

# Адаптеры Bullet – ключевой элемент соединителей SMPM, SMPS и SM4P с предельной частотой до 100 ГГц

Кива Джуринский, Виктор Кустов

Рассмотрена история создания и необходимость применения фиксированных и подпружиненных адаптеров розетка – розетка Bullet с верхней частотой применения 65 ГГц и 100 ГГц. Объяснены причины появления аксиальной и радиальной несоосностей при соединении печатных плат и модулей СВЧ. Приведены виды и основные параметры адаптеров Bullet 18 зарубежных компаний США, Европы, Китая и Тайваня. Статья написана по материалам доступной зарубежной информации.

## 1. Введение

Первая публикация одного из авторов этой статьи об адаптерах Bullet (далее Bullet) датирована январём 2014 года [1]. В ней были подробно рассмотрены конструкция, параметры, области применения адаптеров типа GPO (SMP) с верхней частотой применения 40 ГГц многих зарубежных компаний.

С тех пор прошло 11 лет. Требования миниатюризации изделий СВЧ и повышения верхней частоты применения стали ещё более актуальными. В связи с этим всё больше начали применять миниатюрные аналоги соединителей GPO (SMP): GPPO (SMPM, Mini SMP) с верхней частотой применения 65 ГГц, изредка – G3PO с верхней частотой 100 ГГц. Ключевым элементом этих миниатюрных серий по-прежнему является адаптер розетка – розетка Bullet [2, 3].

Данная статья посвящена рассмотрению адаптеров Bullet, входящих в серии соединителей с верхней частотой применения 65 ГГц и 100 ГГц.



Рис. 1. Адаптеры Bullet компании Corning/Gilbert

## 2. Немного истории

История создания и эволюции соединителей SMP связана с компанией Gilbert Engineering [2]. В 1984 году эта компания разработала первый соединитель GPO (Gilbert Push-On) с предельной частотой 40 ГГц, в котором соединение вилки и розетки осуществлялось защёлкиванием (Push-On, Snap-On) разных вариантов: полное защёлкивание (Full Detent), ограниченное защёлкивание (Limited Detent) и упругое скольжение (Smooth Bore). В серию этих соединителей вошли и адаптеры Bullet.

В 1990 году эта компания создала миниатюрную (на 30%) версию соединителя GPO – соединитель GPPO с предельной частотой 65 ГГц. В 2003 году компания Gilbert Engineering, уже в составе компании Corning Inc., разработала третью версию соединителей Push-On – G3PO с предельной частотой 100 ГГц, на 45% миниатюрнее соединителей GPO.

Четвёртую версию – самые миниатюрные соединители G4PO с предельной частотой 60 ГГц – компания Corning Gilbert создала в 2010 году. Во все серии новых соединителей входят адаптеры Bullet (Blind Mate Interconnect). На рис. 1 показаны внешний вид адаптеров Bullet компании

Corning Gilbert, их обозначение и верхняя частота применения [2, 3].

В дальнейшем адаптеры GPPO и G3PO начали выпускать компании США, Европы и Юго-Восточной Азии, присваивая им свои фирменные названия: GPPO, SSMP, SMPM, Mini SMP; G3PO, SMPS, SMP3, WSMP, SMPW, Micro SMP; G4PO, SM4S. Общепринятое название соединителей – SMPM, SMPS и SM4S.

## 3. Необходимость в адаптерах Bullet с частотой 65 и 100 ГГц

Соединение двух печатных плат или модулей с помощью адаптеров Bullet SMPM и SMPS в диапазоне частот DC-65 ГГц и DC-100 ГГц происходит способом, предложенным более 40 лет тому назад американской компанией Gilbert (здесь и далее в тексте DC – Digital Current – постоянный ток) [1, 2]. Было найдено оптимальное решение: на каждой из соединяемых печатных плат или на выходе модулей устанавливали соединители вилка и производили соединение плат в диапазоне частот DC-40 ГГц при помощи адаптера розетка – розетка SMP Bullet (в переводе на русский язык – «пуля») без использования радиочастотных кабелей (рис. 2) [4]. Выбирая Bullet разной длины, можно было точно устанавливать расстояние между двумя платами.

При соединении плат и модулей центральные проводники вилок, установленных на каждую из плат или модулей, входят в цанговые контакты адаптера Bullet. При этом одну из вилок выполняют с полным или огра-

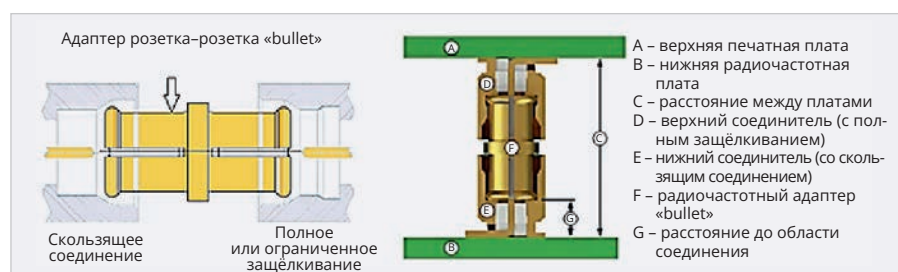


Рис. 2. Внешний вид SMP, SMPM и SMPS адаптеров Bullet

ническим защёлкиванием, а другую – с упругим скользящим соединением с Bullet. Поэтому при рассоединении с небольшим усилием Bullet оставался в вилке с защёлкиванием.

