

# Зарубежные и отечественные радиочастотные соединители: современное состояние

Радиочастотный соединитель, обеспечивающий эффективный ввод и вывод СВЧ-сигналов, является ключевым элементом высоконадежной радиоэлектронной аппаратуры, так как до 50% ее отказов так или иначе связаны с качеством соединителей.

30 ноября 2010 года ассоциация «Фонд УНИЭТ», ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии», Управление развития электронной компонентной базы Минобороны РФ, ФГУ «22 ЦНИИ МО РФ» провели научно-технический семинар-совещание «Новые отечественные разработки электрических и оптических соединителей — состояние, проблемы, перспективы развития, опыт разработки и применения» [1]. В нем приняли участие 187 представителей 101 предприятия оборонно-промышленного комплекса и Минпромторга РФ. На совещании было отмечено, что в связи с расширением применения СВЧ-техники возросла потребность в радиочастотных соединителях. При этом в российских разработках в настоящее время применяют значительное количество зарубежных соединителей, не имеющих отечественных аналогов с такими же высокими параметрами.

Рассмотрению состояния в области радиочастотных соединителей за рубежом и в нашей стране посвящена эта статья.

Кива ДЖУРИНСКИЙ,  
к. т. н.  
kbd.istok@mail.ru

## Зарубежные соединители

Казалось бы, в отечественных изделиях должны применяться и отечественные соединители. Более того, в изделиях военного назначения это зачастую обязательное требование. Однако во многих технически обоснованных случаях приходится все же прибегать к зарубежным соединителям:

1. При необходимости достижения высокого уровня выходных параметров разрабатываемых изделий. Не секрет, что зарубежные соединители по своим параметрам превосходят отечественные серийно выпускаемые аналоги либо вообще не имеют таких аналогов.

Таблица 1. Зарубежные производители радиочастотных соединителей

Страна	Фирмы-производители
США	Tyco Electronics Corp. (M/A-COM, Inc.), Molex RF/Microwave, Corning Gilbert Microwave Products, Amphenol Corp., Southwest Microwave Inc., SV Microwave Inc., Pasternack Enterprises, Jonson Components, SM Electronics, Applied Engineering Products Inc., Coaxicom, Dynawave, Phoenix Comp., Neutric и др.
Франция	Radiall Comp.
Германия	Rosenberger Co., Spectrum Electrotechnik GmbH, elspec GmbH
Швейцария	Huber + Suhner AG, Lemo
Южная Корея	KMW, Inc. и др.
Китай	Юебао и др.
Тайвань	Frontlynk Bridging Gaps

2. При создании изделий экспортного исполнения, когда требуется применение выходных соединителей (СВЧ-разъемов), адаптированных к зарубежной аппаратуре.
3. При использовании современной зарубежной радиоизмерительной аппаратуры, выходные СВЧ-разъемы которой отличаются от отечественных разъемов.

В странах с развитой электроникой разработка и выпуск радиочастотных соединителей — самостоятельная область техники. По данным обзора Bishop and Associates за 2007 год, рынок всех радиочастотных соединителей составил \$1,879 млрд и на 2012 год прогнозируется в объеме \$3 млрд.

В таблице 1 приведен перечень наиболее известных зарубежных производителей радиочастотных соединителей. Бесспорными лидерами в этой области являются американские компании. Первый радиочастотный

соединитель (UHF connector) был создан в American Phenolic Co (позднее компания Amphenol) в начале 40-х годов прошлого века. Но за точку отсчета следует принять 1958 год, когда J. Cheal из Bendix Research Laboratory (США) разработал миниатюрный соединитель с предельной рабочей частотой 10 ГГц. За прошедшие с того времени полвека было создано огромное количество соединителей разных типов.

Все зарубежные соединители подразделяют на 7 групп (табл. 2).

Ключевыми факторами при выборе соединителя являются предельная частота, величины КСВН, прямых потерь и экранного затухания, особенности конструкции, условия эксплуатации, тип применяемого радиочастотного кабеля и механизм соединения с ответной частью. В зависимости от назначения важны также герметичность, рабочий диапазон температур и другие характеристики соединителей.

Классификация радиочастотных соединителей представлена на рис. 1 [2].

### Предельная частота

Соединители классифицируют в зависимости от их рабочего диапазона частот: DC — 4 ГГц, DC — 12,4 ГГц, DC — 18 ГГц, DC — 40 ГГц, DC — 65 ГГц и DC — 110 ГГц, где DC — Direct Current (постоянный ток).

Таблица 2. Группы соединителей

Соединители	Типы
Ультрамиатюрные	IMP, UMP и др.
Микроминиатюрные	MMBX, MMCX, SMP, MMPX
Субминиатюрные	1,0/2,3, MCX, SMB, SMC, SMS, SMA, QMA, BMA
Миниатюрные	BNC, TNC, BNO, BNT
Средние	N, QN
Большие	7/16
Прецизионные	APC3,5; APC7, SK и др.

