

Радиочастотные SMP-соединители. Новый взгляд

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.
kbd.istok@mail.ru
Михаил ЧЕБУНИН,
к. ф.-м. н.
chebu_56@mail.ru

Создание компанией Gilbert Corning (США) в 1980-х годах соединителей GPO (Gilbert Push-On) ознаменовало собой освоение миллиметрового диапазона длин волн микроминиатюрными радиочастотными соединителями, работающими по принципу защелкивания (push-on, snap-on). Благодаря миниатюрности и высоким электрическим параметрам соединители нашли применение в сложных многофункциональных СВЧ-модулях с высокой плотностью компоновки аэронавигационного и аэрокосмического назначения, в активных фазированных решетках, радарх и других изделиях специального назначения [1]. В настоящее время эти соединители, получившие название SMP (subminiature push-on), выпускают несколько десятков зарубежных компаний, иногда присваивая им собственное обозначение.

Серия SMP-соединителей

Отсутствие в нашей стране производства SMP-соединителей вынуждает отечественных разработчиков все чаще приобретать их за рубежом. Между тем информация о параметрах SMP-соединителей, приводимая на сайтах и в другой технической документации многих компаний, нередко необъективна и носит чисто рекламный характер. Это обстоятельство приводит к ошибкам при выборе соединителей.

Цель данной статьи — дать отечественным разработчикам объективную информацию о SMP-соединителях.

Интерфейс соединителей SMP соответствует военному стандарту MIL-STD-348A, а их параметры — стандарту MIL-PRF-39012. Испытания соединителей проводят согласно стандарту MIL-STD-202. В последние годы соединители изготавливают в соответствии с европейской директивой RoHS (Restriction of Hazardous Substances) о запрете применения свинца и других вредных веществ, вступившей в действие 1 июля 2006 года.

Конструкция соединителей SMP рассмотрена ранее в [1–3]. Виды SMP-соединителей представлены в таблице 1. Прямые и угловые кабельные и приборно-кабельные соединители, в основном «розетка», предназначены для работы с миниатюрными полужесткими кабелями 0,086" (RG-405) и 0,047", а также с гибкими и формуемыми вручную кабелями. Приборные «вилки», монтируемые в стенки корпусов или на панели изделий, имеют несколько вариантов конструктивного исполнения¹. В «вилках» применяют полное защелкивание в них кабельных соединителей «розетка» (full detent), ограниченное защелкивание (limited detent) и скользящее соединение (smooth bore). Разновидностью скользящего соединения является соединение catcher's mitt, отличающееся более широкой заходной частью для кабельной «розетки».

Наиболее широко применяют герметичные «вилки» в металлических корпусах с внутренним металлостеклянным спаем центрального

¹ Здесь уместно вернуться к определению понятий «вилка» и «розетка» для соединителей push-on, snap-on. Некоторые компании придерживаются мнения, что «вилка» — это соединитель со штыревым центральным контактом, как и у всех стандартных резьбовых соединителей — SMA, N и других типов. Но, с другой стороны, «вилкой» называют подвижную часть сочленяемой пары «вилка» — «розетка», вне зависимости от того, гнездовой или штыревой у нее центральный контакт. Поэтому приборные «вилки» SMP следовало бы называть «розетками», а кабельные «розетки» — «вилками». На наш взгляд, правильнее было бы называть «вилкой» подвижную часть пары, добавляя в название, с каким она — гнездовым или штыревым — центральным контактом. В этой статье мы будем придерживаться тех названий соединителей, которые им дали компании-производители.

проводника. При этом стеклянный изолятор изготавливают только из стекла Corning 7070, имеющего наилучшие из всех стекол диэлектрические свойства. В негерметичных «вилках» в качестве диэлектрика

Таблица 1. Основные виды соединителей SMP

Виды соединителей	Название в зарубежной документации	Внешний вид
Прямая кабельная «розетка» для полужесткого кабеля марок 0,047", 0,086". Заделка кабеля в «розетку» — пайкой	Strait female, direct solder, 0,047", 0,086" semi-rigid cable	
Угловая кабельная «розетка» для полужесткого кабеля марок 0,047", 0,086". Заделка кабеля в «розетку» — пайкой	Right angle female, direct solder, 0,047", 0,086" semi-rigid cable	
Прямая приборно-кабельная «розетка» для полужесткого кабеля марок 0,047", 0,086". Заделка кабеля в «розетку» — пайкой	Strait female bulkhead direct solder, 0,047", 0,086" semi-rigid cable	
Приборная «вилка». Полное, ограниченное защелкивание или скользящее соединение	Strait male (full detent, limited detent, smooth bore)	
Прямая «вилка» для поверхностного монтажа на плату. Полное, ограниченное защелкивание или скользящее соединение	Straight male surface mount (full detent, limited detent, smooth bore)	
Прямая (угловая) «вилка» для установки в отверстия печатной платы. Полное, ограниченное защелкивание или скользящее соединение	Male (female) strait (right angle) PCB mount (full detent, limited detent, smooth bore)	
Концевая «вилка», устанавливаемая на плату. Полное, ограниченное защелкивание или скользящее соединение	Male PCB edge mount (full detent, limited detent, smooth bore)	
Корпус с внутренней геометрией, обеспечивающей защелкивание, без центрального проводника — shroud	Straight male shroud (no center contact)	
Герметичный металлостеклянный ввод «вилка», применяемый совместно со shroud	Male hermetic glass seal for use with shroud	
Прямой адаптер «розетка» — «розетка»	Strait female — to-female "bullet" adapter	

применяют фторопласт (PTFE), а в «вилках» для монтажа на платы — LCP (liquid crystal polymer).

