

# Соединители SMA с предельной частотой до 27 ГГц

Кива Джуринский (г. Москва)

Автор выражает благодарность М.В. Чебунину за полезные критические замечания.

В статье приведён краткий обзор миниатюрных соединителей с предельной рабочей частотой до 27 ГГц, производимых зарубежными компаниями.

## ВВЕДЕНИЕ

Соединители SMA были созданы более полувека тому назад, однако работы по их совершенствованию не прекращаются до настоящего времени. Основной целью этих работ являются расширение диапазона рабочих частот, снижение величины экранного затухания, повышение жёсткости конструкции и улучшение воспроизводимости параметров. Были созданы соединители SMA, предельную рабочую частоту которых удалось повысить с 18 до 27 ГГц. При этом интерфейсы соединителей с расширенным частотным диапазоном и стандартных соединителей SMA аналогичны и соответствуют стандарту MIL-STD-348A.

Соединители SMA были созданы в США в конце 1950-х – начале 1960-х годов. В 1958 году Джеймс Чейл (James Cheal) из Bendix Research Laboratories (США) создал соединитель BRM (Bendix Real Miniature Connector). Усовершенствование этого соединителя было продолжено американской компанией Omni Spectra (ныне входит в корпорацию Tyco). Созданный ею в 1962 году соединитель получил название OSM (Omni Spectra Miniature) и был предназначен для работы с полужёстким кабелем 0,141", центральный проводник которого служил центральным выводом соединителя. С 1968 года этот соединитель под названием SMA (Subminiature A) выпускается по стан-

дарту MIL-C-39012 для использования в военной аппаратуре. Герметичные соединители SMA появились в 1963 году. Первым применением соединителей SMA и полужёстких кабелей была радарная система, созданная лабораторией прикладной физики университета J. Hopkins и фирмой Westinghouse.

В соединителях SMA с волновым сопротивлением 50 Ом, в соответствии с международными стандартами IEC 60169-15, EN122110 и CECC 2210/11, применены коаксиальная линия с размерами 4,1 / 1,27 мм, заполненная фторопластом, и резьбовое соединение вилки и розетки (резьба 0,250–36UNS) (см. рис. 1).

Теоретическая предельная частота, при которой в такой коаксиальной линии ещё не возникают нежелательные волны высшего типа, составляет 26,5 ГГц. Однако на практике ограничения возникают уже при 22 ГГц, а гарантированной предельной частотой соединителей SMA принято считать 18 ГГц [1].

Кабельные соединители SMA с корпусом из нержавеющей стали, согласно стандартам MIL-PRF-39012 (Stainless Steel SMA Specification), имеют следующие основные параметры:

- волновое сопротивление 50 Ом;
- рабочий диапазон частот 0–18 ГГц (для полужёсткого кабеля 0,141") и 0–12,4 ГГц (для гибкого кабеля);
- КСВН прямых и угловых соединителей в зависимости от марки кабеля:
  - (прямой, кабель 0,141") –  $(1,05 + 0,005f)$ , ( $f$  – частота, ГГц, здесь и далее по тексту);
  - (угловой, кабель 0,141") –  $(1,10 + 0,01f)$ ;
  - (прямой, кабель RG-55, RG-122, RG-178) –  $((1,15...1,20) + (0,011...0,025)f)$ ;
  - (угловой, RG-55, RG-122, RG-178) –  $((1,15...1,20) + (0,02...0,03)f)$ ;
- экранное затухание –60 дБ, минимум;
- высокочастотные потери  $0,03\sqrt{f}$  дБ;
- сопротивление изоляции более 5000 МОм;

