

Отечественные радиочастотные соединители мм-диапазона длин волн

К. Джурицкий, к. т. н.¹, С. Павлов², О. Морозов³

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Радиочастотные соединители предназначены для передачи сигналов на частотах до 110 ГГц с микрополосковой линии на радиочастотный кабель в современных герметизированных устройствах микроэлектроники СВЧ.

Радиочастотные соединители миллиметрового диапазона длин волн (мм-соединители), перекрывающие диапазон частот 30–110 ГГц, были разработаны в 1970–1980 годах американскими компаниями M/A-COM, Amphenol, Hewlett-Packard, Wiltron, Maury Microwave, Gilbert Corning и др. [1]. В настоящее время за рубежом эти изделия выпускают компании США, Германии, Франции, Швейцарии, Тайваня, Китая, Японии. Южной Кореи [1, 2]. В нашей стране мм-соединители разрабатывают и производят АО «НПП «Исток» им. Шокина», АО «НПФ «Микран» и ООО «НПК «ТАИР». Рассмотрим соединители миллиметрового диапазона, выпускаемые этими предприятиями.

МИЛЛИМЕТРОВЫЙ ДИАПАЗОН ДЛИН ВОЛН

Основное направление развития современной СВЧ-техники – продвижение в область все более высоких частот. Большой интерес к миллиметровому диапазону длин волн (далее – мм-диапазону) обусловлен рядом обстоятельств. Широкая полоса частот обеспечивает возможность совместного использования диапазона большим количеством радиоустройств.

Достоинством этого диапазона являются малые размеры антенн, что позволяет уменьшить габаритные размеры системы в целом. В мм-диапазоне можно создавать антенны с небольшим углом (доли градуса) диаграммы направленности. Благодаря этому появляется возможность различать в пространстве близко расположенные цели, что особенно важно для космических радиолокационных станций. Узкий луч обеспечивает также возможность создания различных систем «радиовидения» – «сканеров» на миллиметровых волнах (диапазон частот 30–90 ГГц) при досмотре пассажиров

авиарейсов для обнаружения опасных предметов, что важно для обеспечения безопасности аэропортов [3]. Появляется возможность применения антенн с малыми поперечными размерами при сохранении острой диаграммы направленности в системах для головок ракет самонаведения. Радары, работающие в мм-диапазоне, применяют в системах управления огнем в зенитно-артиллерийских комплексах на кораблях, а также для многих других военных приложений [3].

В радиоастрономии мм-диапазон подходит для дистанционного зондирования Земли. Этот же диапазон представляет большой интерес для радиоспектроскопии, исследования свойств плазмы, изучения воздействия на биологические объекты, в частности на человека, КВЧ-терапия небольшой интенсивности (менее 10 мВт/см²) в диапазоне частот 40–70 ГГц применяется для лечения различных болезней [3].

При использовании мм-диапазона для связи и телекоммуникации необходимо учитывать, что волны мм-диапазона сильно затухают в земной атмосфере в результате резонансного поглощения их энергии молекулами воды, азота, кислорода, углекислого газа. Нахождение этих волн большое влияние оказывают также дождь, туман и снег, поэтому связь в мм-диапазоне малой дальности действия (от десятков километров до нескольких сотен метров) сильно зависит и от погодных условий. Но при определенных значениях длины волны (так называемые окна прозрачности) мм-диапазон подходит для использования в этих целях. В диапазоне длин волн от 10 до 6 мм расположено первое окно прозрачности при минимуме затухания (0,08 дБ/км) на длине волны 8,6 мм. Второй минимум затухания (~0,7 дБ/км) приходится на длину волны 3,2 мм, третий (~0,12 дБ/км) – на 2,15 мм [3].

В этом же диапазоне работает разнообразная измерительная и метрологическая аппаратура, предлагаемая как зарубежными компаниями Keysight (Agilent), Anritsu, Rohde&Schwarz, так и отечественными – «Микран» (г. Томск) и «Планар» (г. Челябинск).

¹ АО «НПП «Исток» им. Шокина», начальник лаборатории, kbd.istok@mail.ru.

² АО «НПФ «Микран» (г. Томск), начальник отдела, sergey.pavlov@micran.ru.

