

Зарубежные радиочастотные соединители.

Ключ к информации о соединителях

Наше отставание в области коаксиальных соединителей сантиметрового и, особенно, миллиметрового диапазонов длин волн становится необратимым [1–3]. Отсутствие необходимых радиочастотных соединителей вынуждает разработчиков радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона применять импортные соединители, позволяющие выполнить разработку проще, надежнее и быстрее. К тому же для аппаратуры экспортного назначения заграничный заказчик обычно требует применения импортных соединителей. И поэтому исключительно важно сделать правильный выбор такого устройства. Для этого необходимо понимать и уметь анализировать зарубежную информацию о соединителях: каталоги, рекламные листы, более подробное описание конкретного типа соединителя (data sheet). Настоящая статья призвана помочь потребителям и дистрибьюторам ориентироваться в зарубежной информации о радиочастотных соединителях.

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.

Фирмы — производители радиочастотных соединителей

Радиочастотные соединители за рубежом разрабатывают и выпускают несколько де-

сятков фирм. Информация о самых известных компаниях приведена в таблице 1.

Лидирующая роль в разработке и производстве радиочастотных соединителей принадлежит фирмам США. Значительный вклад

в эту область техники вносят также ведущие европейские компании. В последние годы выпуск соединителей стремительными темпами наращивают производители из Китая и стран Юго-Восточной Азии (в таблице 1 указаны только фирмы Jyebao и KMW, Inc.).

Техника радиочастотных соединителей развивается быстрыми темпами. Созданы новые серии соединителей: ультра- и микроминиатюрные, для поверхностного монтажа (предельная частота 65 ГГц), соединители для диапазона частот от постоянного тока до 110 ГГц, соединители с различными механизмами сочленения вилки и розетки: snap-on, quick-lock, slide-on, blind-mate.

Группы соединителей

Основные группы соединителей по данным Radiall, Huber+Suhner и ряда других фирм представлены в таблице 2.

Конструктивные особенности

Законченная конструкция соединителя представляет собой сочетание пары: вилка (plug, male) и розетка (jack, female). Распространено представление, что вилка — это часть пары, которая имеет штыревой контакт (pin), а розетка всегда имеет гнездовой контакт (socket). Однако это представление верно только для случая резьбового соединения вилки (с присоединительной гайкой) и розетки. Для нерезьбовых соединителей очень часто вилка — это активная часть в меха-

Таблица 1. Наиболее известные фирмы — производители радиочастотных соединителей

№ п/п	Компания	Страна	Сайт
1	M /A-COM, Inc.	США	www.macom.com
2	Amphenol Corp.	США	www.amphenol.com
3	AMP Inc. (Tyco Electronics Corp.)	США	www.amp.com/communications.com
4	Corning Gilbert Microwave Products	США	www.corning.com/corninggilbert.com
5	Anritsu Comp.	США	www.usaanritsu.com
6	Molex RF/Microwave	США	www.molex.com
7	Southwest Microwave, Inc.	США	www.southwestmicrowave.com
8	SV Microwave, Inc. (Amphenol Corp.)	США	www.svmicrowave.com
9	Pasternack Enterprises	США	www.pasternack.com
10	Jonson Components	США	www.jonsoncomponents.com
11	Coaxicom (Coaxial Components Corp.)	США	www.coaxicom.com
12	SM Electronics	США	www.smelectronics.com
13	Agilent Comp.	США	www.agilent.com/find/accessories
14	Applied Engineering Products, Inc.	США	www.aepconnectors.com
15	Tensolite Comp.	США	www.tensolite.com
16	Sabritec, Inc.	США	www.sabritec.com
17	Dynawave, Inc.	США	www.dynawave.com
18	Aeroflex/Weinschel Com	США	www.aeroflex-weinschel.com
19	W.L.Gore&Associates	США	www.gore.com
20	Gigalane Co. Ltd.	США	www.gigalane.com
21	Micro-Mode	США	www.micromode.com
22	Astrolab	США	www.astrolab.com
23	Corry Micronics	США	www.corrymicronics.com
24	Radiall, Comp.	Франция	www.radiall.com
25	Huber+Suhner AG	Швейцария	www.hubersuhner.com
26	Rosenberger Co.	Германия	www.rosenberger.de
27	Spectrum Electrotechnik	Германия	www.spectrum-et.org
28	IMS Connector Systems	Германия	www.imscs.com
29	Jyebao	Китай	www.jyebao.com.tw
30	KMW, Inc.	Корея	www.kmw.com