Кроме того, разработаны составные «вилки». Такая «вилка» состоит из отдельного корпуса (shroud) и металлокерамического СВЧ-ввода, предварительно установленного в стенку изделия. Корпус shroud изготавливают из нержавеющей стали. Чаще всего он фланцевой конструкции с двумя крепежными отверстиями на фланце, но существуют также варианты резьбовые и для запрессовывания в корпус изделия. Разработаны и выпускаются герметичные и негерметичные «вилки»: приборные, для установки в отверстия печатных плат и для поверхностного монтажа на платы. Разновидностью двух последних являются концевые «вилки», устанавливаемые на концах печатной платы.

Адаптеры «розетка» – «розетка», названные «bullet», обеспечивают соединение «вслепую» (blind mate) и гибкую связь между «вилками», установленными на платах. По заказам потребителей компании выпускают bullet разной длины в зависимости от требуемого расстояния между соединяемыми платами.

Для совмещения с соединителями других типов (SMA, 3,5-мм, 2,9-мм, 2,4-мм) разработаны межсерийные адаптеры.

Основной вид покрытия металлических деталей SMP-соединителей — золото, гальванически нанесенное по подслою никеля.

Применение SMP-соединителей

Соединители SMP привлекли внимание разработчиков СВЧ-изделий не только своей миниатюрностью (масса адаптера bullet всего 0,17 г, кабельного соединителя — менее 0,75 г) и отсутствием резьбового соединения пары «вилка» и «розетка». Не менее важно было и то, что они обеспечивают быстрое соединение печатных плат и СВЧ-модулей даже при аксиальной и радиальной несоосности до 0,25 мм и минимальном межцентровом расстоянии между соединителями 4,3 мм. Появилась возможность «вслепую» соединять платы с помощью адаптеров bullet, уменьшив расстояние между платами до размеров адаптера bullet, без применения кабелей или же применяя минимальное их количество (рис. 1).

Соединение производят с помощью адаптера bullet и двух выводов «вилки», установ-

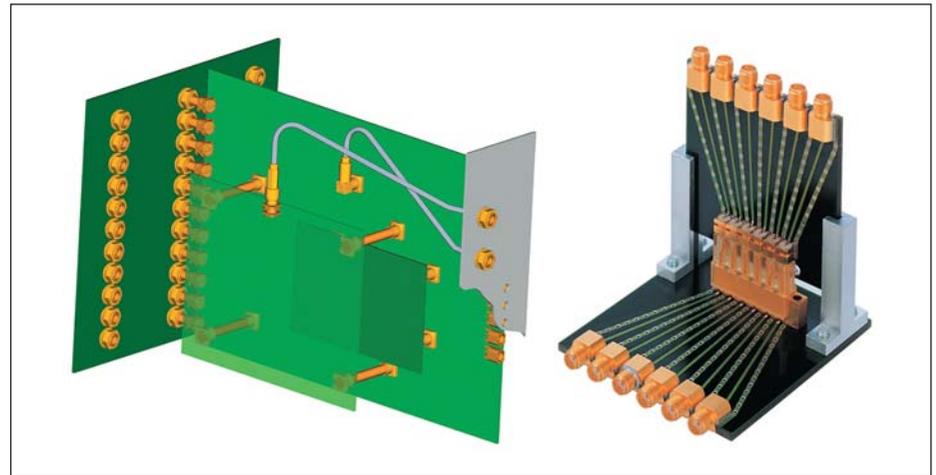


Рис. 1. SMP-соединители для межплатных соединений [4]

ленных на платах. Для соединения «вслепую» необходимы «вилки» SMP с полужесткой и скользящей фиксацией, чтобы уменьшить суммарные усилия по одновременному соединению/рассоединению нескольких печатных плат. Облегчить соединение «вслепую» помогло и появление в линейке «вилочек» моделей catcher's mitt, упрощающих попадание bullet в «вилку». Однако необходимо отрешиться от иллюзии, что «вслепую» можно соединять платы при любой несоосности. Несоосность не должна превышать предельно допустимую величину, установленную компанией-изготовителем.

Другое важное применение соединителей SMP — компактное соединение внутри СВЧ-модулей и между ними (рис. 2).

Объединение в одном корпусе нескольких кабельных «вилочек» SMP позволило создавать соединительные блоки, необходимые для ряда применений (рис. 3).

«Вилки» в этих соединителях также связаны между собой адаптерами bullet, которые компенсируют несоосность, неизбежную при изготовлении таких комбинированных изделий. Номенклатура SMP-соединителей настолько разнообразна, что у потребителей есть возможность самим изготавливать из них блоки требуемой конструкции.

Популярность соединителей SMP стремительно росла. Их применение позволило значительно уменьшить габаритные размеры, массу и материалоемкость изделий, повысить плотность компоновки и снизить стои-

мость. Если сначала эти соединители использовали только в военных СВЧ-приложениях (АФАР, радары, спутниковая аппаратура), то со временем их стали активно применять в гражданских изделиях: системах телекоммуникации, базовых станциях сотовой связи, измерительной технике (анализаторах сигналов и спектра) и др.

Кабельные соединители SMP, применяемые на частотах до 40 ГГц, работают с полужестким кабелем марок 0,047" и 0,086" (рис. 4). Однако для некоторых применений, например в системах телекоммуникации, высокие предельные частоты требуются не всегда, но привлекательны рассмотренные выше другие достоинства SMP-соединителей. Для этих случаев большинство компаний-производителей выпускают кабельные соединители, работающие с гибким кабелем RG178 и RG316 и с другими более дешевыми кабелями.