³ ООО «НПК «ТАИР» (г. Томск), ведущий специалист, olegjmorozov@gmail.com.

ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ В ММ-ДИАПАЗОНЕ

К радиочастотным линиям передачи как необходимому элементу любого устройства СВЧ предъявляется ряд общих требований: возможность передачи широкого спектра частот, низкий уровень потерь (малое затухание), защищенность от внешних источников помех, простота конструкции, удобство в эксплуатации. В устройствах СВЧ применяют три типа линий передачи: волноводные, коаксиальные и полосковые [4]. Достоинства волноводных линий – жесткость конструкции, отсутствие потерь на излучение, высокий уровень пропускаемой мощности и малые прямые потери СВЧ. К серьезным их недостаткам относят узкий диапазон рабочих частот и неудобство технического обслуживания.

Полосковые линии (симметричные и несимметричные) – наиболее миниатюрные и технологичные в изготовлении, для них характерны достаточно низкий уровень потерь и широкий диапазон рабочих частот. Однако, как все открытые системы, они подвержены влиянию внешних источников помех и достаточно сложно встраиваются в радиочастотные тракты.

Коаксиальные линии передачи нашли широкое применение в устройствах СВЧ сантиметрового и миллиметрового диапазонов, не требующих большой пропускаемой мощности, прежде всего в измерительной аппаратуре. Недостаток коаксиальной линии – высокий уровень потерь, возрастающих по мере увеличения частоты. Однако при небольшой длине линии передачи этот недостаток не препятствует ее применению в большей части устройств СВЧ. Коаксиальные линии экранированы, для них характерны высокая помехозащищенность, простота и удобство встраивания в радиочастотные тракты при помощи соединителей.

ТРЕБОВАНИЯ К СОЕДИНИТЕЛЯМ ММ-ДИАПАЗОНА

Важную роль в СВЧ-трактах играют соединители: коаксиально-микроразъемные переходы (для вывода сигнала с микроразъемной линии на радиочастотный кабель),

кабельные соединители, соединители для печатных плат, а также адаптеры (в отечественной терминологии – переходы). За рубежом разработаны следующие типы соединителей мм-диапазона: 3.5 mm; 2.92 mm; 2.4 mm; 1.85 mm и 1.0 mm. Обозначение соединителя определяется внутренним диаметром наружного проводника его коаксиальной линии. Согласно отечественным стандартам ГОСТ РВ 51914-2002 и ГОСТ 13317-89 соединители 3.5 mm соответствуют типу IX, вариант 3 (розетка и вилка), 2.4 mm – типу I (розетка и вилка), 2.92 mm, 1.85 mm и 1.0 mm – не отражены в указанных стандартах.

Теоретическую предельную частоту коаксиальной линии соединителя, полностью заполненной диэлектриком, рассчитывают по формуле:

$$f_{\text{пред.}} \cong \frac{190,85}{\sqrt{\epsilon(D+d)}},$$

где D и d – соответственно наружный и внутренний диаметры коаксиальной линии, мм;
 ϵ – диэлектрическая постоянная изолятора линии [1].

Для повышения предельной частоты соединителя необходимо уменьшить размеры его коаксиальной линии и перейти с линии, заполненной твердым диэлектриком, на воздушную линию. Размеры проводников и предельная частота воздушных коаксиальных линий приведены в табл. 1 [5].

Для воздушной коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом отношение диаметров наружного и внутреннего проводников равно 2 : 3 [1].

Центральные вопросы при конструировании соединителей мм-диапазона – разработка конструкции, выбор материала диэлектрической шайбы и способа закрепления в ней внутреннего проводника соединителя, а самой шайбы – в корпусе соединителя.

