

УДК 621.396.669

А.Д. Пискаев, Т.Р. Газизов

Квазистатическое моделирование треугольного легкого модального фильтра

Рассмотрена возможность уменьшения массы модальных фильтров (МФ). Выполнено квазистатическое моделирование ослабления сверхкоротких импульсов (СКИ) треугольным МФ при различных параметрах. Получено ослабление СКИ в 2 раза при уменьшении массы пассивного проводника в 5 раз.

Ключевые слова: модальный фильтр, метод моментов, электромагнитная совместимость, временной отклик.

Жесткая электромагнитная обстановка приводит к возникновению помех и наводок в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА). В связи с этим необходимо уделять внимание электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА [1]. Одним из опасных воздействий на РЭА является сверхкороткий импульс (СКИ), который способен вызывать сбои в работе, а также выводить аппаратуру из строя.

Для защиты РЭА предложены модальные фильтры (МФ), которые, в отличие от промышленных устройств, имеют небольшие габариты и невысокую стоимость [2]. Исследован треугольный МФ, используемый для защиты цепей Ethernet 100 Base-T. Однако модификация такого МФ для цепей питания приводит к повышенной массе за счет пассивного проводника. Это неприемлемо, особенно для космических аппаратов. Между тем по пассивному проводнику не протекает постоянный ток питания, так что его необязательно делать с таким же поперечным сечением, как активный и опорный. Поэтому целесообразно выполнить пассивный проводник тонким, хотя это и может повлиять на работу МФ. Примечательно, что ранее такие исследования не проводились.

Цель работы – оценка характеристик треугольного МФ с тонким пассивным проводником. В работе выполнено квазистатическое моделирование распространения СКИ в таком МФ с различными внутренними параметрами и выявлены их оптимальные значения.

Моделирование

Моделирование произведено в системе TALGAT без учета потерь [3]. В ней методом моментов вычисляются матрицы погонных параметров. Временной отклик получается квазистатическим моделированием с помощью быстрого преобразования Фурье и модифицированного узлового метода.

Построена геометрическая модель поперечного сечения в системе TALGAT (рис. 1). Толщина диэлектрика – 20 мм, толщина проводников – 10 мм, их ширина – 20 мм, зазор между проводниками – 10 мм. Входное воздействие – импульс в виде трапеции с ЭДС 2 В, длительностями фронта и спада по 50 пс, а плоской длины – 100 пс.

Построена схемная электрическая модель МФ (рис. 2). Сопротивления резисторов равны среднему геометрическому волновых сопротивлений мод (52,397 Ом).

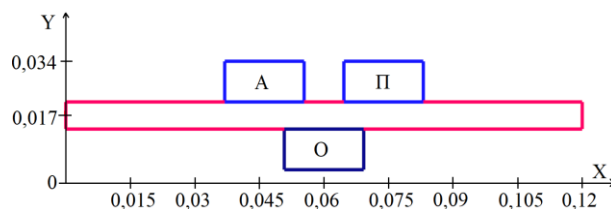


Рис. 1. Геометрическая модель поперечного сечения исходной структуры

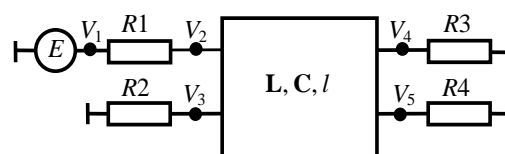


Рис. 2. Электрическая модель исследуемого МФ

По исходным параметрам построен временной отклик (рис. 3). Видно, что исходный импульс разложен на 2 импульса с одинаковой амплитудой в 4 раза меньше половины ЭДС.

