Метрологическое обеспечение измерений параметров СВЧ-устройств с соединителями SMP

На рубеже 2000-х годов соединители SMP привлекли внимание отечественных разработчиков специальной радиоэлектронной аппаратуры, и сегодня некоторые модификации данных соединителей выпускаются в нашей стране. Однако до сих пор остается открытым вопрос метрологического обеспечения производства и эксплуатации техники с такими соединителями. Надеемся, настоящая статья будет полезна тем, кто находится в поиске профессионального решения этой задачи.

Алексей ГНУТОВ
Alexey.Gnutov@nkt-rf.ru

Измерения в сечении SMP

Проведение точных измерений характеристик СВЧ-устройств с помощью векторных анализаторов цепей возможно только при наличии соответствующих калибровочных стандартов с высоким и стабильным уровнем характеристик. При этом сложностей с обеспечением измерений в сечениях с резьбовым механизмом фиксации не возникает, так как в широком ассортименте на рынке представлены калибровочные наборы, а с недавнего времени и электронные калибраторы. Иначе обстоит дело с миниатюрными сечениями, в том числе с популярным сегодня сечением SMP.

Соединители SMP — это аналоги 2,4-мм соединителей, но с диэлектрическими втулками, обычно изготовленными из фторопласта. Особенность соединителей SMP в том, что розетки выполняются с цанговым центральным контактом и разрезным внешним контактом (рис. 1). Причем конструкция розетки предполагает ее защелкивание в ответную часть, которую обычно называют гнездом [1, 2].

Сегодня соединители SMP достаточно широко применяют в радиоэлектронной аппаратуре, в том числе в самых ответственных компонентах систем и устройств. Популярность SMP объясняется простотой и удобством соединения, малыми габаритами и, как следствие, возможностью размещения с высокой плотностью, отсутствием необходимости в контроле усилия соединения, приемлемой стоимостью и широким ассортиментом конструкций. При решении большинства задач усилие фиксации в варианте full-detent достаточно, чтобы гарантировать надежность и стабильность характеристик, хотя имеются и примеры неудачного использования соединителей SMP.

К сожалению, характеристики готовых изделий, кабельных сборок или устройств с соединителями SMP чаще всего не измеряются должным образом, а лишь контролируются с помощью коаксиальных переходов (рис. 2). Применение переходов вызывает вопросы в отношении результатов измерений, поскольку они в таком случае представляют совокупность характеристик переходов и исследуемого устройства. Если переход выполнен по границам полей допусков, он может компенсировать влияние положения центрального контакта, разрезов и других не 50-омных отрезков соединения. Переходы могут компенсировать несколько децибел рассогласования, если разработаны под конкретный тип соединителя. Таким же образом они способны ухудшать характеристики, и полученные результаты измерений будут выходить за пределы требований, когда на самом деле устройство им соответствует. Это наиболее вероятно, если соединители присутствуют в составе устройства и изготовлены разными производителями. Возможное решение — использование полноценного калибровочного набора в сечении SMP. Такой набор был разработан и представлен на рынок компанией Spectrum Elektrotechnik GmbH, Германия [2].