Однако развитие микроэлектроники СВЧ и создание сложных, многофункциональных устройств и многопортовых объединительных плат для повышения плотности компоновки и скорости передачи данных потребовало дальнейшей миниатюризации и повышения диапазона рабочих частот. Этим требованиям в полной мере отвечали созданные ранее соединители серий SMPM, SMPS, в состав которых входят адаптеры Bullet. Соединители SMPM на 30% миниатюрнее соединителей SMP и имеют предельную частоту 65 ГГц. Соединители SMPS на 45% миниатюрнее соединителей SMP, и их предельная частота 100 ГГц [3].

#### 4. Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet SMPM и SMPS

Внешний вид фиксированных и подпружиненных SMP-, SMPM- и SMPS-адаптеров Bullet показан на рис. 3 [4, 5]. Фиксированные адаптеры Bullet (Fixed Bullets – адаптеры фиксированной длины) обеспечивают стабильные параметры соединения с печатной платой, если радиальная и осевая несоосности не превышают 0,25 мм. В устройствах с осевым смещением более 0,25 мм фиксированный адаптер неизбежно создаёт зазор в сопрягаемом интерфейсе, что негативно сказывается на КСВН.

Подпружиненные адаптеры Bullet (Compressive, Spring Loaded Bullets) были разработаны для обеспечения стабильных электрических параметров независимо от уровня сжатия пружины. Подпружиненная конструкция обеспечивает более полное прилегание адаптера Bullet к соединителю

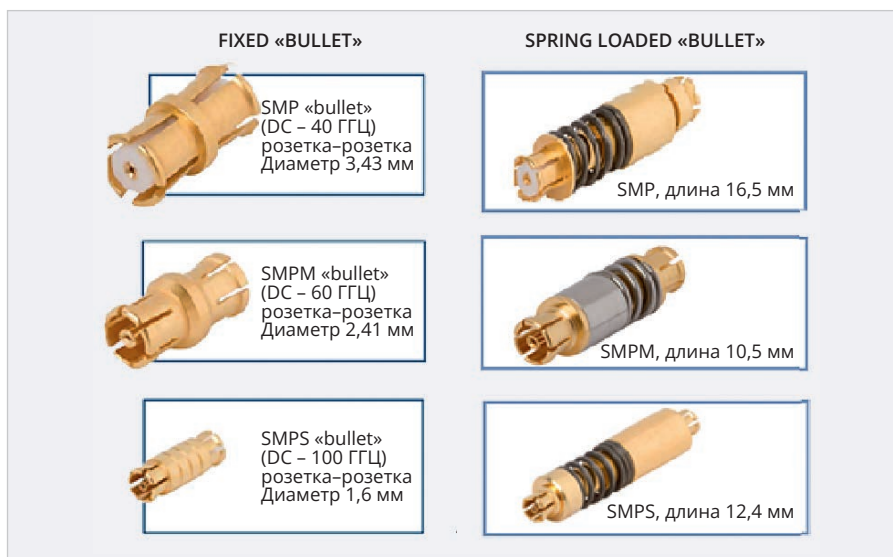


Рис. 3. Внешний вид SMP, SMPM и SMPS адаптеров Bullet

телям, установленным на печатной плате, и в модулях СВЧ.

Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet показаны на рис. 4 [4]. Подпружиненные адаптеры предназначены для компенсации большего осевого смещения при соединении радиочастотных плат, чем фиксированные адаптеры. Они обеспечивают постоянный контакт, что гарантирует стабильные электрические характеристики соединения. Благодаря способности компенсировать осевое смещение подпружиненные адаптеры SMPM чаще всего используются в групповых системах с высокой плотностью монтажа, где требуется много каналов.

#### Осевое и радиальное смещения при соединении печатных плат и модулей СВЧ

Из-за допусков на механическую обработку и установку соединителей расстояние между опорными плоскостями в разных местах платы различается. Чрезмерное осевое смещение может привести к ухудшению электрических характеристик, в то время как ограни-

ченное осевое расстояние создаёт проблемы при сборке. Для этого требуется адаптер, который может перемещаться в осевом направлении, чтобы обеспечить плотное прилегание электрической опорной плоскости (рис. 5) [4–6].