При создании мм-соединителя для установки в герметизированные модули СВЧ необходимо также обеспечить его герметичность: скорость натекания гелия должна быть в пределах от $1,3 \cdot 10^{-9}$ до $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па / с. Такая скорость натекания характерна для соединителей,

Таблица 1. Параметры воздушных коаксиальных линий

Соединители	Размеры проводников линии, мм		Волновое сопротивление, Ом	Предельная частота, ГГц
	наружного	внутреннего		
3.5 mm	3,5 ± 0,005	1,52 ± 0,01	50 ± 0,5	34
2.9 mm	2,95 ± 0,005	1,27 ± 0,007	50 ± 0,6	40
2.4 mm	2,4 ± 0,01	1,04 ± 0,01	50 ± 0,95	50
1.85 mm	1,85 ± 0,007	0,8 ± 0,007	50 ± 1	65
1.0 mm	1 ± 0,007	0,434 ± 0,005	50 ± 1,15	110

герметичность которых обеспечивается металlostеклянным спаем. Существуют два типа герметичных соединителей [2]:

- с внутренним металlostеклянным спаем (рис. 1а);
- составные соединители (миниатюрный металlostеклянный ввод с центральным проводником диаметром 0,3–0,5 мм в сочетании с СВЧ-разъемом), имеющие цанговое соединение между собой (рис. 1б).

К соединителям мм-диапазона предъявляются жесткие требования относительно верхней частоты применения, КСВН, величины потерь, экранного затухания и надежности.

КОАКСИАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Коаксиальный переход – это пассивное устройство, выполненное в виде участка коаксиальной линии, на концах которой расположены соединители (вилка, розетка) в различных сочетаниях. Переходы в исполнениях «вилка-вилка», «розетка-розетка» и «розетка-вилка» применяют для сочленения соединителей, которые различаются размерами коаксиального тракта или полярностью. Измерительные и приборные коаксиальные переходы (адаптеры) разрабатывают и выпускают АО «НПФ «Микран» и ООО «НПК «ТАИР» (г. Томск). Эта продукция применяется прежде всего в следующей измерительной аппаратуре:

- векторные анализаторы цепей для измерения S-параметров многополюсников;
- ваттметры для измерения мощности СВЧ непрерывных и модулированных колебаний в различных трактах;
- генераторы сигналов, частотомеры, анализаторы спектра и прочие приборы диапазона СВЧ.

Назначение приборных переходов и переходов измерительного класса:

- соединение радиотехнических устройств и кабелей (типичное и наиболее распространенное применение);



Рис. 1. Герметичные КМП с внутренним металlostеклянным спаем (а) и в сочетании с металlostеклянным вводом (б)

- в качестве защитных устройств. Во время измерений переходы подключаются к портам измерительных приборов, отдельных тестируемых модулей или кабелей СВЧ и предохраняют их входы-выходы от повреждений, продлевая срок службы этих устройств;
- улучшение параметров радиочастотных кабелей. При использовании в сочетании с кабелями СВЧ-переходы выполняют две важные функции – защищают и повышают стабильность соединителей.

Разработаны переходы общего применения, приборные и прецизионные. К электрическим и механическим параметрам прецизионных переходов предъявляются повышенные требования.

СОЕДИНИТЕЛИ ММ-ДИАПАЗОНА АО «НПП «ИСТОК» ИМ. ШОКИНА»

АО «НПП «Исток» им. Шокина» с 1981 года разрабатывает герметичные радиочастотные соединители для применения в модулях СВЧ. Первый коаксиально-микроразъемный переход (КМП) – «розетка» (тип IX, ГОСТ РВ 51914-2002) с предельной частотой 18 ГГц (КРПГ.434511.015), его КСВН не более 1,25, величина потерь менее 0,25 дБ. Этот КМП выпускается много лет по внутренним техническим условиям КРПГ.434511.015ТУ.

В конце 1980-х годов были разработаны оригинальные (патент РФ № 1764477) герметичные КМП: «розетки» ТС2.236.072 и ТС2.236.072-01 и «вилка» ТС2.236.074 с воздушной коаксиальной линией размерами 3,5/1,52 мм (тип IX, вариант 3, ГОСТ РВ 51914-2002). КМП работают в диапазоне частот до 32 ГГц и соответствуют зарубежным соединителям 3.5 мм. Отличительная особенность отечественных соединителей – отсутствие диэлектрической шайбы. Ступенчатый центральный проводник диаметром 0,5 мм герметично спаян со стеклянным изолятором запатентованной конструкции, внутри корпуса КМП «розетка» надет на центральный проводник и припаян при температуре 270–280 °С гнездовой контакт.

