

# МИНИАТЮРНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ SMA, SMB И SMC ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ СВЧ

**Кива Джурицкий**, к. т. н., ГНПП «Исток»,  
**Юрий Тисленко**, менеджер «АТОС»

*Миниатюрные коаксиальные соединители служат для ввода/вывода СВЧ-сигналов в радиоэлектронной аппаратуре и во многом определяют ее качество. Поэтому работы по созданию соединителей с улучшенными электрическими параметрами и повышенной надежностью всегда считались приоритетными.*

## Немного истории

Первый радиочастотный соединитель (UHF connector) был создан E.C. Quackenbush из American Phenolic Co (позднее компания Amphenol) в начале 40-х годов [1]. В 1958 г. J. Cheal из Bendix Research Laboratory (США) разработал первый миниатюрный соединитель с предельной частотой 10 ГГц для системы активного доплеровского радара (с рабочей длиной волны 5,5 см). Этот соединитель получил название BRM (Bendix Research Miniature). В результате его усовершенствования фирмой M/A-COM Omni-Spectra (США) в 1962 г. появился соединитель OSM. В дальнейшем (начиная с 1964 г.) его «дорабатывали» многие фирмы. Законченная конструкция соединителя получила название SMA (Subminiature Grade A). С 1968 г. он выпускается по стандарту MIL-C-39012 (для использования в военной аппаратуре). Герметичные соединители SMA появились в 1963 г. Первым «серьезным» применением миниатюрных соединителей и полужестких кабелей была радарная система, созданная лабораторией прикладной физики университета J. Hopkins и фирмой Westinghouse.

## Введение

В течение многих лет соединители SMA являются наиболее широко распространенными в микроэлектронных и радиотехнических устройствах СВЧ. Они имеют малые габариты и обеспечивают высокочастотное согласование в полосе до 18 ГГц (при определенных условиях – до 26 ГГц). Соединитель SMA производят десятки фирм Америки, Европы и Азии, и до настоящего времени он

остается «рабочей лошадкой» электроники СВЧ. Если принять объем продаж всех радиочастотных соединителей за 100%, то доля SMA составляет приблизительно 40% (в объеме продаж только миниатюрных радиочастотных соединителей доля SMA превышает 65%) [2].

Соединители типов SMB и SMC (Subminiature Grade B и C) – более миниатюрные аналоги SMA для устройств с ограниченными размерами рабочего пространства, работающих в частотном диапазоне до 4 (SMB) или 10 (SMC) ГГц. Потребность в соединителях SMB и SMC вызвана развитием систем беспроводной связи (в том числе, сотовой), некоторых других видов телекоммуникаций и военной техники. Особенность таких систем – высокая плотность монтажа и необходимость быстрого соединения-разъединения с ответной частью. Соединители SMB обеспечивают возможность быстрого соединения-защелкивания с ответной частью (SNAP-ON) при небольшом усилии. В соединителях SMC используется резьбовое соединение с ответной частью для большей механической надежности в условиях высоких вибраций. Мировые лидеры в производстве соединителей SMB и SMC – американские фирмы Amphenol, Sealectro (более 50% всего объема продаж), M/A-COM и AMP. В России миниатюрные соединители для диапазона частот 0,5...18 ГГц серийно выпускает ПО «Октябрь» г. Каменск-Уральский. Продукция этого предприятия: вилки кабельные CP-50-724ФВ, CP-50-726ФВ и CP-50-748ФВ; розетки приборно-кабельные CP-50-723ФВ, CP-50-725ФВ и CP-50-747ФВ; герметичные коаксиально-микрополосковые переходы CPГ-50-751ФВ [3]. Оригинальные герметичные коаксиально-микрополосковые переходы для частотного диапазона 1...36 ГГц, не уступающие по своим основным параметрам зарубежным аналогам, описаны в работе [4].