Способность адаптеров SMPM и SMPS сохранять электрические параметры при осевой и радиальной несоосности является одним из главных факторов их применения. При правильной установке адаптера и соединителей SMPM и SMPS выдерживаются гарантированные спецификациями осевая несоосность  $\pm 0,25$  мм и радиальная несоосность  $\pm 0,25$  мм (угол расхождения не более 3–4 градусов) [4–6].

Анализ совокупных допусков на размеры данного устройства необходим для выбора подходящего межплатного адаптера Bullet, поскольку он рассчитан на работу в пределах допустимых значений аксиального и радиального смещений. Если допуски на размеры находятся в пределах этих значений, электрические характеристики будут соответствовать спецификациям на адаптеры. Если допуски выходят

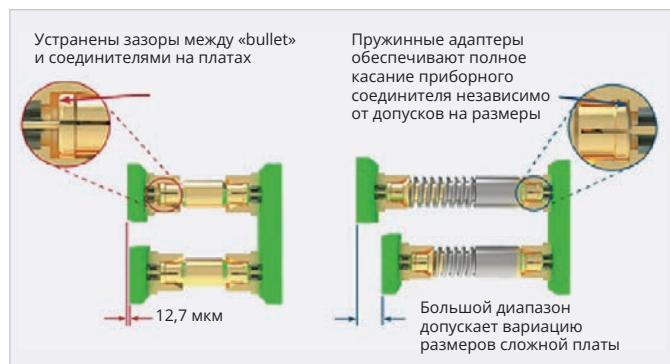


Рис. 4. Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet

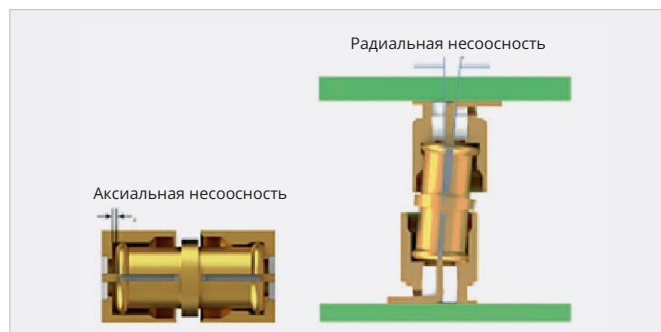


Рис. 5. Аксиальная и радиальная несоосности при соединении печатных плат с помощью адаптера Bullet

Таблица 1. Компании – производители адаптеров Bullet, количество фиксированных и подпружиненных адаптеров SMPM и SMPS типов

№ п/п	Наименование компании	Страна	Типы адаптеров Bullet				Источник
			SMPM, SM3P		SMPS, MSSS, SMPW		
			Фиксированные	Подпружиненные	Фиксированные	Подпружиненные	
1	Corning/Gilbert	США	5	7	3	1	[2]
2	Micro-Mode		11	4	22	5	[7]
3	SV Microwave		5	6	–	3	[8]
4	Amphenol		13	–	4	–	[9, 10]
5	Cristek		5	2	–	–	[11]
6	Samtec		4	2	–	–	[12]
7	Delta		11	–	–	–	[13]
8	Cinch		3	–	–	–	[14]
9	Southwest Microwave		9	–	–	–	[15]
10	Carlisle		2	8	–	–	[16]
11	Molex		16	–	–	–	[17]
12	Dynawave		11	–	3	–	[18]
13	Radiall	Франция	–	–	4	1	[19]
14	Rosenberger	Германия	4	–	5	–	[20, 21]
15	Xian Elite	Китай	6	–	–	–	[22]
16	RF Teleworld		9	–	–	–	[23]
17	Jyebao	Тайвань	3	1	–	–	[24]
18	Huang Liang		3	–	–	–	[25]

Примечание: в табл. 1 не включены адаптеры Bullet G4PO, которые выпускают всего две компании (Corning/Gilbert-9, показаны на рис. 6), и Micro-Mode (1)

Таблица 2. Параметры адаптеров Bullet компании Corning/Gilbert

Типы соединителей	GPPO (SMPM)	G3PO (SMPS)	(G4PO MM4S)
Верхняя частота применения, ГГц	65	100	60
Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	1,1 (DC-26,5) 1,3 (26,5–50)	1,1 (DC-26,5) 1,25 (26,5–65)	1,15 (DC-15) 1,25 (15–60)
Величина потерь в зависимости от частоты f (ГГц)	≤ 0,04/f	≤ 0,03√f	≤ 0,03√f
Напряжение пробоя (на уровне моря), В	335	250	250
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	5000	3500	3500
Сопротивление, МОм, не более: наружного проводника внутреннего проводника		2,0 6,0	
Диапазон рабочих температур, °С		–65...+165	
Экранное затухание, дБ (для пары соединителей)		–80	
Допустимое количество соединений и разъединений не менее:			
полное защелкивание	100	100	100
ограниченное защелкивание	500	–	–
скользящее соединение	1000	500	500
Усилия соединения/разъединения, Н:			
полное защелкивание	31,2/40,2	11,2/20,1	28,9/9,8
ограниченное защелкивание	22,3/31,2	–	–
скользящее соединение	13,4/2,23	5,27/4,45	8,9/6,7
Несоосность, мм:			
радиальная		±0,025	
аксиальная		0,025	

за пределы этих уровней, возможны ухудшение КСВН и потеря мощности.

