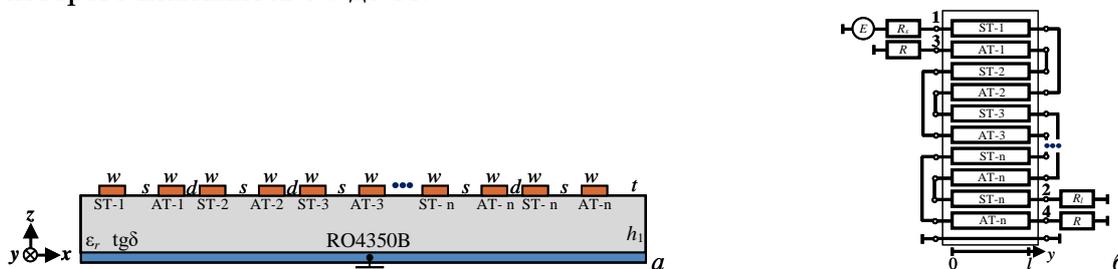


Рис. 1. Поперечное сечение и эквивалентная схема исследуемого МФ

Параметры поперечного сечения МФ: ширина проводника  $w = 0,5$  мм, толщина проводников  $t = 0,018$  мм, расстояние между проводниками  $s = 0,15$  мм, расстояние между

парами  $d = 0,15$  мм, высота диэлектрической подложки  $h = 0,25$  мм, общая длина проводников  $l = 1000$  мм. В качестве диэлектрической подложки использован СВЧ ламинат RO4350B с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 3,66$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0,018$ . Номиналы резисторов составили 50 Ом. В качестве помехового воздействия выбран Гауссов импульс с частотным спектром 0–6 ГГц. На рисунке 2 представлен гауссов импульс во временной области и его спектральная плотность напряжения. Для анализа сигналов во временной области использованы  $N$ -нормы [9].

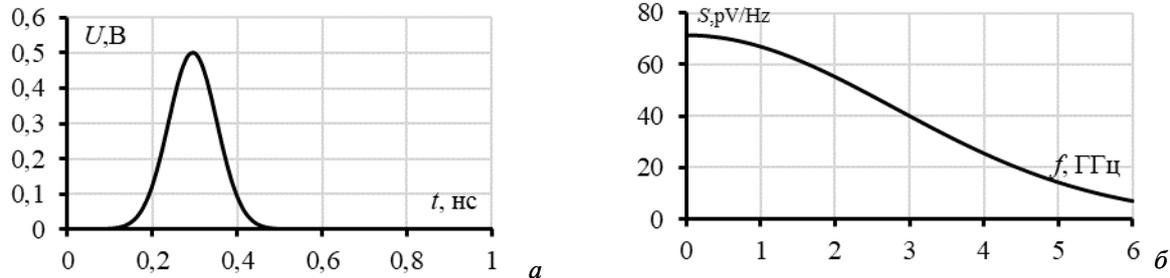


Рис. 2. Гауссов импульс во временной области (а) и его спектральная плотность напряжения (б)

### Результаты

Выполнен анализ выходных откликов во 2 порту. В таблице 1 представлены результаты вычисленные  $N$ -нормы и значения дальней перекрестной помехи в частотной области ( $|S_{(4,1)}|$  (по уровню минус 20 дБ)) и значения частоты среза.

Таблица 1

Значения  $N$ -норм, частоты среза и дальней перекрёстной помехи (по уровню минус 20 дБ)

Число витков	$N_1$	$N_2 \cdot 10^8$	$N_3 \cdot 10^{-11}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$	$ S_{41}, \text{дБ} $ (ГГц) (- 20 дБ)	$f_{\text{ср}}$ (ГГц)	Размеры (мм)
3	0,099	9,865	7,002	9,23	2,040	0,1	0,345	333x3,75
5	0,094	6,328	6,992	10,21	2,017	0,145	0,27	200x6,35
7	0,089	5,910	6,989	11,05	2,038	0,21	0,3	142x8,95
9	0,092	5,463	6,988	11,81	2,059	0,26	0,360	111,11x11,55
11	0,097	4,968	7,002	12,2	2,089	0,31	0,4	90x14,15

Из таблицы 1 видно, что увеличение числа витков с 3 до 11 уменьшает значение  $N_1$  в 0,02 раза, а также  $N_2$  в 1,98 раз. Незначительное увеличение значения  $N_4$  в 1,32 раза вызвано наличием дополнительных переотражений. Так же из таблицы 1 видно, что при увеличении числа пар проводников значение дальней перекрестной помехи (по уровню минус 20 дБ) увеличивается на 200 МГц и частота среза увеличивается на 55 МГц. Дополнительно к этому удалось уменьшить габариты платы МФ с 333x3,75 до 90x14,15 мм.

