



УДК

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ S-ПАРАМЕТРОВ СВЧ СОЕДИНИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА ТИПА SMP

Development of PCBs for S-parameter measurements of SMP-type PCB mount microwave connectors

А.В. Коренев¹, Г.Г. Гошин²

¹АО "Иркутский релейный завод", Иркутск, Россия

²Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники, Томск, Россия

A.V. Korenev¹, G.G. Goshin²

¹Irkutsk Relay Plant, Irkutsk, Russia

²Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics, Tomsk, Russia

Аннотация – В статье описан процесс разработки печатных плат для измерения параметров СВЧ соединителей для печатного монтажа типа SMP в диапазоне частот до 18ГГц с применением подходов на основе моделирования в CST Microwave Studio и анализа во временной области. В ходе разработки удалось добиться значений КСВН устройства, состоящего из двух соединителей и печатной платы, менее 1.2.

Ключевые слова – СВЧ соединители, SMP, печатный монтаж.

I. ВВЕДЕНИЕ

При создании современной аппаратуры, работающей в диапазоне частот СВЧ, в числе важнейших задач находится снижение ее себестоимости. Одним из путей решения этой задачи является применение печатных плат, изготовленных из материалов с малой величиной потерь на СВЧ и стабильной величиной относительной диэлектрической проницаемости, но технологически схожих с печатными платами на основе стеклотекстолита [1]. Для создания перехода с коаксиальной линии на такие платы разработаны специальные соединители [2].

Так как растут частоты, на которых применяются такие печатные платы, то повышаются требования к разработке перехода, обеспечивающего минимальное значение коэффициента отражения [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Печатные платы будут разрабатываться для соединителей изображенных на рис.1 и рис.2. Первый -СР-50-19-001 - предназначен для монтажа в вырез на краю печатной платы, а второй - СР-50-19-003 - для монтажа в отверстия в печатной плате. Данные соединители в настоящее время разрабатываются в АО "Иркутский релейный завод" в рамках работ по расширению линейки соединителей типа SMP.

Внутренняя конструкция и электрические характеристики этих соединителей идентичны, а применение того или другого может быть обусловлено удобством подключения печатной платы к другим узлам устройства. Планируется к выпуску несколько вариантов исполнения соединителей с разной длиной выводов и разным усилием сочленения. Ориентировочные электрические характеристики соединителей приведены в табл. 1.

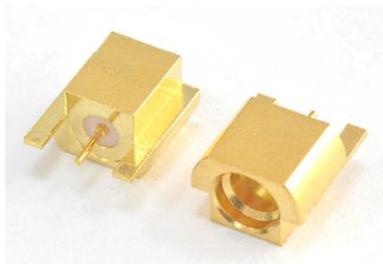


Рис. 1 Соединители СР-50-19-001



Рис. 2 Соединители CP-50-19-003

ТАБЛИЦА 1
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Параметр	Не менее	Типовое значение	Не более
Рабочий диапазон частот, ГГц		0-18	
КСВН в рабочем диапазоне частот	-	<1.2	1.35
Вносимые потери, дБ	-	<0.3	0.5
Экранное затухание, дБ	65	-	-
Рабочее напряжение (амплитудное значение), В	-	-	335
Сопротивление изоляции, МОм	5 000	>10 000	-
Переходное сопротивление контактов, МОм			
-центрального проводника	-	-	60
-наружного проводника	-	-	20

При проведении испытаний соединителей необходим контроль их КСВН и вносимых потерь. Провести такой контроль без монтажа соединителей на печатную плату невозможно, следовательно, необходимо разработать печатные платы с посадочными площадками для соединителей, которые бы оказывали минимальное влияние их S-параметры во всём диапазоне рабочих частот [3].

В качестве материала для печатной платы соединителя CP-50-19-003 был выбран Rogers RT5880, а соединителя CP-50-19-001 - Rogers RO4003C. Характеристики материалов, имеющие значение для данной работы, приведены в табл.2.