Таблица 2. Группы соединителей

№ п/п	Группа		Соединители, входящие в группу
1	Ultraminiature	Ультраминиатурные	UMP, (фирмы Radiall)
2	Microminiature	Микроминиатурные	MMT, MMS, MMBX, MMCX, SMP, SMPX и др.
3	Subminiature	Субминиатурные	MCX, SMA, QMA, K, SMB, SMC, BMA, 1,0/2,3 и др.
4	Miniature	Миниатурные	BNC, TNC, BNO, BNT и др.
5	Medium	Средние	N, QN
6	Large	Большие	7/16 и др.
7	Precision	Прецизионные (для радиоизмерительной и метрологической аппаратуры)	APC-7; APC-3,5; APC-2,4; PC3,5; SK и др.

низме соединения, которая может свободно перемещаться по отношению к розетке. В соединителях с механизмом защелкивания вилка, так же как и розетка, может иметь не только штыревой, но и гнездовой контакт. Это можно видеть на примере соединителей SMB, CMS, SSMB, SCMS, MCX, MMCX и др.

Название соединителей некоторых фирм не позволяет сделать однозначный вывод о том, что это — вилка или розетка. В этом случае может помочь более понятная информация об аналогах таких соединителей, выпускаемых другими компаниями. Например, соединитель SMC № 8123-XX фирмы Coaxicom называется "strait female cable plug". И только сравнение с аналогами фирм Huber+Suhner и Amphenol позволило сделать вывод, что это «вилка кабельная прямая под гибкий или полужесткий кабель», хотя на чертеже соединителя изображен гнездовой контакт.

В нашей стране по конструктивному исполнению соединители подразделяют на кабельные, приборно-кабельные, приборные и переходы. Кабельные соединители предназначены для соединения между собой двух кабелей и не имеют элементов крепления к панели. Приборно-кабельные соединители также выполняют функцию соединения кабелей, но при этом конструкция одной из частей соединителя (блочная) крепится к панели. Приборные соединители состоят из двух блочных частей. Переходы служат для соединения двух или более частей соединителей с одинаковыми или разными присоединительными размерами. Особую группу представляют коаксиально-полосковые (микрополосковые) переходы, с помощью которых осуществляется соединение коаксиальных кабелей с полосковыми (микрополосковыми) линиями [4].

За рубежом принята более подробная градация конструктивных исполнений (patterns) соединителей и адаптеров (табл. 3).

Аналогично обозначаются и адаптеры (adaptors) — переходные устройства с различным сочетанием разъемов розетка и вилка для одного или разных сечений коаксиального канала. Адаптеры (переходы, переходники) применяют для электрической связи радиотехнических устройств, имеющих на