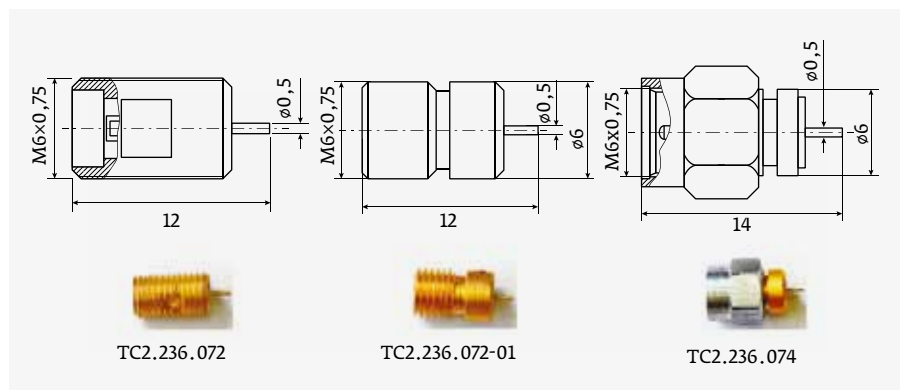


Рис. 2. КМП 3,5 мм производства АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Таблица 2. Параметры КМПП АО «НПП «Исток» им. Шокина»

№ п. п.	Обозначение, технические условия	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц			СВЧ-потери, дБ, не более	Масса, г
		1-10	1-18	1-32		
1	ТС2.236.072, «розетка», ТС0.223.014 ТУ	1,15	1,30	1,45	0,40	1,2
2	ТС2.236.072-01, «розетка», ТС0.223.014 ТУ	1,15	1,30	1,45	0,40	1,2
3	ТС2.236.074, «вилка», ТС0.223.020 ТУ	1,20	1,35	1,50	0,45	2,4

Конструкция и внешний вид КМПП показаны на рис. 2, а их уточненные параметры приведены в табл. 2. Герметичность КМПП, характеризуемая скоростью натекания гелия, равна $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па / с, сопротивление изоляции – более 5000 Ом, экранное затухание равно –90 дБ.

Соединители отличаются повышенными радиационной стойкостью и температурой кратковременного нагрева при пайке в корпусе изделий.

Материалы и покрытия:

- корпус – сталь 15Х25Т или 29НК, износостойкое покрытие – золото-кобальт (золото 99,9%);
- гнездовой контакт – термически обработанная бериллиевая бронза БрБ2, покрытие сплав палладий-никель;
- центральный проводник – сплав 29НК, покрытие – золото-кобальт;
- изолятор – стекло С52-1.

В течение многих лет АО «НПП «Исток» им. Шокина» разрабатывает и выпускает герметичные металлокерамические вводы с волновым сопротивлением 50 Ом (более 20 модификаций), в частности вводы с предельной рабочей частотой 40 ГГц (рис. 3). Состав покрытия металлических поверхностей вводов – Ni.Зл-Кo(99,9)6 или Ni.Зл2.

Технические характеристики СВЧ-вводов: потери СВЧ – менее 0,2 дБ, сопротивление изоляции – более 5000 МОм, герметичность – $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па / с, диапазон рабочих температур от –60 до 125 °С. Вводы выпускаются по техническим условиям ТС0.357.004 ТУ.

В 2012 году была создана серия импортозамещающих миниатюрных защелкиваемых соединителей SMP с предельной частотой 40 ГГц (КРПГ.4345П.019ТУ) для применения в модулях СВЧ с плотной компоновкой. Разработаны следующие модификации соединителей:

- вилка приборная герметичная КРПГ.433434.054;
- кабельные соединители «розетка»: прямые КРПГ.4345П.020 и угловые КРПГ.4345П.019 под зарубежные полужесткие

кабели 0,086", 0,047" и отечественные кабели РК50-1-23, РК50-1,5-22;

- герметичный адаптер «вилка-вилка» КРПГ.4345П.021, не имеющий зарубежных аналогов (патент на полезную модель № 130150, приоритет от 20 декабря 2012 года).

Эти изделия – аналоги соединителей SMP фирмы Rosenberger. Конструкция и внешний вид устройств показаны на рис. 4 и 5, а их технические характеристики приведены в табл. 3.