ТАБЛИЦА 2
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБРАННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Параметр	RO4003C	RT5880
ϵ_r	3.55	2.2
$\text{tg}\Delta$	0.0027	0.0015
Толщина диэлектрика, мм	0.508	0.254
Толщина фольги, мкм	17.5	17.5

III. ТЕОРИЯ

Исходя из конструкции соединителя CP-50-19-003 невозможно подведение к нему сигнального проводника по той же поверхности печатной платы, на которой будет находиться его корпус т.к. из-за слишком малого зазора между корпусом и поверхностью печатной платы возникнет большая емкостная неоднородность, которую будет невозможно скомпенсировать. Поэтому монтаж соединителей будет проведён со стороны заземляющего проводника.

Линия передачи на печатной плате расположена под углом 90° к коаксиальной линии и в месте перехода одной линии в другую возникает неоднородность. Разработку печатной платы для такого случая лучше всего проводить численными методами с помощью программ для трёхмерного электромагнитного моделирования, в качестве которой была использована CST Microwave Studio. Расчётная модель перехода и его частотная характеристика по согласованию приведены на рис.3, рис.4. В качестве материала изолятора соединителей был

использован Ф-4. В модели его относительная диэлектрическая проницаемость равна 2.1, а значение тангенса диэлектрических потерь равно 0.0002.