Таблица 3. Конструктивные исполнения зарубежных соединителей

№ п/п	Конструктивное исполнение	
	Обозначение в зарубежной документации	Отечественное обозначение
1	Bulkhead connector (рис. а)	Резьбовой соединитель, предназначенный для вставления в панель с ее передней или задней стороны. Соединитель устанавливают в D-образное (от проворачивания) отверстие в панели и закрепляют в ней при помощи гайки и шайбы с применением уплотняющей прокладки
2	Feedthrough connector	Соединитель, проходящий через стенку панели или корпуса изделия и имеющий 2 входа
3	Back mounted connector	Соединитель, монтируемый с задней стороны панели
4	Front mounted connector	Соединитель, монтируемый с передней стороны панели
5	Flange mounted connector (рис. б)	Фланцевый соединитель с квадратным (4 крепежных отверстия) или прямоугольным (2 отверстия) фланцем, прикручиваемый винтами к панели с одной ее стороны
6	Receptacle (рис. в)	Фиксируемая или стационарно устанавливаемая часть пары (вилка или розетка). Чаще всего это розетка с гнездовым контактом, предназначенная для ввода (вывода) СВЧ-энергии. Центральный проводник соединителя в изделии соединяют с полосковой линией передачи. Применяются неподвижный, скользящий (sliding) или сменный (field replaceable) центральный проводники
7	Field replaceable connector Field replaceable hermetic launcher Field replaceable hermetic launcher with drop-in seals (рис. г)	Соединитель, заменяемый в полевых условиях, он состоит из герметичного металлокерамического 50-омного ввода (диаметр центрального проводника 0,3, 0,46 или 0,5 мм) и СВЧ-разъема. Центральный проводник ввода соединяют с микрополосковой линией
8	Connector for strip transmission line circuits (рис. д)	Коаксиально-микрополосковый переход (см. п. 6, 7)
9	Hermetically sealed connector (рис. е)	Герметизированный соединитель. Основные типы герметичных соединителей (spark plugs): • с внутренним металлокерамическим спаем, впаиваемые в корпус изделия или вкручиваемые и герметизируемые в нем при помощи металлической или эластомерной прокладки; • без внутреннего металлокерамического спая, вкручиваемые в корпус изделия и герметизируемые в нем при помощи деформируемой металлической или эластомерной прокладки
10	Panel jack	Соединитель «розетка» с фланцем для установки на панель, заканчивающийся входом для радиочастотного кабеля
11	Panel plug	Соединитель «вилка» с фланцем для установки на панель, имеющий вход для кабеля
12	Plug launcher (рис. ж)	Соединитель, подобный панельной вилке с фланцевым креплением к панели. Отличается тем, что его центральный проводник, контактируемый с печатной платой, имеет определенную форму: с прорезью (slotted), ленточный (tab) или штырьковый (pin) и может быть заключен в диэлектрик
13	Socket launcher (рис. з)	Соединитель, подобный панельной розетке с фланцевым креплением к панели (см. п. 11)
14	PCB plug (рис. и)	Соединитель «вилка», монтируемый в металлизированные отверстия на печатной плате (printed circuit board) запрессовыванием (press-in) или пайкой (soldering)
15	PCB socket (рис. к)	Соединитель «розетка», монтируемый в отверстия на печатной плате (см. п. 13)
16	Surface mount connector	Соединитель, монтируемый на контактные площадки определенной конфигурации (foot print, print layout, pad) печатной платы
17	Press-fit connector	Соединитель, запрессовываемый в панель или в стенку корпуса изделия. Не имеет фланца и присоединительной резьбы. Для прессового соединения на наружной поверхности соединителя сделана накатка
18	Strait cable plug (male)/jack (female) (рис. л)	Прямая кабельная вилка/розетка
19	Right angle (elbow) cable plug (male)/jack (female) (рис. м)	Угловая кабельная вилка/розетка
20	Strait cable plug (male)/jack (female) flange mount	Прямая вилка/розетка фланцевая приборно-кабельная
21	Right angle panel cable plug (male)/jack (female) flange mount	Угловая вилка/розетка фланцевая приборно-кабельная
22	Strait/Right angle bulkhead cable plug (male)	Прямая/угловая кабельная вилка с резьбой на корпусе, закрепляемая в панели с ее передней или задней стороны (см. п. 1)
23	Strait/Right angle bulkhead cable jack (female)	Прямая/угловая кабельная розетка с резьбой на корпусе (см. п. 1)
24	Strait/Right angle bulkhead receptacle plug (male)	Прямая/угловая розетка, для установки в панель (см. п. 1), ввод СВЧ-сигнала
25	Strait/Right angle bulkhead receptacle jack (female) (рис. н)	Прямая/угловая розетка, для установки в панель (см. п. 1), ввод СВЧ-сигнала
26	Strait/Right receptacle plug (male) flange mount	Прямая/угловая вилка — ввод СВЧ-сигнала, фланцевая (квадратный или прямоугольный фланец с 4 или 2 крепежными отверстиями)
27	Strait/Right receptacle jack (female) flange mount	Прямая/угловая розетка — ввод СВЧ-сигнала, фланцевая (квадратный или прямоугольный фланец с 4 или 2 крепежными отверстиями)



выходе соединители, в случаях, когда эти соединители отличаются друг от друга:

- размерами коаксиального канала;
- типом разъема: розетка или вилка;
- способом соединения с ответной частью;
- видом резьбы на корпусе: метрическая или дюймовая.

Адаптеры одного сечения канала называют внутрисерийными или одноканальными (in-series adaptors, within-series adaptors), разных сечений — междусерийными или междуканальными (between-series adaptors, inter-series adaptors).

Способы заделки кабеля в соединители

Выбирать зарубежный кабельный соединитель необходимо совместно с соответствующим ему радиочастотным кабелем. Гибкие, полужесткие и ультрагибкие кабели серийно производят многие зарубежные фирмы (Belden, Leoni, Huber+Suhner, Lapp, Western Electric, Core Microwave и др.). Такие компании приводят параметры кабельных соединителей только для сочетания с кабелем определенного типа. Например, базовый соединитель SMA применяют с гибким кабелем на частотах до 12,4 ГГц, а с полужестким кабелем — до 18 ГГц. Соединители с предельными частотами выше 34 ГГц предназначены для работы только с полужесткими кабелями.