### 5. Адаптеры Bullet SMPM и SMPS зарубежных компаний

В табл. 1 приведены данные о фиксированных и подпружиненных адаптерах Bullet SMPM и SMPS, выпускаемых зарубежными компаниями.

Покрытие всех адаптеров Bullet – износостойкое золото по подслоям химического никеля и меди.

#### Corning/Gilbert

На рис. 6 показан внешний вид адаптеров Bullet этой компании [2].

Разработаны и выпускаются все необходимые фиксированные и подпружиненные адаптеры, включая

адаптер G4PO (5 модификаций) с верхней частотой применения 110 ГГц. Параметры адаптеров Bullet приведены в табл. 2 [2].

Длина фиксированных адаптеров Bullet: 4,2 мм, 4,6 мм, 4,8 мм, 5,0 мм, 8,3 мм. Длина подпружиненных адаптеров Bullet – от 16,5 до 25,7 мм [8]. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet предназначены для работы в диапазоне частот DC-65 ГГц, максимальный КСВН на частотах до 50 ГГц равен 1,3. Диапазон рабочих частот подпружиненных адаптеров Bullet – DC-40 ГГц, в этом диапазоне частот максимальный КСВН равен 1,4, величина потерь не превышает 0,5 дБ [8].

Кроме того, разработаны 3 модификации подпружиненных SMPS-адаптеров Bullet с предельной частотой 32 ГГц.

#### Micro-Mode

Компания Micro-Mode выпускает рекордно большое количество адаптеров Bullet розетка – розетка (в скобках указана верхняя частота применения, ГГц): SMPM (75) – 15; MSSS (75) – 26; MM4S (110) – 1; SMPS (110) – 1 [7]. Наряду с фиксированными адаптерами Bullet разработаны 9 модификаций подпружиненных адаптеров разной длины: от 2,5 до 5,05 мм – 10; от 5,1 до 7,6 мм – 18; от 7,6 до 10,1 мм – 18; от 10,2 до 12,7 мм – 9; от 12,7 до 15,2 мм – 14; от 15,2 до 17,7 мм – 3; от 17,8 до 20,3 мм – 5; от 20,4 до 25,4 мм – 3. Всего 80 модификаций адаптеров Bullet всех типов, включая и адаптеры SMP (MMSP) [7].

#### SV Microwave (входит в состав компании Amphenol)

Эта компания разработала 5 фиксированных и 6 подпружиненных SMPM-адаптеров Bullet. Длина фиксированных адаптеров Bullet: 4,2 мм, 4,6 мм, 4,8 мм, 5,0 мм, 8,3 мм; подпружиненных адаптеров Bullet – от 16,5 до 25,7 мм [8]. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet предназначены для работы в диапазоне частот DC-65 ГГц, максимальный КСВН на частотах до 50 ГГц равен 1,3. Диапазон рабочих частот подпружиненных адаптеров Bullet – DC-40 ГГц, в этом диапазоне частот максимальный КСВН равен 1,4, величина потерь не превышает 0,5 дБ [8].

Кроме того, разработаны 3 модификации подпружиненных SMPS-адаптеров Bullet с предельной частотой 32 ГГц.

#### Amphenol

Компания Amphenol разработала 13 модификаций SMPM-фиксированных адаптеров Bullet длиной от 5,3 до



Рис. 6. Адаптеры Bullet типов GPPO, G3PO и G4PO компании Goring/Gilbert

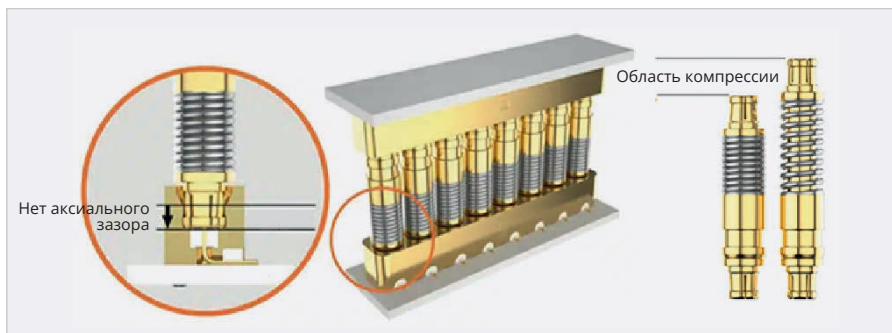


Рис. 7. Подпружиненные адаптеры Bullet SMPM компании Samtec для компактного многорядового применения