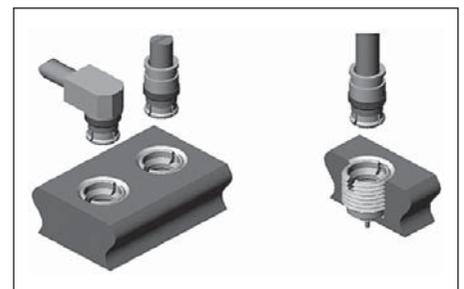


Рис. 4. Соединение «вилочек» с прямыми и угловыми кабельными соединителями SMP [5]

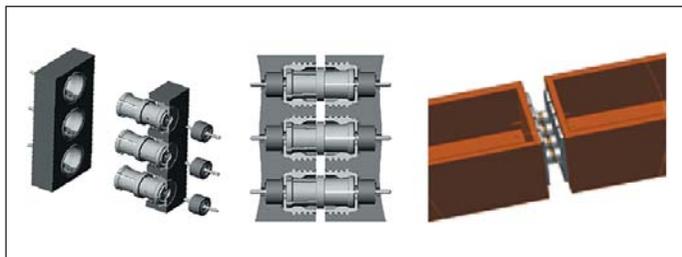


Рис. 2. SMP-соединители в СВЧ-модулях [5]



Рис. 3. Блоки соединителей SMP [6]

Таблица 2. Компании-производители SMP-соединителей²

Компани	Краткое название компании	Фирменное обозначение соединителей
США		
Gilbert Corning Microwave Products, Inc. www.corninggilbert.com	Gilbert Corning	GPO
Micro-Mode Products, Inc. www.micromode.com	Micro-Mode	MMSP
Emerson Network Power / Johnson Connectivity Solution www.EmersonNetworkPower.com	Emerson	SMP
Carlisle Interconnect Technologies / CDI / Tensolite Corp. www.tensolite.com	Tensolite	
Applied Engineering Products www.aepconnectors.com	AEP	OSMP
SV Microwave, Inc. www.svmicrowave.com	SV Microwave	
Tyco Electronics Corporation (M/A-COM) www.tyco.com	Tyco	SMP
Sabritec, Inc. www.sabritec.com	Sabritec	
Amphenol RF Division www.amphenol.com	Amphenol	SMP
Molex RF/Microwave Connector Division www.molex.com	Molex	
Dynawave, Inc. www.dynawave.com	Dynawave	SMP
W.L.Gore&Associates, Inc. www.gore.com	Gore	
Special Hermetic Products, Inc. www.shp-seals.com	SHP	SMP
Koaxis, Inc. www.koaxis.com	Koaxis	
Cristek Interconnects, Inc. www.cristek.com	Cristek	MMSP
Fairview Microwave, Inc. (ранее — SM Electronics L.L.C.) www.smelectronics.com	SM Electronics	
Phoenix Company of Chicago / Palco Connector www.phoenixofchicago.com	Phoenix	SMP
Pacific Aerospace & Electronics, Inc. / Souriau PA&E Inc. www.pacaero.com	Souriau	LWR, SMP
Anoison Electronics www.anoison.com	Anoison	SMP
Германия		
Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH www.rosenberger.de	Rosenberger	SMP
Spectrum Elektrotechnik GmbH www.spectrum-et.org	Spectrum	
IMS Connector Systems GmbH www.imscs.com	IMS	
Telegartner GmbH www.telegartner.com	Telegartner	
Швейцария		
Huber+Suhner AG www.hubersuhner.com	Huber+Suhner	SMPX
Франция		
Radiall Corp. www.radiall.com	Radiall	SMP
Китай		
Shenzhen Sinrui Technology Co., Ltd. www.sinrui-tech.com	Sinrui Tech	SMP
Республика Корея		
Giga Lane Co., Ltd. www.gigalane.com	Giga Lane	SMP
Тайвань		
Wellshou Technology www.wellshou.com	Wellshou	SMP
Frontlink Technologies, Inc. www.frontlink.com	Frontlink	
Cosmetic Resources Co., Ltd. www.cosmetic.com	Cosmetic	
S-Conn Enterprise Co., Ltd. www.S-conn.com	S-Conn	
Chin Nan Precision Electronics Co., Ltd. www.chinnan.com.tw	Chin Nan	
Jyebao Co., Ltd. www.jyebao.com.tw	Jyebao	
Япония		
Honda Connectors PTE, Ltd. www.honda-connector.com	Honda	SMP
JC Electronics Corporation www.jcel.com	JC	
Sanyu Electric Inc. www.sanyu-usa.com	Sanyu	

Зарубежные компании-производители SMP-соединителей

Компании-производители SMP-соединителей в США, странах Европы и Азии представлены в таблице 2. Значительное количество таких компаний свидетельствует о возросшей потребности в SMP-соединителях. Неслучайно поэтому, что их выпуск освоили все мировые лидеры в области радиочастотных соединителей.

Номенклатура SMP-соединителей зарубежных компаний представлена в таблице 3. Эти данные дают представление о продукции разных зарубежных компаний. Они несколько отличаются от ранее приведенных данных работы [2], в которой рассмотрена продукция только 21 из 34 компаний, представленных в таблице 3. Поэтому в данной статье сделан краткий обзор соединителей тех компаний, по которым не было информации в работе [2], и рассмотрены новые виды SMP-соединителей, появившиеся в последнее время.