Заделку кабеля в соединитель производят следующими способами: пайкой (solder), прижимом втулкой с гайкой (clamp) и обжимом с деформацией (crimp). Центральный проводник кабеля соединяют с внутренним контактом соединителя пайкой или обжимом. Наружный проводник гибкого кабеля (оплетку) заделывают в соединитель пайкой, прижимом или обжимом с деформацией.

Обжатие с деформацией: стандартный гексагональный обжим (hex. crimp) и обжим («0» crimp; предложен фирмой AMP [3]), что обеспечивает надежность соединения и идентичность параметров от сборки к сборке. Однако для его осуществления необходим набор специальных инструментов в зависимости от типа кабеля. Этим способом можно соединять и внутренние, и наружные проводники кабеля и соединителя (full crimp — полный обжим).

Соединение clamp не столь надежно и воспроизводимо, как crimp, однако оно не требует специального инструмента и поэтому пригодно для полевых условий обслуживания изделий.

Для полужесткого кабеля наиболее надежно паяное соединение внутренних и наружных проводников.

Фирмы, выпускающие соединители, производят также разнообразные кабельные сборки (cable assemblies) — отрезки кабеля, концы которого заделаны в соединители одного или различных типов.

Ведущие фирмы — производители соединителей — в своих каталогах приводят подробные инструкции по выбору и способу заделки кабеля, а также предлагают набор инструментов (tool) для этого.

Способы соединения вилки и розетки

В подавляющем большинстве случаев в соединителях всех типов применено стандартное соединение центральных проводников вилки и розетки: штыревой контакт одного соединителя входит в гнездовой цанговый контакт другого соединителя и удерживается в нем за счет контактного усилия, создаваемого пружинящим гнездом. Гнездовой контакт изготавливают из термически упрочненной бериллиевой бронзы и покрывают износостойким золотом [3].

Рассмотрим способы соединения наружных проводников вилки и розетки, применяемые в зарубежных соединителях: резьбовое, байонетное, snap-on (full detent, limited detent, slide-on, catcher's mitt), quick-lock, blind-mate, push-pull [3, 5–8].

Резьбовое соединение

На корпусе розетки имеется резьба, а вилка снабжена присоединительной гайкой (рис. 1).

В зарубежных соединителях большинства типов применяется американская дюймовая резьба (стандарт ANSI B1.1-1982). Это обстоятельство существенно осложняет применение таких резьбовых соединителей в отечественных устройствах, в которых используется только метрическая резьба. Поэтому, приобретая зарубежные резьбовые соединители, необходимо одновременно позаботиться

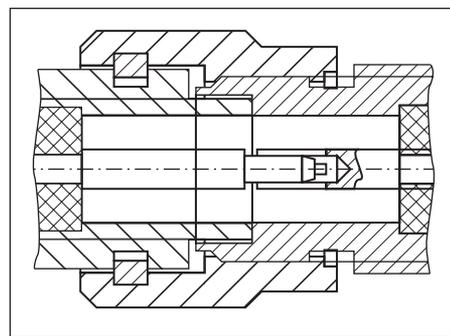


Рис. 1. Резьбовое соединение вилки и розетки

ся и о соответствующих адаптерах для перехода с дюймовой на метрическую резьбу.

Необходимо также отметить, что прецизионные зарубежные соединители с предельными рабочими частотами 50, 65 и 110 ГГц (2,4-мм, 1,85-мм и 1,0-мм устройства) выпускаются не с дюймовой, а с метрической резьбой M7×0,75. В соединителях 7/16 также применена метрическая резьба M29×1,5.

Резьбовое соединение гарантирует не менее 500 циклов соединения и разъединения вилки и розетки без ухудшения электрических параметров соединителя, если соблюдено требование о максимально допустимом моменте при закручивании присоединительной гайки на вилке. Для выполнения этого требования необходимо применять специальные торированные ключи (torque wrench).

Параметры зарубежных резьбовых соединителей представлены в таблице 4.

Байонетное соединение (bayonet)

На корпусе вилки имеются 2 штыря, которые входят в Г-образные прорезы на корпусе розетки и при повороте вилки закрепляются в них (рис. 2).



Рис. 2. Байонетные соединители розетка и вилка

Это соединение позволяет исключительно быстро сочленять вилку с розеткой, но недостаточно надежно в условиях высоких вибрационных и ударных нагрузок.