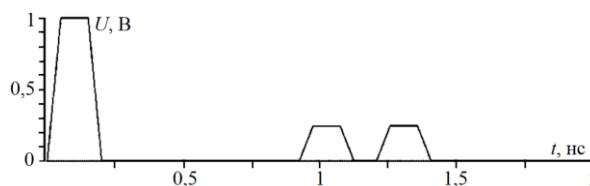


Рис. 3. Формы ЭДС (импульс 1) и напряжения на выходе (импульсы 2 и 3) при исходных параметрах

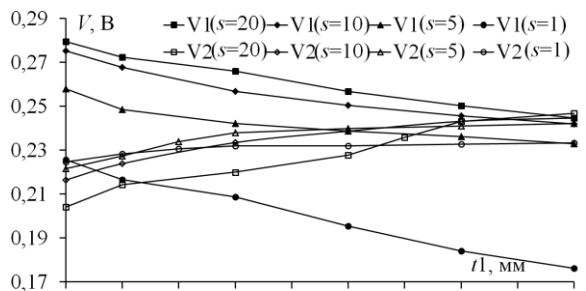
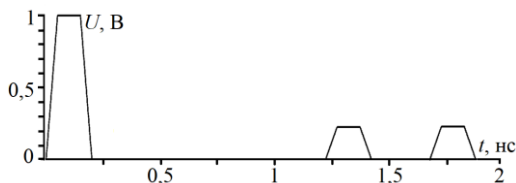
Проведено изменение параметров МФ с целью уменьшения его массы. Выявлено, что уменьшение толщины пассивного проводника (t_1) уменьшает соотношение амплитуд импульсов, но это можно компенсировать уменьшением зазора между проводниками (s). При изменении t_1 и s получены отклики, амплитуды импульсов которых приведены в табл. 1.

По результатам табл. 1 построены графики зависимости амплитуд импульсов V_1 и V_2 от t_1 при изменении s (рис. 4). Видно, что наименьшее значение (0,22 В) равных амплитуд импульсов достигается при $t_1 = 2$ мм и $s = 1$ мм. Уменьшение t_1 с 10 до 2 мм уменьшает его массу в 5 раз. Для этих параметров приведен временной отклик (рис. 5). При этом увеличилась разность погонных задержек четной и нечетной мод, что увеличило интервал между

импульсами, позволяя разложение импульса большей длительности.

Таблица 1

Амплитуды импульсов при изменении t_1 и s				
t_1 , мм	s , мм	V1/V2	V1, В	V2, В
10	20	0,9919	0,2448	0,2468
8	20	1,0292	0,2502	0,2431
6	20	1,0886	0,2568	0,2359
4	20	1,1682	0,2660	0,2277
3	20	1,2382	0,2724	0,2200
2	20	1,3047	0,2796	0,2143
1	20	1,4219	0,2902	0,2041
10	10	0,9890	0,2420	0,2447
8	10	1,0099	0,2456	0,2432
6	10	1,0494	0,2505	0,2387
4	10	1,1002	0,2569	0,2335
2	10	1,1956	0,2677	0,2239
1	10	1,2716	0,2753	0,2165
10	5	0,9600	0,2330	0,2423
8	5	0,9801	0,2363	0,2411
7	5	0,9954	0,2388	0,2399
6	5	1,0176	0,2422	0,2380
4	5	1,0875	0,2486	0,2339
2	5	0,9572	0,2580	0,2274
1	5	0,9795	0,2652	0,2216
10	1	0,7549	0,1762	0,2334
8	1	0,7908	0,1841	0,2328
6	1	0,8419	0,1954	0,2321
4	1	0,8996	0,2087	0,2320
3	1	0,9393	0,2167	0,2307
2	1	0,9882	0,2256	0,2283
1	1	1,0570	0,2375	0,2247

Рис. 4. Зависимости амплитуд импульсов V1 и V2 от толщины пассивного проводника t_1 при изменении зазора s Рис. 5. Формы ЭДС (импульс 1) и напряжения на выходе (импульсы 2 и 3) для $w_1 = 20$ мм, $t_1 = 2$ мм, $s = 1$ мм