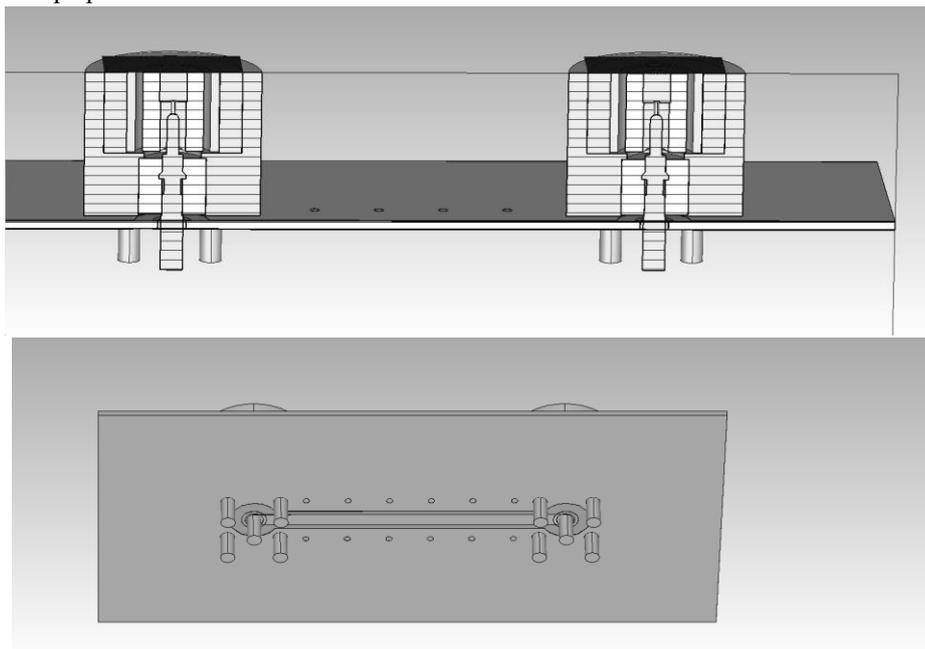


Рис. 3 - Модель для расчёта и оптимизации параметров перехода

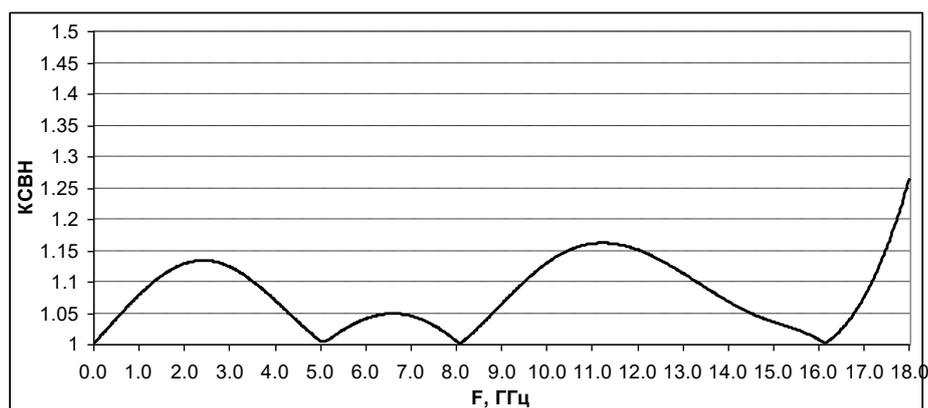


Рис.4 - КСВН модели, рассчитанный с помощью CST Microwave Studio

Соединители на печатной плате моделировались с ответной частью. Это было сделано для учёта влияния зазора между вилкой и розеткой. Расчёт проводился во временной области. Порты ввода и вывода были расположены на ответных соединителях (рис.3).

Первоначальный расчёт показал наличие большой емкостной неоднородности в месте перехода, которая была вызвана слишком большой длиной выводов соединителя, которые затем были укорочены до высоты 1.5 мм над поверхностью платы. Данное значение даёт минимальное значение КСВН для модели; его отклонение в ± 0.5 мм увеличивает КСВН не более чем до 1.35. Величина зазора между площадкой переходного отверстия центрального проводника и экраном - основной элемент согласования - была выбрана равной 0.6 мм. Между соединителями находится копланарная линия передач с шириной центрального проводника 0.75 мм и зазорами 0.25 мм (рис.5). Полученный КСВН модели (рис.4) был признан удовлетворительным.

Разработка печатной платы для соединителя CP-50-19-001 является более простой задачей ввиду отсутствия каких-либо поворотов на пути распространения СВЧ сигнала, поэтому был выбран экспериментальный подход, заключающийся в расчёте линии передач на плате и модификации посадочных мест по результатам измерений S-параметров и анализа временной зависимости волнового сопротивления. Копланарная линия передач была рассчитана с более широким центральным проводником (1.1 мм) и зазорами в 1 мм для уменьшения влияния центрального вывода соединителя (рис.5). Внешний вид платы с соединителями представлен на рис.6.

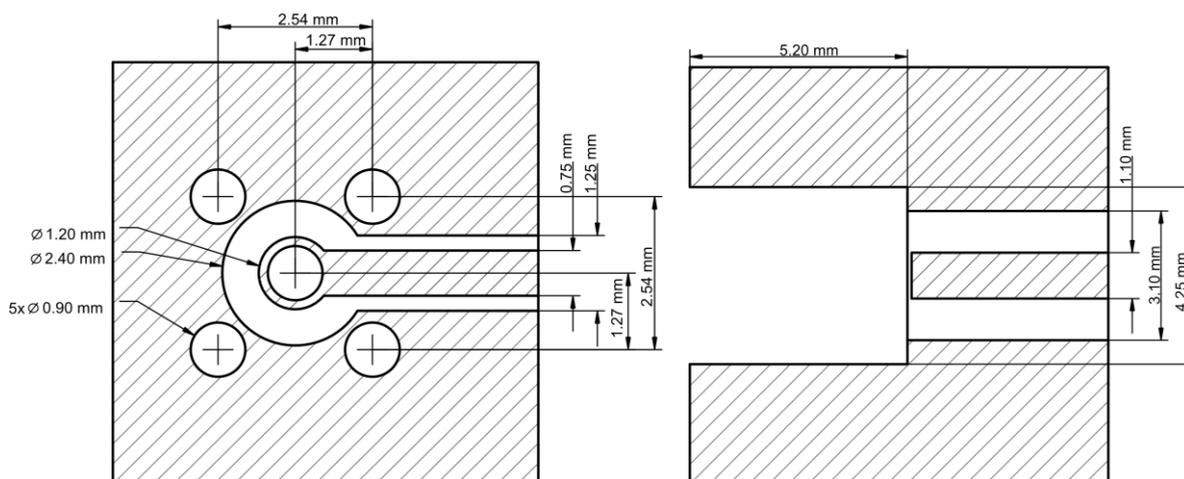


Рис.5 - Посадочные места для соединителей. Слева - для СР-50-19-003, справа - СР-50-19-001