СОЕДИНИТЕЛИ АО «НПФ «МИКРАН»

На протяжении многих лет АО «НПФ «Микран» – один из лидеров среди отечественных производителей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) СВЧ-диапазона и элементов СВЧ-тракта [7]. Разработаны и выпускаются многочисленные коаксиальные переходы, в том числе мм-диапазона: 2,92/1,27 мм и 2,4/1,042 мм (рис. 6), для использования с измерительной аппаратурой.

При их создании была реализована оптимальная конструкция диэлектрической шайбы. Для того чтобы она не вносила существенного отражения и не ограничивала верхнюю частоту рабочего диапазона частот перехода, эффективная диэлектрическая проницаемость изолятора шайбы была уменьшена путем замещения части материала изолятора воздухом, и шайбу выпускали с высокой точностью размеров.

Корпуса и гайки переходов изготовлены из нержавеющей стали, центральные проводники – из бериллиевой бронзы и покрыты износостойким золотом. Конструкция

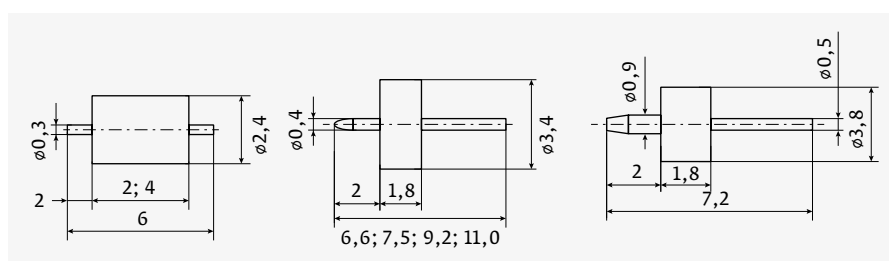


Рис. 3. Конструкция СВЧ-вводов

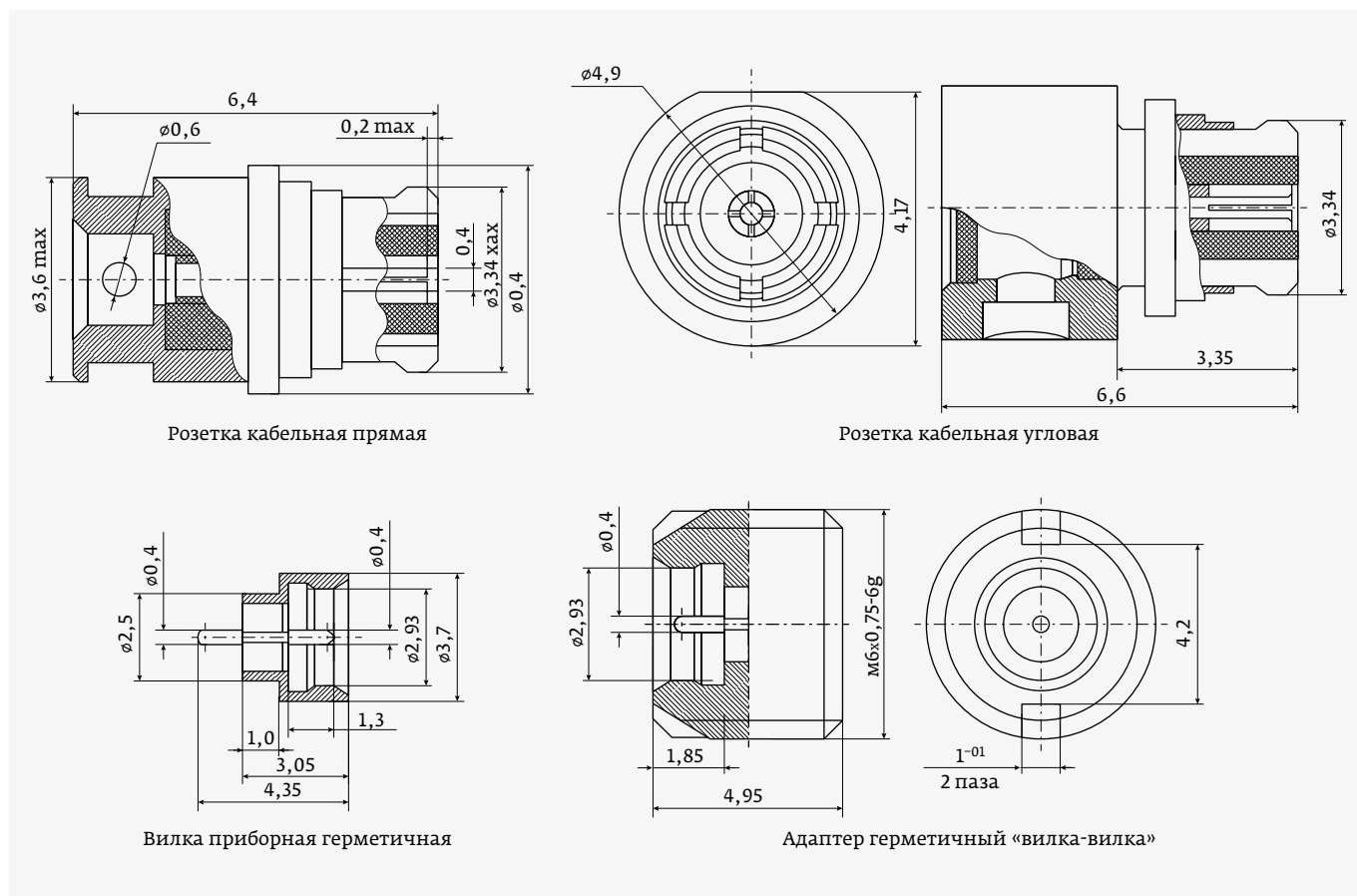


Рис. 4. Конструкция защелкиваемых соединителей SMP производства АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Таблица 3. Технические характеристики соединителей SMP

Обозначение соединителя	Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	Потери СВЧ, дБ	Экранное затухание, дБ	Масса, г
Прямые кабельные соединители «розетка»: КРПГ.434511.020, кабель 0,047", КРПГ.434511.020-01, кабель РК50-1-23 КРПГ.434511.020-02, кабель 0,085", РК50-1,5-22	1,4 (0-40)	0,6	-65	0,25
