

УДК 621.372.2

Анализ диссипативных потерь в зеркально-симметричном модальном фильтре с электромагнитным поглотителем

В.А. Трубченинов, С.В. Власов

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

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

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Analysis of dissipative losses in a reflection-symmetric modal filter with electromagnetic absorber

V.A. Trubcheninov, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: PhD, Y.S. Zhechev

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

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of analysis of dissipative losses in a reflection-symmetric modal filter with an electromagnetic absorber. Several types of simulation was performed: without losses, with losses in conductors, with dielectric losses, with losses in the electromagnetic absorber and taking into account all losses. The simulation was performed in the time domain using broadband pulses. After that N -norms were calculated. The results show that when losses are taken into account, the attenuation of the input signal amplitude reaches 30 times with respect to half of the e.m.f.

Key words: Electromagnetic compatibility, modal filter, N -norms, dissipative losses.

Введение

Подавление электромагнитных помех (ЭМП), в особенности сверхширокополосных (СШП), является важной задачей в области электромагнитной совместимости [1]. За счет широкого спектра, большой амплитуды и малого времени нарастания такие ЭМП могут приводить к функциональным сбоям и поражениям радиоэлектронных систем (РЭС) и их элементов. Перспективными устройствами защиты являются модальные фильтры (МФ), способные раскладывать импульсы малой длительности на последовательность из импульсов меньшей амплитуды [2]. Ранее предложено применять электромагнитный поглотитель (ЭП) на основе магнитодиэлектриков совместно с МФ [3]. За счет параметров магнитодиэлектрика удалось увеличить разность погонных задержек мод и коэффициент ослабления СШП ЭМП. Между тем, анализ диссипативных потерь не был проведен. Целью данной работы является проведение анализа диссипативных потерь в 3-С МФ с ЭП.

Исследуемая структура

Для анализа выбрана структура 3-С МФ с ЭП в корпусе. Поперечное сечение представлено на рис. 1.

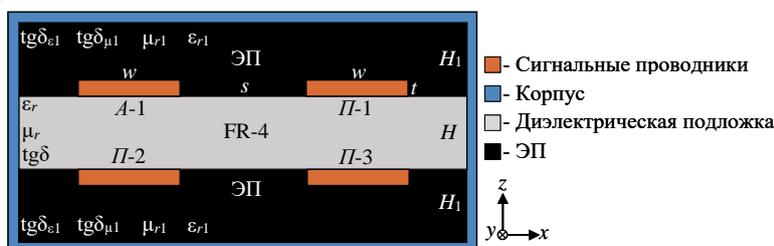


Рис. 1. Поперечное сечение 3-С МФ с ЭП в корпусе

Геометрические параметры поперечного сечения: ширина проводников $w = 400$ мкм, толщина проводников $t = 35$ мкм, расстояние от проводников до экранов $s = 300$ мкм. В качестве диэлектрической подложки выбран стеклотекстолит FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,3$, относительной магнитной проницаемостью $\mu_r = 1$, тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_\epsilon = 0,025$ и толщиной $H = 800$ мкм. В качестве ЭП выбран магнитодиэлектрический материал ЗИПСИЛ 601-РПМ-01 с $\epsilon_{r1} = 20$, $\mu_{r1} = 4$, $\text{tg}\delta_{\epsilon1} = 0,1$ и толщиной $H_1 = 3000$ мкм.

В данной работе для получения откликов во временной области использован квазистатический подход, основанный на алгоритмической модели Накхлы и реализованный в системе TALGAT [4]. Моделирование проводилось в 5 случаях: без учета потерь (1); с учетом потерь только в проводниках (2); с учетом потерь только в диэлектрике (3); с учетом потерь только в ЭП (4); с учетом всех перечисленных видов потерь (5). На активный проводник подавалось воздействие в виде трапецеидального помехового импульса с э.д.с. 100 В и длительностями фронтов и плоской вершины по 100 пс. Моделирование проводилось с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м для сравнения влияния диссипативных потерь на амплитуду СШП импульса.

Результаты моделирования

На рис. 2 представлены результаты моделирования структуры во временной области при $l = 0,1$ (а) и 1 (б) м. Значения амплитуды импульсов на выходе структуры с $l = 0,1$ и 1 м представлены в таблице 1.

Из результатов моделирования видно, что с учетом всех потерь при $l = 0,1$ м наибольшее ослабление амплитуды достигает 5,4 раза относительно половины воздействующей э.д.с, а без учета потерь – 4 раза. С учетом всех потерь при $l = 1$ м наибольшее ослабление амплитуды достигает 30 раз относительно половины воздействующей э.д.с, а без учета потерь – 4 раза.