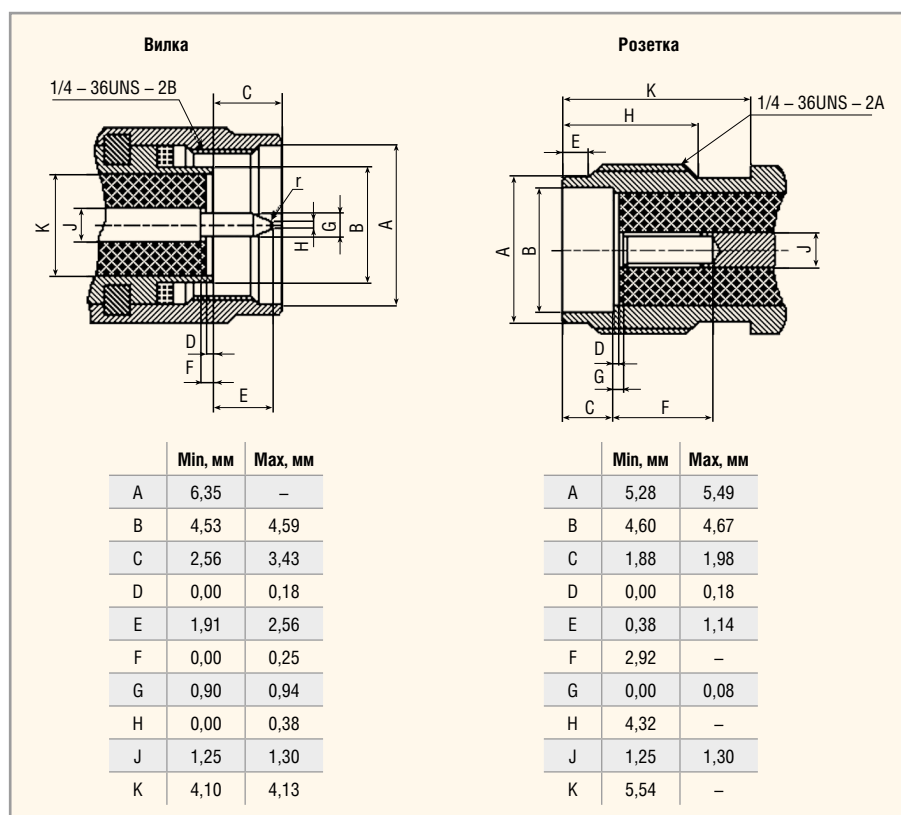


Рис. 1. Интерфейс вилки и розетки соединителя SMA



Рис. 2. «Составные» соединители SMA с расширенным частотным диапазоном

- рабочее напряжение 335 В и 500 В для кабелей разных марок;
- сопротивление контактов (центрального и наружного) 2 мОм;
- рекомендуемый момент затяжки накидной гайки вилки 0,8–1,1 Нм;
- гарантированное количество циклов соединения и разъединения 500;
- диапазон рабочих температур –65...+165°С.

Работы по созданию соединителей SMA с предельной частотой до 27 ГГц проводились по нескольким направлениям:

- изменение внутренней геометрии соединителя за счёт применения изолятора с меньшей, чем у фторопласта, диэлектрической проницаемостью, для уменьшения размеров коаксиальной линии соединителя.

Это позволяет не только расширить частотный диапазон соединителя, но и увеличить ширину области контакта розетки (половина разности диаметра А и наружного диаметра изолятора (см. рис. 1)) с ответным соединителем (вилкой) и повысить жёсткость конструкции;

- оптимизация конструкции соединителя с использованием различных компьютерных программ. Переход от «гладкой» (без ступенек) к ступенчатой коаксиальной линии соединителя;
- повышение точности размеров и чистоты обработки волноводящего канала соединителя (прецизионные соединители);
- применение неразрезных цанговых контактов.

Зарубежные компании-производители соединителей с расширенным до 27 ГГц частотным диапазоном, а также фирменные обозначения этих соединителей перечислены в таблице 1. В таблицу 1 не вошли несколько компаний (United Microwave Products, США, Xmultiple Technologies, США, KJ Comtech, Корея и некоторые другие), информация которых о выпускаемых ими соединителях была недостаточной.

Зарубежные компании разработали соединители SMA с расширенным частотным диапазоном всех типов: разнообразные кабельные, СВЧ-вводы проходные и панельные, для установки на печатные платы. Большую часть этих соединителей составляют коаксиально-микрополосковые переходы, т.н. «составные» соединители (собственно соединитель и СВЧ-ввод), заменяемые в полевых условиях (field replaceable connectors) [2] (см. рис. 2). Главное достоинство составных соединителей – возможность замены без разгерметизации изделия. Разработанные соединители полностью совместимы со всеми другими соединителями SMA, а также с соединителями 3,5 мм и 2,9 мм.

Большинство компаний, перечисленных в таблице 1, не раскрывают, каким образом им удалось повысить предельную частоту соединителей SMA. Исключением, пожалуй, является компания Southwest Microwave.

### Компания Southwest Microwave

В 1987 году в американской компании Southwest Microwave, Inc. было соз-

Таблица 1. Компании-производители соединителей SMA с предельной частотой до 27 ГГц

№ пп	Компании	Краткое название компании	Фирменное обозначение соединителей
1	Southwest Microwave, Inc. (Microwave Products Division), США www.southwestmicrowave.com	Southwest Microwave	Syper SMA
2	Precision Connector, Inc., США www.precisionconnector.com	PCI	SMA HF Interface
3	Carlisle Interconnect Technologies, США www.carlisleit.com	Carlisle	EPSMA
4	Giga Lane Co., Ltd., США www.gigalane.com	Giga Lane	High performance SMA
5	San-Tron Inc., США www.santron.com	San-Tron	SMA
6	Molex Incorporated (Molex RF/Microwave), США www.molex.com	Molex	Optimized MA
7	Applied Engineering Products, США www.aepconnectors.com	AEP	SMA hermetic seal launchers
8	Delta Electronics Manufacturing, США www.deltarf.com	Delta	Extended-Frequency SMA SMA 26,5 GHz, SMA 27 GHz
9	Microwave Town Company LLC, США. www.microwavetown.com	MT	SMA 27 GHz
10	SigaTek Microwave Communication Components, США www.sigatek.com	SigaTek	SMA DC – 27 GHz
11	Cristek Interconnects Inc. www.cristek.com	Cristek	SMA
12	Dynawave Inc., США www.dynawave.com	Dynawave	SMA Field Replaceable
13	Emerson Network Power /Johnson Connectivity Solution www.EmersonNetworkPower.com	Emerson/Johnson	SMA HF
14	SRI Connector Gage Co., США www.sriconnectorgage.com	SRI Connectors	SMA 27 GHz
15	Fairview Microwave Inc., США www.fairviewmicrowave.com	Fairview	SMA 27 GHz
16	Huber+Suhner AG, Швейцария www.hubersuhner.com	Huber+Suhner	Extended SMA
17	Spectrum Elektrotechnik GmbH, Германия www.spectrum-et.org	Spectrum	SMA 26.5 GHz
18	Radiall Corp., Франция www.radiall.com	Radiall	Extended SMA
19	Chin Nan Precision Electronics Co., Ltd., Тайвань www.chinnan.com.tw	Chin Nan	SMA Field Replaceable Connectors
20	Jyebao Co.Ltd., Тайвань www.jyebao.com.tw	Jyebao	SMA 27G
21	Cmppter Electronics Co.Ltd., Китай www.cmppter.com	Cmppter Electronics	SMA 27

дано отделение (Microwave Products Division) разработки и производства радиочастотных соединителей с улучшенными электрическими параметрами: минимальным КСВН, высоким экранным затуханием и малыми потерями СВЧ. Эти соединители были предназначены, прежде всего, для линий передачи сигналов миллиметрового диапазона длин волн, а также для работы при повышенных температурах. По объёму и номенклатуре выпускаемой продукции Southwest Microwave уступает таким мировым лидерам, как Amphenol, Tyco, Radiall, Rosenberger и Molex. Однако Southwest Microwave производит наиболее применяемые типы соединителей (более 200 моделей) для диапазона частот 18–50 ГГц с уникально высоким уровнем параметров.