Угловые кабельные соединители «розетка»: КРПГ.434511.019, кабель 0,047", КРПГ.434511.019-01, кабель РК50-1-23 КРПГ.434511.019-02, кабель 0,085", РК50-1,5-22	1,5 (0-26,5)	0,5	-65	0,5
Вывод приборный герметичный «вилка» КРПГ.433434.054	1,4 (0-40)	0,5	-65	0,1
Адаптер герметичный «вилка-вилка» КРПГ.434511.021	1,5 (0-40)	0,5	-65	0,6



Рис. 5. Внешний вид соединителей SMP

переходов и используемые материалы обеспечивают малые потери и отражение, высокую стабильность параметров – минимум 2000 циклов соединений в диапазоне рабочих температур от -60 до 110 °С. Для переходов характерны минимальные вносимые потери и отражение в диапазоне рабочих частот $0-40$ ГГц (для тракта $2,92/1,27$ мм) и $0-50$ ГГц ($2,4/1,042$ мм). Экранное затухание составляет не менее 100 дБ (для переходов в тракте $2,92/1,27$ мм) и 90 дБ (в тракте $2,4/1,042$ мм).

Коаксиальные переходы мм-диапазона с коаксиального тракта $2,92$ мм на тракт $2,4$ мм предназначены для соединения СВЧ-устройств в тракте $2,92/1,27$ мм с устройствами в тракте $2,4/1,042$ мм (рис. 7).

Переходы отличаются минимальными вносимыми потерями, отражение в диапазоне частот до 40 ГГц. Конструкция и материалы переходов обеспечивают высокую стабильность параметров – минимум 2000 циклов соединений в диапазоне рабочих температур от -60 до 110 °С. Экранное затухание составляет не менее 100 дБ.

Типичные частотные зависимости КСВН и коэффициента передачи переходов приведены на рис. 8.

Разработанные АО «НПФ «Микран» коаксиальные переходы по электрическим характеристикам не уступают зарубежным аналогам.

