

**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

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

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.

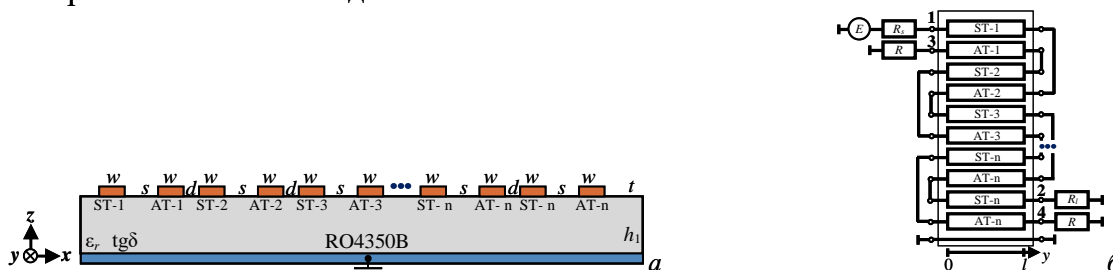


Рис. 1. Поперечное сечение и эквивалентная схема исследуемого МФ

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].

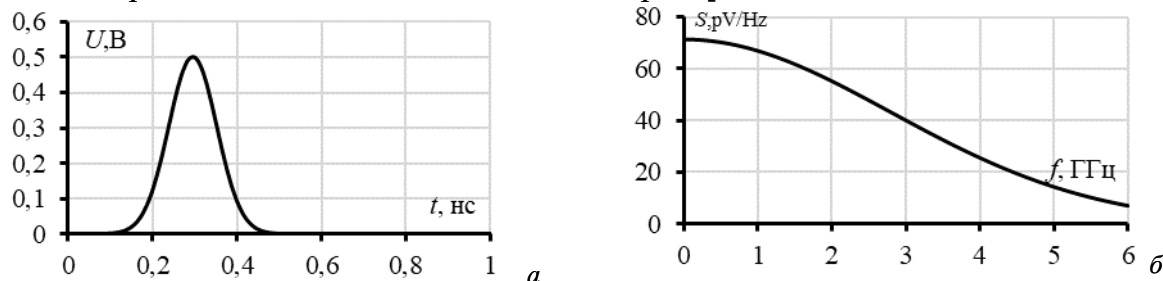


Рис. 2. Гауссов импульс во временной области (а) и его спектральная плотность напряжения (б)

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.

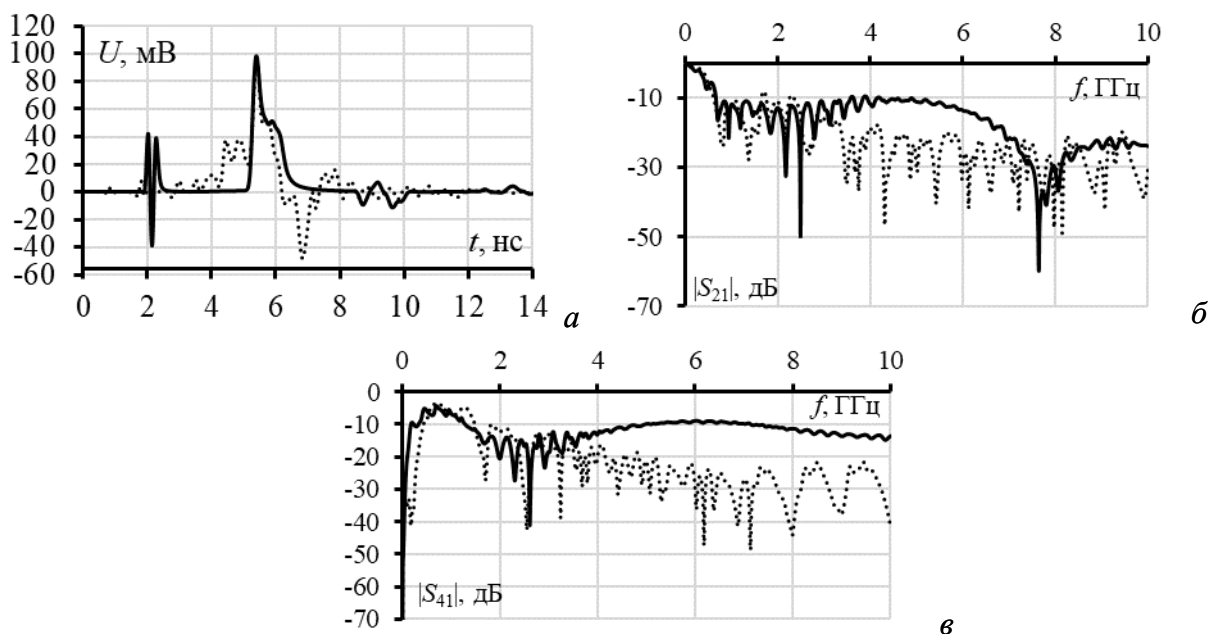


Рис. 3 Временной отклик в 2 порту для 3 (—) и 11 (⋯) пар проводников МФ, значения ($|S_{21}|$, дБ) для 3 и 11 пар, ($|S_{41}|$, дБ) для 3 и 11 пар проводников

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.