В результате многолетней работы по совершенствованию стандартной коаксиальной линии соединителя SMA компании Southwest Microwave удалось создать соединители, названные Super SMA, с уникальными параметрами, – диапазоном рабочих частот 0–27 ГГц и экранным затуханием –100 дБ. При создании Super SMA в стандартный соединитель SMA были внесены следующие конструктивные изменения.

1. Разъём SMA имеет ровные (без ступенек) внутреннюю поверхность наружного проводника и наружную поверхность изолятора. В соединителе Super SMA указанные поверхности выполнены с компенсационными ступеньками.

2. Для изготовления изолятора фторопласт с диэлектрической проницаемостью 2,05 был заменён материалом с диэлектрической проницаемостью 1,82. Благодаря этому внутренний диаметр наружного проводника розетки был уменьшен с 4,1 до 3,91 мм, при этом наружный диаметр внутреннего проводника сохранился прежним – 1,27 мм.

3. Внутренний диаметр наружного проводника вилки уменьшен с 4,1 до 3,5 мм, но поскольку материал изолятора оставлен прежним (фторопласт), для сохранения волнового сопротивления 50 Ом наружный диаметр внутреннего проводника пришлось уменьшить с 1,27 до 1,08 мм.

4. В результате этих изменений толщина стенки соединителя в плоскости контактирования вилки и розетки (reference plane) увеличилась на 38% –

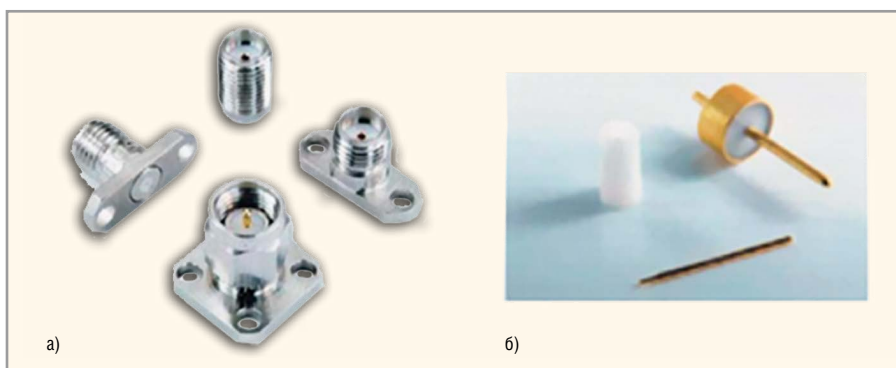


Рис. 3. СВЧ-разъёмы Super SMA (а); СВЧ-ввод, штырь и изолятор (б)

с 0,23 (SMA) до 0,318 мм (Super SMA). При этом повысилась жёсткость конструкции, увеличилась площадь контактирования, за счёт чего улучшились электрические параметры соединителя Super SMA. Дополнительным преимуществом этой конструкции является лучшая совместимость с 2,9 мм соединителем в результате сближения их размеров в плоскости контактирования.

5. При совершенствовании коаксиальной линии были учтены и скомпенсированы неоднородности, вызванные прорезями гнездового контакта с ламелями и его сужением на конце.

6. Внутренний проводник Super SMA с большой точностью установлен концентрично с наружным проводником и жёстко закреплён в нём термостойким компаундом. Известные способы закрепления (зубчиком на проводнике, эпоксидным столбиком и др.) [2] были отвергнуты, т.к. они вносят неоднородность в коаксиальную линию, а наиболее широко применяемый способ закрепления эпоксидным столбиком (патент США 3.292.117) предполагает сверление отверстия в корпусе соединителя для введения компаунда, в результате этого ухудшается экранное затухание.

Компания Southwest Microwave разработала две версии соединителей Super SMA:

1. С предельной рабочей температурой +125°C, названные «Old Standard»;
2. С предельной рабочей температурой +165°C, – Extended Power Super SMA «New Standard».

Электрические параметры соединителей обеих версий одинаковы, но соединители «New Standard» обеспечивают прохождение повышенной мощности СВЧ. Средняя величина пропускаемой мощности (диапазон частот 12,4–18 ГГц, температура 125°C) у этих соединителей на 100 Вт больше, чем у других соединителей SMA.

Компания Southwest Microwave выпускает большое число (125 моделей) составных соединителей Super SMA: сочетание собственно соединителя (СВЧ-разъёма) и 50 Ом металло-стеклянного ввода с диаметром центрального проводника ввода 0,30; 038; 0,46 или 0,51 мм. Ввод впаивают в корпус изделия. Соединение внутренних проводников ввода и разъёма происходит при введении центрального проводника ввода в цангу внутреннего проводника разъёма. Разъём с фланцами квадратной, прямоугольной или усечённой прямоугольной формы с 4 или 2 отверстиями крепится винтами к корпусу изделия (см. рис. 3а). Если герметичность изделия не регламентируется, вместо металло-стеклянного ввода применяют заменяемые штыри, вставленные во фторопластовый изолятор или без него (см. рис. 3б).