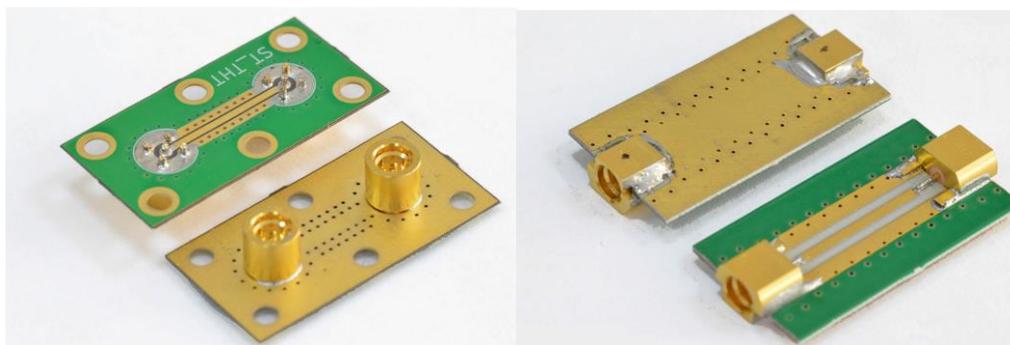


Рис.6 - Внешний вид печатных плат с установленными соединителями: слева - СР-50-19-003, справа - СР-50-19-001

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

После изготовления печатных плат были измерены фактические размеры линий передач и элементов согласования. Толщина металлизации оказалась равной ~ 40 мкм. Для расчета линии была использована толщина 17.5 мкм (табл.2). Не была учтена особенность технологического процесса изготовления печатных плат- осаждение меди на плату на этапе металлизации отверстий. Отклонения остальных размеров на всех платах составляют не более 0.02 мм.

На рис.5 изображены соединители СР-50-19-003, установленные на печатные платы, разработанные с помощью пакета трехмерного электромагнитного моделирования. На рис.7 представлены результаты измерения КСВН, а на рис.8 - вносимых потерь. Некоторая разница в результатах моделирования и измерения объясняются, помимо толщины металлизации, наличием на плате большего количества припоя чем требуется. Часть припоя затекла под соединитель (рис.6) и для компенсации этого длина выводов соединителей была дополнительно уменьшена на 0.5 мм относительно модели.