13,3 мм [9, 10]. В диапазоне частот DC-65 ГГц максимальный КСВН равен 1,35, потери рассчитывают как  $0,1\sqrt{f}$ , где  $f$  – частота в ГГц, допустимая пропускаемая мощность 16 Вт на частоте 1 ГГц [9]. Половина этих адаптеров являются немагнитными [9, 10]. Созданы также 4 SMPS-адаптера длиной 2,5 мм, 3,9 мм, 5,1 мм и 11,8 мм. В диапазоне частот DC-40 ГГц они имеют КСВН не более 1,5, потери  $\leq 0,03\sqrt{f}$ , рабочее напряжение – 250 В.

**Cristek**

Эта компания выпускает 5 фиксированных адаптеров SMPM длиной 4,1 мм, 4,2 мм, 5,33 мм, 8,86 мм и 12,7 мм и 2 подпружиненных адаптера длиной 12,2 мм и 15,2 мм [11]. Адаптеры имеют следующие параметры: верхняя частота применения 65 ГГц, рабочее

напряжение на уровне моря – 335 В, на высоте 21,3 км – 65 В, экранное затухание составляет –80 дБ на частоте 3 ГГц и –65 дБ на частоте 26,5 ГГц. Адаптеры Bullet с предельной частотой 100 ГГц эта компания не производит.

**Samtec**

Компания Samtec разработала 4 фиксированных адаптера SMPM длиной: 4,22 мм, 5,33 мм, 8,31 мм и 12,7 мм и 2 подпружиненных адаптера длиной 9,65 и 13,96 мм. Рабочий диапазон частот SMPM адаптеров Bullet – DC-65 ГГц, максимальный КСВН – 1,4. Стандартное расстояние между каналами 3,56 мм, диапазон частот – DC-65 ГГц.

На рис. 7 показано применение SMPM-адаптеров Bullet в групповых системах с высокой плотностью монтажа [12].

**Delta Electronics**

В номенклатуре продукции этой компании фиксированные адаптеры Bullet двух серий: SMPM и SMP3 [12]. Серия SMPM состоит из 6 адаптеров длиной от 4,2 мм до 8,0 мм. Расстояние между адаптерами при установке в ряд – 3,1 мм [13].

В серию SMP3 входят 6 адаптеров Bullet длиной от  $2,5 \pm 0,3$  мм до  $12,7 \pm 0,3$  мм. Рабочий диапазон частот – DC-65 ГГц, максимальный КСВН равен 1,5, рабочее напряжение 250 В. Подпружиненные адаптеры эта компания не производит.

**Компания Cinch Connectivity Solutions**

Компания Cinch Connectivity Solutions предлагает два SMPM-адаптера Bullet длиной 5,33 мм и 6,5 мм. Эти адаптеры работают в диапазоне частот DC-67 ГГц с КСВН не более 1,45, величиной потерь  $0,1\sqrt{f}$ , с рабочим напряжением 325 В и экранным затуханием –65 дБ на частоте 3 ГГц. Кроме того, компания выпустила SMP3 адаптер Bullet вилка – вилка длиной 2,46 мм. В диапазоне частот DC-67 ГГц КСВН адаптера не превышает 1,4, рабочее напряжение составляет 250 В [14].

**Southwest Microwave. Microwave Products Division (MPD)**

Эта компания разработала 8 миниатюрных адаптеров Bullet типа SSBB (Board-to-Board Connectors) для диапазона частот DC-67 ГГц [15]. Адаптеры имеют длину от 2,62 мм до 11,48 мм. Кроме того, создан миниатюрный адаптер вилка – вилка длиной 2,1 мм для соединения печатных плат, расположенных между собой на расстоянии 3 мм. Компания Southwest Microwave усовершенствовала конструкцию розетки и вилки соединителей SSBB, что увеличило срок службы и повысило устойчивость к ухудшению качества радиосигнала. Адаптеры SSBB применяют для оборонных, космических, коммуникационных, сетевых и тестовых приложений.

**Carlisle Interconnect Technologies (Carlisle)**

Компания Carlisle разработала 2 фиксированных SMPM-адаптера Bullet одинаковых размеров (длина 5,33 мм), отличающихся только количеством ламелей на корпусе (6 и 4).

Кроме того, созданы 6 подпружиненных SMPM-адаптеров Bullet длиной от 10,85 до 15,24 мм (рис. 8) [16]. SMPM-адаптеры Bullet имеют следующие основные параметры: диапазон



Рис. 8. Фиксированный (а) и подпружиненный (б) SMPM-адаптеры Bullet

рабочих частот – DC-65 ГГц, КСВН равен  $1,02 + 0,012 f$ ; величина потерь  $0,04\sqrt{f}$ , дБ; рабочее напряжение – 325 В; усилия соединения/рассоединения (Н): 28,9/17,8 (соединение защёлкиванием), 11,2/6,7 (скользящее соединение); диапазон рабочих температур – от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+165^{\circ}\text{C}$ ; аксиальная несоосность 0,00/0,25 мм, радиальная несоосность  $\pm 0,25$  мм.