Все фланцевые соединители контактируют с корпусом изделия прижатием к корпусу кольцевого выступа высотой 0,13 мм на фланце (контакт металл–металл). Выступ изготовлен с высокой точностью и чистотой поверхности. Такое контактирование обеспечивает экранное затухание лучше –100 дБ.

Компания отказалась от применения для контактирования колец (прокладок) из токопроводящей резины (резины с серебряным наполнителем), поскольку электропроводность такой резины хуже, чем у металла. Кроме того, резина теряет упругость после термоциклирования, и кольца приходится заменять. Разработан и резьбовой вариант составного соединителя. Параметры соединителей Super SMA приведены в таблице 2.

## КОМПАНИЯ PRECISION CONNECTOR (PCI)

Компания PCI выпускает соединители SMA с предельными частото-

тами 24 ГГц (Excellent Performance) и 26,5 ГГц (High Frequency Interface, HF Interface). Интерфейсы стандартных соединителей SMA (см. рис.1) и соединителей SMA с предельной частотой 26,5 ГГц имеют некоторые отличия. В соединителе с предельной частотой 26,5 ГГц диаметр фторопластового изолятора уменьшили с 4,1 до 3,0 мм и, чтобы сохранить волновое сопротивление равным 50 Ом, диаметр штыревого центрального проводника (pin) уменьшили с 1,27 до 0,9 мм. Уменьшение размеров коаксиальной линии позволило расширить частотный диапазон и увеличить область контактирования с ответной розеткой. Компания выпускает серии кабельных соединителей вилка и розетка, прямые и угловые, для работы с кабелями 0,141", 0,085" и 0,047", включая и фланцевые приборно-кабельные розетки.

### Компания CARLISLE

Соединители EPSMA (Enhanced Performance SMA) этой компании имеют низкий уровень КСВН в диапазоне частот до 27 ГГц. Конструктивно, они представляют собой составные резьбовые и фланцевые соединители со стандартными размерами фланцев в сочетании с СВЧ- вводами.

Соединители EPSMA имеют следующие основные параметры: максимальный КСВН в диапазоне частот 0–18 ГГц составляет 1,10; 0–27 ГГц – 1,15; величина потерь  $0,035\sqrt{f}$  дБ; экранное затухание  $-(100 - f)$  дБ; рабочий диапазон температур  $-65...+165^\circ\text{C}$ .

Соединители EPSMA нашли применение в военных системах, в измерительном оборудовании и устройствах, где необходим высокий уровень параметров согласования. Кроме того, на базе соединителей EPSMA компания выпу-

скает кабельные сборки разнообразных конфигураций.

### Компания GIGA LANE

Соединитель SMA имеет достаточный высокий уровень параметров, однако при переходе на микрополосковую линию (МПЛ) КСВН значительно ухудшается. Компания Giga Lane начала разрабатывать соединители с предельной частотой 26,5 ГГц для применения в устройствах с МПЛ. В таблице 3 приведены сравнительные данные о результатах применения в микрополосковых устройствах стандартных соединителей SMA и разработанных Giga Lane соединителей (High performance SMA) с расширенным частотным диапазоном.

Компания Giga Lane выпускает High performance SMA следующих типов: фланцевые розетки с 4 и 2 отверстиями во фланце (19 модификаций), концевые розетки для установки в отверстия печатных плат (13), фланцевые концевые розетки для печатных плат, в том числе и многослойных плат, и для поверхностного монтажа (3).

### Компания SAN-TRON

Компания San-Tron представила новую серию составных соединителей с диапазоном частот 0–26,5 ГГц для применения на частотах до 31 ГГц. Эти соединители обеспечивают сочетание с СВЧ- вводами с центральным проводником диаметром 0,3; 0,38; 0,46 и 0,51 мм. Корпуса соединителей изготовлены из нержавеющей стали с пассивированной поверхностью, изолятор – из фторопласта, центральный проводник – из бериллиевой бронзы, покрытой золотом. КСВН соединителей в диапазоне частот до 18 ГГц составляет 1,07, на частотах 18–26,5 ГГц – 1,25. Рабочее напряже-

ние 335 В, напряжение пробоя 1000 В. Кроме того, разработана серия кабельных соединителей вилка и розетка для работы на частотах до 20 ГГц. Заделку в них кабелей производят обжатием или пайкой по оригинальной технологии. Одна из прямых кабельных вилок (QL-1201-46-1) для паяного соединения с полужестким кабелем 0,047", по данным компании, имеет предельную частоту 40 ГГц.

### Компания MOLEX

Компания Molex разработала серию из 82 оптимизированных соединителей SMA (optimized SMA) с предельной частотой 27 ГГц, в том числе и серию 73521 составных фланцевых соединителей с 2 и 4 отверстиями во фланце. КСВН стандартных соединителей SMA составляет  $(1,06 + 0,001f)$ , оптимизированных –  $(1,04 + 0,001f)$ , потери (дБ), соответственно,  $0,04\sqrt{f}$  и  $0,03\sqrt{f}$ .

### Компания AEP

Компания AEP известна, прежде всего, герметичными металлокерамическими СВЧ- вводами, применяемыми в составных соединителях. Корпус и центральный проводник вводов изготовлены из сплава Kovar (отечественный аналог – сплав 29НК), изолятор – из стекла марок Corning 7052 или Corning 7070. Металлические детали СВЧ- вводов покрыты золотом по подслою никеля. Максимально допустимые несоосность центрального проводника 0,076 мм, высота менисков стекла 0,127 мм. Вводы герметичны с натеканием по спаям стекла с металлом  $1,10^{-8}$  см<sup>3</sup>/с при давлении 1 атм. СВЧ- вводы рассчитаны на волновое сопротивление 50 Ом и работают в диапазоне частот 0–26 ГГц. Максимальная величина потерь составляет 0,1 дБ на частотах до 12,4 ГГц, 0,2 дБ до 18 ГГц и 0,25 дБ до 26 ГГц.