Соединение защелкиванием

Соединение snap-on

Соединение snap-on (push-on) применяют в конструкции микроминиатюрных и субминиатюрных соединителей для устройств с высокой плотностью монтажа, особенно для многократного соединения и разъединения печатных плат [7, 8]. Надежное

Таблица 4. Параметры резьбовых соединителей

№ п/п	Тип соединителя	Дюймовая резьба	Наиболее близкая метрическая резьба	Предельная частота соединителей, ГГц	
				Стандартных	Прецизионных
1	SMC	0,190-32-UNF	M 5×0,8	10	—
2	SSMA	—	—	40	—
3	SMA	0,250-36-UNS	M 6×0,75	18	26,5
4	3,5-мм (APC-3,5; PC3,5 и др.)	0,250-36-UNS	M 6×0,75	33	38
5	2,9-мм (K, SK, OS - 2,9 и др.)	0,250-36-UNS	M 6×0,75	40	46
6	2,4-мм (APC-2,4; OS-50 и др.)	M 7×0,75	—	—	50
7	1,85-мм (APC-1,85; OS-65, V и др.)	M 7×0,75	—	—	65
8	1,0-мм (APC-1,0; RPC-1,0, W и др.)	M 7×0,75	—	—	110
9	TNC	7/16-28 UNEF	M 11×1	11	18
10	N	0,625-24 UNEF	M 16×1	11	18
11	7/16	M 29×1,5	—	7,5	—

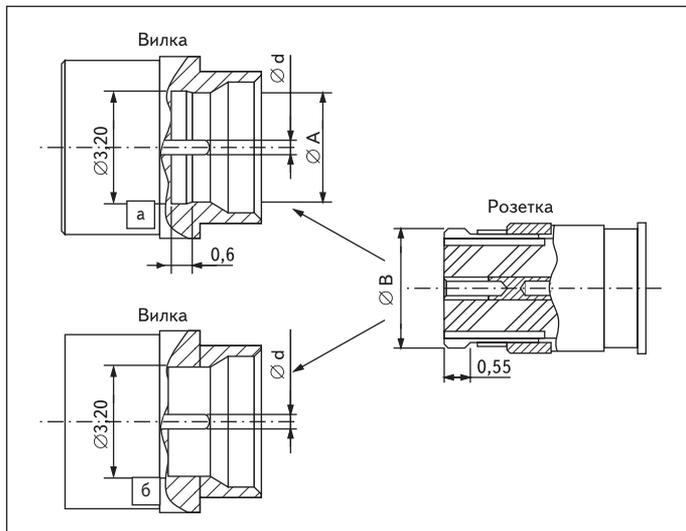


Рис. 3. Соединение snap-on (соединитель SMP): а) полное ($A = 2,9$ мм) и ограниченное ($A = 3,0$ мм) защелкивание; б) скользящее соединение, $A = 3,1$ мм

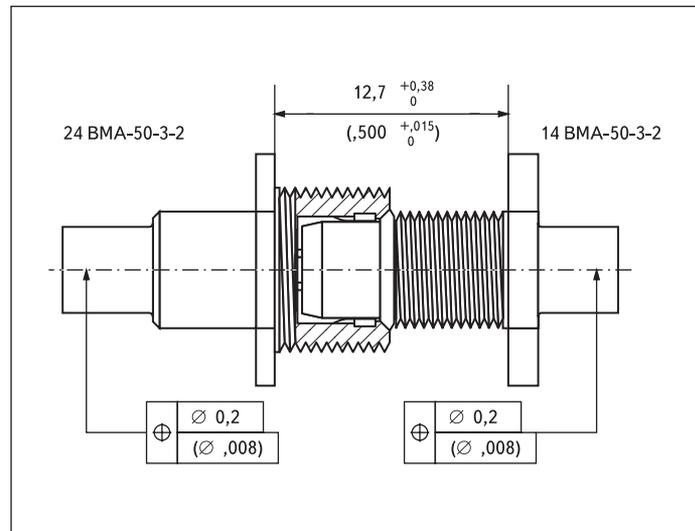


Рис. 5. Соединитель BMA

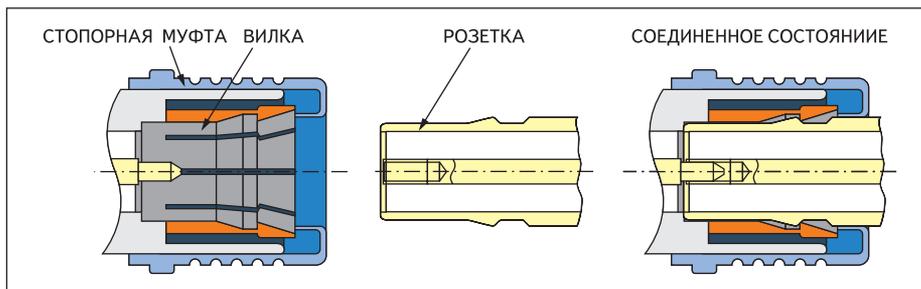


Рис. 4. Конструкция вилки и розетки соединителя QMA

соединение возможно даже при радиальной несоосности до 0,25 мм стыкуемой пары соединителей.

