

Новейшие достижения компании SV Microwave/Amphenol в области радиочастотных соединений

Кива Джурицкий (kbd.istok@mail.ru)

В статье показаны результаты работ по совершенствованию радиочастотных соединений, выполненных американской компанией SV Microwave/Amphenol в 2017–2019 годах. Рассмотрены конструкция, электрические параметры и номенклатура соединителей SMPM с предельной частотой 65 ГГц для работы в бортовой аппаратуре при повышенных вибрационных и ударных нагрузках. Показаны конструкция и параметры соединения печатных плат при расстоянии между ними 3 мм, что стало возможным благодаря применению сверхминиатюрного адаптера розетка-розетка («bullet»).

О компании SV Microwave/Amphenol

Радиочастотные соединители с интерфейсом SMPM, рассмотренные в данной статье, созданы компанией SV Microwave. Эта компания является мировым лидером в области СВЧ-микронэлектроники, имеющим более чем 50-летний опыт работы по созданию радиочастотных соединителей, кабельных сборок и различных пассивных компонентов, предназначенных для военных систем, Интернета вещей, 5G, спутниковых, высокоскоростных, аэрокосмических, коммерческих и телекоммуникационных приложений. В мае 2005 года SV Microwave была приобретена крупной корпорацией Amphenol, и с тех пор её называют SV Microwave/Amphenol.

Разработка соединителей SMPM с предельной частотой 65 ГГц для работы при повышенных вибрационных и ударных нагрузках

Стандартные соединители SMPM

В 1990 году компания Corning Gilbert, США, разработала микроминиатюрные, соединяемые защёлкиванием, соединители GPPO с предельной частотой 65 ГГц. Сегодня эти соединители выпускают десятки компаний всего мира под собственными фирменными названиями: SMPM, MINI-SMP и др. (далее – SMPM – «sub-miniature push-on, micro»). Разработаны соединители SMPM с полным и ограниченным защёлкиванием и скользящим соединением вилки и розетки. Интерфейс соединителей SMPM соответствует стандарту MIL-STD-348A (см. рис. 1) [1].

Разработаны следующие модификации соединителей SMPM [1]:

- прямые и угловые кабельные и приборно-кабельные соединители, предназначенные для работы с полужёстким кабелем 0,085" (RG-405) и 0,047", а также с гибким и формуемым вручную кабелем;
- приборные вилки, монтируемые в стенки корпусов изделий из алюминиевых и титановых сплавов: вплавляемые, под лазерную сварку, резьбовые и запрессовываемые в корпуса;
- вилки для установки в отверстия печатных плат, для поверхностного монтажа на платы и концевые;
- адаптеры розетка-розетка, называемые «bullet», для соединения «вслепую», обеспечивающие гибкую связь между вилками, установленными на разных платах, и позволяющие компенсировать несоосность между вилками на соединяемых платах. Длина выпускаемых адаптеров «bullet» зависит от требуемого расстояния между платами;
- междусерийные адаптеры для совместимости с соединителями других типов: SMA, 3,5 мм, 2,92 мм, 2,4 мм и 1,85 мм.

Внешний вид соединителей SMPM основных модификаций показан на рис. 2, а их основные параметры приведены в табл. 1 [1, 2].

Благодаря миниатюрности (вес соединителя составляет десятые доли грамма) и высокому уровню электрических параметров данные соединители нашли применение в сложных многофункциональных модулях СВЧ с высокой плотностью компоновки.

Однако, несмотря на высокий уровень параметров соединителей SMPM, разработчики ответственных бортовых систем опасаются, что соединение защёлкиванием может не выдержать высокие вибрационные и ударные нагрузки. Чтобы повысить надёжность соединителей, ведущие зарубежные компании разработали свои собственные изделия, в которых сочленение вилки и розетки защёлкиванием усилено другими способами соединения (резьбовым, байонетным или вторым защёлкиванием) [3, 4].