Компания AEP выпускает большое число СВЧ- вводов с центральным проводником диаметром 0,3; 0,38; 0,46; 0,51 и 0,91 мм. Используя эти вводы, компания разработала серию фланцевых составных коаксиально-микрополосковых переходов: 24 типа для СВЧ- вводов с центральным проводником диаметром 0,3 мм, 28 типов с диаметром 0,38 мм, по 12 типов для каждого из диаметров 0,51 и 0,91 мм. Среди соединителей с диаметром центрального проводника 0,51 и 0,91 мм имеются резьбовые и запрессовываемые (для этого на корпусе соединителя выпол-

Таблица 2. Параметры соединителей Super SMA

Тип соединителя Super SMA	Параметры				
	Предельная частота, ГГц	Макс. КСВН в диапазоне частот, ГГц		Экранное затухание, не более, дБ	Диапазон рабочих температур, °С
		DC-18	18-27		
«Old Standard»	27	1,10	1,15	-100	-55...+125
«New Standard»					-55...+165

Таблица 3. Параметры соединителей: стандартных SMA и High performance SMA

Соединитель		Частота, ГГц	КСВН
High performance SMA	Собственно соединитель	26,5	< 1,2
	Переход на МПЛ	26,5	< 1,35
SMA	Собственно соединитель	18	< 1,2
	Переход на МПЛ	6	< 1,35

нена накатка). Фланцы соединителей с диаметром центрального проводника 0,3; 0,38 и 0,46 мм выполнены с токопроводящей эластомерной прокладкой для обеспечения необходимого экранного затухания.

### КОМПАНИЯ DELTA ELECTRONICS

Компания Delta разработала две новые версии соединителей SMA – прецизионные с предельной частотой 26,5 ГГц (26,5 GHz precision SMA) и с предельной частотой 27 ГГц (27 GHz high performance SMA). Основные параметры этих соединителей представлены в таблице 4.

Компания выпускает огромную номенклатуру (более 200 наименований) вилок и розеток: кабельных соединителей под полужёсткие кабели 0,141" и 0,085", выводов СВЧ-энергии разнообразных конфигураций, резьбовые и фланцевые составные соединители (с квадратными и прямоугольными фланцами) с защитными (от утечки СВЧ-энергии) прокладками и без них, для сочетания с СВЧ-вводами с диаметром центрального проводника 0,3; 0,38; 0,46; 0,51 или 0,91 мм. Материалом изолятора в соединителях с частотой 26,5 ГГц является фторопласт, в соединителях с частотой 27 ГГц – фторопласт и Ultem 1000.

### КОМПАНИЯ MICROWAVE TOWN

Компания Microwave Town разработала большую серию соединителей SMA с предельной частотой 27 ГГц. КСВН соединителей в диапазоне частот 0–18 ГГц не более 1,10, на частотах 18–27 ГГц – не более 1,15. Компания выпускает 75 типов фланцевых розеток и вилок, 38 – с круглым и 12 – с ленточным центральным проводником, 24 типа – с изолятором из облучённого фторопласта, а также 7 типов СВЧ-выводов для монтажа в отверстия печатных плат.

### КОМПАНИЯ SIGATEK

Компания Sigatek специализируется на выпуске фланцевых составных соединителей SMA для сочетания с СВЧ-вводами, диаметр центрального проводника которых равен 0,3 и 0,51 мм. Компания выпускает соединители с различной конфигурацией фланцев: 12 типов розеток и 5 типов вилок. Корпуса соединителей выполнены из нержавеющей стали с полированной пассивированной поверхностью.

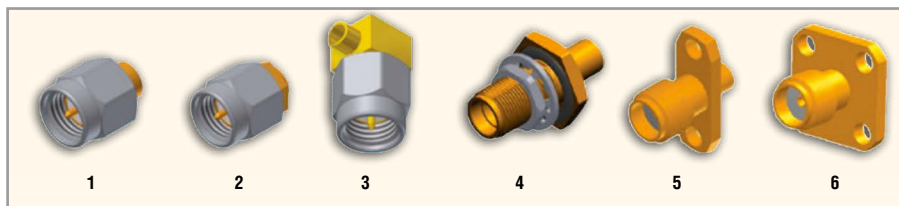


Рис. 4. Соединители SMA Cristek

1 – кабельная вилка, 2 – кабельная вилка с дополнительной гайкой, 3 – угловая вилка, 4 – проходная розетка, 5–6 – приборно-кабельные фланцевые розетки

Соединители работают в диапазоне частот до 27 ГГц, КСВН на частотах до 18 ГГц менее 1,1, в диапазоне частот 18–27 ГГц – менее 1,15.

### КОМПАНИЯ CRISTEK

Компания Cristek выпускает серию кабельных соединителей с предельной частотой 27 ГГц под полужёсткий кабель; 5 типов вилок, в том числе 2 вилки с дополнительной контргайкой, 8 угловых вилок, 4 проходных розеток и 4 фланцевых панельных розеток с квадратным и прямоугольным фланцами (см. рис. 4). КСВН прямых кабельных вилок составляет  $(1,05 + 0,005f)$ , потери  $0,03\sqrt{f}$  дБ, экранное затухание не хуже –100 дБ; КСВН угловых кабельных вилок  $(1,1 + 0,01f)$ , потери  $0,03\sqrt{f}$  дБ, экранное затухание –100 дБ.