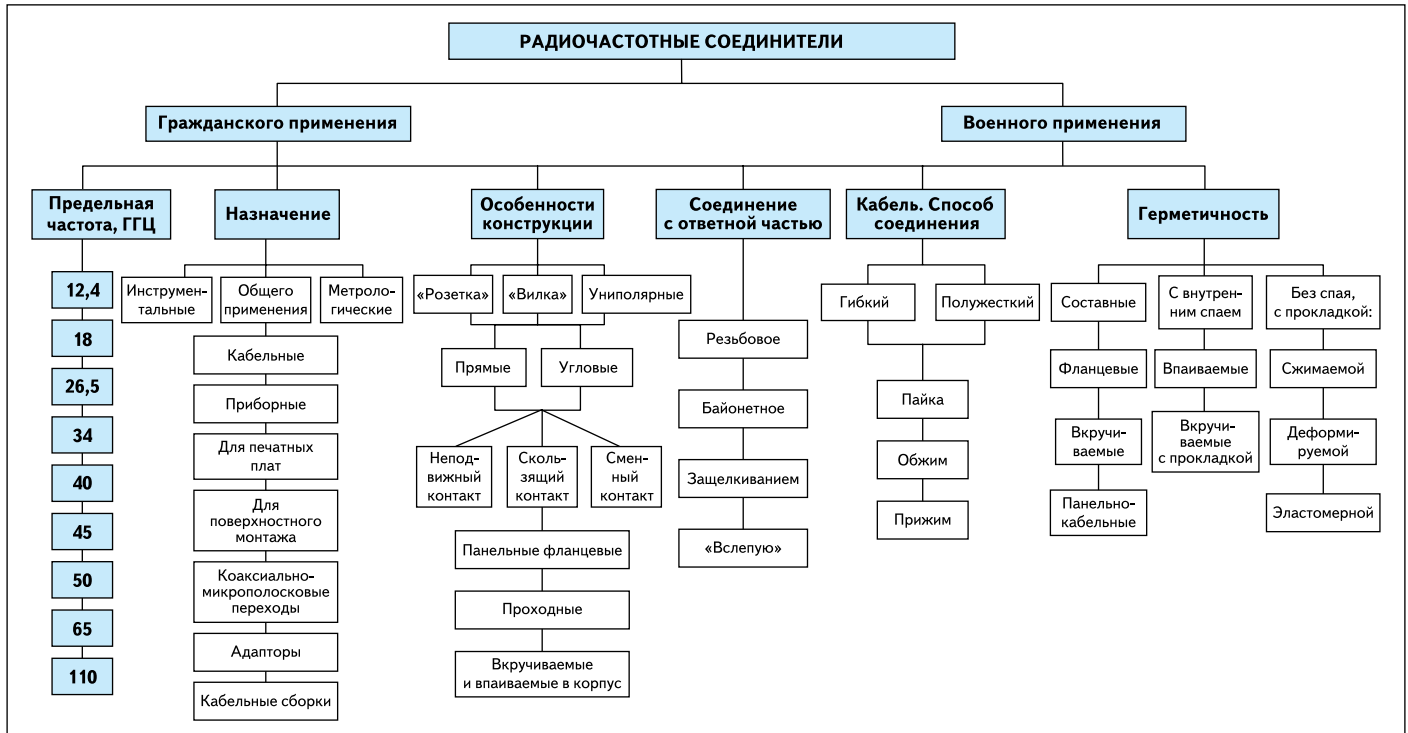


Рис. 1. Классификация радиочастотных соединителей

Таблица 3. Предельные частоты стандартных воздушных коаксиальных линий

Наружный диаметр линии, мм	7	3,5	2,92	2,4	1,85	1,0
Внутренний диаметр линии, мм	3,04	1,52	1,27	1,04	0,83	0,434
Теоретическая предельная частота, ГГц	19,4	38,8	46,5	56,5	73,3	135,7
Верхняя частота применения, ГГц	18	34	40	50	65	110

Повышения предельной частоты достигают за счет применения воздушной коаксиальной линии всё меньших размеров.

Предельные частоты 50-омных воздушных коаксиальных линий по данным международного стандарта IEE STD 287 приведены в таблице 3.

### Назначение

Все выпускаемые соединители делятся на инструментальные, метрологические и общего применения. Соединители первых двух типов отличаются наилучшими параметрами согласования и высокой надежностью. Требования герметичности к ним не предъявляют. Соединители для современных герметизированных устройств СВЧ должны быть герметичными с натеканием не более  $10^{-9}$ – $10^{-11}$  м<sup>3</sup>·Па/с.

К настоящему времени выпущена огромная номенклатура соединителей гражданского (коммерческие соединители) и военного применения: прямые и угловые, кабельные, приборные, для печатных плат и поверхностного монтажа, коаксиально-микрополосковые переходы (КМПП) и адаптеры. Зарубежные соединители соответствуют требованиям стандарта MIL-C-39012.

Среди всех соединителей до сих пор доминирует SMA, созданный еще в начале 1960-х

Таблица 4. Параметры миниатюрных и микроминиатюрных соединителей

Параметры соединителей	SMB	MCX	MMT	MMS	MMBX	UMP	IMP
Предельная частота, ГГц	4	6	8	6	12,4	6	6
Максимальный КСВН	1,35	1,13	1,15	1,35	1,2	1,28	1,23
Потери, дБ (на частотах f)	0,25 (3 ГГц)	0,15 (2 ГГц)	0,2√f	0,2 (2 ГГц)	–	0,2√f	–
Экранное затухание, дБ, на частотах 2–3 ГГц	–55	–40	–30	–40	–40	–40	–40
Количество соединений и разъединений	–	500	–	50	100	3000	20
Диапазон рабочих температур, °С	–65...+165	–55...+155	–55...+100	–40...+90	–55...+155	–40...+90	–40...+90
Высота соединения, мм	16,45	10,5	6,9	5,2	–	2,6 и 3	2

годов. Его называют «рабочей лошадкой» микроэлектроники.