## Конструкция соединителей

Общий вид присоединительных частей соединителей SMA, SMB и SMC –

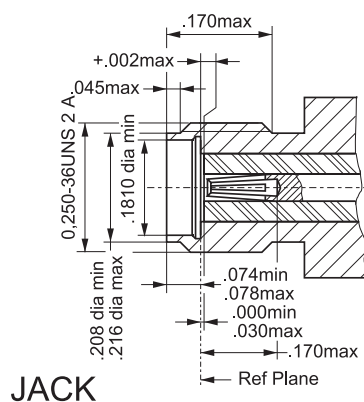
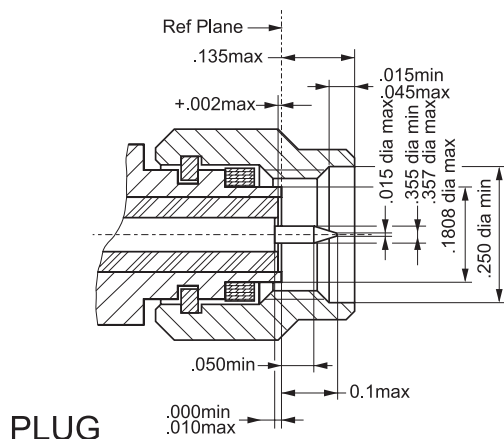
вилки (PLUG) и розетки (JACK) – показан на рис. 1 (размеры приведены в дюймах). Все соединители представляют собой заполненную диэлектриком коаксиальную линию с волновым сопротивлением 50 Ом (общепринятым для радиоэлектроники СВЧ). В качестве диэлектрика использован фторопласт с диэлектрической проницаемостью около 2,1. Соотношение наружного и внутреннего проводников коаксиальной линии, заполненной фторопластом, равно 3,22. Фирмы Amphenol, AMP и Sealectro выпускают еще и соединители SMB с волновым сопротивлением 75 Ом.

Сочлененная пара соединителей – вилка и розетка – представляет собой неотражающее внутреннее соединение. Контакт по внутреннему проводнику происходит после введения штыря вилки в гнездо розетки, а по наружному (у соединителей SMA и SMC) – за счет резьбового соединения. В соединителе SMA использована американская дюймовая резьба 0,250-36UNS-2A (неполный аналог метрической резьбы M6×0,75). В соединителе SMC – резьба 0,190-32UNF-2A (аналог – M5×0,8). Соединение пары соединителей SMB происходит за счет защелкивания. Для этого на наружной поверхности корпуса розетки выполнен специальный паз, в котором защелкивается выступ, расположенный на внутренней поверхности вилки. Для надежной работы такого соединения оно выполняется с высокими точностью и качеством обработки сопрягаемых поверхностей.

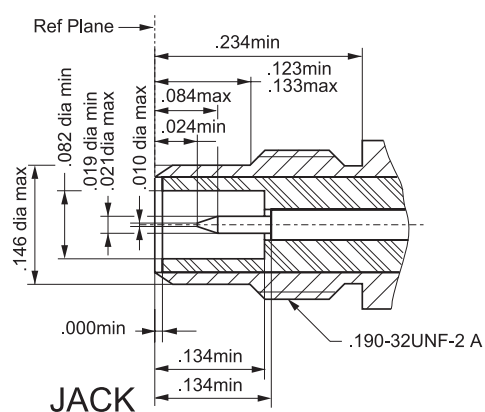
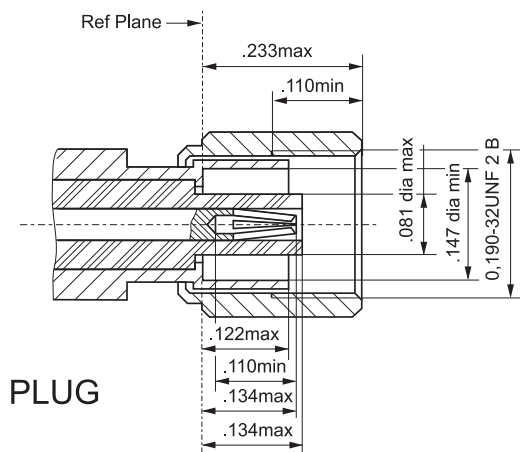
## Материалы для изготовления СВЧ-соединителей