Наряду с коаксиальными переходами в АО «НПФ «Микран» разработаны и выпускаются приборные коаксиально-микроразъемные переходы (КМПР) для соединения коаксиального тракта с микроразъемной линией в изделиях радиоэлектронной аппаратуры мм-диапазона. Переход ПКМ1–50 выполнен в тракте $2,4/1,042$ мм и является концевым для монтажа в торец печатной платы. Переходы ПКМ2 представляют собой воздушную коаксиальную линию с сечениями тракта $2,92/1,27$ мм и $2,4/1,042$ мм, которые совместно с металлостеклянным гермовводом МК100

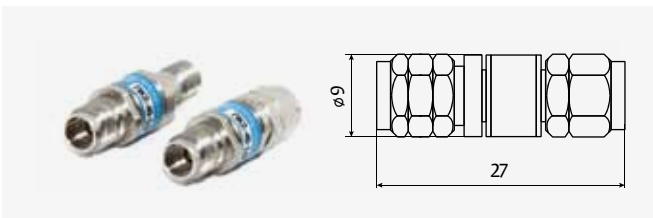


Рис. 7. Коаксиальные переходы (производство АО «НПФ «Микран») с коаксиального тракта $2,92/1,27$ мм на тракт $2,4/1,042$ мм

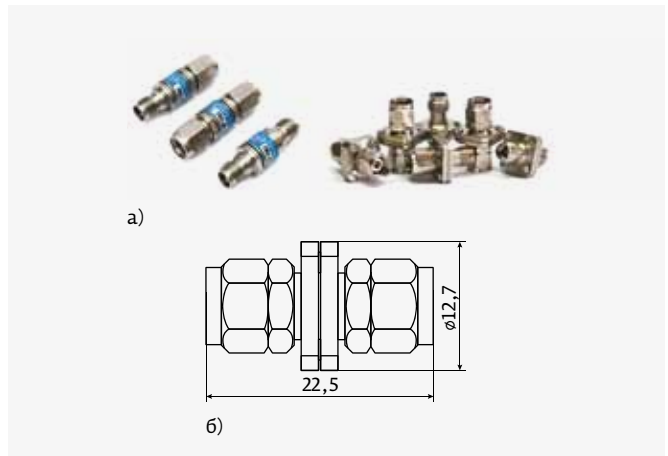
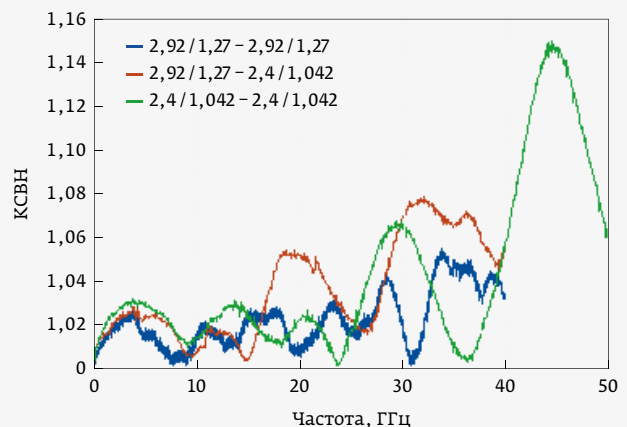
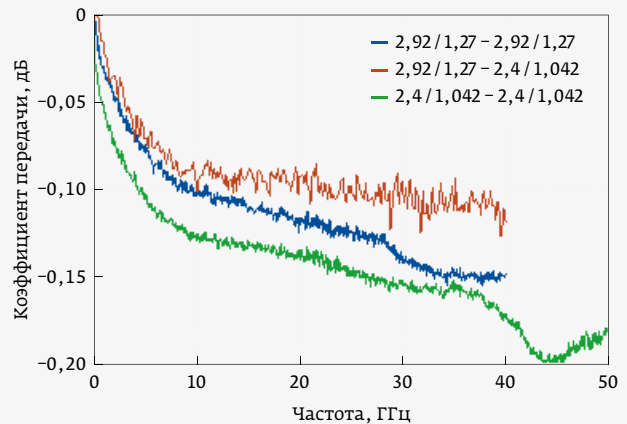


Рис. 6. Коаксиальные переходы (производства АО «НПФ «Микран») мм-диапазона в тракте $2,92$ и $2,4$ мм (а); габаритные размеры перехода в тракте $2,4$ мм (б)



а)



б)

Рис. 8. Частотные зависимости КСВН (а) и коэффициента передачи (б) коаксиальных переходов (АО «НПФ «Микран») с тракта $2,92/1,27$ мм на тракт $2,4/1,042$ мм