В связи с развитием техники мобильной связи, компьютеров и периферийных устройств разработаны и широко применяются миниатюрные и микроминиатюрные соединители для печатных плат и поверхностного монтажа (табл. 4).

При их разработке был отвергнут традиционный опыт конструирования соединителей, монтируемых в стенку корпуса изделия, так как подобная конструкция несовместима с автоматизированной технологией посадки компонентов и не обеспечивает существенного увеличения производительности сборки и снижения стоимости изделий. Вывод энергии «розетки» устанавливают на контактные площадки платы. Коаксиальный соединитель «вилка» фиксируется в ней защелкиванием и после соединения может поворачиваться вместе с заделанным в него кабелем на 360°.

По конструктивному исполнению и способу монтажа на печатные платы соединители делятся на 3 большие группы:

1. Соединители с установочными выводами, монтируемыми в отверстия печатных плат.

2. Соединители для монтажа непосредственно на поверхность печатной платы.

3. Концевые соединители, устанавливаемые на концах печатных плат.

Все фирмы — производители соединителей выпускают и широкую номенклатуру кабельных сборок. Такие сборки применяют в радиоэлектронной, радиоизмерительной и испытательной аппаратуре.

Кроме того, выпускается большое число адаптеров (переходов, переходников), обеспечивающих сочетание соединителей «розетка», «вилка» и униполярных, одного или разных сечений коаксиального канала, а также соединителей с разными видом резьбы на корпусе (дюймовая или метрическая) и способом соединения с ответной частью (резьбовое, байонетное или защелкивание). Адаптеры обеспечивают также увеличение ресурса соединений измерительных приборов.

### Особенности конструкции

По способу установки в корпус изделия зарубежные соединители подразделяют на:

- панельные фланцевые с двумя или четырьмя крепежными отверстиями;

- проходные, обычно «розетка», устанавливаемые в панель (корпус);
- вкручиваемые и впаиваемые в корпус КМПП и выводы энергии;
- составные, заменяемые в полевых условиях: сочетание металлокерамического СВЧ-ввода и собственно соединителя (СВЧ-разъема).

Центральный проводник коаксиально-микрополосковых переходов и выводов энергии, соединяемый с микрополосковой линией (МПЛ), может быть неподвижным, сменным или скользящим [2]. Скользящий контакт находит все большее применение в соединителях, работающих на частотах выше 18 ГГц. Он представляет собой миниатюрную цангу из термически упрочненной бериллиевой бронзы, покрытой золотом, имеющую на одном конце лепесток для соединения с МПЛ. При сборке такой контакт надевают на центральный проводник МПЛ. Скользящий контакт обеспечивает защиту соединения центрального проводника КМПП с МПЛ от температурных, вибрационных и ударных воздействий.

#### Соединение с ответной частью

Наибольшее применение в соединителях (N, SMC, SMA, K, 2,4-мм, 1,85-мм и 1-мм соединители) имеет резьбовое соединение. На корпусе «розетки» выполнена резьба, а ответная «вилка» снабжена навинчиваемой гайкой. Все зарубежные соединители с предельной частотой до 50 ГГц выполнены с дюймовой резьбой на корпусе. В соединителях с предельными частотами 50, 65 и 110 ГГц применена метрическая резьба M7x0,75-7g (табл. 5).

Таблица 5. Вид резьбы зарубежных соединителей

Соединитель	Резьба	Отечественный аналог
SMA, APC-3,5, K	0.250-36 UNS-2A	M6x0,75-6g
N	0.625-24 UNEF-2A	M16x1-7g
SSMA, OSSP	0.190-36 UNS-2A	M5x0,8-6g
SMC	0.190-32 UNF-2A	M5x0,8-6g
OS-50, APC-2,4, OS-65 APC-1,85, RPC-1,0	M7x0,75-7g	M7x0,75-6g

При резьбовом соединении необходимо обеспечить требуемый момент закручивания накидной гайки, равный для соединителей разных типов от 0,6 до 1,7 Н·м. Для этого служат специальные тарированные ключи.

Байонетное соединение применено в соединителях типа BNC с предельной частотой 10 ГГц, а также в соединителях больших размеров (SHV, BNT, TPS и др.). Соединение защелкиванием (snap-on) применяют в соединителях SMB, MCX, MMT и других типов. В устройствах с высокой плотностью монтажа оно обеспечивает многократное соединение и рассоединение печатных плат даже при значительной радиальной несоосности стыкуемой пары соединителей, а также минимальное расстояние между соединяемыми платами.