### КОМПАНИЯ DYNAWAVE

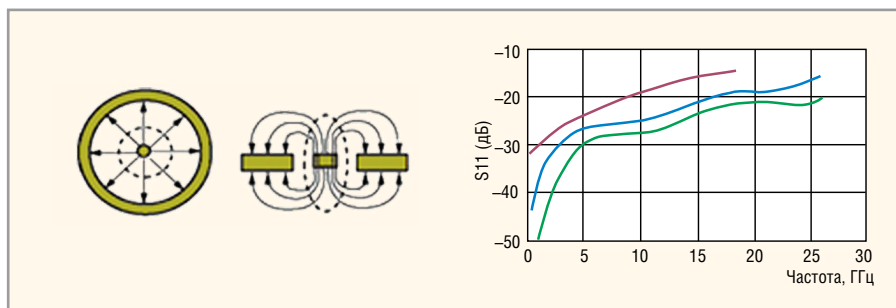
Компания Dynawave разработала более 200 модификаций соединителей SMA с предельной частотой 26,5 ГГц. Разработаны следующие серии соединителей:

- прямые панельные фланцевые кабельные розетки под кабели 0,141", 0,085" и 0,047" с отдельным или встроенным центральным контактом, с прямоугольным фланцем – 12 модификаций, с квадратным фланцем двух конфигураций – 24 модификации;
- прямые кабельные розетки под кабели 0,047" и 0,085";
- угловые кабельные вилки под кабели 0,141" и 0,085" с отдельным или встроенным центральным контактом – 15 модификаций, в том числе 6 с контргайкой;

- составные прямые фланцевые соединители – розетки с прямоугольным фланцем четырех конфигураций, с эластомерной проводящей прокладкой на фланце и без неё, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38; 0,51 и 0,91 мм) – 24 модификации;
- составные прямые фланцевые соединители – розетки с квадратным фланцем пяти различных конфигураций, с эластомерной проводящей прокладкой на фланце и без неё, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38; 0,51 и 0,91 мм) – 33 модификации;
- составные угловые фланцевые соединители – розетки с прямоугольным фланцем пяти конфигураций, с проводящей прокладкой на фланце и без неё, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38 и 0,51 мм) – 30 модификаций;
- составные угловые фланцевые соединители – розетки с квадратным фланцем трёх конфигураций, с проводящей прокладкой на фланце и без неё, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38 и 0,51 мм) – 5 модификаций;
- составные прямые резьбовые соединители – розетки, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38; 0,51 мм) – 9 модификаций;
- составные прямые запрессовываемые соединители – розетки, совместимые с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника вводов 0,38 мм) – 2 модификации.

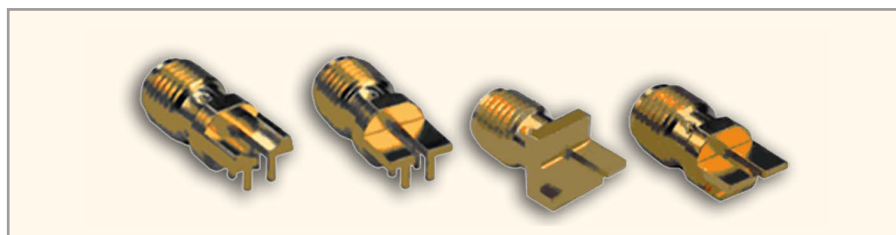
Таблица 4. Параметры соединителей компании Delta Electronics

Тип соединителя	Параметры					
	Предельная частота, ГГц	Макс. КСВН на частотах, ГГц		Потери, дБ	Экранное затухание не более, дБ	Диапазон рабочих температур, °С
		DC-18	18-40			
26,5 GHz Precision SMA	26,5	1,15	1,25	$0,03\sqrt{f}$	-100	-55...+125
27 GHz high-performance SMA	27,0	1,10	1,15			-55...+165



**Рис. 5.** Зависимость величины возвратных потерь (S11) перехода соединителей Emerson/Johnson на копланарную линию на подложке из материала Rogers:

— соединитель 142-0761-811, толщина подложки 0,2 мм; — соединитель 142-0761-871, толщина подложки 0,4 мм; — КСВН =  $(1,05 + 0,02f)$  ( $f$  – частота, ГГц)



**Рис. 6.** Концевые соединители компании Emerson/Johnson

Кроме того, компания Dupawave выпускает 9 модификаций концевых розеток для диапазона частот 18 и 20 ГГц, 18 розеток для поверхностного монтажа на печатные платы, в том числе 6 розеток с предельной частотой 25 ГГц, 6 розеток для монтажа в отверстия печатных плат (18 и 12,5 ГГц), 12 внутрисерийных адаптеров с разными сочетаниями вилок и розетки, прямых и угловых (предельные частоты 18 и 26,5 ГГц), в том числе один проходной герметичный адаптер.

Предельная частота угловых соединителей составляет 22 ГГц; КСВН прямых кабельных соединителей разных модификаций  $(1,05 + (0,006... 0,010)f)$ , потери  $(0,03...0,045)\sqrt{f}$  дБ, экранное затухание  $-(100 - f)$  дБ.

**КОМПАНИЯ EMERSON/JOHNSON**

Среди соединителей SMA HF этой компании следует выделить оригинальные концевые соединители. Они решают сложную задачу горизонтального или перпендикулярного перехода сигнала без отражений и потерь на частотах до 26,5 ГГц с копланарной или микрополосковой линией, расположенной на тонкой подложке из материала Rogers RO-403, на коаксиальную линию (см. рис. 5).