Среди всех типов SMP-соединителей преобладают приборные «вилки», shroud и вводы. Это объясняется прежде всего тем, что приборные «вилки» тиражируют в трех или четырех вариантах: полное и ограниченное защелкивание, а также одна или две разновидности скользящего соединения. При этом «вилки» однотипные и отличаются только геометрией области входа кабельной «розетки». Компании выпускают большое количество герметичных вводов типовой конструкции с наружным диаметром корпуса от 3,7 до 4,2 мм, высотой корпуса от 3,56 до 4,57 мм и длиной выступающего из корпуса центрального проводника от 1,8 до 2,3 мм.

Компании SHP и Souriau специализируются исключительно на выпуске герметичных металлокерамических вводов и «вилок». Калифорнийская компания Micro-Mode выпускает более 700 различных приборных «вилок». Целесообразность производства стольких типоразмеров вилок, незначительно отличающихся между собой, по нашему мнению, сомнительна. Также неоправданно много типоразмеров «вилок» для монтажа на поверхность и в отверстия печатных плат и концевых «вилок» у компаний Tensolite, Micro-Mode, Dynawave и Spectrum.

Количество типоразмеров кабельных соединителей, казалось бы, не должно быть слишком большим, так как один и тот же соединитель пригоден для сочленения с «вилками» всех способов защелкивания. Тем не менее компании Spectrum и Micro-Mode выпускают более 50, Dynawave — около 80, а Tensolite — более 100 различных кабельных соединителей. Такое разнообразие кабель-

ных соединителей определяется в основном тем, что их выпускают для работы с кабелями разных марок.

Американская компания Cristek мало известна в нашей стране. Между тем Cristek — одна из немногих компаний, выпускающих большое количество соединителей SMP всех видов:

- стандартные прямые и угловые кабельные соединители (кабель SR 0,047 и SR 0,086);
- оригинальные панельные и проходные приборно-кабельные соединители, в том числе фланцевые shroud и немагнитные;
- большое количество герметичных «вилок» и фланцевых shroud;
- «вилки» для поверхностного монтажа на печатные платы разной конструкции, а также прямые и угловые «вилки» концевые и для монтажа в отверстия плат;
- адаптеры bullet длиной 5,7; 6,45 и 10 мм, а также 5 наименований подпружиненных bullet;
- набор межсерийных адаптеров SMP-2,4-мм с разным сочетанием «вилка» — «розетка».

Другая американская компания — Emerson/Johnson — выпускает 26 типоразмеров SMP-соединителей всех видов, кроме соединителей для поверхностного монтажа. В каталоге компании четко оговорены предельные частоты и электрические параметры каждого вида соединителей.

Компания Gore — один из мировых лидеров по производству высококачественных радиочастотных кабелей и кабельных сборок, она выпускает не только адаптеры, но и, по-видимому, кабельные SMP-соединители. Их отсутствие в таблице 3, возможно, объясняется тем, что их поставляют только в составе соответствующих кабельных сборок.

Компания Anoison производит небольшую серию дешевых SMP-соединителей, но для высокочастотных применений уровень их параметров недопустимо низок.

Известные своим высоким «немецким» качеством компании Telegartner и IMS, тем не менее, гарантируют приемлемые параметры выпускаемых ими соединителей SMP только до частоты 12 ГГц. Эти соединители, по-видимому, не являются приоритетным видом продукции компаний. Их выпуск весьма ограничен по видам и типоразмерам. Герметичные соединители эти компании не производят. Компания IMS выпускает серию адаптеров bullet длиной от 6,75 до 24,2 мм для соединения плат, удаленных друг от друга на расстояние от 9,8 до 27,2 мм.

Все большую активность на рынке радиочастотных SMP-соединителей проявляют азиатские компании. Пока еще номенклатура выпускаемой ими продукции невелика, да и информация об электрических параметрах выпускаемых соединителей, к сожалению,

² Приведенные данные не претендуют на исчерпывающую полноту, так как сложно учесть все зарубежные компании. Сегодня радиочастотные соединители производит 291 зарубежная компания. В последние годы много таких компаний появилось в Китае, Тайване (более 10), в Японии и других азиатских странах. К тому же постоянно происходит поглощение одних компаний другими.

Таблица 3. Номенклатура SMP-соединителей зарубежных компаний

Компания	Типы и типоразмеры выпускаемых соединителей, шт.							
	«Розетки» Кабельные соединители прямые и угловые	«Вилки»					bullet	Адаптеры
		Приборные shroud, вводы	Для монтажа в отверстия печатных плат	Для поверхностного монтажа	Концевые	bullet		
Gilbert Corning	45	42	18	6	15	3	29	
Micro-Mode	57	715	34	36	36	19	55	
Emerson	4	10	4	—	3	2	3	
Tensolite	147	103	28	32	9	16	27	
AEP	15	4	—	—	—	3	—	
Amphenol/ SV Microwave	24	33	9	6	3	4	27	
Tyco	16	11	2	2	1	5	4	
Sabritec	4	3	9	—	3	4	3	
Molex	4	—	—	4	3	3	—	
Dynawave	77	45	9	9	11	4	9	
Gore	—	—	—	—	—	—	8	
SHP	—	15	—	—	—	—	—	
Koaxis	2	2	—	—	—	—	—	
Cristek	37	76	9	2	12	4	4	
SM Electronics	12	38	14	4	7	8	27	
Phoenix	3	—	—	—	2	—	—	
Souriau	—	19	—	—	—	—	—	
Anoisn	4	4	4	—	3	1	—	
Rosenberger	11	1	10	13	4	12	12	
Spectrum	50	20	—	—	93	5	34	
IMS	3	—	2	2	1	6	—	
Telegartner	4	—	—	2	1	1	—	
Huber+Suhner	7	—	—	3	—	12	—	
Radiall	24	40	12	3	3	11	8	
Jyebao	2	12	—	3	—	—	8	
Sinrui Tech	—	—	—	3	—	1	—	
Giga Lane	3	2	1	1	1	1	2	
Frontlink	6	—	3	1	1	1	—	
Cosmetic	4	3	—	—	—	—	—	
S-Conn	1	1	—	—	—	—	—	
Chin Nan	5	2	1	1	1	1	2	
Honda	1	1	—	1	1	1	1	
JC	4	4	4	—	1	1	2	
Sanyu	4	2	1	1	—	—	—	