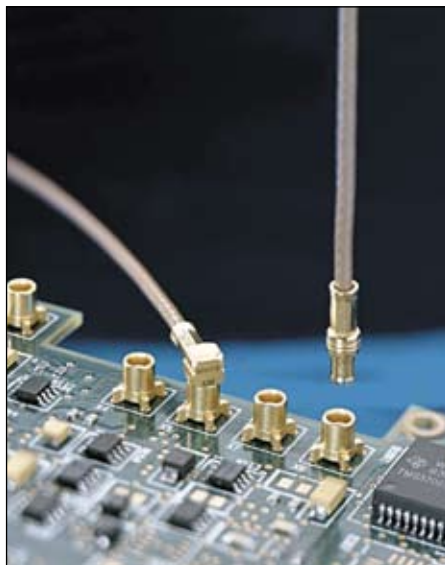


Рис. 2. Соединители SMP

Среди всех защелкиваемых соединителей для СВЧ-микроэлектроники наиболее привлекательны соединители SMP и мини-SMP с предельными частотами 40 и 65 ГГц. Разработаны следующие конструктивные варианты соединения snap-on в этих соединителях:

- Блокировка, используемая в соединителях, работающих в условиях жесткой вибрации. Для рассоединения «вилки» и «розетки» требуется специальный инструмент — экстрактор. Допускается до 100 циклов соединения-рассоединения.
- Ограниченное защелкивание. Рассоединение пары соединителей не требует инструмента. Допустимое количество соединений-рассоединений — 500.
- Скользящее соединение. Типичное применение этого варианта — соединение и рассоединение материнской и дочерней печатных плат. Допустимое количество соединений — 1000.

Соединители SMP с предельной частотой 40 ГГц представляют большой интерес для разработчиков сверхвысокочастотных систем с плотной компоновкой (АФАР, радары и др.) (рис. 2).

Эти соединители в настоящее время выпускают около 30 зарубежных фирм.

Соединение «вслепую» (blind mate) применено в соединителях OSP, OSSP. Оно обеспечивает возможность надежного, многократного контактирования пары соединителей даже при их значительной несоосности.

Следует подчеркнуть, что для сочетания стандартных резьбовых соединителей с байонетными и защелкиваемыми соединителями необходимо применять соответствующие адаптеры.

#### Кабель. Способ соединения

Выбирать зарубежный кабельный соединитель необходимо с учетом соответствующего ему радиочастотного кабеля. Радиочастотные

кабели за рубежом производят многие фирмы (Belden, Leoni, Lapp, Huber+Suhner, Core Microwave, Western Electric и др.). Гибкие кабели более удобны в обслуживании, но их параметры согласования хуже, чем у полужестких кабелей. Зарубежные фирмы приводят параметры кабельных соединителей только в сочетании с кабелем определенного типа. Например, базовый соединитель SMA рекомендуется применять с гибким кабелем на частотах до 12,4 ГГц, а с полужестким кабелем — до 18 и даже 26,5 ГГц. Соединители с предельными частотами выше 34 ГГц сочетаются только с полужесткими кабелями.

Заделку кабеля в соединитель осуществляют следующими способами: пайкой, прижимом (clamp) и обжимом с деформацией (crimp). Соединение clamp не столь надежно и воспроизводимо, как crimp, но не требует специального инструмента и пригодно для полевых условий обслуживания.

Наиболее надежно соединение внутренних и наружных проводников полужесткого кабеля и соединителя путем пайки.

Ведущие фирмы — производители соединителей в своих каталогах и технической документации дают подробные инструкции по выбору кабеля и способу его заделки, а также предлагают наборы инструментов для этого.

#### Герметичность

Требование герметичности предъявляют только к КМПП и вводам энергии. Само понятие «герметичность» без указания величины скорости натекания гелия (или другого газа) через соединитель не имеет смысла. Существуют 2 уровня герметичности соединителей:

1. Герметичность не регламентируется. Обычно это соединители, герметизированные органическими диэлектриками.
2. Скорость натекания ( $1,3 \times 10^{-9}$ – $1,3 \times 10^{-11}$ ) м<sup>3</sup>·Па/с — высокий уровень герметичности — вакуумная плотность соединителя.

Наибольшее распространение за рубежом имеют составные соединители: миниатюрный герметичный металлокерамический 50-омный ввод в сочетании с фланцевым разъемом. Реже встречаются соединители с внутренним металлокерамическим спаем, впаиваемые в корпус изделия или вкручиваемые и герметизируемые в нем при помощи металлической или эластичной прокладок (табл. 3).

Основные параметры зарубежных соединителей приведены в таблице 6.

#### Отечественные соединители

Разработку и выпуск радиочастотных соединителей в нашей стране осуществляют следующие предприятия:

- ФГУП ПО «Октябрь», г. Каменск-Уральский.
- ОАО ЦНИИИА, г. Саратов.
- ФГУП НИИПИ «Кварц» [3], г. Нижний Новгород.

Таблица 6. Основные параметры зарубежных соединителей

Параметры	Соединители												
	SMC	N	SMA	APC-3,5	2,9-мм				2,4-мм		1,85-мм	1-мм	
					SMA-2,9	OS-2,9	SMP	K	OS-2,4	APC-2,4	OS-65	RPC-1,0	
Предельная частота, ГГц	10	11	18	34	40				45		50	65	110
Максимальный КСВН	1,6	1,3	1,2	1,15	1,25	1,25	1,5	1,4	1,3	1,25	1,3	1,28	
Потери, дБ (на частотах, ГГц)	0,25 (4)	0,15	0,03√f	0,09	0,25	0,04√f	0,12√f	0,02√f	0,05√f				0,07√f
Экранное затухание, дБ (на частотах, ГГц)	-60 (3)	-90 (3)	-(90-f)	-90 (16)	-90	-80 (3)	-90	-(120-f)					
Допустимое количество соединений и рассоединений	500			1000	500	500			500				
Диапазон рабочих температур, °С	-60...+85	-60...+165	-40...+85		-55...+125	-60...+165			-55...+125		-40...+85		

- НПФ «Микран» [4], г. Томск.
- ООО «Амитрон» [5], г. Москва.
- ООО НПФ «Спецкабель» [6], г. Москва.
- ФГУП НПФ «Исток», г. Фрязино.