Для изготовления гнездового контакта соединителей всех типов используют только упрочненную бериллиевую бронзу, покрытую слоем золота, имеющего толщину 1,27 или 2,54 мкм (по подслою никеля – 2,54 мкм). Материал изолятора – фторопласт (PTFE FLUOROCARBON). Для изготовления корпуса соединителей SMA применяют нержавеющую сталь (пас-

## SMA



## SMC



## SMB

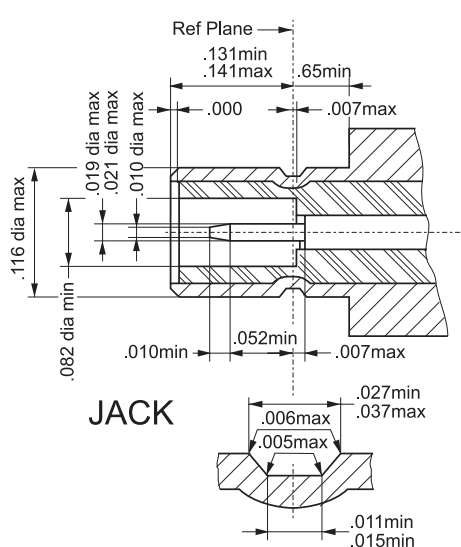
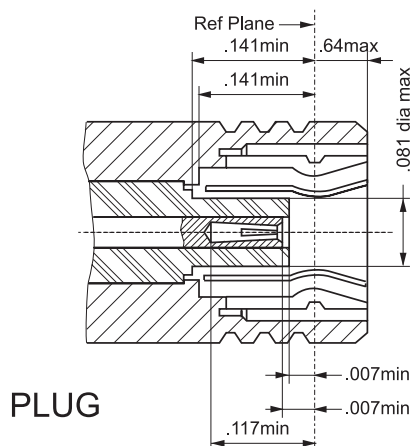


Рис. 1. Общий вид присоединительных частей соединителей SMA, SMB и SMC – вилки (PLUG) и розетки (JACK)

сивированную или покрытую золотом). Для SMA гражданского применения используют латунь, покрытую никелем или золотом. Корпуса соединителей SMB и SMC изготавливают из латуни и покрывают слоем золота (толщина – 2,54 мкм).

#### Основные группы соединителей

По своему назначению все соединители делятся на три группы:

- кабельные соединители (CABLE CONNECTORS);
- вводы СВЧ энергии (RECEPTACLES, LAUNCHERS), включая соединители для печатных плат (PC BOARD CONNECTORS);
- коаксиально-микрополосковые переходы (MICROSTRIP LINE LAUNCHERS);
- адаптеры.

Кабельные соединители, в свою очередь, подразделяются на соединители для гибкого радиочастотного кабеля (FLEXIBLE CABLE CONNECTORS) и полужесткого кабеля (SEMI-RIGID CABLE CONNECTORS). Соединители SMB и SMC работают только с гибким кабелем. Типы 50-Омных радиочастотных кабелей серии RG (RADIO GUIDES – №.../UNIVERSAL) и их размеры приведены в таблице 1.

#### Основные параметры соединителей

Основные параметры соединителей SMA, SMB и SMC приведены в таблице 2. Предельная рабочая частота соединителей SMA – 18 ГГц.

Теоретически критическая частота, при которой в соединителе SMA еще не возникают волны высшего типа – 26 ГГц. Это значение определяется размерами коаксиального канала и применением фторопласта. На более высоких частотах длина волны становится соизмеримой с поперечными размерами коаксиальной линии соединителя. При этом возникают поперечные электрические и магнитные волны, препятствующие прохождению основной волны. На практике ограничения возникают уже при 22 ГГц, а гарантированная предельная частота соединителя SMA – 18 ГГц. Величина KCBH (коэффициент стоячей волны) приведена для прямых соединителей SMA под полужесткий кабель с диаметром 0,141 дюйма. Для прямых соединителей с гибким радиочастотным кабелем KCBH составляет  $1,15 + 0,02f_{\text{ГГц}}$  в диапазоне частот 0...12,4 ГГц. KCBH соединителей SMB и SMC приводит-

ся для их сочетания с гибким кабелем RG-174/U.