нию, недостаточна. Среди азиатских компаний можно выделить корейскую — Giga Lane, три тайваньские — Jyebao, Frontlink и Chin Nan. Giga Lane производит соединители не более трех типоразмеров всех видов. Компания Frontlink, по-видимому, имеет очень высокий уровень технического оснащения, так как в ее активе прецизионные соединители с предельной частотой 50, 65 и даже 110 ГГц. Эта компания выпускает следующие виды SMP-соединителей: кабельные, для монтажа на печатные платы и один bullet.

Достаточно известная в нашей стране компания Jyebao также производит небольшое количество типоразмеров SMP-соединителей, включая и межсерийные адаптеры SMP-SMA. Известная компания Chin Nan, имеющая 45-летний опыт производства радиочастотных соединителей, выпускает все виды соединителей SMP, но количество их типоразмеров ограничено.

В последнее время появились некоторые новые конструктивные варианты SMP-соеди-

нителей. Компании Radiall, SV Micro-wave, Cristek, Tensolite выпустили подпружиненные адаптеры bullet (рис. 5).

Адаптеры компании Radiall обеспечивают надежное соединение плат и модулей при радиальной несоосности 0,25 мм и аксиальной несоосности между адаптером и «вилками», установленными на платах, 1,17 мм. Благодаря этому стало возможным увеличение расстояния между соединяемыми платами. Рекомендуется подпружиненную часть bullet соединять с «вилкой» с полным защелкиванием, а противоположную сторону адаптера — с «вилкой» со скользящим соединением. Предельная рабочая частота адаптеров — 18 ГГц, при этом гарантируется КСВН менее 1,2 на частотах до 12 ГГц.

Принцип соединительного интерфейса SMP оказался настолько удачным, что был использован в разработке менее высокочастотных соединителей, которые в настоящее время используют, в первую очередь, в оборудовании для телекома. Компания Rosenberger выпустила две новые серии низкочастотных соединителей SMP: P-SMP и Longwire-SMP (повышенной износостойкости). Соединители P-SMP объединили в себе достоинства SMP-соединителей (удобство соединения плат) и SMA-соединителей (повышенная пропускаемая мощность).



Рис. 5. Подпружиненные адаптеры bullet компаний: а) Radiall; б) SV Microwave

Они обеспечивают надежное соединение плат, расположенных на расстоянии друг от друга более 12,6 мм, даже при аксиальной несоосности ± 1 мм и радиальной несоосности 4° , и имеют следующие основные параметры:

- предельная рабочая частота — 6 ГГц;
- рабочее напряжение — 480 В;
- допустимая непрерывная мощность — до 200 Вт на частоте 2,2 ГГц;
- максимальный КСВН — 1,05 на частотах до 3 ГГц и 1,1 в диапазоне частот 3–6 ГГц;
- высокочастотные потери — $0,03\sqrt{f}$, дБ, где f — частота, ГГц;
- экранное затухание — менее -70 дБ на частотах до 1 ГГц.

Кабельные соединители P-SMP предназначены для работы с гибким кабелем.

Таблица 4. Требования DSCC 94007/08

Параметр	Значение параметра	Примечание	
Интерфейс	Согласно MIL-STD-348A	—	
Номинальное волновое сопротивление	50 Ом	Nominal impedance	
Диапазон частот, ГГц	DC-40 (адаптер bullet, прямые кабельные соединители) DC-26,5 (угловые кабельные соединители)	DC (direct current) — постоянный ток	
Экранное затухание, дБ (на частотах, ГГц) при полном защелкивании «розетки» и «вилки»	—80 (до 3)	RF leakage	
	—65 (от 3 до 26,5)		
Рабочее напряжение максимальное	335 В на уровне моря	—	
	65 В на высоте 70 000 футов		
Напряжение пробоя	500 В на уровне моря	Только для адаптера bullet	
	125 В на высоте 70 000 футов		
Рабочий диапазон температур	—65...+165 °C	—	
Максимальное усилие сочленения «вилки» и «розетки»	68 Н (полное защелкивание)	Force to engage. Для адаптера bullet	
	45 Н (ограниченное защелкивание)		
	9 Н (скользящее соединение)		
Минимальное усилие расчленения «вилки» и «розетки»	22 Н (полное защелкивание)	Force to disengage. Для адаптера bullet	
	9 Н (ограниченное защелкивание)		
	2,2 Н (скользящее соединение)		
Допустимое радиальное и аксиальное смещение между осями «вилки» и «розетки» при сочленении	0,25 мм	Для адаптера bullet	
Допустимое количество циклов сочленения/расчленения	100 (полное защелкивание)	Для адаптера bullet	
	500 (ограниченное защелкивание)		
	1000 (скользящее соединение)		
Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	100	Для кабельных соединителей	
	Адаптер bullet и shroud 1,1 (DC–23) 1,15 (23–26,5) 1,7 (26,5–40)	Кабельные соединители 1,2 (DC–8) 1,35 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	—
Прямые СВЧ-потери	$0,1\sqrt{f}$	$0,12\sqrt{f}$	RF insertion loss f — частота, ГГц
Минимальное сопротивление изоляции	5000 МОм	—	
Максимальное сопротивление: центрального проводника наружного проводника	6 мОм 2 мОм	—	
Механические и климатические воздействия	В соответствии с MIL-STD-202	—	
Материалы, покрытия			
Части соединителей	Материал, покрытие	Стандарты	
Корпуса кабельных соединителей, адаптеров и bullet, гнездовой контакт	Бериллиевая бронза	ASTM B196	
	Золото, толщина 1,27 мкм мин.	MIL-DTL-45204	
	Подслой никеля	MIL-DTL-38999	
Корпус и центральный проводник приборной «вилки»	Ковар	ASTM F15	
	Золото	MIL-DTL-45204	
	Подслой никеля	MIL-DTL-38999	