В настоящее время состояние развития и возможности отечественных предприятий-разработчиков и производителей радиочастотных соединителей далеко не в полной мере могут обеспечить потребности разработчиков при создании новых образцов техники СВЧ военного и гражданского назначения, как по номенклатуре, так и по параметрам. Многие отечественные соединители уступают лучшим зарубежным аналогам в части конструктивных характеристик, диапазона рабочих частот, стойкости к внешним возмущающим факторам, надежности [1].

В плане перспективного развития отечественные предприятия в основном занимаются освоением производства наиболее применяемых зарубежных соединителей. Импортзамещение сдерживают, прежде всего, нехватка высокоточного оборудования для изготовления деталей и технологической оснастки, отсутствие ряда необходимых отечественных материалов, нехватка специалистов высокой квалификации.

Отечественные соединители, применяемые в изделиях электроники СВЧ, соответствуют требованиям ГОСТ 20265-83. Измерительные и метрологические соединители выпускают по ГОСТ 13317-89.

Соответствие размеров коаксиальной линии и присоединительных размеров отечественных и зарубежных соединителей «вилка» (В) и «розетка» (Р) показано в таблице 7.

Таблица 7. Соответствие отечественных и зарубежных соединителей

Размеры коаксиальной линии, мм	Типы радиочастотных соединителей	
	Отечественные	Зарубежные
7/3,04	III (В, Р)	N, APC-7, RPC-7
4,1/1,27; 3,5/1,52	IX (В, Р)	SMA
3/0,94	Отсутствуют	SMC, SMB
2,92/1,27	Отсутствуют	2,9-мм соединители (K, SMA 2,9, SMP, GPO и др.)
2,4/1,042	I (В, Р)	2,4-мм соединители (APC-2,4, OS-50, RPC-2,4 и др.)
1,85/0,83	Отсутствуют	1,85-мм соединители (APC-1,85, OS-65, VP, GPPO)
1/0,534	Отсутствуют	1-мм соединители (APC-1,0, RPC-1,0)

Отсутствие в отечественных стандартах 4 миниатюрных коаксиальных линий из 7, стандартизованных за рубежом, свидетельствует о нашем отставании в области соединителей, прежде всего, миллиметрового диапазона длин волн.

Рассмотрим радиочастотные соединители, выпускаемые отечественными предприятиями.

#### ФГУП ПО «Октябрь»

ФГУП ПО «Октябрь» — единственное в нашей стране предприятие с крупносерийным производством радиочастотных соединителей. Оно выпускает огромную номенклатуру соединителей с волновым сопротивлением 50 Ом: около 250 негерметичных и 40 герметичных соединителей по техническим условиям ВРО 364.049 ТУ, ВРО 364.039 ТУ, ВРО 364.047 ТУ и ВРО 364.015 ТУ. Предельная частота выпускаемых соединителей — 18 ГГц. Предприятие поставляет соединители с приемкой 1, 5 и 9.

Широкое применение в микроэлектронике СВЧ имеют герметичные коаксиально-микрополосковые переходы СРГ-50-751ФВ (их часто называют «Град»), выпуск которых был освоен в начале 1980-х годов. Однако по основным параметрам они уступают зарубежным аналогам типа SMA, разработанным еще в 1962 году. Корпуса и центральные проводники этих и других соединителей ФГУП ПО «Октябрь» покрыты сплавом олово-висмут или никелем. Заметим, что в зарубежных, даже самых дешевых, коммерческих соединителях центральный проводник покрывают только золотом.

Правда, в последнее время ФГУП ПО «Октябрь» начал выпускать КМПП СРГ-50-751ФВ-1, в котором по требованию заказчиков гнездо покрыто золотом, однако центральный проводник по-прежнему покрыт сплавом олово-висмут. Кроме того, появились соединители СРГ-50-876ФВ и СРГ-50-876ФВМ, по своей конструкции и параметрам аналогичные СРГ-50-751ФВ, но отличающиеся видом резьбы на корпусе. Первый из них выполнен с дюймовой резьбой 0.250-36UNS-2A по всей длине корпуса. Во втором — часть резьбы метрическая М6х0,75 (для установки в корпус отечественного изделия), а выходная часть — дюймовая (для сочетания с зарубежными кабельными соединителями без применения адаптеров).

К сожалению, многие соединители ФГУП ПО «Октябрь» по своим параметрам и конструктивному исполнению уступают зарубежным аналогам и не полностью соответствуют требованиям современной электроники СВЧ. Каталог соединителей ФГУП ПО «Октябрь», по нашему мнению, требует доработки с включением рекомендаций по применению соединителей, как это сделано в зарубежных каталогах.

Необходимо отметить, что в последнее время положение меняется в лучшую сторону. ФГУП ПО «Октябрь» проводит большую работу по совершенствованию выпускаемых соединителей, а также по созданию соединителей с рабочими предельными частотами 40, 50 и 65 ГГц. Предприятие оснащается современным механообрабатывающим и технологическим оборудованием, выросло количество специалистов. Это должно позволить ФГУП ПО «Октябрь» выйти на современный уровень производства радиочастотных соединителей. Без этого невозможно создание серийно выпускаемой отечественной радиоэлектронной аппаратуры.