#### Особенности применения соединителей

**Соединители SMB** используются в аппаратуре с высокой плотностью монтажа для быстрого соединения/рассоединения. Но соединение защелкиванием не обеспечивает надежной работы SMB при больших вибрациях. К тому же, предельная рабочая частота этих соединителей – всего 4 ГГц, они имеют высокие уровни KCBH (1,5) и потерь СВЧ (0,3 дБ), а также не всегда приемлемые утечки СВЧ-энергии (экранное затухание – всего –55 дБ).

**Соединители SMC** тоже предназначены для изделий с ограниченными размерами рабочего пространства. Их можно применять в аппаратуре, работающей в условиях больших вибрационных нагрузок. Но соединители SMC не обеспечивают быстрого соединения/рассоединения, а их параметры согласования не всегда приемлемы (предельная частота – 10 ГГц, максимальный KCBH – 1,6). Применение соединителей SMB и SMC – экономически выгодно, так как их цена приблизительно вдвое ниже цены соединителей SMA.

**Соединители SMA** универсальны, имеют хорошие параметры согласования (предельная частота – 18 ГГц, максимальный KCBH – 1,25), низкие потери СВЧ (менее 0,2 дБ) и экранное затухание до –90 дБ. Их широко применяют при создании усилительных, генераторных, приемопередающих и преобразовательных модулей, радиотехнических блоков и устройств СВЧ. Но они не являются прецизионными (это обусловлено наличием фторопласта, подверженного деформации и старению) и не могут применяться для измерительной и калибровочной аппаратуры СВЧ. Прецизионными считаются только соединители с воздушной коаксиальной линией, например, APC-7, APC-3,5, APC-2,4 и другие.

**Уязвимое место соединителей SMA, SMB и SMC** – гнездовой контакт (при сочленении с ответной частью возможны отгибание и поломка ламелей гнезда). Из-за сочетания размеров ответный штырь может входить в гнездо до того, как произойдет центровка наружных проводников. Если в момент сочленения соединители расположены несоосно, то штырь может упереться в одну из ламелей и отогнуть ее. Это

нарушает контакт и может привести к поломке гнезда. Для того, чтобы избежать этого, нужно, чтобы длина штыря ответной части не превышала 1,52 мм (вместо имеющихся 2,54 мм). Это простое решение проблемы поломки гнездовых соединителей, предложенное еще в 1983 г. специалистами фирмы Wiltron (США), к сожалению, до сих пор не всегда учитывается производителями соединителей. Для кабельных соединителей важно соосное расположение центрального проводника в кабеле, если этот проводник используется в качестве штыря в соединителе. Другие причины повреждения гнездового контакта:

- стыковка с бракованным соединителем (диаметр штыря превышает номинальный);
- загрязненная металлическими частицами поверхность сочленения, а также натиры, царапины и зазубрины на поверхности штыря;
- перекручивание соединительной гайки.

**Малоизнашиваемый гнездовой контакт** характеризуется малым контактным давлением и большой площадью контакта. В этом смысле, гнездо с двумя ламелями, применяемое в соединителях SMA, неоптимально. Менее чувствительно к неточности установки при соединении гнездо с четырьмя ламелями, но оно сложнее в изготовлении и менее прочно. Наиболее оптимально гнездо с тремя ламелями.

При создании соединителей любого типа важны такие характеристики:

- эффективное крепление центрального проводника;
- компенсация внутренних неоднородностей;
- способ заделки радиочастотного кабеля.

**Способ и надежность заделки кабеля** очень важны для каждого типа соединителей. Поэтому ведущие фирмы-производители (AMP, Amphenol и M/A-COM) всегда включают в свои каталоги подробные инструкции по заделке кабеля и указывают на необходимый для этого инструмент [5]. Особые требования предъявляются к технике соединения коаксиально-микрополосковых переходов с микрополосковой линией (МПЛ). Прежде всего, нужно следовать рекомендациям изготовителя по установке перехода в корпус изделия. При выборе и установке перехода важно соблюдать общие правила:

- диаметр центрального проводника соединителя не должен превышать ширины полоска МПЛ во избежание появления неоднородности в виде краевой емкости;

