

# Экспериментальное исследование развязки между микрополосками

Михаил Васин, Денис Марущенко, Сергей Шемшур (г. Фрязино, Моск. обл.)

В статье представлены экспериментальные результаты измерения уровня развязки между микрополосковыми линиями в зависимости от применяемой конфигурации заземляющих отверстий в разделительной земляной дорожке.

## ВВЕДЕНИЕ

При проектировании СВЧ-плат важным параметром является развязка между различными микрополосковыми линиями, недостаточная величина которой может полностью разрушить параметры проектируемой схемы. Если сверху платы можно поставить соответствующие экраны в виде металлических окон, закрытых сверху крышками, то связь по толще диэлектрика недоступна внешнему воздействию после изготовления платы. Поэтому прогнозирование развязки в таких случаях крайне необходимо.

Для анализа взаимного влияния на СВЧ обычно используют электромагнитные симуляторы. Инструмент этот достаточно эффективный, но ресурсоёмкий как по времени, так и используемому вычислительному оборудованию. После электромагнитного моделирования необходима экспериментальная проверка полученного результата.

Стоит отметить, нередки случаи, когда различные EM-симуляторы дают разный расчётный результат. Адекватность рас-

чёта определяется только измерением спроектированного устройства. Поэтому данная экспериментальная работа не только даёт представление разработчику о том, какие можно получить развязки в тех или иных случаях, но и позволяет оценить точность работы тех или иных симуляторов, особенно в ситуации динамического диапазона порядка 100 дБ.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для эксперимента были спроектированы и изготовлены наборы плат и проведено измерение их параметров.

Поскольку в данной работе требования к минимизации потерь в микрополосковой линии (МПЛ) не предъявлялись, для удешевления эксперимента использовался обычный стеклотекстолит марки FR4.

Для эксперимента были изготовлены 3 набора тестовых плат: первый и второй – на двухслойном стеклотекстолите толщиной 0,5 мм, третий – на 4-слойном стеклотекстолите с толщинами диэлектрика 0,25 / 0,12 / 0,25 мм.

В третьем случае МПЛ располагалась на первом слое, а земляной экран на втором, третьем и 4-м слоях. Все слои были прошиты сквозными отверстиями.

Топология плат представляла собой две микрополосковые линии, разнесённых на расстояние 2,5 мм и имеющих между собой разделительную земляную дорожку шириной 1,5 мм. МПЛ заканчивались 50-омным резистором типоразмера 0402. Эффективная связь между МПЛ осуществлялась на длине 50 мм.

Фотографии трёх наборов тестовых плат представлены на рисунке 1 (а, б, в).

Платы последовательно монтировались в измерительную оснастку (см. рис. 2).

Измерения проводились на векторном анализаторе цепей ZVA в диапазоне частот от 10 МГц до 20 ГГц. Калибровка TOSM осуществлялась в коаксиальном тракте в соответствии с [1]. Диапазон ограничивался параметрами применяемых SMA-разъёмов.

В таблице 1 сведены основные параметры трёх тестовых плат, участвующих в эксперименте.

При использовании 2-х рядов отверстий, ряды сдвинуты относительно друг друга на полшага.

Для сравнения измерения проводены в оснастке без крышки и с крышкой, обеспечивающей полную экраниров-