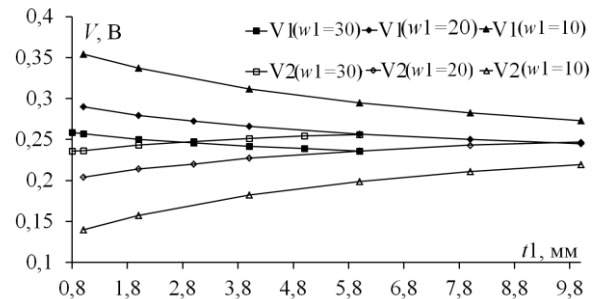
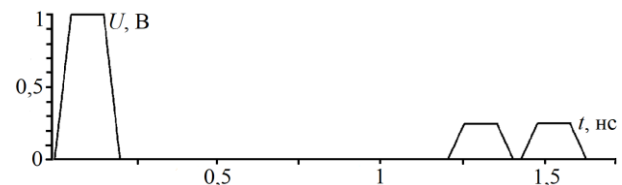
Выявлена аналогичная возможность компенсации, но расширением пассивного проводника, хотя это и препятствует уменьшению массы. По результатам табл. 2 построены зависимости V1 и V2 от толщины пассивного проводника t_1 при изменении w_1 (рис. 6). Видно, что наименьшее значение равных амплитуд импульсов достигается при $t_1 = 3$ мм и

$w_1 = 30$ мм. Для этих параметров построен временной отклик (рис. 7).

Аналогично получены зависимости амплитуд импульсов разложения от t_1 при изменении ширины пассивного проводника w_1 (см. табл. 2).

Таблица 2

Амплитуды импульсов при изменении t_1 и w_1				
t_1 , мм	w_1 , мм	V1/V2	V1, В	V2, В
10	10	1,2443	0,2730	0,2194
8	10	1,3409	0,2828	0,2109
6	10	1,4854	0,2950	0,1986
4	10	1,7083	0,3116	0,1824
2	10	2,1422	0,3374	0,1575
1	10	2,5325	0,3543	0,1399
1	20	0,9919	0,2448	0,2468
8	20	1,0292	0,2502	0,2431
6	20	1,0886	0,2568	0,2359
4	20	1,1682	0,2660	0,2277
3	20	1,2382	0,2724	0,2200
2	20	1,3047	0,2796	0,2143
1	20	1,4219	0,2902	0,2041
6	30	0,9215	0,2360	0,2561
5	30	0,9383	0,2389	0,2546
4	30	0,9618	0,2418	0,2514
3	30	0,9935	0,2462	0,2478
2	30	1,0279	0,2502	0,2434
1	30	1,0870	0,2573	0,2367
0,8	30	1,0976	0,2587	0,2357

Рис. 6. Зависимости амплитуд импульсов V1 и V2 от толщины пассивного проводника t_1 при изменении ширины пассивного проводника w_1 Рис. 7. Формы ЭДС (импульс 1) и напряжения на выходе (импульсы 2 и 3) для $w_1 = 30$ мм, $t_1 = 3$ мм, $s = 20$ мм

Заключение

В результате моделирования определены зависимости напряжений импульсов треугольного МФ от параметров. Выявлена возможность уменьшения массы с улучшением характеристик МФ. В дальнейшем предлагается провести оптимизацию, например генетическим алгоритмом, работы МФ при изменении сразу трех параметров. В частности, будет учтена разница погонных задержек. Кроме того, будут выполнены более точные оценки уменьшения массы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-37-51017.

Литература

1. Paul C.R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. – Wiley Interscience, 2006. – 1013 p.
2. Заболоцкий А.М. Модальные фильтры для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2013. – 151 с.
3. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко,

А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

Пискаев Артем Денисович
Студент НИЯУ «МИФИ»
Эл. почта: piskaev63@yandex.ru

Газизов Тальгат Рашитович
Г.н.с. ТУСУРа, НТУ «Сириус»
Эл. почта: talgat@tu.tusur.ru