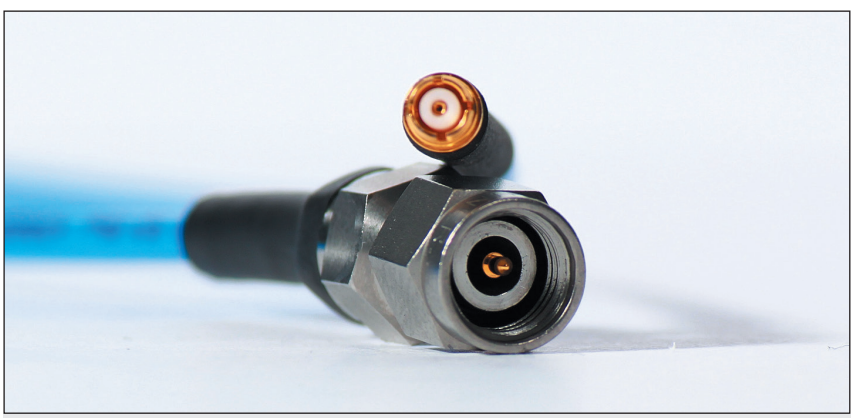

Рис. 1. SMP-розетка и вилка 2,92 мм

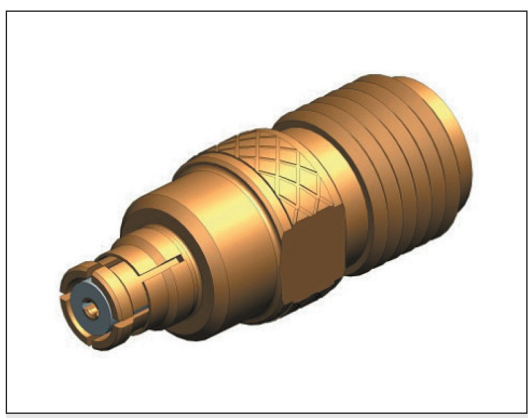

Рис. 2. Коаксиальный переход на сечение SMP

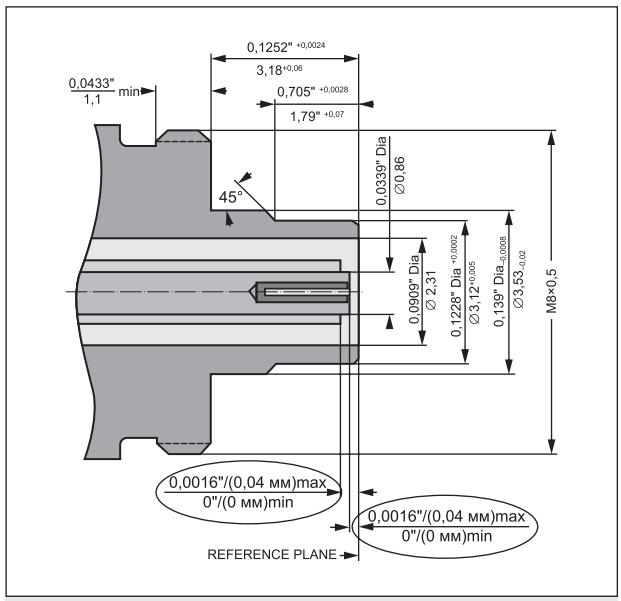

Рис. 3. Интерфейс SMP Test Connector (розетка)

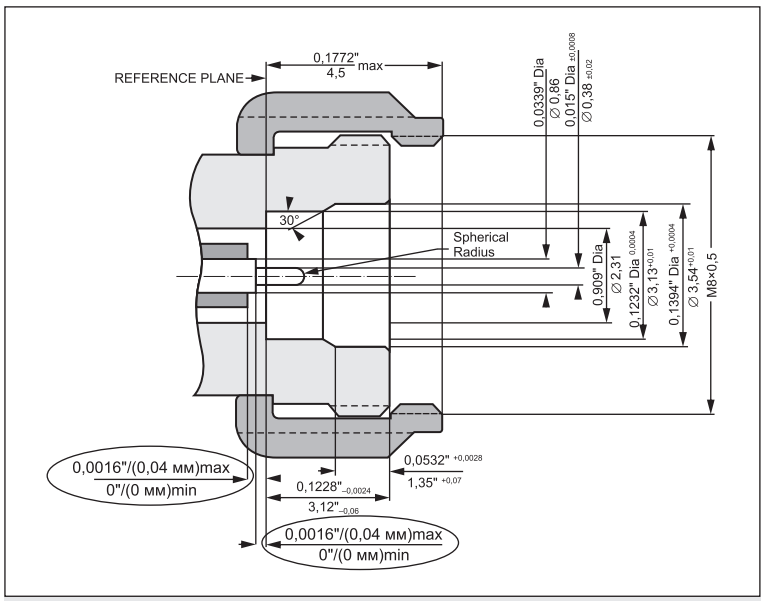

Рис. 4. Интерфейс SMP Test Connector (вилка)

SMP Test Connector

Разработке новых калибровочных компонентов в сечении SMP (согласованные нагрузки, элементы КЗ, XX и проход) предшествовала существенная модификация конструкции интерфейса. В данной модификации предполагалось устранить недостатки, свойственные традиционным SMP-соединителям.

Один из них — фторопластовая диэлектрическая втулка. Особенности фторопласта, широко используемого в коаксиальных соединителях общего применения, заключаются в низкой механической прочности и высокой хладотекучести. Несмотря на отличные диэлектрические свойства, этот материал совершенно не подходит для калибровочных компонентов. Компоненты с фторопластом имеют неудовлетворительную стабильность, а калибровка с их использованием включает массу ошибок.

Вторая особенность — наличие разрезов в центральном и внешнем контакте стандартной SMP-розетки. Такого рода элементы конструкции необходимы по механическим соображениям, однако они приводят к локальным неоднородностям в коаксиальной линии и отклонению волнового сопротивления от 50 Ом. Локальные неоднородности могут быть скомпенсированы за счет дополнительных согласующих элементов в виде зазоров, ступенек (они присутствуют в большинстве соединителей общего применения) или путем коррекции диаметра линии, но подобные дополнительные элементы не решают проблемы в случае калибровочных компонентов. Компенсация неоднородностей введением дополнительных неоднородностей приводит к увеличению погрешностей и снижению точности.