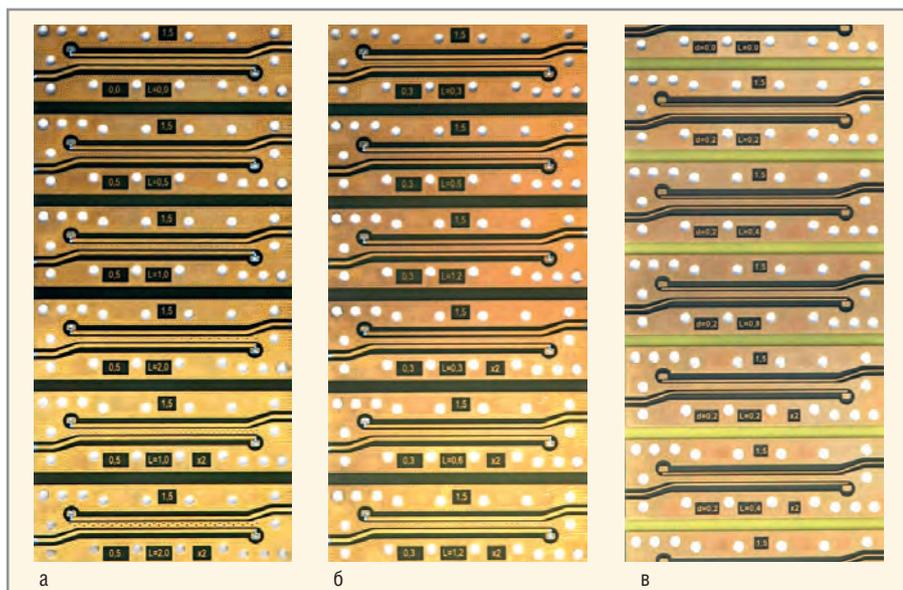


Рис. 1. Фотографии трёх наборов тестовых плат: а – 1-й набор, б – 2-й набор, в – 3-й набор

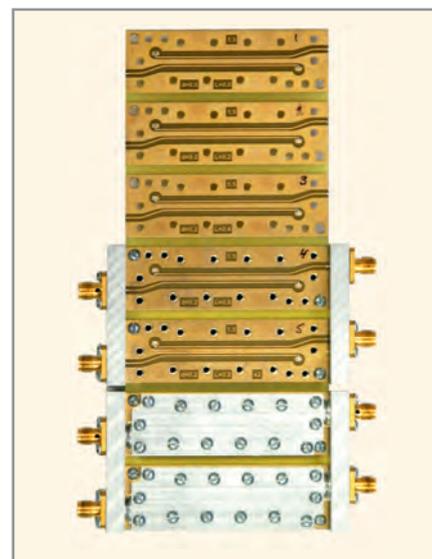


Рис. 2. Измерительная оснастка для тестовых плат

Таблица 1. Основные параметры тестовых плат

	1-й набор			2-й набор			3-й набор (многослойная ПП)		
	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм
1-я плата	В разделительной дорожке нет заземляющих отверстий			1	0,3	0,3	В разделительной дорожке нет заземляющих отверстий		
2-я плата	1	0,5	0,5	1	0,3	0,6	1	0,2	0,2
3-я плата	1	0,5	1,0	1	0,3	1,2	1	0,2	0,4
4-я плата	1	0,5	2,0	2	0,3	0,3	1	0,2	0,8
5-я плата	2	0,5	1,0	2	0,3	0,6	2	0,2	0,2
6-я плата	2	0,5	2,0	2	0,3	1,2	2	0,2	0,4
7-я плата	–	–	–	–	–	–	2	0,2	0,8

Примечания: Ø – диаметр отверстий в разделительной дорожке, L – расстояние между краями отверстий.