Компания выпускает серию 142-076 из 13 таких соединителей розетка (SMA High Freq. End Launch Jack Assembly, PCB Edge/Mount) (см. рис. 6), а также

кабельные соединители под полужесткие кабели 0,141" и 0,086" с предельной частотой 28 ГГц для вилок и 25 ГГц для розеток. Вилки под кабели 0,086" и 0,141" имеют КСВН  $(1,07 + 0,01f)$  на частотах до 18 ГГц и менее 1,3 в диапазоне частот 18–27 ГГц (1,25 для кабеля 0,141"); КСВН вилок под кабели 0,086" и 0,141" составляет  $(1,07 + 0,01f)$  на частотах до 18 ГГц и менее 1,3 в диапазоне частот 18–27 ГГц (1,25 для кабеля 0,141").

Розетки под кабель 0,086" имеют КСВН  $(1,07 + 0,01f)$  на частотах до 18 ГГц и менее 1,3 в диапазоне частот 18–25 ГГц. Для розеток под кабель 0,141" КСВН равен, соответственно,  $(1,05 + 0,01f)$  на частотах до 18 ГГц и менее 1,25 в диапазоне частот 18–25 ГГц. Величина потерь составляет  $0,03\sqrt{f}$  дБ, минимальное экранное затухание –90 дБ. Рабочее напряжение для соединителей под кабель 0,086" равно 335 В, под кабель 0,141" – 500 В.

**КОМПАНИЯ SRI CONNECTORS**

Компания SRI Connectors выпускает 9 прямых и угловых кабельных вилок (кабели 0,141", 0,085", 0,047" и Harnbourn LL120) с КСВН менее 1,2 и величиной потерь  $0,05\sqrt{f}$  дБ в диапазоне частот 0–27 ГГц, в том числе приборно-кабельную вилку с контргайкой (anti-torque). Кроме того, компания производит более 10 внутрисерийных адаптеров для различных сочета-

ний вилок и розетки, а также соединители для печатных плат.

**КОМПАНИЯ FAIRVIEW**

Компания Fairview выпускает и фланцевые приборные соединители SMA 27 GHz (серия SC, 8 типов), и 23 типа прямых и угловых адаптеров с различным сочетанием вилок и розетки (серия SM) (см. рис. 7). Максимальный КСВН всех соединителей в диапазоне частот до 27 ГГц составляет 1,2. Также производятся кабельные вилки 1 и 2 (под кабель 0,086"), 3-проходная розетка под кабель 0,086", 4 и 5 – фланцевые панельные розетки, 6 и 7 – прямые адаптеры розетка-розетка, 8 – прямой адаптер вилка-вилка, 9 – угловой адаптер вилка-розетка (см. рис. 7).

**КОМПАНИЯ HUBER+SUNNER**

Компания Huber+Suhner разработала кабельные прямые и угловые, приборно-кабельные и проходные соединители с предельной частотой 26,5 ГГц под кабели EZ-86, Multiflex-86, Sucoform-86, EZ-141, Multiflex-141 и Sucoform-141 (см. рис. 8).

Из 9 прямых кабельных вилок 7 типов предназначены для работы с кабелем 0,141", две – с кабелем 0,086". Угловые кабельные вилки (8 типов) предназначены для паяного соединения с кабелями 0,141", 0,085" и 0,034". Кроме того, разработаны приборно-кабельные фланцевые розетки (5 типов) и одна панельная фланцевая розетка с квадратным фланцем и ленточным выводом на микрополосковую линию. Рабочее напряжение соединителей, в зависимости от марки кабеля, составляет 335 В и 500 В, экранное затухание (на частоте 3 ГГц)  $-(100 - f)$  дБ. КСВН соединителей определяется маркой кабеля.

**КОМПАНИЯ SPECTRUM**

Компания Spectrum выпускает 16 групп соединителей SMA: вилки и розетки, прямые и угловые, кабельные (гибкие и полужесткие кабели, разные способы заделки в соединитель), фланцевые панельные, проходные, для печатных плат. Разработаны стандартные соединители SMA с предельной частотой 18 ГГц, прецизионные с предельной частотой 26 ГГц и даже специальные с предельной частотой 30 ГГц. В состав прецизионных соединителей входят две серии защёлкива-

емых кабельных соединителей и адаптеров (SMA Push-On и SMA Reverse Sex Push-On).

Соединители имеют предельную частоту 26,5 ГГц, КСВН менее 1,15 на частотах до 18 ГГц и менее 1,2 на частотах до 26,5 ГГц; потери составляют 0,3 дБ на частоте 18 ГГц; экранное затухание –80 дБ на частоте 3 ГГц и –65 дБ на частоте 26,5 ГГц. Компания Spectrum выпускает фланцевые составные соединители розетка с прямоугольным и квадратным фланцами для сочетания с вводами с диаметром 0,9; 0,51 и 0,3 мм – 6 модификаций, и адаптеры вилка-вилка, вилка-розетка, розетка-розетка. Составные соединители предназначены для работы в диапазоне частот 0–26,5 ГГц, адаптеры – 0–25 ГГц, КСВН составных соединителей ( $1,02 + 0,005f$ ), экранное затухание  $-(100 - f)$  дБ; КСВН адаптеров равен  $(1,06 + 0,005f)$  во всём диапазоне частот.

### КОМПАНИЯ RADIALL

Среди 72 серий различных соединителей, выпускаемых этой компанией, есть серия соединителей Extended frequency SMA с предельной частотой 27 ГГц. Компания Radiall выпускает следующие соединители этой серии:

- прямые кабельные вилки и розетки под паяное соединение с кабелями 0,085" и 0,141" (8 типов);
- проходные розетки под кабели 0,085" и 0,141" (2 типа);
- составные фланцевые соединители для сочетания с СВЧ-вводом с диаметром центрального проводника 0,3 мм (2 типа);
- внутрисерийные адаптеры для разных сочетаний вилки и розетки (6 типов).