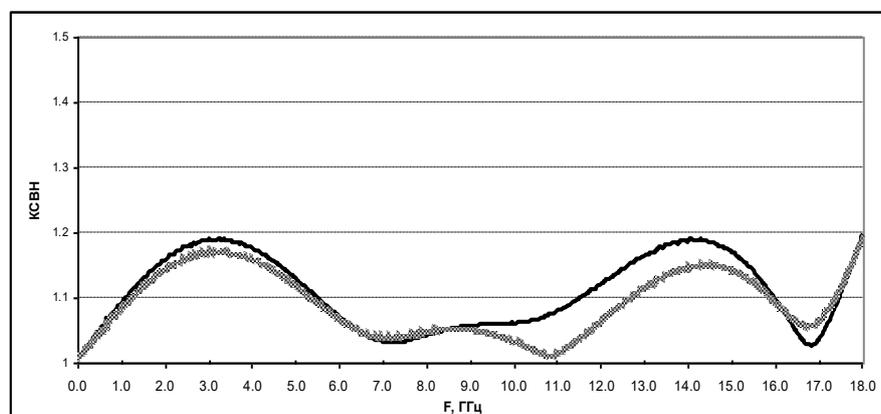


Рис.7 - КСВН двух плат с соединителями СР-50-19-003

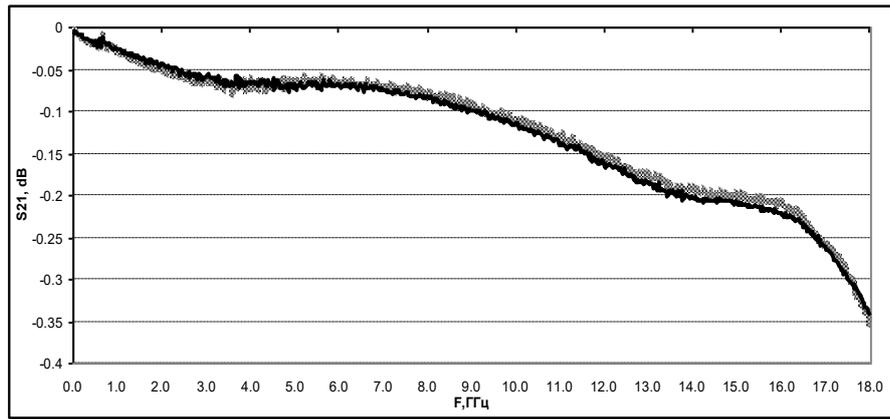


Рис.8 Вносимые потери двух плат с соединителями CP-50-19-003

Далее было проведено измерение (рис.9, рис.10) и оптимизация параметров сборок с соединителями CP-50-19-001 [4]. Из временной зависимости волнового сопротивления (рис.11) видно, что волновое сопротивление копланарной линии оказалось равным примерно 49 Ом, что объясняется отличием толщины меди от расчётного значения. Также видно наличие двух небольших емкостных неоднородностей, создаваемых центральным проводником соединителя и припоем на нём, которые были скомпенсированы путём подрезки медной дорожки под центральным выводом соединителя по 0.05мм с каждой стороны. Величина вносимых потерь (рис.10) платы с CP-50-19-001 значительно больше, что объясняется большей величиной потерь в материале платы т.к. длина плат примерно одинакова, а материалы и внутреннее устройство соединителей идентичны.

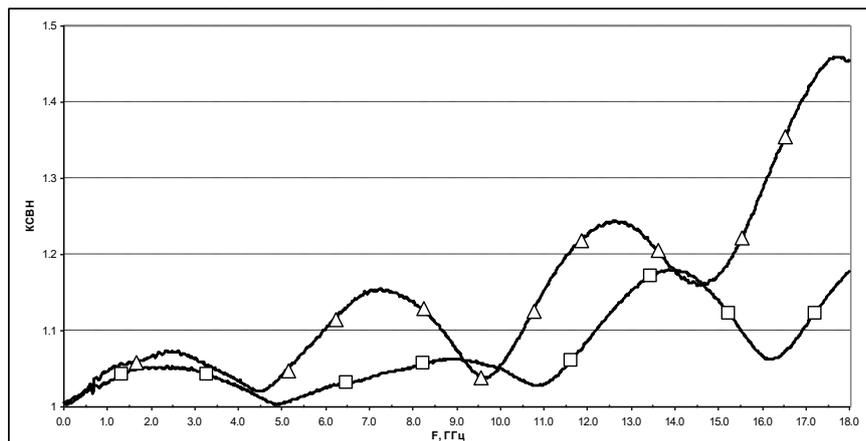


Рис. 9 - KCBH платы с соединителями CP-50-19-001: треугольниками обозначен KCBH платы до оптимизации, квадратами - после оптимизации

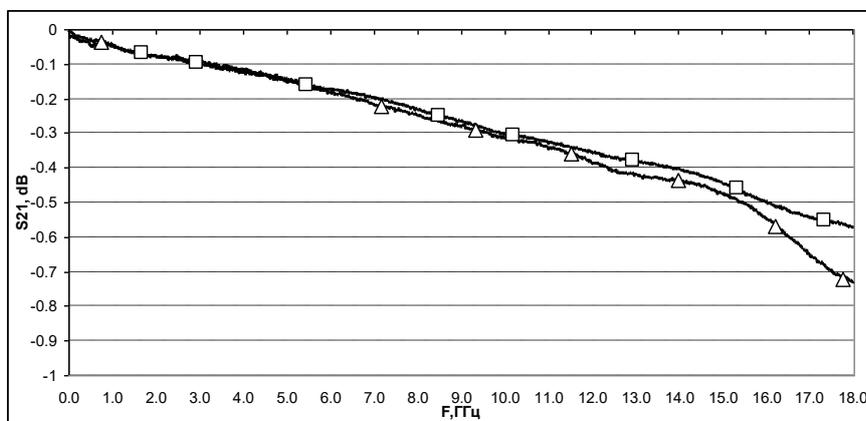


Рис. 10 - Вносимые потери платы с соединителями CP-50-19-001: треугольниками обозначены вносимые потери платы до оптимизации, квадратами - после оптимизации