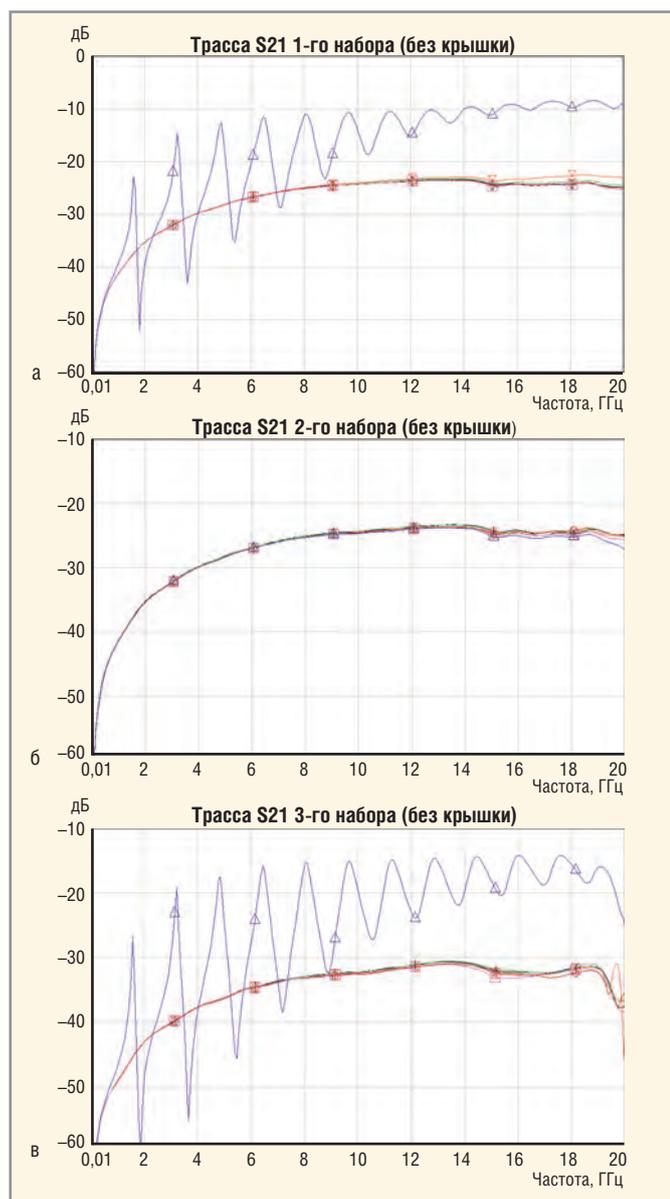


Рис. 3. Графики развязки 1-го (а), 2-го (б) и 3-го (в) наборов тестовых плат без крышки (развязка 22–24 дБ)

ку микрополосковых линий, при которой связь между микрополосками могла осуществляться только по толще диэлектрика.

На рисунке 3а представлены графики развязки 1-го набора плат без крышки.

Синяя кривая – развязка МПЛ первой платы, не имеющей заземляющих отверстий. Все остальные прак-

тически слились в одну линию. Таким образом, при отсутствии крышки развязка нечувствительна к параметрам заземляющих отверстий и составляет 22–24 дБ в диапазоне до 20 ГГц.

Аналогичная картина наблюдается на рисунке 3б, где представлены графики развязки 2-го набора плат без крышки (развязка 22–24 дБ).