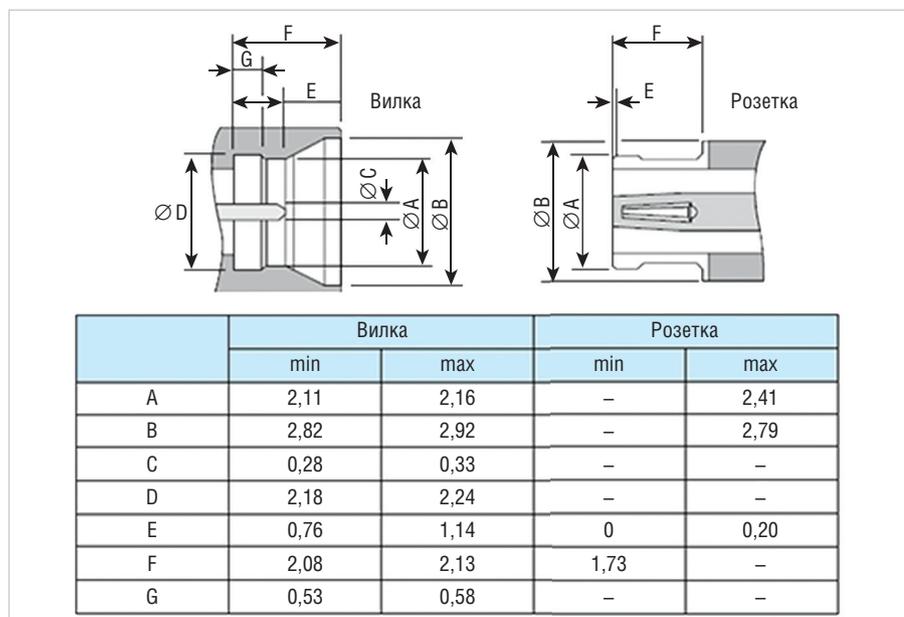


Рис. 1. Интерфейс вилки (для полного защёлкивания) и розетки соединителей SMPM

Компания SV Microwave/Amphenol в 2019 году также разработала линейку резьбовых соединителей SMPM для работы при повышенной вибрации с высоким уровнем электрических и механических характеристик [5, 6].

Резьбовые соединители SMPM

Так как при воздействии вибрационных и ударных нагрузок надёжность соединения защёлкиванием уступает резьбовому соединению, напрашивалось решение объединить оба эти соединения в конструкции соединителя SMPM. Впервые резьбовое соединение в дополнение к соединению защёлкиванием применила компания Astrolab, разработавшая соединители SMPM-T [1, 3, 4]. В кабельном соединителе-розетке SMPM-T стандартный интерфейс SMPM был дополнен резьбовой втулкой, устанавливаемой на кабель, а приборный соединитель-вилка выполнен с внешней резьбой на корпусе (см. рис. 3).

Соединители SMPM-T отличаются высокой стойкостью к ударам и вибрации, надёжной фиксацией и улучшенной экранировкой (экранное затухание по сравнению с обычными соединителями SMPM выше на 10 дБ). В случае необходимости соединители SMPM-T и SMPM могут без ограничений соединяться друг с другом.

Однако такое конструктивное решение соединителя SMPM-T не универсально, оно возможно только для прямых кабельных соединителей и неосуществимо для угловых соединителей.

Компания SV Microwave/Amphenol предложила установить резьбовую втулку непосредственно на кабельный соединитель-розетку, а приборную вилку, как и в предыдущем случае, выполнить с наружной резьбой на корпусе. Такое решение универсально, так как применимо как к прямым, так и к угловым соединителям. Резьбовая втулка, изготовленная из нержавеющей стали, имеет следующие размеры: наружный диаметр 4,57 мм, длина приблизительно 6 мм, резьба 0.148-56 UNS (наружный диаметр резьбы 3,76 мм, шаг резьбы 0,45 мм).