Соединение защелкиванием наружных проводников пары соединителей розетка и вилка (рис. 3) производится следующим образом.

Стыкуемая часть розетки представляет собой пружинный элемент с 4 или 6 ламелями, изготовленный из термически упрочненной бериллиевой бронзы. На внутренней поверхности вилки сделана канавка. При введении в вилку пружинящая часть розетки сжимается на гладкой поверхности $\varnothing A$ и затем, распружинившись в канавке, защелкивается в ней.

Разработаны соединители с одним из трех уровней защелкивания: полное (full detent, lock-on), ограниченное (limited detent, half detent) и скользящее соединение (slide-on, smooth bore). Полное защелкивание, или блокировка, используется в соединителях, работающих при повышенных вибрационных и ударных нагрузках (рис. 3а). Для разъединения вилки и розетки требуется специальный инструмент — экстрактор (decoupling tool).

В варианте ограниченного защелкивания $\varnothing A$ на 0,1 мм больше, чем в случае полного защелкивания. Поэтому стыкуемая часть розетки сжимается меньше и происходит не-

полное защелкивание (рис. 3а). Разъединение пары соединителей возможно и без применения экстрактора.

Скользящее соединение осуществляется за счет распружинивания вилки в розетке с гладкой (без канавки) внутренней поверхностью (рис. 3б). Типичное применение этого варианта — соединение и разъединение материнской и дочерней печатных плат.

Разновидностью скользящего соединения является соединение catcher's mitt. Главное его отличие — широкая заходная фаска под углом 45° на корпусе вилки. Благодаря этому еще больше облегчается соединение вилки и розетки в случае их несоосности в момент стыковки.

Соединение slide-lock (quick-lock)

Применение в соединителях QMA и QN нового механизма соединения розетки и вилки slide-lock позволило не только уменьшить размеры, но и по сравнению с резьбовыми соединителями в 10 раз сократить время соединения (менее 2 секунд). Механизм соединения состоит из подпружиненного наружного проводника вилки, в котором блокируется наружный проводник (со специальным буртиком) розетки. Разъединение происходит при отводе стопорной муфты на корпусе вилки (рис. 4) [6].

Соединение slide-lock сочетает высокий уровень параметров, свойственный резьбовым соединителям, с возможностью простого и быстрого соединения и разъединения вилки и розетки в соединителях с механизмом snap-on.

Соединение blind mate

Соединение blind mate («вслепую») создано для работы в устройствах, требующих многократного быстрого соединения розетки и вилки при их значительной аксиальной и радиальной несоосности в момент стыковки. Этот механизм реализован в соединителях BMA, применяемых в многовыводных линиях передачи с высокой плотностью компоновки. Несоосность розетки и вилки компенсируется соединением скользящим (slide-on) наружного проводника вилки с пружинным наружным контактом розетки (рис. 5) [6]. При оптимальных параметрах согласования допускается аксиальная и радиальная несоосность — соответственно 0,38 и 0,20 мм.

Соединение blind mate применено и в соединителях OSP, OSSP (рис. 6) [3]. Для его реализации на внутренней поверхности стыкуемой части розетки смонтирован пружинный элемент, который удерживает вилку после стыковки пары соединителей. Параметры согласования пары соединителей не ухудшаются, даже если между ними имеется зазор до 0,38 мм.

Следует подчеркнуть, что сочетание соединителей, в которых использованы механизмы snap-on, slide-lock и blind mate, со стандартными резьбовыми соединителями невозможно без применения соответствующих адаптеров.

Соединение push-pull

Оригинальная система самозащелкивающегося соединения push-pull разработана швейцарской фирмой Lemo [3]. Сопряжение