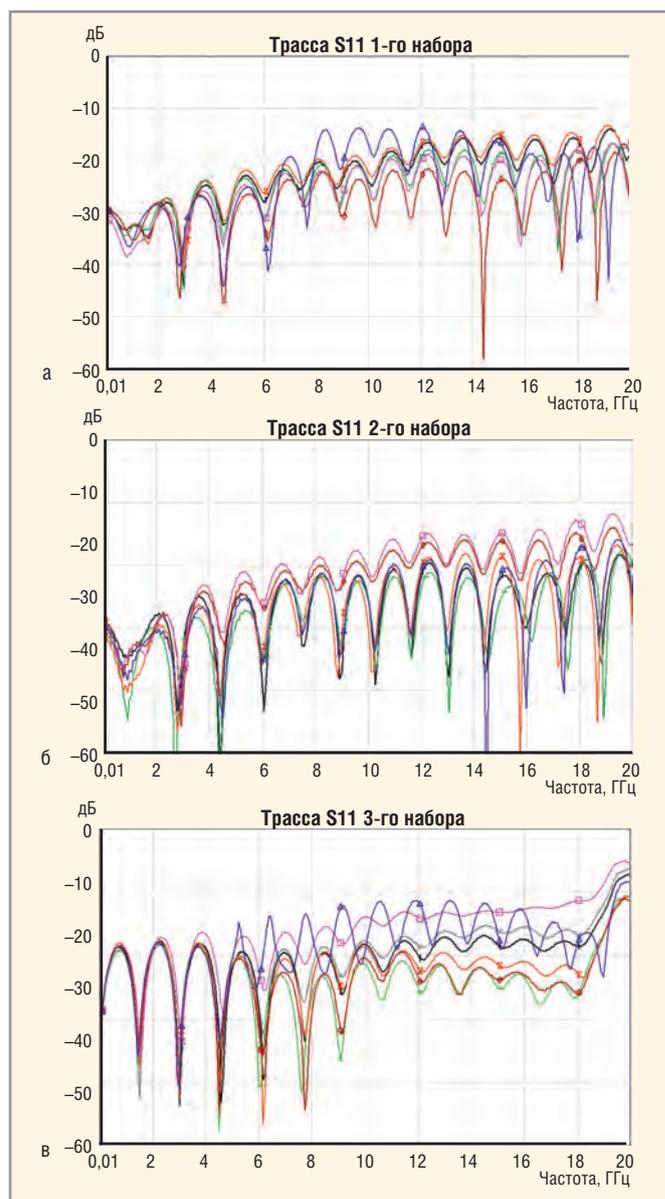


Рис. 4. Графики обратных потерь 1-го (а), 2-го (б) и 3-го (в) наборов тестовых плат

Похожая ситуация и с 3-м набором плат (см. рис. 3в), где синяя кривая – развязка МПЛ первой платы, не имеющей заземляющих отверстий, а остальные сливаются в одну кривую, с той лишь разницей, что характерная развязка лучше и составляет порядка 32 дБ (это объясняется меньшей толщиной верхнего слоя диэлектрика и

соответственно меньшей шириной МПЛ).

На серии графиков (см. рис. 4а, 4б и 4в) представлены параметры отражения МПЛ трёх наборов плат (соответственно 1-го, 2-го и 3-го), по которым

можно судить о том, что развязка обусловлена не высоким коэффициентом отражения, а связью между МПЛ.

Наконец, самое интересное – изменения наборов плат с экранирующей верхней крышкой.

Графики на рисунках 5 (а, б, в) – результаты измерений 1-го, 2-го и 3-го наборов тестовых плат трассы S21 (по мере увеличения развязки).

В таблице 2 сведены результаты измерений трёх тестовых наборов в соответствии с рисунками 5 (а, б, в).

Необходимо отметить, что 3 последних графика на рисунке 5в практически идентичны, их разница находится в пределах ошибки измерения.

### Выводы

Достаточно детальное описание эксперимента позволяет провести электродинамическое моделирование параметров развязки МПЛ с целью верификации работы используемого симулятора.

Проведённый эксперимент и полученные результаты измерений позволяют сделать следующие заключения:

1. Хорошая развязка возможна только при условии экранирования микрополосковых линий, исключающего связь по воздуху.
2. Возможна реализация развязки до 100 дБ на длине связи 50 мм.
3. Существенное увеличение развязки достигается уменьшением расстояния между краями заземляющих отверстий. Развязку в 100 дБ можно достичь при диаметре отверстий 0,2 мм и расстоянием между краями отверстий 0,2 мм.
4. Оценку развязки можно вполне определённо провести, основываясь на представленных графиках без проведения дополнительных электродинамических расчётов.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. «Анализаторы электрических цепей векторные R&S ZVA8 / R&S ZVA24 / R&S ZVA40 / R&S ZVA50 / R&S ZVA67. Руководство по эксплуатации». ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG. Mühlhofstr. 15, D-81671 München.