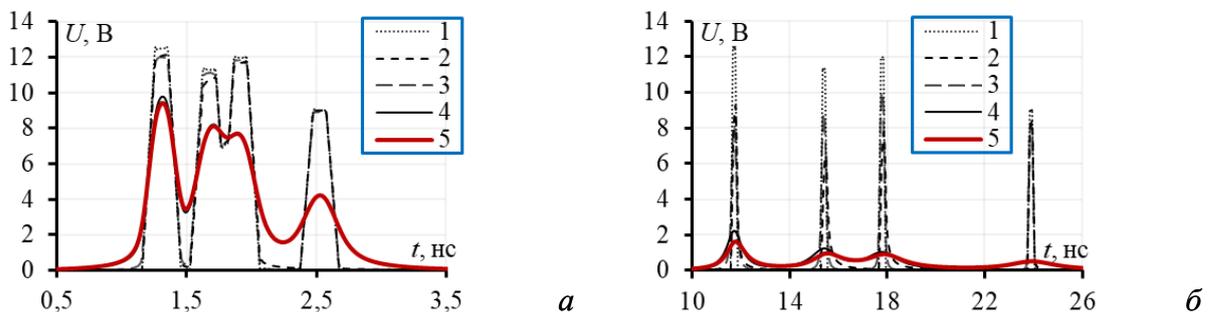


Рис. 2. Результаты моделирования структуры во временной области при $l = 0,1$ (а) и $l = 1$ (б) м

Таблица 1

Значения амплитуды импульсов (U_1-U_4) на выходе структуры с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м

Длина проводников $l = 0,1$ м				
Моделирование	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$
1	12,45	11,27	11,94	8,97
2	11,95	10,61	11,68	9,0
3	11,9	10,9	11,74	8,92
4	9,73	7,96	7,54	4,04
5	9,23	7,98	7,47	4,02
Длина проводников $l = 1$ м				
1	12,5	11,3	11,98	9,07
2	9,3	6,42	7,6	8,35
3	8,11	8,66	9,98	8,2
4	2,2	1,2	1,03	0,5
5	1,63	0,93	0,91	0,5

Для оценки эффективности подавления СШП помех анализировались N -нормы [5], которые позволяют оценить характер воздействия СШП помех на компоненты и определить возможные виды отказов. Значения N -норм в конце активной линии для структуры с длинами проводников $l = 0,1$ и 1 м представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения N -норм в конце активной линии для структуры с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м

Длина проводников $l = 0,1$ м					
Моделирование	N_1	$N_2 \cdot 10^{11}$	$N_3 \cdot 10^{-9}$	$N_4 \cdot 10^{-8}$	$N_5 \cdot 10^{-4}$
1	12,59	1,44	1	1	2,95
2	12,20	1,32	9,99	0,99	2,87
3	12,02	1,194	9,9	1,06	2,89
4	9,78	0,705	9,04	1,84	2,24
5	9,42	0,65	8,99	1,9	2,22
Длина проводников $l = 1$ м					
1	12,59	1,5	10	1	2,9
2	9,27	0,9	9,89	0,989	2,1
3	10	0,83	9,9	0,998	2,3
4	2,23	0,039	8,88	0,93	0,821
5	1,63	0,024	8,74	0,914	0,728

Видно, что при $l=0,1$ м с учетом всех потерь значение N_1 уменьшилось в 1,3 раза, N_2 – в 2,2 раза, N_3 – в 0,1 раза, N_5 – в 1,3 раза по сравнению с результатами без потерь, значение N_4 не уменьшилось, а при $l=1$ м с учетом всех потерь значение N_1 уменьшилось в 7 раз, N_2 – в 60 раз, N_3 – в 1,1 раза, N_4 – в 1,1 раза, N_5 – в 4 раза по сравнению с результатами без потерь. Наиболее значительное ослабление наблюдается для N_2 . Учет потерь в структуре значительно влияет на ослабление амплитуды сигнала, но не влияет на время прихода импульсов на выходе.

Заключение

В данной работе проведен анализ диссипативных потерь в 3-С МФ с ЭП. Выполнено моделирование структуры в каждом случае во временной области. Получены временные отклики и N -нормы. Так, входной импульс при моделировании с учетом потерь в структуре с $l = 0,1$ м ослабился в 5,4 раза, в структуре с $l = 1$ м – в 30 раз. Анализ N -норм показал, что при моделировании с потерями значение N_1 удалось уменьшить в 7 раз, N_2 – в 60 раз, N_3 – в 1,1 раза, N_4 – в 1,1 раза, N_5 – в 4 раза.

Исследование выполнено за счет проекта РНФ-37 №23-29-00486 от 13.01.2023.

Список литературы

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
2. Самойличенко М.А., Жечев Е.С., Газизов Т.Р. Экспериментальное исследование электрических характеристик модального фильтра на двухсторонней печатной плате // Radiotekhnika i elektronika. – 2023. – Т. 68, № 11. – С. 1131–1139.
3. Zhechev Y.S., Adnan A.H., Malygin K.P. New technique for improving modal filter performance by using an electromagnetic absorber // IEEE Access. – 2022. – V. 10. – P.86663–86670.
4. Мелкозеров А.О. Программное обеспечение TALGAT 2016. – 2017. – 79 с.
5. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – V. 63. – P.1–42.