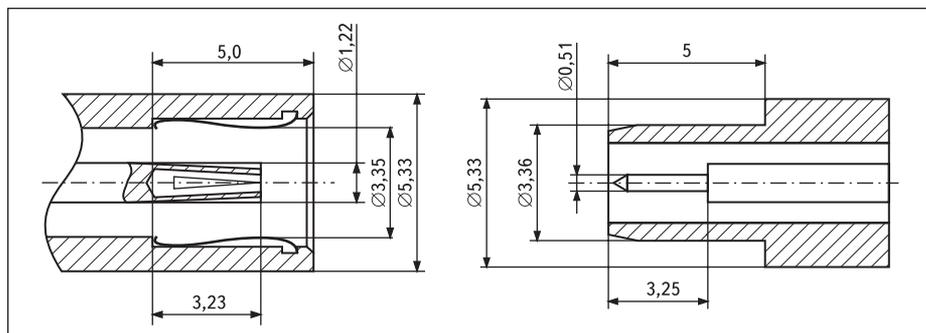


Рис. 6. Соединители OSSP: а) розетка; б) вилка

Таблица 5. Параметры резьбовых соединителей

№ п/п	Тип соединителя	Механизм соединения вилки и розетки	Гарантированное количество соединений и разъединений	Предельная рабочая частота, ГГц	Источник информации
1	MCX, MMCX	snap-on	500	6	[3, 5]
2	SMB			4	
3	MMBX			12,4	
4	SMP, GPO, SMPX	full detent	100	40	[3, 5, 7, 8]
		limited detent	500		
		slide-on	1000		
5	SMS 1,0/2, 3	slide-on	500	4	[5]
6	SMPM, GPPO, MMPX	full detent	100	65	[6–8]
		slide-on	1000		
		slide-lock	100		
7	QMA	slide-lock	1000	18 (оптимальная — 6)	[6]
8	QN			11	
9	BMA	blind mate	1000	18	[6]
10	OSP			22	
11	OSSP			28	
12	BNC	bayonet	500	4	[3]
13	BNT			3	
14	BNO, SHV, MHV			0,2–0,3	

разъемов происходит путем проталкивания штыря вилки в гнездо розетки. Надежность контакта обеспечивают две особенности соединения:

1. Корректирующий стыковку вход на гнезде, который гарантирует соединение даже при несоосности вилки и розетки.
2. Оригинальная конструкция вилки, изготовленной из металла с упругими свойствами.

Параметры резьбовых зарубежных соединителей приведены в таблице 5.

Параметры соединителей

Электрические параметры (electrical data)

Приведем основные электрические параметры соединителей:

- Волновое сопротивление (impedance) соединителей в технике СВЧ принято 50 Ом. В телевизионной технике применяют соединители с волновым сопротивлением 75 Ом.
- Рабочий диапазон частот (frequency range) — диапазон частот от DC (direct current — постоянный ток) до предельной частоты (cut-off frequency) — критической частоты, при которой в коаксиальной линии соединителя возникают волны высших порядков, нарушающие нормальный режим ее работы. Например, рабочий диапазон частот базового соединителя SMA — DC–18 ГГц. Иногда фирмы указывают

только предельную частоту соединителей (табл. 4, 5).

- Коэффициент стоячей волны — КСВН или $K_{ст.в}$ (VSWR) — разные фирмы указывают либо в виде частотной зависимости, либо приводят его величину для определенных частот. Часто вместо КСВН используют эквивалентную ему величину возвратных (обратных) потерь в децибелах (return loss — RL): $RL = 20 \lg [(КСВН+1)/(КСВН-1)]$, дБ. Во многих каталогах фирм, а также в работе [3] приведены таблицы пересчета этих величин. Приведем только некоторые значения:

КСВН	1,0	1,05	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0
RL, дБ	∞	32,26	26,44	20,83	17,69	14,0	9,54

КСВН зависит от частоты и определяется не только конструкцией самого соединителя, но и способом его установки в устройстве и маркой применяемого радиочастотного кабеля. КСВН угловых соединителей всегда больше, чем у прямых. КСВН кабельных соединителей под полужесткий кабель меньше, чем КСВН соединителей под гибкий кабель. Герметичные соединители (герметизированные внутренним металлокерамическим спаем) имеют КСВН всегда больше, чем негерметичные соединители. КСВН соединителей для монтажа на печатные платы существенно зависит от конструкции контактных площадок на печатной плате (foot print). Для коаксиально-микрополосковых переходов величина

на КСВН в значительной степени определяется способами их установки в изделия и монтажа на микрополосковую линию [3].