#### ОАО ЦНИИИИ

ОАО ЦНИИИИИ разрабатывает и выпускает в основном измерительные радиочастотные соединители в диапазоне частот до 50 ГГц. Они являются аналогами зарубежных соединителей SMA, APC-7, APC-3,5 и APC-2,4, однако по комплексу параметров уступают им. Разработаны кабельные соединители типов III, IX, I, коаксиально-микрополосковые переходы в диапазоне частот 0–37,5 ГГц для 50-омной МПЛ и адаптеры для обеспечения совместимости с отечественными и зарубежными соединителями. Устройства выпускают как с резьбовым, так и с фланцевым соединением с корпусами изделий. Соединители SMA-3, SMA-4 и SMA-6 работают в диапазоне частот 0–18 ГГц, а SMA-5 — в диапазоне частот 0–26,5 ГГц. Соединители SMA-7 и SMA-9 имеют расширенный диапазон частот — 0–37,5 ГГц. Максимальные прямые потери пары соединителей всех типов с тестовой микрополосковой линией составляют 0,5 дБ в диапазонах частот 0–12,5 ГГц, 1,2 дБ (15–18 ГГц) и 1,8 дБ (18–26,5 ГГц).

#### ФГУП НИИПИ «Кварц»

Нижегородский научно-исследовательский приборостроительный институт «Кварц» специализируется в области научных исследований, разработки и производства радиоизмерительной аппаратуры в диапазоне частот до 50 ГГц. Для этой аппаратуры используются соединители отечественные типов I, III, IX по ГОСТ 13317-89 и зарубежные типов N, 3,5, SMA, 2,4-мм.

НИИПИ «Кварц» разработал достаточно широкую номенклатуру коаксиальных переходов (адаптеров) для применения в аппаратуре общего и специального назначения. Среди них 23 типа переходов для различных

сочетаний зарубежных соединителей N, SMA, 2,4 и SMB и 30 типов отечественных переходов по ГОСТ 13317-89.

Особый интерес представляют кабельные соединители и переходы типа I для диапазона частот 0–50 ГГц. Эти соединители, как и их зарубежные аналоги (2,4-мм соединители), выполнены с метрической резьбой M7x0,75 на корпусе и поэтому совместимы между собой без применения адаптеров. Для канала 2,4/1,042 мм разработан радиочастотный кабель РК50-1,5-216 с диаметром центрального проводника 0,51 мм. Центральный проводник кабеля служит внутренним проводником кабельного соединителя «вилка» и непосредственно вставляется в гнездовой контакт соединителя «розетка».

#### НПФ «Микран»

В настоящее время НПФ «Микран» входит в число лидеров среди отечественных производителей измерительной аппаратуры СВЧ-диапазона (до 40 ГГц, ведутся работы по созданию измерительной аппаратуры до 60 ГГц) и прецизионных аксессуаров СВЧ-тракта. НПФ «Микран» разработал и выпускает:

- коаксиально-микрополосковые переходы типа IX с метрической и дюймовой резьбой (аналоги зарубежных переходов SMA) — 18 моделей;
- внутриканальные и междуканальные адаптеры III и IX типов — 26 моделей;
- адаптеры серии ПКН, с усиленными соединителями для векторных анализаторов цепей — аналоги зарубежных соединителей NMD;
- согласованные и несогласованные нагрузки;
- коаксиально-волноводные переходы в диапазоне частот от 8,15 до 37,5 ГГц — 16 моделей;
- измерительные кабельные сборки (в плане — до 50 ГГц).

Герметичные КМПП, аналогичные серийно выпускаемым СРГ-50-751ФВ, имеют КСВН не более 1,2 в диапазоне частот 0–10 ГГц и 1,5 на частотах 10–18 ГГц. Кроме того, налажен выпуск кабельных сборок с отечественными (РК50-1,5-22С, РК50-2-25 и др.) и зарубежными (RG-174/U, RG-58/U и др.) кабелями. Кабели армированы на концах соединителями типов IX или III в различных сочетаниях для применения в радиоэлектронной аппаратуре, в антенно-фидерных трактах СВЧ-диапазона, в отечественной и зарубежной измерительной и испытательной аппаратуре.

Представляет интерес работа этого предприятия по созданию соединителей типа I (канал 2,4×1,042 мм) с предельной частотой 50 ГГц и адаптеров на их основе.

НПФ «Микран» активно рекламирует свои разработки и выпускает регулярно обновляемые каталоги достаточно высокого уровня.

#### ООО «Амитрон»

ООО «Амитрон» рекламирует широкую номенклатуру радиочастотных соединителей. Среди них зарубежные соединители наиболее

известных серий: SMA (120 моделей, в том числе обратной полярности более 20), N — около 100 моделей, BNC (28), TNC (36), 7/16 (8) и некоторые другие. В каталоге ООО «Амитрон» представлены соединители с предельной частотой от 18 до 40 ГГц: SSMA — 16 моделей, BMA — серия из 33 моделей, по 8 моделей соединителей K (40 ГГц) и APC 3,5 (33 ГГц).

Предприятие предлагает миниатюрные зарубежные соединители типов MСХ, ММСХ, SMB, SSMB, SMC, а также приборную «вилку» и адаптер SMP. Кроме того, в каталоге ООО «Амитрон» представлены необходимые внутриканальные и междуканальные адаптеры для сочетания с отечественными и зарубежными соединителями.