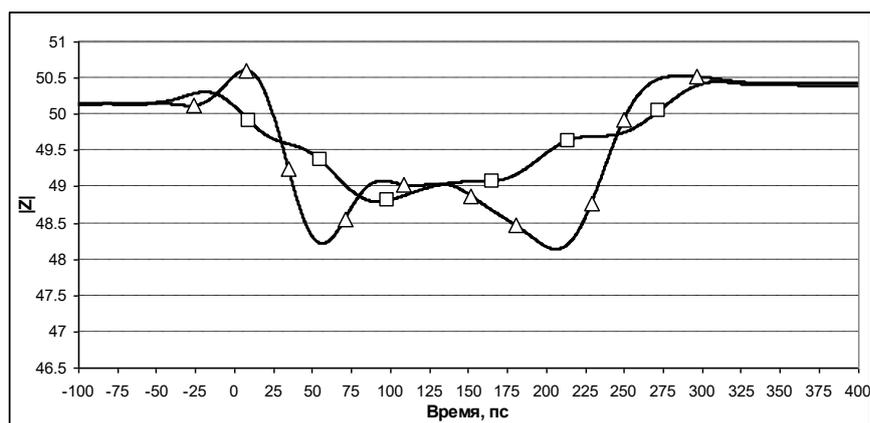


Рис. 11 - Временная зависимость волнового сопротивления печатной платы с соединителями CP-50-19-001: треугольниками цветом обозначены вносимые потери платы до оптимизации, квадратами - после оптимизации

Все представленные результаты измерений были получены [5] на векторном анализаторе цепей Keysight E5071C. Калибровка проводилась при помощи SOLT мер из состава калибровочного набора типа SMP Rosenberger 19CK010-150. Преобразование результатов измерений во временную область проводилась при помощи программного обеспечения анализатора VNWA[6].

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были разработаны две печатные платы с посадочными местами для соединителей SMP для печатного монтажа. Измеренные характеристики значительно превышают требования, предъявляемые в ТЗ на разработку соединителей. Однако печатные платы будут доработаны для учёта фактической толщины металлизации, после чего они будут использованы для контроля электрических параметров соединителей во время испытаний.

Оба подхода к проектированию печатных плат для соединителей показали свою эффективность и могут быть использованы в инженерной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шихов С. Новая технология серийного изготовления СВЧ-блоков // Электроника НТБ. 2010. №3. С. 36-40.
2. Джурицкий К., Чебунин М. Радиочастотные SMP-соединители. Новый взгляд // Компоненты и технологии. 2011. №6. С. 34-40.
3. Алексеенков В., Верещагин А., Джурицкий К., Экспериментальное исследование частотной зависимости КСВН коаксиально-микроразветвляющихся переходов // Компоненты и технологии. 2008. №4. С. 53-56.
4. Дансмор Джоэль П. Измерение параметров СВЧ-устройств с использованием передовых методик векторного анализа цепей. -М: Техносфера, 2018. 736с. ISBN 978-5-94836-505-3
5. Southwest Microwave, Utilizing Time Domain Test Methods For Maximizing Microwave Board Performance URL: <https://mpd.southwestmicrowave.com/wp-content/uploads/2018/07/Utilizing-Time-Domain-TDR-Test-Methods-For-Maximizing-Microwave-Board-Performance.pdf>
6. Dr. Thomas C. Baier A Small, Simple, USB-Powered Vector Network Analyzer Covering 1 kHz to 1.3 GHz // QEX. 2009 January/February p32-36