Соединители Longwiper-SMP обеспечивают соединение плат, удаленных друг от друга на расстояние более 9 мм, при аксиальной несоосности «вилка» и адаптера $\pm 0,7$ мм. Они имеют предельную частоту 6 ГГц, КСВН менее 1,5 и высокочастотные потери не более 0,25 дБ.

Новый соединитель SMP-MAX недавно прорекламировала компания Radiall. Он обеспечивает надежное соединение между собой печатных плат при радиальной несоосности 4° и аксиальной несоосности даже до 2 мм. Гарантируемая предельная частота соединителя — 6 ГГц, допустимая мощность — 165 Вт на частоте 3 ГГц, максимальный КСВН — 1,2 на частотах до 3 ГГц.

Компанией Souciau разработаны герметичные приборные «вилки» типа LWR (серии PAE-RF-200 и PAE-RF-250), предназначенные для установки лазерной сваркой в корпус изделий из алюминиевых, титановых и железоникелевых сплавов. Такие «вилки» применяют в изделиях, где требуется прочное и надежное соединение повышенной степени герметичности.

Параметры SMP-соединителей

Реальные электрические параметры SMP-соединителей зависят от многих факторов: вида соединителей (кабельные, приборные, для установки на плату, прямые или угловые), применяемого кабеля и способа его заделки в соединитель, от способа установки соединителя в корпус или на плату. Типичные требования к параметрам SMP-соединителей приведены в спецификациях DSCC 94007/08 (Defense Supply Center, Columbus) (табл. 4).

Параметры конкретных соединителей компаний-производителей приводят в data-sheet (спецификации) на эти устройства.

Анализ параметров соединителей, выпускаемых зарубежными компаниями, показал, что большая часть этих требований выполняется. Сомнения вызывает выполнение компаниями основных требований: предельная частота, коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и высокочастотные потери.

Таблица 5. Предельная частота SMP-соединителей зарубежных компаний

Виды соединителей	Предельная частота, ГГц												
	Компании												
	Corning Gilbert	Rosenberger	Huber+Suhner	Emerson, Honda	Radiall	Tyco, Molex, Micro-Mode, Spectrum, Cristek, Sabritec, Koaxis, Sanyu, Jyebao, Giga Lane, AEP, Amphenol/SV Microwave, Dynawave	Frontlink	IMS, Chin Nan	Telegartner,	Phoenix, Souciau	SHP	Gore	Anoison
Прямые кабельные	40	40	40	40	40	40	40	18	12	26,5	—	40	8
Угловые кабельные	—	26,5	26,5	18	26,5	—	18	18	—	26,5	—	—	—
«Вилка» приборная герметичная	—	26,5	40	18	—	—	—	—	—	40	—	—	—
Для монтажа в отверстия печатной платы	—	18	—	12	12	—	—	—	—	—	—	—	—
Для поверхностного монтажа	—	26,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Внутрисерийные адаптеры (bullet)	40	40	40	40	40	40	40	40	12, 18	—	—	40	8
Межсерийные адаптеры	—	40	—	18	—	—	—	18	—	—	—	—	—

Предельная частота

Предельная частота соединителей SMP разных компаний представлена в таблице 5.

Подавляющее большинство компаний устанавливают предельную частоту выпускаемых ими соединителей равной 40 ГГц. Но это утверждение следует понимать правильно. Речь идет лишь о том, что в соединителях SMP коаксиальная линия, заполненная твердым диэлектриком, рассчитана так, что она эквивалентна воздушной коаксиальной линии 2,9-мм соединителей. А известно [1], что 2,9-мм соединители имеют приемлемый уровень КСВН и потерь только на частотах до 40 ГГц.

Предельная частота соединителя зависит от его конструкции и назначения. Поэтому некоторые компании (Radiall, Rosenberger, Emerson, Huber+Suhner и др.) признают, что предельная частота 40 ГГц относится только к прямым соединителям, прежде всего к адаптерам bullet. И это понятно. Коаксиальная линия таких соединителей содержит менее всего неоднородностей, приводящих к возникновению отражений проходящего сигнала и ухудшению КСВН. Для угловых соединителей эти компании гарантируют предельную частоту 26,5 и даже 18 ГГц. Для соединителей, монтируемых на печатные платы, предельная частота еще ниже — от 26,5 до 12 ГГц.

Несколько удивляет явное занижение предельной частоты выпускаемых соединителей известными компаниями Telegartner,

IMS, Phoenix. И уж совсем непонятно, почему предельная частота соединителей компании Anoison всего 8 ГГц? Ведь интерфейс соединителей и применяемые материалы такие же, как и у аналогов других компаний. Это можно объяснить только тем, что заказчиков этих компаний устраивает применение SMP-соединителей на более низких частотах.