Среди выпускаемых отечественных соединителей — кабельные и приборно-кабельные соединители типа III (13 моделей), а также коаксиально-микрополосковые переходы, аналогичные СРГ-50-751 ФВ (2 модели) и СРГ-50-716 ФВ.

Каталог ООО «Амитрон», по нашему мнению, недостаточно информативен и требует доработки.

#### ООО НПП «Спецкабель»

НПП «Спецкабель» производит большое число радиочастотных кабелей и кабельных сборок для систем радиосвязи, телевидения, радиоэлектронной, измерительной и испытательной аппаратуры. Наряду с этим предприятие разрабатывает в основном негерметичные радиочастотные соединители, среди которых прямые и угловые кабельные и приборно-кабельные «вилка» и «розетка» III и IX типов — более 20 моделей.

Это предприятие выпускает серию кабельных сборок на основе отечественных и зарубежных гибких и полужестких кабелей. Кабель армирован на концах соединителями отечественными типов III и IX, а также зарубежными соединителями типов N, BNC, TNC, SMA, SMP при различном их сочетании. Рабочий диапазон частот таких сборок 0–40 ГГц, максимальный КСВН — 1,2–1,5 в зависимости от типа соединителей и марки радиочастотного кабеля. Длина сборок — от 0,05 до 50 м. Сборки соответствуют требованиям стандарта МЭК 60966-1. Они нашли применение в различных типах радиоизмерительной и испытательной аппаратуры, для связи фидерных кабелей и антенн, в базовых станциях сотовой связи.

Несомненным достижением НПП «Спецкабель» является разработка и выпуск соединителей, кабельных сборок и адаптеров, совместимых с зарубежными аналогами. По четкости и наглядности изложения материалов каталог продукции этой фирмы является одним из лучших среди отечественных каталогов.

#### ФГУП НПП «Исток»

ФГУП НПП «Исток» с 1981 года разрабатывает и выпускает небольшими партиями соединители общего применения. В конце

1980-х годов были разработаны оригинальные (патент РФ № 1764477) герметичные коаксиально-микрополосковые переходы «розетка» (ТС2.236.072 и ТС2.236.072-01) и «вилка» (ТС2.236.074) с воздушной коаксиальной линией 3,5/1,52 мм, имеющие предельную рабочую частоту 36 ГГц. Они сконструированы без применения органических материалов. Это позволило повысить их радиационную стойкость, а также допустимую температуру кратковременного нагрева при пайке в корпусе изделий. Корпус и центральный проводник переходов покрыты износостойким сплавом золото-кобальт, внутренний гнездовой проводник — сплавом палладий-никель.

Разработаны фланцевые составные коаксиально-микрополосковые переходы КРПГ.434511.004/04 с СВЧ-вводами КРПГ.433434.015/03 (диаметр центрального проводника — 0,4 и 0,5 мм). В 2006 году были созданы коаксиально-микрополосковые переходы КРПГ.434511.015 (тип IX, «розетка») с улучшенными параметрами, предназначенные для замены зарубежных соединителей SMA и отечественных КМПП СРГ-50-751ФВ. Также были разработаны составные фланцевые КМПП КРПГ.434511.016 (тип III, «розетка») с предельной частотой 18 ГГц. В качестве ответной кабельной «вилки» для всех КМПП можно использовать стандартные «вилки», выпускаемые ФГУП ПО «Октябрь».

Расчет параметров и выбор оптимальной конструкции КМПП выполнен по программе Microwave Studio. По комплексу параметров разработанные коаксиально-микрополосковые переходы соответствуют зарубежным аналогам.

Кроме того, разработаны соединители КРПГ.434511.009 и КРПГ.434511.010, предназначенные для работы на частотах до 18 ГГц при окружающем давлении 80 атм. В диапазоне частот до 12 ГГц максимальный КСВН соединителей 1,4, величина потерь — 0,4 дБ. Также выпускаются герметичные адаптеры «розетка-розетка», тип IX, с предельной частотой 18 ГГц.

Внешний вид соединителей ФГУП НПП «Исток» показан на рис. 3, а их параметры приведены в таблице 8.

В 2009 году ФГУП НПП «Исток» совместно с ЗАО «Радиант-Элком» и Иркутским релейным заводом начало работу по созданию серии импортозамещающих миниатюрных защелкиваемых соединителей SMP с предельной частотой 40 ГГц. К настоящему времени разработана конструкция, изготовлены экспериментальные образцы и проведено экспериментальное обследование на частотах до 18 ГГц следующих соединителей:

- вилка приборная герметичная КРПГ.433434.054;
- кабельные соединители «розетка», прямые КРПГ.434511.020/02 и угловые КРПГ.434511.019/02 под полужесткие зарубежные и отечественные кабели;

- вилка для поверхностного монтажа КРПГ.434511.018;
- герметичный приборный адаптер «вилка – вилка» (все КРПГ.434511.019ТУ).

Разработанные соединители предназначены для применения в модулях с плотной компоновкой на частотах от 18 до 40 ГГц и являются аналогами соединителей SMP фирмы Rosenberger. Электрические параметры разработанных соединителей SMP приведены в таблице 9.

В 2011 году совместными усилиями трех указанных предприятий планируется начать выпуск отечественных соединителей SMP и разработку импортозамещающих соединителей других типов.