Были разработаны 8 модификаций резьбовых соединителей SMPM (см. табл. 2). В таблице представлены вилки для скользящего соединения с ответной кабельной розеткой (позиции 5 и 6). По заказу потребителя такие вилки могут быть изготовлены для соединения с ответной кабельной розеткой полным защёлкиванием.

Резьбовые кабельные соединители, в которых использовано сочетание



Рис. 2. Соединители SMPM: 1 – прямая кабельная розетка для кабеля 0,047" и 0,085"; 2 – угловая кабельная розетка для кабеля 0,047" и 0,085"; 3 – адаптер SMPM розетка – SMPM розетка («bullet»); 4 – вилка для монтажа в отверстия печатной платы; 5 – концевая вилка для монтажа на печатную плату; 6 – вилка для поверхностного монтажа на печатную плату; 7 – адаптер SMPM розетка – 2,92 мм розетка; 8 – адаптер SMPM вилка – 2,92 мм вилка

Таблица 1. Параметры соединителей SMPM

Параметр	Значение параметра
Волновое сопротивление, Ом	50
Рабочий диапазон частот, ГГц (DC – direct current, постоянный ток)	DC...65 (прямые соединители), DC...40 (угловые соединители)
Рабочее напряжение, В (на уровне моря)	170...325
Напряжение пробоя, В (на уровне моря)	500
Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	1,15 (0...10); 1,25 (10...26,5); 1,35 (26,5...50); 1,50 (50...65)
Величина потерь на частоте f , ГГц	$0,12\sqrt{f}$
Экранное затухание, дБ (в диапазоне частот f , ГГц)	-80 (0...3)
Минимальное сопротивление изоляции, МОм	5000
Допустимая пропускаемая мощность, Вт (на частоте, ГГц) при температуре 25°C	16 (1)
Рабочий диапазон температур, °C	-65...+165
Допустимые радиальное и аксиальное смещения между осями вилки и розетки при соединении, мм	0,25
Усилия соединения/рассоединения, Н	11/6,7 – скользящее соединение, 20/29 – полное защёлкивание
Допустимое количество циклов соединение – рассоединение	100 (полное защёлкивание), 500–1000 (скользящее соединение)

Примечания: 1. Величины КСВН, потерь и экранного затухания, приведённые в data sheet разных производителей соединителей SMPM, заметно отличаются. Более подробно электрические параметры соединителей SMPM рассмотрены в работах [1, 2].

2. В спецификациях часто приводят значение напряжения соединителя без уточнения его вида. Имеются 3 вида напряжения соединителя: напряжение пробоя (Breakdown Voltage), испытательное напряжение (DWV – Dielectric Withstanding Voltage) и максимальное рабочее напряжение (Working Voltage). Напряжение пробоя – это максимальное напряжение, которое может выдержать соединитель без значительного возрастания тока утечки и разрушения. Испытательное напряжение – это максимальное напряжение, при котором должен быть протестирован соединитель. Оно составляет 75% от напряжения пробоя соединителя. Рабочее напряжение – максимальное напряжение, при котором соединитель должен работать с заданными параметрами в течение всего срока службы. Рабочее напряжение составляет 1/3 от испытательного напряжения и зависит как от конструкции соединителя, так и от конкретных условий эксплуатации. В частности, при указании рабочего напряжения в спецификации должны быть приведены значения атмосферного давления на уровне моря или на высоте 70 000 футов (21,3 км) и температуры.

скользящего и резьбового соединений, имеют низкие усилия сочленения и расчленения розетки и вилки. Соединители испытывают по стандарту MIL-STD-202, методами 204 и 213. Данные методы используются в испытаниях на воздействие вибрации и ударов для изделий авиационного и космического назначения. Резьбовые соединители SMPM, естественно, стоят дороже стандартных аналогов в 1,2...1,8 раз.

