

3. Yousaf J. Efficient circuit and EM model of electrostatic discharge generator / J. Yousaf, J. Shin, H. Lee, W. Nah // IEEE International symposium on electromagnetic compatibility and signal/power integrity (EMCSI). – 2017. – P. 164–168.

4. International rectifier // ESD testing of MOS gated power transistors. Application note AN-986.

5. BFU590G, NXP Semiconductors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/BFU590G.pdf>, свободный (дата обращения: 23.10.2021).

УДК 621.319.74

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ В ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Д.А. Мерзляков, студент; М.В. Храпцов, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, dima.merzlyakow@mail.ru

Исследовано влияние заземленных металлизированных переходных отверстий (ПО) на эффективность экранирования (ЭЭ) в печатной плате. Выполнен расчет ЭЭ при различном шаге размещения и рядности ПО. Показано, что уменьшение диаметра ПО и увеличение рядности позволяет значительно увеличить ЭЭ.

Ключевые слова: переходное отверстие, печатная плата, эффективность экранирования, электромагнитная совместимость.

Перспективные разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требуют от конструкторов поиска новых технических решений, освоения эффективных приемов повышения качества, надежности и долговечности изделий. В условиях повышенного быстродействия РЭА, возрастания электромагнитных воздействий от внутренних и внешних источников как техногенного, так и естественного происхождения экранирование остается мощным методом обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. В качестве экранирования линии передачи (ЛП) могут выступать переходные отверстия (ПО), расположенные в печатных платах (ПП) и соединяющие накоротко соседние заземляющие плоскости.

В многослойных ПП полезные сигналы на ПО, пересекающих слои, обычно возбуждают волны с параллельными плоскими модами [2]. Часто необходимо предотвратить их передачу от одной части ПП к другой. И в данном случае единственным решением, позволяющим защитить сигнальные проводники от нежелательных излучений такого характера, являются металлизированные заземленные ПО. Они располагаются рядом с источником излучения либо рядом с приемни-

ком излучения. Также с помощью ПО можно уменьшить амплитуду перекрестной помехи на ближнем и дальнем концах сигнальных ЛП [3]. Целью работы является оценка эффективности экранирования (ЭЭ) заземленных ПО в ПП при изменении расстояния между ними и количества их рядов.

Для оценки ЭЭ спроектирована двухсторонняя ПП с расположенными на ней ПО в различных конфигурациях. При исследовании ЭЭ рассматривались различные варианты шага размещения ПО, а также их расположение в один и два ряда. Исследуемая структура представлена на рис. 1.

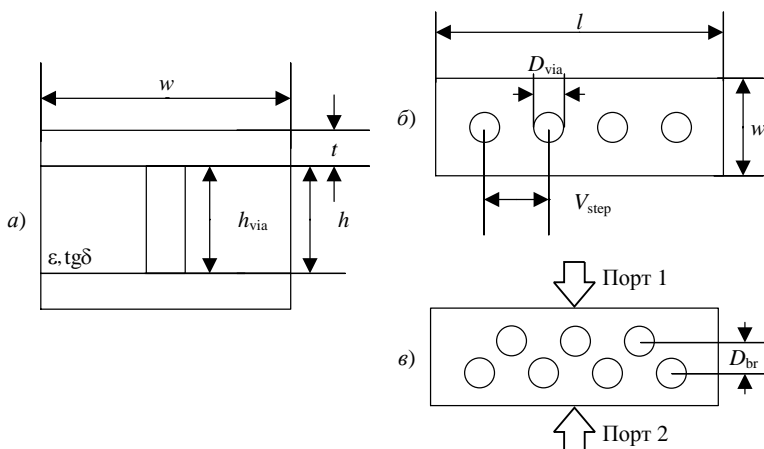


Рис. 1. Поперечный вид (а), вид сверху однорядной (б) и двухрядной (в) структур

ПП выполнена на диэлектрике из FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4,6$ и тангенсом угла потерь $\text{tg}\delta = 0,021$. Моделируемая структура характеризуется следующими параметрами: длина $l = 7$ мм, ширина $w = 1,5$ мм, толщина диэлектрика $h = 0,6$ мм, толщина меди $t = 18$ мкм. Диаметр ПО D_{via} равен $0,3$ мм, высота $h_{\text{via}} = h = 0,6$ мм, расстояние между центрами ПО V_{step} изменялось от $0,5$ до $1,5$ мм с шагом $0,5$ мм. Расстояние между рядами ПО D_{br} равно $0,5$ мм. Зависимость ЭЭ от частоты однорядной структуры показана на рис. 2.

При увеличении V_{step} ЭЭ уменьшается, так как уменьшается общая площадь экранирующей поверхности. На частоте 1 ГГц ЭЭ имеет следующие значения: $53,13$ дБ при $V_{\text{step}} = 1,5$ мм, $48,6$ дБ при $V_{\text{step}} = 1$ мм, $46,98$ дБ при $V_{\text{step}} = 0,5$ мм. На частоте 20 ГГц ЭЭ состави-

ла 7,78 дБ при $V_{\text{step}} = 1,5$ мм, 17,81 дБ при $V_{\text{step}} = 1$ мм, 50,92 дБ при $V_{\text{step}} = 0,5$ мм. Разница между ЭЭ на частоте 20 ГГц составляет 43 дБ между структурами с $V_{\text{step}} = 1,5$ мм и $V_{\text{step}} = 0,5$ мм и 33 дБ между структурами с $V_{\text{step}} = 1$ мм и $V_{\text{step}} = 0,5$ мм. Результаты моделирования двухрядной структуры показаны на рис. 3.