На рисунке 3 представлены временные отклики в порту 2, полученные для МФ состоящего из 3 и 11 витков. Также приведены частотные зависимости коэффициента передачи и значения дальней перекрестной помехи. Видно, что увеличение числа витков приводит, к возрастанию количества резонансов и увеличению частоты дальней перекрестной помехи (по уровню минус 20 дБ) на 210 МГц.

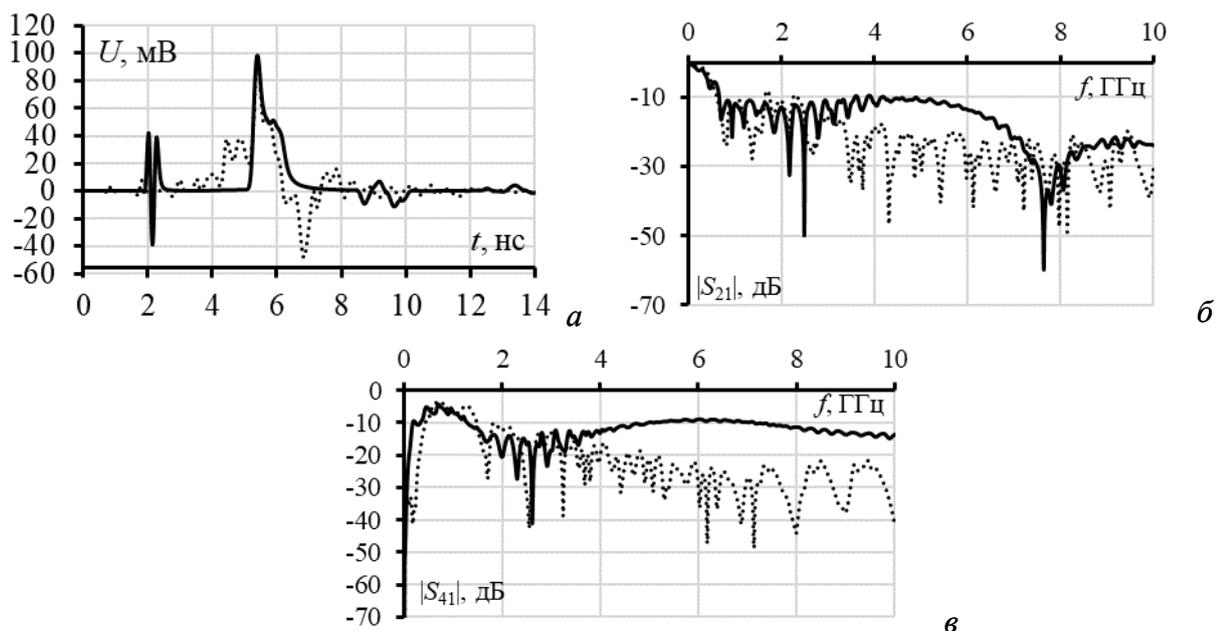


Рис. 3 Временной отклик в 2 порту для 3 (—) и 11 (⋯) пар проводников МФ, значения ( $|S_{21}|$ , дБ) для 3 и 11 пар, ( $|S_{41}|$ , дБ) для 3 и 11 пар проводников

### Заключение

Выявлено, что увеличение числа витков МФ приводит к увеличению частоты дальней перекрёстной помехи (по уровню минус 20 дБ) на 210 МГц и увеличению частоты среза на 55 МГц. Выявлено, что возрастание числа витков позволяет уменьшить значение  $N_1$  и  $N_2$  в 0,02 и 1,98 раз соответственно.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

### Список литературы

1. Balzovsky E.V., Lysykh P.M. Investigation of the effect of the summation of monopolar pulses of individual generators for a bipolar UWB pulse formation // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2140, № 1. – P. 012008.
2. Maghlakelidze G. et al. Effect of RF signals on TVS diode trigger voltage for ESD protection // 2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI). – Reno: IEEE, 2020. – P. 194–199.
3. Damnjanović M., Babković K., Kisić M. EMI and EMC in Electronics Course at the FTS, University of Novi Sad // 2023 22nd International Symposium on Power Electronics (Ee). – Novi Sad: IEEE, 2023. – Vol 1. – P. 1-6.
4. Sagiyeva I. Y. et al. Modal Filters Based on a Microstrip Line with Overhead Conductors Grounded at Both Ends // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2023. – Vol. 65, № 5. – P. 1371-1378.
5. Nosov A.V., Surovtsev R.S. Revealing new possibilities of ultrashort pulse decomposition in a turn of asymmetrical meander delay line // 2020 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – Chemal: IEEE, 2020. – P. 149-153.
6. Zhechev Y.S. et al. Routing Technique for Microwave Transmission Lines to Ensure UWB Interference Immunity // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2023. – Vol. 71, № 12. – P. 5304–5316.
7. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Math. Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.