При этом наиболее заметно возрастает стоимость резьбовых кабельных соединителей, прямых и угловых.

Соединение печатных плат с применением сверхминиатюрного адаптера «bullet» компании SV Microwave/Amphenol

Соединители SMPM привлекли внимание разработчиков изделий СВЧ-

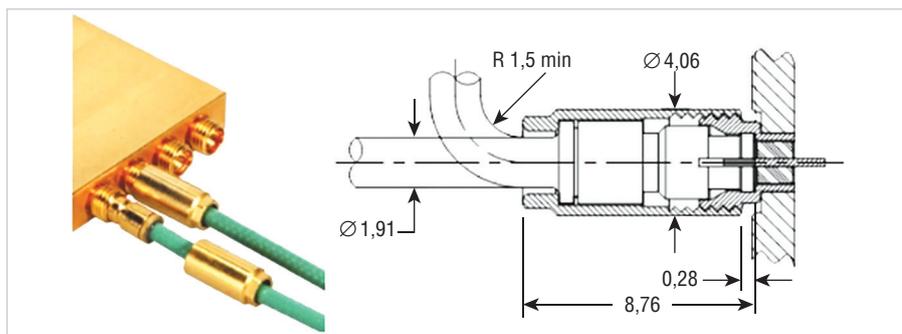


Рис. 3. Соединитель SMPM-T

Таблица 2. Резьбовые соединители SMPM компании SV Microwave/Amphenol

№ п/п	Обозначение соединителя	Тип соединителя	Параметры	Внешний вид
1	3221-60016	Прямая кабельная розетка для кабеля 0,085" (RG-405)	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...50) \sqrt{f} Потери на частоте, ф, ГГц – 0,07 \sqrt{f}	
2	3221-60017	Прямая кабельная розетка для кабеля 0,047"		
3	3222-40059	Угловая кабельная розетка для кабеля 0,085" (RG-405)	Рабочий диапазон частот: 0...26,5 ГГц. КСВН: 1,1 (DC...26,5)	
4	3222-40060	Угловая кабельная розетка для кабеля 0,047"		
5	3211-60298	Вилка для установки в отверстия печатной платы для скользящего соединения с розеткой	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...40) \sqrt{f} Потери на частоте, ф, ГГц – 0,07 \sqrt{f}	
6	3211-40121	Концевая вилка для скользящего соединения с розеткой		
7	1132-6108	Адаптер SMPM розетка – 2,92 мм розетка.	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...40) \sqrt{f} Потери на частоте, ф, ГГц – 0,07 \sqrt{f}	
8	1132-6109	Адаптер SMPM вилка – 2,92 мм розетка		

микроэлектроники ещё и потому, что они обеспечивают быстрое соединение печатных плат без применения радиочастотных кабелей с помощью адаптеров розетка-розетка «bullet». Для этого на каждой из соединяемых печатных плат устанавлива-

ют соединитель SMPM вилка, а соединение плат производят при помощи адаптера «bullet» с двумя цанговыми центральными проводниками, закреплёнными во фторопластовом изоляторе, установленном в корпусе адаптера (см. рис. 4) [1].

Адаптер «bullet» обеспечивает надёжное соединение и компенсирует радиальную и осевую несоосность до 0,25 мм соединителей SMPM вилка, установленных на печатных платах. Он является ключевым элементом при создании компактного соединения плат и модульных конструкций, так как его длина определяет расстояние между соединяемыми печатными платами. Поэтому для уменьшения расстояния между соединяемыми платами зарубежные компании стремятся максимально уменьшить длину адаптера «bullet» (см. табл. 3) [1, 7, 8].