КСВН и высокочастотные потери

Величины КСВН и высокочастотных потерь SMP-соединителей, выпускаемых американскими и европейскими компаниями, приведены в таблице 6, а компаниями стран Азии — в таблице 7. Прежде всего необходимо отметить, что измерение электрических параметров SMP-соединителей осложнено необычным интерфейсом этих соединителей. Соединение с портами измерительной аппаратуры возможно только при использовании соответствующих измерительных адаптеров. На точности измерения параметров сказываются не только погрешности, вносимые адаптерами, но и неоднородности самих SMP-соединителей — разрезные цанговые контакты наружного и внутреннего проводников. Приводя данные о КСВН и вносимых потерях, компании не сообщают о методиках их измерения. Это обстоятельство затрудняет адекватное сравнение параметров SMP-соединителей.

Таблица 6. Электрические параметры соединителей SMP компаний США и Европы

Параметр	Виды соединителей	Компании												
		Radiall	Rosenberger	Amphenol/SV Microwave	AEP	Telegartner, IMS	Spectrum, Sabritec	Corning Gilbert	Tyco	Molex, Phoenix	Emerson	Micro-Mode	Huber+Suhner	Anoison
Максимальный КСВН (диапазон частот, ГГц)	Прямые кабельные (полужесткий кабель)	1,2 (DC–18) 1,35 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	1,50 (DC–40)	1,2 (DC–18) 1,35 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	1,1 (DC–23) 1,15 (23–26,5) 1,35 (26,5–40)	1,03 +0,02f	1,5 (DC–40)	1,15 (23–26)	1,1 (DC–23) 1,15 (23–26) 1,4 (26–40)	Molex: 1,5 (DC–26,5) Phoenix: 1,35 (18–26,5)	1,2 (DC–18) 1,35 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	1,1 (DC–23) 1,15 (23–26,5) 1,3 (26,5–40)	1,12 (DC–8) 1,22 (8–40)	1,1 (DC–8)
	Угловые кабельные (полужесткий кабель)	1,2 (DC–18) 1,35 (18–26,5) — (26,5–40)	—	—	—	1,04 +0,03f	—	—	—	—	1,2 (DC–18)	—	1,12 (DC–7) 1,22 (7–26,5)	1,1 (DC–8)
	Адаптеры (bullet)	1,1 (DC–18) 1,15 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	1,5 (DC–40)	1,10 (DC–23) 1,15 (23–26,5) 1,7 (26,5–40)	—	—	—	1,5 (DC–40)	—	—	1,1 (DC–18) 1,15 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	—	—	—
Максимальные потери, дБ (на частоте f, ГГц)	Адаптеры (bullet)	0,12√f	0,1√f	0,1√f	0,1√f	—	0,1√f	—	0,1√f	Molex: 0,1/1 ГГц Phoenix: 0,12√f	0,1√f	0,12√f	—	—
	Кабельные соединители			0,12√f	0,12√f						—	—		
Экранное затухание, дБ (в диапазоне частот, ГГц)	Пара «вилка»–«розетка», полное защелкивание	–80 (до 3) –65 (3–26,5)	—	–80 (до 3) –65 (3–26,5)	—	—	—	—	–80 (до 3) –65 (3–26,5)	–65 (до 26,5)	–80 (2,5)	–80 (до 3) –65 (3–26,5)	–70 (до 26,5)	–100 (до 3)

Таблица 7. Электрические параметры соединителей SMP компаний Азии

Параметры	Виды соединителей	Компании				
		Frontlink	Giga Lane	Sanyu	Chin Nan	Honda
Максимальный КСВН (диапазон частот, ГГц)	Прямые кабельные (полужесткий кабель)	1,2 (DC–18) 1,35 (18–26,5) 1,7 (26,5–40)	–	–	–	1,5 (DC–40)
	Угловые кабельные (полужесткий кабель)	1,2 (DC–18)	–	–	1,5 (DC–18)	–
	Адаптеры (bullet)	1,3 (DC–18) 1,5 (26,5–40)	1,1 (DC–23) 1,15 (23–26,5) 1,25 (26,5–40)	1,5 (DC–40)	1,3 (DC–18)	1,5 (DC–40)
Максимальные потери, дБ (на частоте f, ГГц)	Адаптеры bullet, кабельные соединители	0,1/10 ГГц	0,1/f	–	0,5 (до 18)	–
Экранное затухание, дБ (в диапазоне частот, ГГц)	–	–	–80 (до 3)–65 (3–26,5)	–	–	–

К тому же многие компании приводят типичные параметры, а они могут существенно отличаться от параметров конкретных соединителей. Некоторые фирмы подстраховываются и дают заниженные величины КСВН и высокочастотных потерь. Radiall, Emerson, Amphenol/SV Microwave и Juebao просто ссылаются на требования DSCC 94007/08. Другие компании — Molex, Phoenix, Tусо — вообще не указывают вид соединителей, к которым относятся приведенные ими параметры.

Хотя нет сомнений, что эти данные характерны для адаптера bullet.

Азиатские компании, исключая Frontlink, Giga Lane и Chin Nan, приводят неполную информацию либо вообще не информируют об электрических параметрах выпускаемых соединителей.

Поэтому, выбирая соединители, необходимо тщательно изучить их спецификации. Так, например, в каталоге компании Rosenberger представлены две кабельные

«розетки» для работы с одним и тем же кабелем 0,047": 19K101-270L5 и 19K107-271L5. Они не отличаются по внешнему виду и габаритным размерам, но первая из них предназначена для работы на частотах до 26,5 ГГц, а вторая — до 40 ГГц. Это различие обусловлено какими-то конструктивными особенностями «розеток». К сожалению, и в data-sheet не всегда можно найти необходимую информацию.