- Прямые потери СВЧ (insertion loss, реже — transmission loss или attenuation) характеризуют степень потери мощности СВЧ-сигнала (в децибелах) при его прохождении в соединителе. Величина потерь 3 дБ соответствует изменению мощности в 3 раза, 6 дБ — в 4 раза, 10 дБ — в 10 раз. Величина потерь зависит от квадратного корня из частоты. Например, для соединителей SMA величина потерь равна $0,07\sqrt{f}$. В соединителях СВЧ-диапазона потери обычно не превышают нескольких десятых долей децибела. В каталогах приводят либо частотную зависимость потерь, либо величину потерь на определенных частотах. Некоторые фирмы не указывают этот важный параметр соединителей.
- Экранное затухание (RF leakage) характеризует степень экранированности пары соединителей и измеряется в децибелах. В каталогах его указывают либо в виде частотной зависимости, либо на определенной частоте (обычно 2–3 ГГц). Абсолютная величина экранного затухания современных соединителей достигает 90 дБ. При расчетах следует учитывать, что экранное затухание является отрицательной величиной. Для ряда применений необходимо также знать приводимые в каталогах величины рабочего напряжения (working voltage), напряжения пробоя (dielectric withstanding voltage), сопротивления изоляции (insulation resistance), контактное сопротивление (contact resistance) внутренних и наружных проводников соединителя.

Механические параметры (mechanical data)

К ним относятся: гарантированное количество соединений и разъединений вилки и розетки (durability), усилие соединения (engagement force) и разъединения (disengagement force), момент вращения накидной гайки для резьбовых соединителей (coupling nut torque), усилие удержания кабеля в кабельных соединителях (cable retention force).

Механические и климатические воздействия (environmental data)

Прежде всего, следует обратить внимание на рабочий диапазон температур соединителя (temperature range). Рабочий диапазон температур соединителей большинства типов — $-65...+125$ (165) °C. Механические и климатические воздействия в каталогах обычно не приводят, а дают ссылку на стандарт MIL-STD-202 с указанием метода испытаний.

Заключение

Для обеспечения оптимальных параметров разрабатываемой аппаратуры диапазона СВЧ

необходимо не только выбрать соответствующий зарубежный соединитель, но и обеспечить его правильную установку и соединение с элементами электрической схемы, подобрать необходимый радиочастотный кабель (или его отечественный аналог) и инструмент для работы с соединителем. Нередко в каталогах фирм отсутствует необходимая для этого информация. В этом случае полезно обратиться к аналогам выбранного соединителя других фирм. Ряд фирм (Tусо, Amphenol, Coaxicom и др.) приводят таблицы соответствия выпу-

скаемых ими соединителей устройствам других фирм.

Важным показателем при выборе соединителя является его стоимость. Естественно, что стоимость соединителей ведущих американских и европейских фирм выше, чем аналогичных соединителей азиатских производителей. Это плата за высокое качество и надежность. Для сложных многофункциональных устройств СВЧ, особенно военного назначения, экономия на соединителях может обернуться невосполнимыми потерями. ■

ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ АССОРТИМЕНТ РАЗЪЕМОВ ИМПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

The advertisement features a blue background with a central logo for ZIP-2002. To the right of the logo, there are two columns of connector types, each with a small image of the connector and a label. The categories are: 'Аналоги Российских' (Russian analogs) including D-SUB, DIN, USB, and IDC; 'Сетевые розетки на плату' (PC board network sockets); 'Штыревые линейки и гнезда к ним' (Pin strips and sockets); 'Высокочастотные (коаксиальные)' (High-frequency/coaxial); 'Аудиоразъемы' (Audio connectors); 'Силовые' (Power); and 'Разъемы низковольтного питания' (Low-voltage power connectors).

Тел.: +7 (495) 740-4980, 720-5102 www.zip-2002.ru e-mail: info@zip-2002.ru

Литература

1. Келл Г. Последнее искушение российского электронщика / В сб. «Живая электроника России». 1999.
2. Джурицкий К. О нашем отставании в области радиочастотных соединителей // Электронные компоненты. 2007. № 12.
3. Джурицкий К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
4. Савченко В. С., Мельников А. В., Карнишин В. И. Соединители радиочастотные коаксиальные. М.: Советское радио, 1977.
5. Джурицкий К., Гнутов А. Радиочастотные соединители фирмы Huber+Suhner. Часть 1. Соединители для поверхностного монтажа // Компоненты и технологии. 2008. № 7.
6. Джурицкий К., Гнутов А. Радиочастотные соединители фирмы Huber+Suhner. Часть 2. Приборные и кабельные соединители для частотного диапазона DC-40 ГГц // Компоненты и технологии. 2008. № 8.
7. Джурицкий К., Чебунин М. Соединители SMP. Новые возможности для микроэлектроники СВЧ // Компоненты и технологии. 2008. № 1.
8. Джурицкий К., Выходцев С. Соединители с предельными частотами 40 и 65 ГГц фирмы Corning Gilbert // Компоненты и технологии. 2008. № 5.