**Molex LLC (Molex)**

Компания Molex выпускает 15 фиксированных SMPM-адаптеров Bullet длиной от 5,33 до 23,80 мм для диапазона частот DC-65 ГГц [17]. Кроме того, создан адаптер Bullet в этом же диапазоне частот длиной 6,6 мм несколько другого внешнего вида, имеющий следующие параметры: КСВН в диапазоне частот DC-50 ГГц не более 1,35, рабочее напряжение 250 В на уровне моря и 42 В на высоте 21,3 км, усилия соединения/рассоединения (Н): 35,6/13,4 (для полного защёлкивания), 17,8/2,0 (для скользящего соединения), рабочее напряжение 335 В.

**Dynawave, Inc. (Dynawave)**

Эта компания является производителем фиксированных адаптеров Bullet двух типов: SMPM и SMPS [18]. Разработаны адаптеры SMPM, длиной от 4,2 до 15,2 мм – 11 модификаций, имеющие следующие параметры: диапазон рабочих частот DC-50 ГГц; КСВН в диапазоне частот DC-40 ГГц – 1,45; величина потерь  $0,1\sqrt{f}$ , дБ; экранное затухание –80 дБ на частоте 3 ГГц; допустимая пропускная мощность 350 Вт на частоте 1 ГГц и 60 Вт на частоте 20 ГГц; рабочее напряжение 170 В; усилия соединения/рассоединения, Н, 28,9/26,7 (полное защёлкивание) и 6,7/2,2 (скользящее соединение), допустимые аксиальная несоосность 0,25 мм, радиальная несоосность:  $\pm 0,25$  мм.

Адаптеры Bullet SMPS 3 модификаций имеют длину 4,8 мм, 6,5 мм и 12,8 мм. Их диапазон рабочих частот DC-60 ГГц; КСВН в рабочем диапазоне частот равен 1,44, потери  $0,1\sqrt{f}$ , дБ; экранное затухание –80 дБ на частоте 3 ГГц и –65 дБ в диапазоне частот

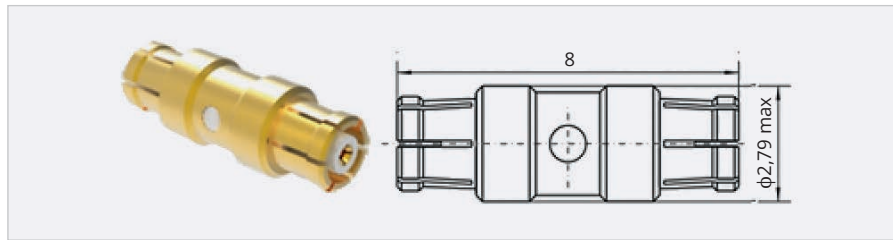


Рис. 9. Адаптер Bullet SSMP-KK240 компании Xian Elite

(3...26,5) ГГц. Допустимая пропускная мощность 100 Вт на частоте 2,5 ГГц.

**Radiall Co.**

Компания Radiall разработала сверхминиатюрный коаксиальный адаптер Bullet SMPW с предельной частотой 100 ГГц, совместимый с адаптером G3PO. Для достижения более высокой надёжности и стабильной работы всех соединителей SMPW компания Radiall усовершенствовала конструкцию и технологию изготовления, используя помещения с контролируемой атмосферой, предназначенные для микрообработки и процессов нанесения покрытий [19]. SMPW Bullet имеет следующие основные параметры: рабочий диапазон частот DC-100 ГГц, КСВН в диапазоне частот DC-65 ГГц менее 1,25; величина потерь  $0,12\sqrt{f}$ , дБ; усилия соединения/рассоединения (Н): 4 макс / 6,5 мин (для соединения защёлкиванием), 2,2 макс / 1,0 мин (для скользящего соединения).

Разработаны 3 фиксированных адаптера Bullet SMPM длиной от 5,33 мм до 8,5 мм и один подпружиненный адаптер. SMPM Bullet работают в диапазоне частот DC-65 ГГц, КСВН в диапазоне частот DC-40 ГГц менее 1,35, потери  $0,1\sqrt{f}$ , дБ, рабочее напряжение 335 В, усилия соединения/рассоединения (Н), 20/30 (для соединения защёлкиванием), 11/9 (для скользящего соединения).

**Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG (Rosenberger)**

Несомненным достижением компании Rosenberger является разработка адаптеров Bullet WSMP: одного подпружиненного длиной 12,7 мм и 9 фиксированных адаптеров длиной от 2,49 мм до 15,24 мм [20, 21]. Адаптеры WSMP предназначены для работы в диапазоне частот DC-100 ГГц с максимальным КСВН во всём рабочем диапазоне частот, равным 1,67, величиной потерь  $0,12\sqrt{f}$ , дБ; рабочим напряжением 250 В и экранным затуханием –80 дБ на частоте 3 ГГц. Усилия соединения/рассоединения (Н): 11/20 (для соединения защёлкиванием), 5,3/4,45 (для скользящего соединения). Допустимые

аксиальная несоосность 0,13 мм, радиальная несоосность  $\pm 0,25$  мм.

Кроме того, были разработаны фиксированные SMPM (Mini SMP) адаптеры Bullet, обеспечивающие расстояние между соединяемыми платами от 8,0 мм до 13,73 мм. Рабочий диапазон частот адаптеров DC-65 ГГц, максимальный КСВН равен 1,5, величина потерь  $0,12\sqrt{f}$ , дБ, рабочее напряжение 325 В, экранное затухание –85 дБ на частоте 3 ГГц, допустимая пропускная мощность 50 Вт на частоте 2,2 ГГц. Усилия соединения/рассоединения (Н): 19/23 (для соединения защёлкиванием), 11/7,5 (для скользящего соединения). Допустимые аксиальная несоосность 0,13 мм, радиальная несоосность  $\pm 0,25$  мм.

**Xian Elite Electric Industry Co., Ltd. (Xian Elite)**

Компания Xian Elite выпускает 7 адаптеров SSMP розетка – розетка Bullet длиной от 4,0 мм до 23,1 мм для диапазона частот DC-50 ГГц [22]. КСВН адаптеров в диапазоне частот DC-18 ГГц менее 1,25, в диапазоне (18...26,5) ГГц менее 1,3, в диапазоне (26,5...40) ГГц менее 1,4 и в диапазоне (40...50) ГГц не более 1,5, рабочее напряжение 335 В, напряжение пробоя 500 В, сопротивление изоляции более 2000 МОм. Адаптер SSMP-KK 240 длиной 8 мм имеет в центре корпуса круглое отверстие, через которую виден фторопластовый изолятор (рис. 9) [22].

**Shenzhen Teleworld Microwave Co., Ltd. (RF Teleworld)**

Вторая китайская компания выпускает большое количество фиксированных и подпружиненных адаптеров Bullet SMPM с предельной частотой 40 и 50 ГГц, совместимых с аналогами типа GPP0. Конструкция фиксированных адаптеров обеспечивает прочное закрепление внутри корпуса фторопластового изолятора и установленных в нём центральных проводников (рис. 10) [23].

Разработаны 9 модификаций фиксированных адаптеров разной длины: от 4,0 до 16,5 мм. Кроме того, созданы 14 модификаций подпружиненных адаптеров длиной от 9,5 до 20 мм.

**Jyebao Co., Ltd. (Jyebao)**

Эта известная компания разработала 4 адаптера розетка – розетка Bullet: три фиксированных и один подпружиненный [24]. Фиксированные адаптеры доступны в формате 5,33 мм, 5,59 мм и 13,97 мм, подпружиненный адаптер является аналогом адаптера № 1132–4113 компании SV Microwave. Все адаптеры компании Jyebao имеют одинаковые параметры: КСВН равен 1,2 (DC-27 ГГц), 1,25 (27...40 ГГц), 1,35 (40...50 ГГц) и 1,6 (50...65 ГГц), величина потерь 0,1 дБ, рабочее напряжение 335 В, диапазон рабочих температур: –65...+165°C. Усилия соединения/рассоединения (Н) 57,8/22,2 для полного защёлкивания, 44,5/8,91 (для ограниченного защёлкивания) и 8,9/2,2 (для скользящего соединения).

**Huang Liang**

Известная тайваньская компания выпускает большое количество фиксированных и подпружиненных SMP-адаптеров Bullet и лишь три адаптера SSMP (SMPM) в диапазоне частот DC-50 ГГц. Адаптер длиной 4,8 мм имеет КСВН менее 1,5, потери 0,7 дБ макс. и рабочее напряжение 170 В [25].

Адаптер длиной 8,49 мм имеет КСВН менее 1,58, потери 0,9 дБ макс. и рабочее напряжение 335 В. Усилия соединения и рассоединения (Н): 19,1/11,12 (для полного защёлкивания) и 16,9/6,7 (для скользящего соединения). Адаптер длиной 18,7 мм имеет КСВН менее 1,6, потери 0,9 дБ макс., рабочее напряжение 335 В, усилия соединения и рассоединения (Н): 22,5/8,9 (для полного защёлкивания) и 11,1/2,2 (для скользящего соединения), диапазон рабочих температур: –55...+155°C.