Рекордсменом в области миниатюризации адаптеров «bullet» является компания SV Microwave/Amphenol [7–9]. В 2017 году эта компания сообщила о создании адаптера «bullet» с длиной корпуса всего 2,48 мм, обеспечивающего соединение плат, отстоящих друг от друга на расстояние 3 мм (мин. 2,88 мм, макс. 3,0 мм), для устройств с высокой плотностью компоновки. Однако, в отличие от стандартных адаптеров «bullet» розетка-розетка, разработанный компанией SV Microwave/Amphenol микроминиатюрный «bullet» является адаптером вилка-вилка. Это обусловлено конструктивной и технологической сложностью создания цанговых контактов розетки при таких малых размерах адаптера.

Конструкция адаптера вилка-вилка показана на рис. 5а [8]. Применение этого адаптера для соединения печатных плат потребовало полностью изменить конструкцию и технологию соединения. Были разработаны корпуса вилок (без изоляторов и цанговых центральных проводников), имитирующие интерфейсы полного защёлкивания и скользящего соединения, называемые Shroud: Shroud FD (Full Detend – полное защёлкивание) и Shroud SB (Smooth Bore – скользящее соединение). Корпуса Shroud изготовлены из пассивированной нержавеющей стали и имеют резьбовые отверстия для крепления винтами на печатные платы (см. рис. 5б,в) [7–9].

Shroud для скользящего соединения устанавливают на одной печатной плате, а Shroud для полного защёлкивания – на противоположной. Процесс соединения плат иллюстрируют рис. 6а, 6б. Для работы с адаптером «bullet» компания SV Microwave/Amphenol разработала специальный инструмент № 500-80-014 (см. рис. 6в). При соединении плат центральный проводник адаптера «bullet» непосредственно контактирует с микрополосковыми линиями печатных плат. Скользящее соединение обеспечивает

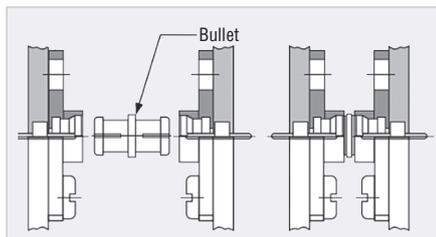


Рис. 4. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» и двух соединителей SMPM вилка

лёгкое рассоединение плат без применения специального инструмента. Поэтому при рассоединении плат адаптер «bullet» остаётся на плате соединённым с Shroud FD (для полного защёлкивания).

Соединение плат, расстояние между которыми 3 мм, при помощи адаптера «bullet» компании SV Microwave/Amphenol имеет следующие электрические параметры:

- рабочий диапазон частот DC...40 ГГц;
- КСВН в диапазоне частот DC...18 ГГц – 1,10, в диапазоне частот 18...40 ГГц – 1,30;
- величина вносимых потерь 0,30 дБ на частоте 18 ГГц и 0,60 дБ на частоте 40 ГГц.

Предложенное соединение обеспечивает указанные электрические параметры при осевом смещении Shroud и адаптера до 0,127 мм и радиальном смещении – до 0,18 мм при минимальном межцентровом расстоянии между соседними соединителями 3,81 мм. Допустимое количество соединений и рассоединений – 500. Рабочий диапазон температур от –65°С до +165°С. Такое соединение не требует операции пайки, и поэтому не повреждает платы и обеспечивает низкие усилия соединения и рассоединения плат.

Соединение плат с минимальным расстоянием между ними (3 мм) идеально подходит для использования в приложениях с высокой плотностью размещения печатных плат.

Заключение

Представленная в данной статье информация о соединителях компании SV Microwave/Amphenol является примером активной работы ведущих зарубежных компаний по совершенствованию радиочастотных соединений. Основная цель этой публикации – показать отечественным разработчикам одно из направлений работ в этой области.