Данные таблицы 6 показывают, что наилучшие параметры (КСВН и высокочастотные потери) имеют прямые соединители SMP — кабельные и bullet. Максимальный КСВН прямых кабельных соединителей, работающих с полужестким кабелем 0,047" и 0,086" (RG-405), не превышает 1,5 в диапазоне частот до 40 ГГц. Компании Micro-Mode, Molex, AEP в этом диапазоне частот установили для выпускаемых ими прямых соединителей максимальную величину КСВН 1,3–1,35, а Huber+Suhner — даже 1,22.

Высокочастотные потери соединителей в диапазоне частот до 18 ГГц — менее 0,5 дБ, а на частоте 40 ГГц — не более 0,75 дБ.

Угловые соединители имеют приемлемый уровень КСВН и высокочастотных потерь на частотах только до 26,5 ГГц. На более высоких частотах КСВН и потери угловых соединителей резко возрастают.

Для экспериментальной проверки этого утверждения были проведены сравнительные измерения S-параметров (КСВН и высокочастотных потерь) прямых и угловых кабельных соединителей «розетка» компании Rosenberger. Были изготовлены две кабельные сборки длиной 100 мм с кабелем 0,047". В первой сборке концы кабеля были заделаны в одинаковые угловые соединители 19K202-270E4, а во второй — в прямые соединители 19K101-270E4 (рис. 6).

Измерения S-параметров были проведены в диапазоне частот до 40 ГГц при помощи векторного анализатора MS 4644A компании Anritsu³. Для подключения к портам анализатора были использованы зарубежные адаптеры SMP «вилка» — 2,9-мм «вилка». Для исключения влияния адаптеров анализатор предварительно калибровали вместе с ними. Результаты измерений показаны на рис. 7.

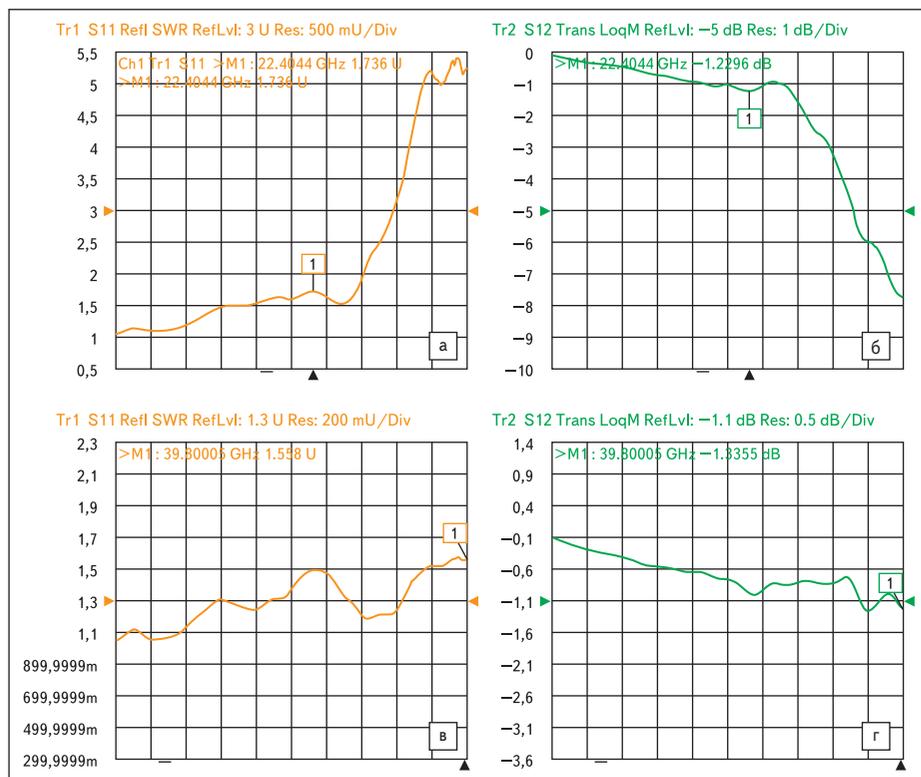
Начиная с частоты 26,5 ГГц, КСВН (S_{11}) и потери (S_{12}) сборки с угловыми соединителями недопустимо резко возрастали. Сборки же с прямыми соединителями сохраняли приемлемый уровень этих параметров во всем частотном диапазоне.

Заключение

Соединители SMP позволяют создавать изделия СВЧ-диапазона с улучшенными массо-габаритными характеристиками, использовать технологию автоматизированно-



Рис. 6. Кабельные сборки: а) с угловыми соединителями и адаптерами; б) с прямыми соединителями и адаптерами

Рис. 7. Параметры S_{11} (а, в) и S_{12} (б, г) кабельных сборок: а, б) с угловыми соединителями; в, г) с прямыми соединителями.

³ Измерения выполнены А. Андросовым.

го поверхностного монтажа изделий и снизить их стоимость. Неслучайно поэтому, что вслед за Corning Gilbert большое число зарубежных компаний наладило производство этих соединителей. Компании выпускают огромное количество типоразмеров SMP-соединителей всех видов. Их параметры зависят от назначения и конструктивных особенностей. В этих условиях важно не ошибиться в выборе нужного соединителя. Без

тщательного изучения data-sheet, а иногда и без обращения к специалистам компании-производителя правильный выбор сделать невозможно. ■

Литература

1. Джуринский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.

2. Джуринский К., Чебунин М. Соединители SMP. Новые возможности для микроэлектроники СВЧ // Компоненты и технологии. 2008. № 1.
3. Джуринский К., Выходцев С. Соединители с предельными частотами 40 и 65 ГГц фирмы Corning Gilbert // Компоненты и технологии. 2008. № 5.
4. www.rosenberger.de
5. www.radiall.com
6. www.corninggilbert.com