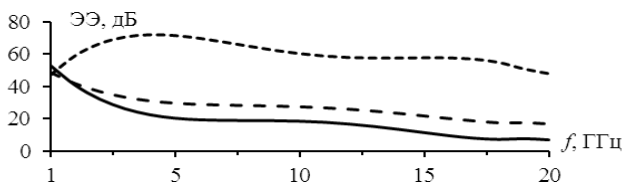


Рис. 2. ЭЭ однорядной структуры: $V_{\text{step}} = 1,5$ мм (—), $V_{\text{step}} = 1$ мм (---); $V_{\text{step}} = 0,5$ мм (- - -)

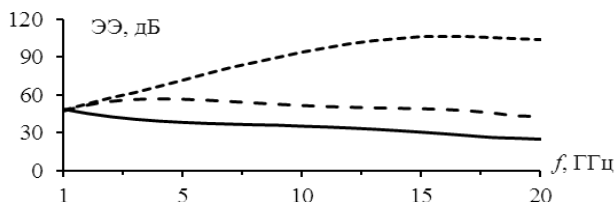


Рис. 3. ЭЭ двухрядной структуры: $V_{\text{step}} = 1,5$ мм (—); $V_{\text{step}} = 1$ мм (---); $V_{\text{step}} = 0,5$ мм (- - -)

Как и в случае однорядной структуры, при увеличении V_{step} ЭЭ заметно снижается, влияние второго ряда ПО на ЭЭ также видно из полученных результатов. ЭЭ с ростом частоты уменьшается слабее, чем в структуре с одним рядом экранирующих ПО. Это говорит о том, что ЭЭ двухрядной структуры выше на данном диапазоне частот, чем у однорядной структуры. На частоте 1 ГГц структуры имеют одинаковое значение ЭЭ, равное 48 дБ, на частоте 20 ГГц ЭЭ составила: 26 дБ при $V_{\text{step}} = 1,5$ мм, 43 дБ при $V_{\text{step}} = 1$ мм, 61,4 дБ при $V_{\text{step}} = 0,5$ мм. Максимальная разница между ЭЭ на частоте 20 ГГц составляет 78,8 дБ у структур с $V_{\text{step}} = 1,5$ мм и $V_{\text{step}} = 0,5$ мм и 61,4 дБ у структур с $V_{\text{step}} = 1$ мм и $V_{\text{step}} = 0,5$ мм.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод, что ПО являются эффективным средством для уменьшения амплитуды падающей плоской электромагнитной волны. Увеличение количества рядов ПО так же положительно сказывается на ЭЭ, как и уменьшение расстояния между центрами ПО, поскольку при этом увеличивается площадь экранирующей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры: инженерное пособие. – М.: Грифон, 2019. – 720 с.
2. Hillebercht T. Prediction of Frequency Dependent Shielding Behavior for Ground Via Fences in Printed Circuit Boards / T. Hillebercht, D. Dahl, C. Schuster // 2019 IEEE 23rd Workshop on Signal and Power Integrity (SPI). – 18–21 June 2019.
3. Wang T. The Isolation Effectiveness of Ground Via Stitches in High-Speed Board Design / T. Wang, R. Yaghmai, B. Brecht // 2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity (EMC, SI & PI). – 30 July – 3 Aug. – 2018.

УДК 621.391

МОДАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР С LC-ЗВЕНЬЯМИ В ПАССИВНОМ ПРОВОДНИКЕ

Д.Б. Иванов, студент; Е.С. Жечев, ассистент

*Научный руководитель Е.С. Жечев, ассистент каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, daniil992011@gmail.com*

Представлены результаты моделирования модального фильтра с LC-звеньями и без них в системе ADS без учета потерь. Получены частотные и временные отклики для рассматриваемых структур.

Ключевые слова: модальный фильтр, сверхкороткий импульс, моделирование в ADS.

Для современной радиоэлектронной аппаратуры большую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ). Такие импульсы обычно имеют очень высокую амплитуду напряжения, малую длительность и широкий спектр [1].

Одним из способов борьбы с СКИ является применение модальных фильтров (МФ), которые работают на основе явления модального разложения в неоднородной диэлектрической среде [2]. Двухпроводный МФ, поперечное сечение и схема подключения которого представлены на рис. 1, является простейшим устройством, работающим на этом явлении. По своим характеристикам данный МФ близок к фильтру нижних частот.

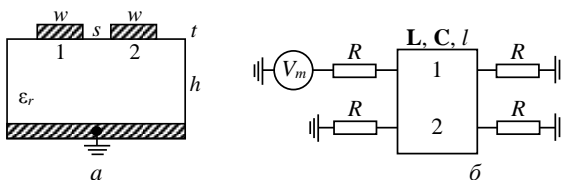


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема включения (б) двухпроводного МФ