Литература

1. Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехопо-

Таблица 3. Размеры адаптеров «bullet» зарубежных компаний

	Компании США				
	SV Microwave/Amphenol	Corning Gilbert	Micro Mode	Cristek	Delta
<p>Адаптер «bullet» розетка-розетка</p>	Размеры «bullet», мм				
	№ 3290-4003	L=5,3...16,4	L=4,5...22,9	L=4,1...16,5	L=5,33...8,0
	A=2,74, L=8,3				
	№ 3290-4002				
	A=2,74, L=5,36				
	№ 1132-4021				
A=2,41, L=4,57					
<p>Адаптер «bullet» вилка-вилка</p>	№ 1180-4010	-	-	-	-
	A=2,86, L=2,48	-	-	-	-

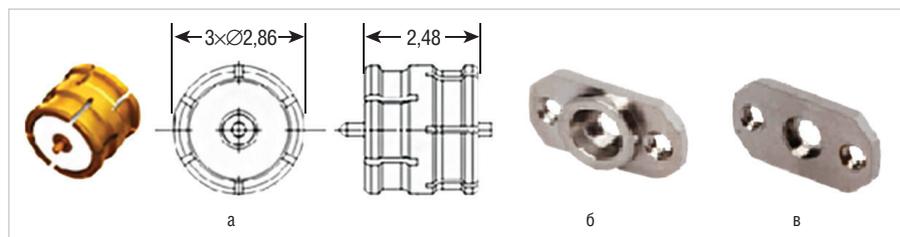


Рис. 5. Адаптер «bullet» № 1180-4010 компании SV Microwave/Amphenol (а), Shroud FD № 012-80-487/020 (б), Shroud SB № 012-80-488/020 (в)

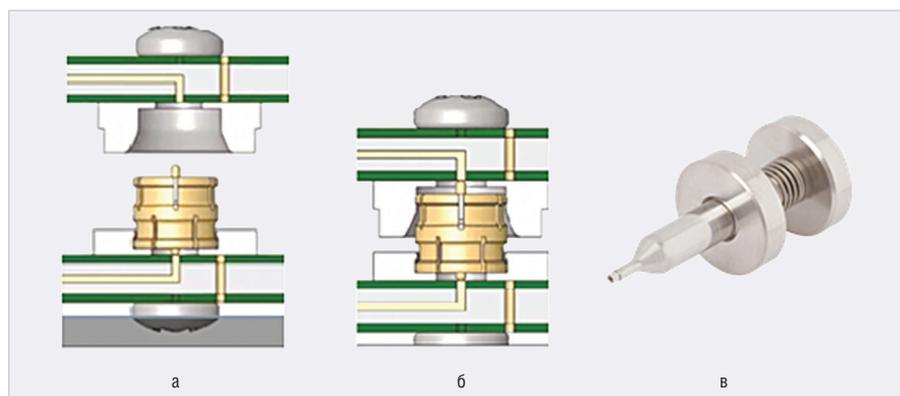


Рис. 6. Скользящее соединение адаптера «bullet» с нижней печатной платой (а), полное защёлкивание адаптера «bullet» с верхней печатной платой (б), инструмент для работы с адаптером «bullet» (в)

давляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014. 426 с.

2. Microwave Gilbert® Push-on Interconnects – Corning // URL: <https://www.corning.com>.

3. Джуринский К.Б. Соединители SMP с повышенной устойчивостью к вибрационным и ударным нагрузкам // Электроника НТБ. 2021. № 8. С. 88–90, 92, 94, 96, 98–100.

4. Weirback A. High density coaxial interconnect solution for space applications requiring high electrical stability. Huber+Suhner Astrolab, Inc. // URL: <https://escies.org>.

5. New Products | SV Microwave // URL: <https://www.svmicrowave.com>.

6. Threaded SMPM Connectors and Adapters SV Microwave // URL: <https://www.svmicrowave.com>.

7. SV’s New 3mm Board-to-Board Interconnect // URL: <https://www.svmicrowave.com>.

8. Amphenol/SV Microwave 3mm Board-to-Board Interconnects // URL: <https://www.mouser.com>.

9. Board-to-Board Connectors Product Roundup // URL: <https://connectorsupplier.com>.