Традиционные соединители с резьбовым механизмом соединения, например 3,5 мм или N-типа, гарантированно находятся в заданном соединенном состоянии. Фиксация с определенным моментом позволяет получать воспроизводимые результаты измерений. Эта особенность отражается и в актуальном ассортименте калибровочных наборов — подавляющее большинство из них выполнено в сериях соединителей с резьбовыми механизмами фиксации. В случае с соединителями SMP задача получения воспроизводимых результатов существенно усложняется, так как вилка и розетка SMP, по сути, скользят друг относительно друга. И хотя предполагается, что они остановятся в заданном положении, а пружинный механизм его зафиксирует, гарантировать это нельзя. На характеристики соединения будет влиять точность изготовления. Если соединители не стыкуются должным образом, а место контакта оказывается в разных местах (например, из-за несоответствия усилий соединения и рассоединения), электрические характеристики соединения будут меняться.

Принимая во внимание описанные выше особенности, компания Spectrum Elektrotechnik предложила собственный вариант прецизионного соединителя SMP — SMP Test Connector, чья конструкция соответствует требованиям к калибровочным компонентам, а также методику калибровки, обеспечивающую воспроизводимые результаты.

Практически по всей длине центральный контакт розетки выполнен в виде сплошной трубки, в которую установлен разрезной контакт, выступающий менее чем на 0,1 мм (рис. 3). Внешний контакт розетки выполнен без разрезов. Фторопласт заменен материалом с близкой диэлектрической проницаемостью, но гораздо более стабильным и прочным. Благодаря принятым решениям удалось реализовать первоклассную 50-омную линию.

Для того чтобы гарантировать однозначное положение соединения и воспроизводимые характеристики, используемые SMP-соединители дополнены резьбовым механизмом фиксации. В процессе калибровки компоненты фиксируются с помощью резьбового соединения M8, что исключает неточности, свойственные соединениям с защелкой (рис. 4). В то же время все калибровочные компоненты остаются совместимыми со стандартными SMP-соединителями.

Калибровочные наборы SMP

Первоначально компания Spectrum Elektrotechnik GmbH предлагала два варианта исполнения калибровочного набора SMP: индустриальный, с диапазоном рабочих частот до 18 ГГц, и прецизионный — с диапазоном до 40 ГГц. Сегодня доступен только первый, наиболее востребованный вариант (рис. 5).

Комплектация наборов осуществляется по техническому заданию заказчика. При этом учитываются требования к исполнению соединителей, возможность включения в существующие измерительные тракты в стандартных сечениях (3,5 или 2,92 мм), необходимость резервирования отдельных компонентов. Каждый набор поставляется в деревянном ящике с комплектом документации и данными на электронном носителе. Стандартные компоненты наборов представлены в таблице. Также представлены следующие дополнительные опции:

- Тарированные ключи.
- Удерживающие ключи.
- Приспособления для контроля положения центральных контактов.
- Инструменты для соединения/рассоединения SMP-соединителей.
- Приспособления для контроля положения диэлектрических втулок.
- Корректоры фазы в сечении SMP.

Для измерения характеристик кабельных сборок с угловыми SMP-соединителями набо-

Рис. 5. Внешний вид калибровочного набора SMP

ры комплектуются переходами с байонетным замком. Такой переход может быть соединен с угловой розеткой SMP, а ее положение зафиксировано с заданным усилием. Для проверки соответствия исследуемых соединителей требованиям к присоединительным размерам наборы могут быть укомплектованы приспособлениями для контроля положения центрального контакта и диэлектрической втулки. Могут быть полезными и удобными и инструментальные опции: тарированные и рожковые ключи, приспособления для рассоединения пар соединителей SMP.

Заключение

Применение соединителей SMP в составе приемопередающих модулей (ППМ) систем с ФАР/АФАР показало необходимость уточнения требований к метрологическому обеспечению таких работ. Рассмотренные калибровочные компоненты помогают однозначно и воспроизводимым образом осуществить калибровку в сечении SMP, что позволяет говорить о точных и воспроизводимых результатах измерений. ■

Таблица. Состав калибровочного набора SMP DC — 18 ГГц

№	Наименование	Кол-во
1	Комплект коаксиальных переходов метрологического класса с SMP-розеткой на сечение 2,4, 2,92 или 3,5 мм	определяется заказчиком
2	Коаксиальные переходы SMP вилка с байонетным замком на сечение 2,4, 2,92 или 3,5 мм	
3	Отрезок линии SMP «розетка-розетка»	1
4	Отрезок линии SMP «розетка-вилка»	1
5	Отрезок линии SMP «вилка-вилка»	1
6	Согласованная нагрузка SMP-розетка	2
7	Согласованная нагрузка SMP-вилка	2
8	Элемент XX SMP-розетка	1
9	Элемент XX SMP-вилка	1
10	Элемент КЗ SMP-розетка	1
11	Элемент КЗ SMP-вилка	1
12	Программное обеспечение	1

Литература

1. Test Necessities and Accessories Handbook. Каталог компании Spectrum Elektrotechnik GmbH. www.spectrum-et.org/NEW_WEB2/test_necessities/Test_Necessities_Handbook.pdf
2. Сайт компании Spectrum Elektrotechnik GmbH. www.spectrum-et.org