

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ

Р.Б. Михо, аспирант

*Научный руководитель Р.С. Суровцев, проф. каф. ТУ, , д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, roman.b.mikho@tusur.ru*

Выполнена оценка влияния заполнения диэлектриком переходного отверстия на печатной плате. Сравнение выполнено с типовой конструкцией переходного отверстия, где материалом-заполнителем выступает воздушная среда. Результаты сравнения показали, что заполнение переходного отверстия диэлектриком практически не влияет на характеристики переходного отверстия при передаче высокочастотного сигнала.

Ключевые слова: переходное отверстие, диэлектрическая проницаемость, моделирование, S-параметры.

Современные технологии производства печатных плат (ПП) не стоят на месте. Темпы их развития диктуются растущими потребностями в уменьшении габаритов технических средств. Это приводит не только к улучшению существующих технологий производства ПП, но и к внедрению новых конструктивных подходов. Одним из них является технология Via-in-Pad [1]. Она заключается в размещении переходных отверстий (ПО) непосредственно на контактных площадках (КП) для монтажа электронных компонентов (ЭК), а не рядом с ними. Достоинствами технологии являются: увеличение полезной площади для монтажа печатных трасс, отсутствие индуктивной и ёмкостной паразитных составляющих за счёт отсутствия печатного проводника, соединяющего КП с ПО, улучшения отведения тепла от силовых ЭК (силовых ключей, DC/DC-преобразователей). Недостатками технологии являются утеkanie припоя через ПО при пайке, невозможность исправления ошибок (за счёт отрезания печатного проводника от ПО к КП), а также применение заполнения ПО непроводящим материалом с восстановлением КП, что существенно влияет на стоимость ПП.

В случае когда для изготовления ПП применяют технологию Via-in-Pad, то, как правило, диэлектриком заполняются все ПО (даже не связанные с КП) [2]. Если ПО является отрезком низкочастотной цепи, то изменение относительной диэлектрической проницаемости среды ϵ_r не скажется на целостности сигнала. Для высокочастотных сигналов любое изменение ϵ_r приводит к изменению волнового сопротивления ПО ($Z_{\text{по}}$) и рассогласованию линии передачи (появлению

отражений). Таким образом, цель работы – выполнить моделирование и оценку влияния диэлектрика на частотные характеристики ПО.

Исследуемые структуры представлены двумя трёхслойными ПП размером 4×4 мм². В качестве подложки принят керамический ламинат Rogers RO4350B ($\epsilon_r = 3,38 \pm 0,05$). Его выбор обоснован стабильностью ϵ_r в широком диапазоне частот. Общая толщина трёхслойной ПП 1 мм. Элементы конструкции печатного проводника и ПО (КП, в частности) согласованы на 50 Ом для уменьшения влияния рассогласования [3, 4]. Дополнительные параметры моделирования:

- ширина печатного проводника $w = 1,1$ мм;
- диаметр отверстия ПО $d = 0,4$ мм;
- диаметр КП $D = 1,1$ мм;
- относительная диэлектрическая проницаемость заполняющего

ПО диэлектрика $\epsilon_{tm} = 3$;

- диаметр антипада на внутренних слоях МПП 1,2 мм.

Трёхмерная модель ПП с ПО представлена на рис. 1. Результаты моделирования (элементы матрицы рассеяния при изменении частоты в диапазоне от 1 до 15 ГГц) двух структур сведены в таблицу.

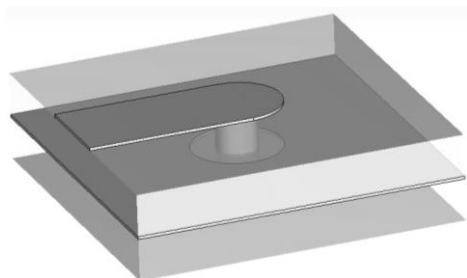


Рис. 1. Трёхмерная модель ПП с ПО

Результаты моделирования ПО

	Частота, ГГц							
	1	3	5	7	9	11	13	15
С заполнением диэлектриком								
$ S_{11} $, дБ	-35,05	-25,3	-20,37	-17,3	-15,2	-13,63	-12,3	-12,82
$ S_{21} $, дБ	-0,007	-0,013	-0,07	-0,12	-0,15	-0,22	-0,36	-0,29
Без заполнения								
$ S_{11} $, дБ	-34,96	-25,22	-20,3	-17,2	-15,1	-13,54	-12,17	-12,67
$ S_{21} $, дБ	-0,007	-0,013	-0,07	-0,12	-0,16	-0,22	-0,37	-0,3

Из таблицы видно, что коэффициент отражения $|S_{11}|$ при заполнении ПО и без заполнения отличается не более чем на 0,2 дБ, а коэф-

фициент передачи $|S_{21}|$ практически совпадает во всём диапазоне частот. Таким образом, на рассмотренном примере выявлено, что заполнение ПО диэлектриком практически не влияет на S -параметры. Подход может применяться, когда необходимо сделать ПО в высокочастотной цепи для передачи сигнала на слой в КП другого ЭК. Следующим шагом является широкое многовариантное моделирование для доказательства выявленных в данной работе закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология Via-in-Pad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://saifontech.ru/articles/tpost/bhcd4e23m1-tehnologiya-via-in-pad>, свободный (дата обращения: 17.02.2026).
2. Заполнение переходных отверстий эпоксидным компаундом с последующей металлизацией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/directory/v-pomoshch-konstruktoru/spetsialnye-vozmozhnosti/zapolnenie-perekhodnykh-otverstiy-epoksidnym-kompaundom-s-posleduyushchey-metallizatsiey>, свободный (дата обращения: 20.02.2026).
3. Согласование импедансов: переходные процессы и переходные отверстия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/amp/publications/653173>, свободный (дата обращения: 01.03.2026).
4. Ghosh A. Interference Effects of Via Interconnect in Three Layer Printed Circuit Board / A. Ghosh, S.K. Das, A. Das // Aces Journal. – 2018. – Vol. 33, No. 5. – P. 1040 –1047.

УДК 621.391.825

СВЯЗАННАЯ ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ В ВИДЕ МЕАНДРА С Т-ВЫРЕЗАМИ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ

М.С. Мурманский, аспирант

*Научный руководитель Е.С. Жечев, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, mihailmurmanskii@gmail.com*

Рассмотрена топология связанной линии передачи в виде меандра, модифицированного T -вырезами, для уменьшения перекрестных помех. По результатам моделирования показано, что применение T -вырезов позволяет снизить уровень FEXT и NEXT на 60 и 15 мВ соответственно.

Ключевые слова: микрополосковые линии передачи, перекрестная помеха, T -вырез.

Уменьшение габаритов устройств, переход с DDR4 на DDR5, а также создание новых систем PCIe предъявляют новые требования к обеспечению электромагнитной совместимости [1]. Микрополосковые линии передачи (МПЛ) на плате являются основным способом пере-