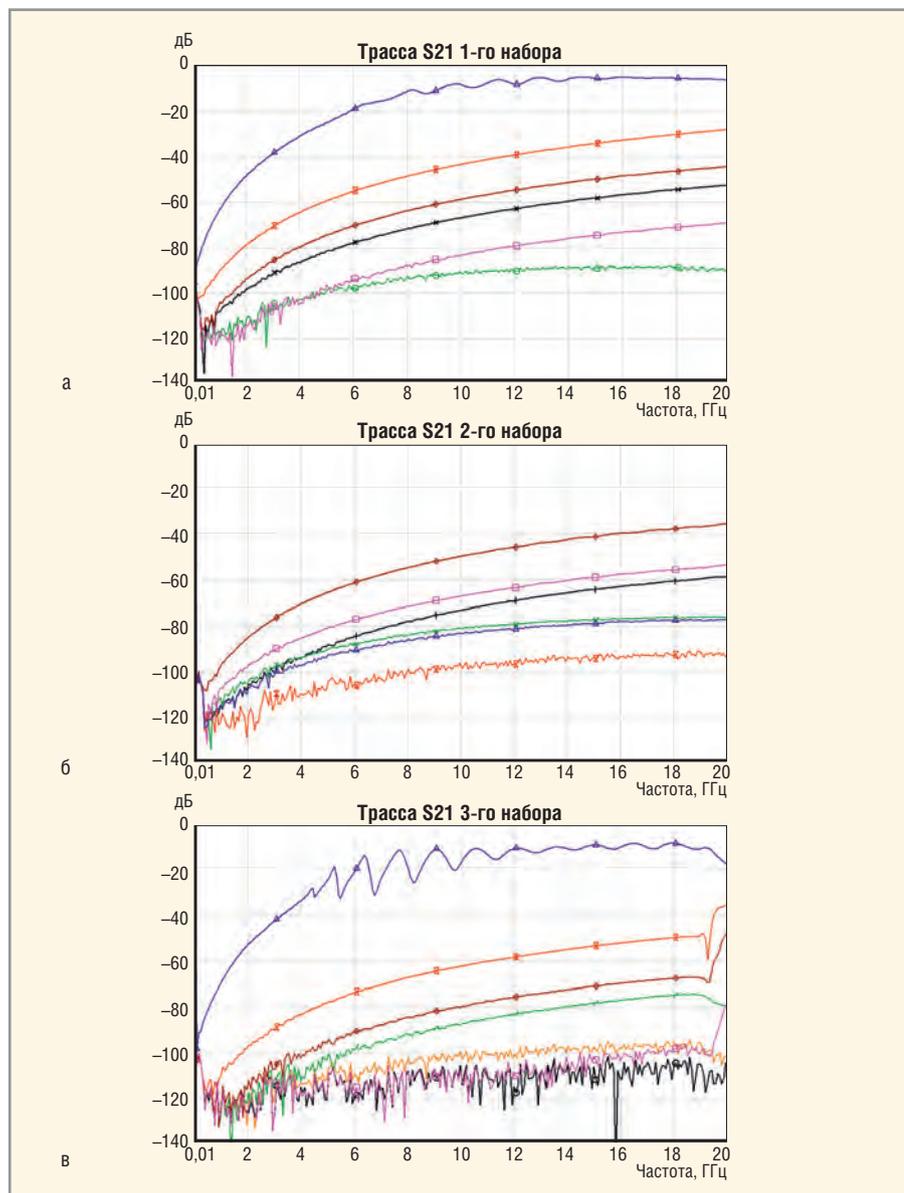


Рис. 5. Графики развязки 1-го (а), 2-го (б) и 3-го (в) наборов тестовых плат

Таблица 2. Результаты измерений трёх тестовых наборов в соответствии с рисунками 5 (а, б, в)

Цвет платы / Номер платы	Рисунок 5а, 1-й набор				Рисунок 5б, 2-й набор				Рисунок 5в, 3-й набор			
	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм	Развязка, дБ	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм	Развязка, дБ	Количество рядов отверстий	Ø, мм	L, мм	Развязка, дБ
Синяя трасса / 1-я плата	В разделительной дорожке нет заземляющих отверстий			5-6	1	0,3	0,3	77	В разделительной дорожке нет заземляющих отверстий			9
Красная трасса / 4-я плата	1	0,5	2,0	28	2	0,3	0,3	92	1	0,2	0,8	50
Коричневая трасса / 3-я плата	1	0,5	1,0	44	1	0,3	1,2	20	1	0,2	0,4	67
Чёрная трасса / 6-я плата	2	0,5	2,0	52	2	0,3	1,2	58,8	2	0,2	0,4	101
Малиновая трасса / 2-я плата	1	0,5	0,5	69	1	0,3	0,6	54	1	0,2	0,2	97
Зелёная трасса / 5-я плата	2	0,5	1,0	88	2	0,3	0,6	76	-			
Зелёная трасса / 7-я плата	-				-				2	0,2	0,8	74
Оранжевая трасса / 5-я плата	-				-				2	0,2	0,2	96