Вилки под кабель 0,086" имеют КСВН менее 1,06 на частотах до 18 ГГц и менее 1,12 в диапазоне частот 18–27 ГГц, максимальная величина потерь 0,15 дБ. Для кабеля 0,141" КСВН и потери, соответственно, равны 1,05, 1,10 и 0,10 дБ. Экранное затухание соединителей под полужёсткие кабели равно  $(-90 + f)$  дБ; КСВН внутрисерийных адаптеров составляет  $(1,07 + 0,008f)$ , величина потерь  $0,03\sqrt{f}$  дБ, экранное затухание  $(-90 + f)$  дБ.

### КОМПАНИЯ CHIN NAN

Компания Chin Nan предлагает серию из 52 прямых фланцевых соединителей SMA – розетки и вилки с квадратным и прямоугольным фланцами, с круглым и ленточным центральным проводни-

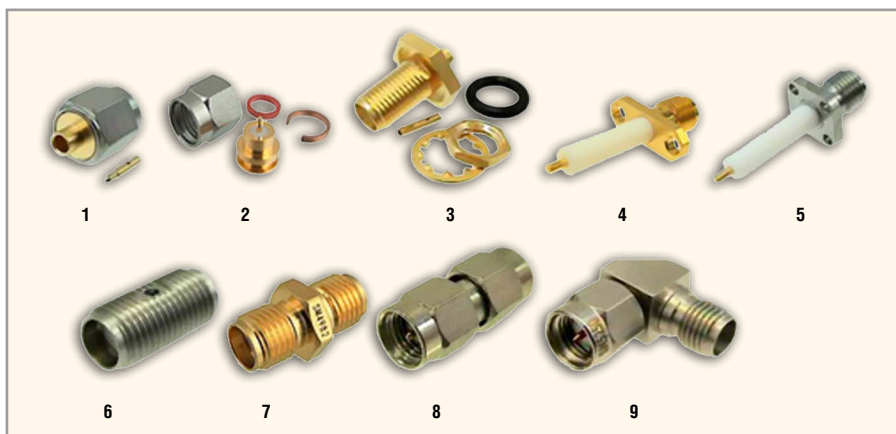


Рис. 7. Соединители SMA 27 ГГц компании Fairview

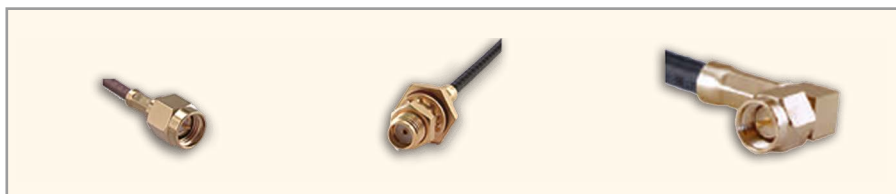


Рис. 8. Кабельные соединители компании Huber+Suhner

ками (6 типов), составных соединителей, совместимых с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника 0,38 и 0,51 мм), – 7 типов и 6 типов прямых кабельных соединителей вилка и розетка под полужёсткие кабели 0,141" и 0,085". Предельная частота соединителей всех типов 26,5 ГГц.

### КОМПАНИЯ JUEBAO

Компания выпускает большую серию прямых составных соединителей SMA с предельной частотой 27 ГГц и КСВН менее 1,2:

- 3 типа резьбовых соединителей вилка и розетка с центральным проводником диаметром 1,4 и 0,318... 0,38 мм;
- 52 соединителя вилка со стандартным прямоугольным фланцем, совместимых с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника 0,3; 0,38; 0,46 и 0,51 мм), в том числе, 10 типов со специальной резьбой M6 × 0,75P;
- 12 соединителей розетка со стандартным квадратным фланцем, совместимых с СВЧ-вводами (диаметр центрального проводника 0,3; 0,38; 0,46 и 0,51 мм).

### КОМПАНИЯ SMPTE ELECTRONICS

Компания производит достаточно широкую номенклатуру составных фланцевых соединителей розетка и вилка с квадратным и прямоугольным фланцами пяти конфигураций (по 20 модификаций розеток и вилок),

а также 5 резьбовых составных соединителей для сочетания с СВЧ-вводами с диаметром центрального проводника 0,23; 0,3; 0,38; 0,46 и 0,51 мм. Разработаны прямые и угловые кабельные и приборно-кабельные соединители под кабели 0,086" и 0,141" (9 типов), фланцевые выходы СВЧ-энергии с круглым и ленточным центральным проводником. Соединители имеют предельную частоту 27 ГГц, КСВН менее 1,1 на частотах до 18 ГГц и менее 1,15 в диапазоне частот 18–27 ГГц.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение соединителей SMA с предельной частотой до 27 ГГц открывает новые возможности для совершенствования изделий микроэлектроники СВЧ: расширение частотного диапазона, снижение уровня КСВН, снижение утечки электромагнитной энергии, повышение надёжности и воспроизводимости параметров соединителей. В настоящее время эти соединители применяют в военной и аэрокосмической технике, в системах телекоммуникаций, в медицинской и измерительной аппаратуре. К сожалению, отечественная промышленность такие соединители не выпускает.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Маури М.А. Improving SMA test with APC-3,5 hardware. Microwaves, 1981, № 9, p.71.
2. Джурунский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Техносфера, 2006.