## Заключение

Основные тенденции развития радиочастотных соединителей достаточно очевидны. Это разработка новых оригинальных конструктивных решений, создание качественных материалов для изготовления соединителей, разработка новых технологических процессов их изготовления, обеспечение снижения степени воздействия внешних факторов, разработка новых методов монтажа соединителей в изделия.

Ведущие зарубежные фирмы вкладывают большие средства в создание все новых и новых соединителей. К сожалению, в нашей стране этому до сих пор уделяется недостаточное внимание. Промышленность продолжает выпускать ряд морально и технически устаревших соединителей, разработанных более 40 лет тому назад. Отсутствует целевая программа развития радиочастотных соединителей на ближайшие годы, объединяющая усилия немногих коллективов, работающих в этом направлении. И только в самое последнее время было рекомендовано Минпромторгу РФ при разработке целевых программ развития ЭКБ включить в них НИОКР по созданию импортозамещающих радиочастотных соединителей и по приведению отечественных стандартов в соответствие со стандартами МЭК [1].

Ведь очевидно, что без создания современной базы коаксиальных радиокомпонен-

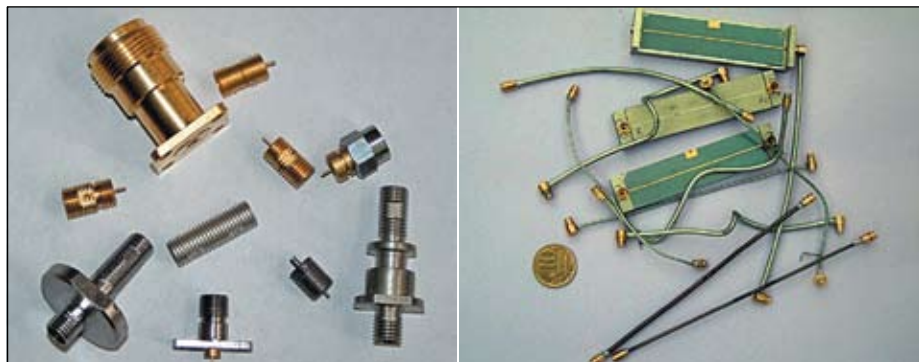


Рис. 3. Соединители ФГУП НПП «Исток»

Таблица 8. Параметры соединителей ФГУП НПП «Исток»

Обозначение соединителя, ТУ	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц			СВЧ-потери, дБ	Экранное затухание, дБ	Масса, г
	0–10	0–18	0–36			
ТС2.236.072 «розетка», ТС0.223.014 ТУ	1,1	1,25	1,4	0,25	–90	1,2
ТС2.236.072-01 «розетка», ТС0.223.014 ТУ	1,1	1,25	1,4	0,25	–90	1,2
ТС2.236.074 «вилка», ТС0.223.020 ТУ	1,15	1,3	1,43	0,3	–90	2,4
КРПГ.434511.004/04, КРПГ.434511.004ТУ с СВЧ-вводом КРПГ.433434.015/03	1,2	1,35	–	0,3	–60	2
КРПГ.468562.024, КРПГ.468562.024ТУ	1,25	1,35	–	0,3	–60	1,8
КРПГ.434511.015 «розетка», КРПГ.434511.015ТУ	1,15	1,3	18	0,3	менее –60	1,2
КРПГ.434511.016 «розетка» с СВЧ-вводом КРПГ.433434.048, КРПГ.434511.016ТУ	1,2	1,3	18	0,3	менее –60	25

Таблица 9. Электрические параметры соединителей SMP (КРПГ. 434511.019 ТУ) ФГУП НПП «Исток»

Обозначение	Максимальный КСВН в диапазоне частот 0–18 ГГц	Предельная рабочая частота, ГГц	СВЧ-потери, дБ	Экранное затухание, дБ
Вывод приборный КРПГ.433434.054 — розетка SMP	1,4	40	0,25	–65
Прямые кабельные соединители «розетка»: КРПГ.434511.020 — кабель 0,047',				
КРПГ.434511.020-01 — кабели РК50-1-23, РК50-1-24, КРПГ.434511.020-02 — кабели 0,085', РК50-1,5-22	1,4	40	0,35	–65
Угловые кабельные соединители: КРПГ.434511.019 — кабель 0,047',				
КРПГ.434511.019-01 — кабели РК50-1-23, РК50-1-24, КРПГ.434511.019-02 — кабели 0,085', РК50-1,5-22	1,45	40	0,7	–65
Вилка для поверхностного монтажа КРПГ.434511.018	1,6	20	0,4	–65

тов невозможен прогресс СВЧ-электроники в нашей стране.

## Литература

1. Материалы научно-технического семинара-совещания «Новые отечественные разработки электрических и оптических соединителей — состояние, проблемы, перспективы развития, опыт разработки и применения». Москва, ноябрь 2010 г.

2. Джуринский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
3. Каталог продукции ФГУП ННИПИ «Кварц» — [http://kit-e.ru/articles/NIU\\_Kwarst.zip](http://kit-e.ru/articles/NIU_Kwarst.zip)
4. Каталог продукции НПФ «Микран» — <http://kit-e.ru/articles/Mikran.zip>
5. Каталог продукции ООО «Амитрон» — [http://kit-e.ru/articles/Amitron\\_Electronics.zip](http://kit-e.ru/articles/Amitron_Electronics.zip)
6. Каталог продукции ООО НПП «Спецкабель» — [http://kit-e.ru/articles/NPP\\_Speckable.zip](http://kit-e.ru/articles/NPP_Speckable.zip)