- должно выполняться условие  $1/2(D - d) \approx h$ , где:  $D$  – диаметр диэлектрика коаксиальной линии в области соединения с МПЛ,  $d$  – диаметр центрального проводника перехода,  $h$  – толщина подложки с МПЛ;

- расстояние от плоскости подложки с МПЛ до оси перехода должно быть не более 0,8 мм;

- соединение центрального проводника перехода с полоском должно производиться с помощью перемычки из золотой фольги толщиной 20...30 мкм и шириной 0,4...0,5 мм, или проволоки диаметром 20...50 мкм;

- во избежание образования трещин и разрывов в перемычке при термоциклировании изделий следует предусматривать в ней компенсационную петлю и не допускать ее резких перегибов.

### Заключение

Хотелось бы предостеречь разработчиков радиоэлектронной аппаратуры СВЧ от соблазна применять дешевые коммерческие соединители, особенно «азиатской» сборки. Цена такой «экономии» – ухудшение надежности изделий и увеличение затрат на их ремонт и обслуживание. Только соединители, соответствующие военному стандарту, несмотря на более высокую стоимость, обеспечивают надежность создаваемой аппаратуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Brayant J.H. Coaxial transmission lines, related two-conductor transmission lines, connectors and components: historical perspective // *JEEE Trans.* 1984. Vol. MTT, 32. №9. P. 970.

2. Manz B. Fear of lightwaves proves shortsighted // *Microwaves RF.* 1986. Vol. 25. №3. P. 81.

3. Соединители радиочастотные коаксиальные. Технические условия ВРО.364.049 ТУ. 1986.

4. Джуринский К.Б. Коаксиальные радиокомпоненты нового поколения для микроволновых устройств СВЧ. Справочные материалы по электронной технике. ОНТИ. 1996.

5. Орлов С. Разъемы фирмы AMP. Особенности технологии фиксации обжимом и IDC // *CHIP NEWS.* 1997. №9–10. С. 12.

Таблица 1. Типы 50-Омных радиочастотных кабелей серии RG для соединителей SMA, SMB и SMC

Тип соединителя	Гибкий кабель			Полужесткий кабель		
	Тип	Наружный диаметр, мм	Диаметр центрального проводника, мм	Тип	Наружный диаметр, мм	Диаметр центрального проводника, мм
SMA	RG-55/U	5,5	0,81			
	RG-142/U	5,0	1,0			
	RG-174/U	2,5	0,51	RG-402/U	3,6 (0.141')	0,91
	RG-179/U	2,5	0,3			
	RG-188/U	2,8	0,51	RG-405/U	2,2 (0.86')	0,51
	RG-223/U	5,5	0,9			
	RG-316/U	2,6	0,51			
SMB	RG-174/U	2,5	0,51			
	RG-178/U	1,9	0,3			
	RG-188/U	2,8	0,51	–	–	–
	RG-196/U	2,0	0,3			
	RG-316/U	2,6	0,51			
SMC	RG-174/U	2,5				
	RG-188/U	2,8	0,51	–	–	–
	RG-316/U	2,6				

Таблица 2. Основные параметры соединителей SMA, SMB и SMC

Параметр	Значение параметра для соединителей		
	SMA	SMB	SMC
Рабочий диапазон частот, $f_{\text{ГГц}}$	0...18	0...4	0...10
КСВН	$1,1 + 0,01f_{\text{ГГц}}$	$1,25 + 0,04f_{\text{ГГц}}$	$1,3 + 0,04f_{\text{ГГц}}$
Потери СВЧ, дБ	$0,30 \sqrt{f_{\text{ГГц}}}$	0,25...0,30	0,25 на $f = 4$ ГГц
Экранное затухание, дБ	$-(90 - f_{\text{ГГц}})$	–55 на $f = 2...3$ ГГц	–60 на $f = 2...3$ ГГц
Рабочее напряжение, В	500	335	335
Сопротивление изоляции, МОм	5000	1000	1000
Сопротивление центрального контакта, Ом	0,002	0,006	0,006
Допустимое количество соединений/рассоединений (для соединителей типа розетка)	500	500	500