## 6. Преимущества и области применения соединений плат и модулей СВЧ с помощью адаптеров Bullet

Такие соединения имеют невысокие вносимые потери в мм-диапазоне частот и обеспечивают высокоскоростную передачу данных. Применение адаптеров Bullet позволяет устанавливать желаемое расстояние между платами и модулями и учитывать смещения в расположении плат, что имеет решающее значение в компактных или многоплатных конструкциях. Важное значение имеет компактность конструкции и возможность использования в условиях ограниченного пространства и в случае большого количества соединений на небольшой площади. Кро-

ме того, быстроразъёмное соединение обеспечивает быстрое подключение без использования инструментов.

Области применения: телекоммуникационные и базовые станции, серверные системы и системы хранения данных, электронные устройства СВЧ высокой сложности, выполняющие множество функций, антенны, военное и аэрокосмическое применение.

**Заключение**

Представленный обзор зарубежных адаптеров розетка – розетка Bullet не претендует на исчерпывающую полноту. Вне его оказались несколько компаний либо из-за недоступности информации, либо из-за слишком малого количества выпускаемых адаптеров. Следует подчеркнуть, что большинство компаний приводят параметры адаптеров с верхней частотой применения 100 ГГц лишь в диапазоне частот DC-65 ГГц. Это может быть, связано с отсутствием дорогостоящих векторных анализаторов в диапазоне частот DC-110 ГГц.

В нашей стране диапазон частот 65–100 ГГц пока ещё мало востребован. Этим, возможно, объясняется отсутствие работ по созданию серий соединителей, совместимых с соединителями серии SMPS, включая и адаптеры Bullet.

**Литература**

1. Джуринский К.Б. SMP-адаптер Bullet – ключевой элемент в соединениях плат и модулей // Компоненты и Технологии. 2014. № 1. С. 75–80.
2. Microwave Connectivity | GPO, GPPO, G3PO. URL: <https://www.corning.com>.
3. Джуринский К.Б. Радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. М.: ВАШ ФОРМАТ, 2024. 380 с.
4. Board-to-board Connector Basics – Misalignment, Spring and Fixed Bullets and Multi-Mating. URL: <https://www.electropages.com/2025/05/board-board-connector-basics-misalignment-spring-and-fixed-bullets-and-multi-mating>.
5. 5G Extreme Performance Catalog. Application Notes. URL: <http://www.svmicrowave.com>.
6. Board-to-Board RF Connectors Product Portfolio. URL: <https://www.tti.com/content/ttiinc/en.html>.
7. Bullet Length. URL: <https://micromode.com/product-category/blindmate-connectors/bullets/>.
8. SMP and SMPM Fixed Bullets. SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.



Рис. 10. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet компании RF Teleworld

9. SMPM Product Series Solutions Guide Catalog. URL: [https://www.amphenolrf.com/library/download/link/link\\_id/600376/](https://www.amphenolrf.com/library/download/link/link_id/600376/).
10. SMPM Interconnect Series. Amphenol CIT. URL: <https://www.amphenol-cit.com>.
11. Microwave Products Catalog. Benchmark Connector. URL: <https://www.benchmarkconnector.com>.
12. Samtec Released its Line of Spring-loaded SMPM Adaptors. URL: <https://inter-connection.eu/samtec-released-its-line-of-spring-loaded-smpm-adaptors/>.
13. Catalogs – Delta. Delta Electronics Manufacturing Corporation. URL: <https://www.deltarf.com>.
14. RF & Microwave Adapters. Cinch Connectivity Solutions. URL: <https://www.cinch.com>.
15. Board-to-Board Connectors (SSBB) DC to 67 GHz. Southwest Microwave. URL: <https://mpd.southwestmicrowave.com>.
16. SMPM Interconnect Series. Carlisle Interconnect Technologies. URL: <https://www.amphenol-cit.com/wp-content>.
17. SMPM RF Blind-Mate Connectors. Molex. URL: <https://www.molex.com>.
18. New Catalog Backup special 040919. indd. Dynawave. URL: <https://www.dynawave.com>.
19. SMPM – RF Coaxial Connectors Radiall. URL: <https://www.radiall.com>.
20. Layout 1. Rosenberger North America. URL: <https://www.rfmw.com/datasheets/rosenberger/2020%20wsmp.pdf>.
21. SMP, Longwipe-SMP, Mini-SMP Rosenberger. URL: <https://rfcomponents.ru/ROSENBERGER/4.pdf>.
22. Mini SMP Bullet RF Adapter Connector Female Mini SMP. URL: <https://russian.rf-coaxialconnector.com>.
23. SSMP GPPO Compressible Adapter Connector 40 GHz, 50 GHz/ Shenzhen Teleworld Microwave Co., Ltd. URL: <https://www.teleworldrf.com>.
24. RF Adaptors. JYEBAO Co., Ltd. URL: <https://www.jyebao.com.tw>.
25. Huang Liang Technologies offers SMPM connectors. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com>.