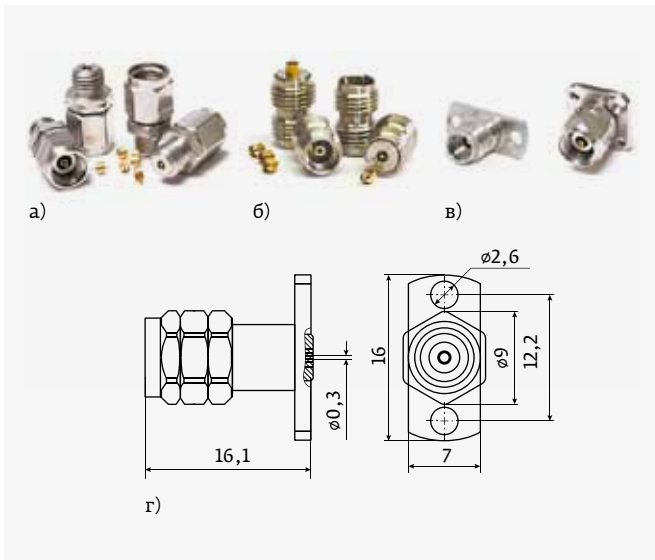


Рис. 9. Коаксиально-микророскопические переходы (производства АО «НПФ «Микран») в трактах 2,92/1,27 мм и 2,4/1,042 мм (а-в), габаритные размеры перехода ПКМ (г)

обеспечивают герметичный ввод-вывод сигналов в модулях СВЧ. Центральный проводник закреплен в опорной диэлектрической шайбе, изготовленной из упрочненного пластика. В тракте 2,92/1,27 мм-диапазон рабочих частот коаксиальной линии составляет 0–40 ГГц, а в тракте 2,4/1,042 мм – 0–50 ГГц. Способы соединения переходов с модулями СВЧ: резьбовое (рис. 9 а, б) или фланцевое (рис. 9 в). В качестве примера приведены габаритные размеры перехода ПКМ (рис. 9 г).

Доступны фланцы с двумя и четырьмя крепежными отверстиями. Преимущество изделий серии ПКМ2 заключается в возможности замены поврежденного перехода без вскрытия и распайки модуля СВЧ. Конструкция и материалы обеспечивают малые потери, высокую стабильность параметров переходов серии ПКМ2

Таблица 4. Параметры коаксиально-микророскопических переходов АО «НПФ «Микран»

Тип соединителя	Диапазон рабочих частот, ГГц	КСВН, не более	Вносимые потери для пары переходов, дБ, не более
2,92 мм («розетка»)	0–40	1,15	0,25
2, 2 мм («вилка»)			
2,4 мм («розетка»)			
2,4 мм («вилка»)			
2,4 мм («розетка»)	0–50	1,30	1,0

и ПКМ1-50 – минимум 2000 циклов соединений в диапазоне рабочих температур от –60 до 110 °С. Экранное затухание переходов не менее 90 дБ, а сопротивление изоляции при испытательном напряжении 500 В в нормальных климатических условиях – не менее 5000 МОм. Типичные параметры коаксиально-микророскопических переходов приведены в табл. 4.

Что касается перспектив развития направления устройств миллиметрового диапазона в АО «НПФ «Микран», то начато освоение коаксиального тракта 1,85/0,8 мм с диапазоном рабочих частот 0–67 ГГц. К настоящему времени в этом тракте разработаны коаксиальный переход, коаксиально-микророскопический переход и направленный ответвитель, проводятся их испытания. Планируется освоение делителей мощности и коаксиальных согласованных нагрузок в тракте 1,85/0,8 мм.

Предложенные конструктивные решения (конструкция гнездового контакта, диэлектрические шайбы) запатентованы в России (патенты на полезную модель № 122206, 124057, 124059).

СОЕДИНИТЕЛИ ООО «НПК «ТАИР»

Компания «НПК «ТАИР», организованная в 2012 году, занимается разработкой и производством контрольно-измерительной аппаратуры и компонентов СВЧ-тракта [8, 9]. В настоящее время серийно выпускаются соединители CON1 в трактах 2,92/1,27 мм и 1,85/0,8 мм (рис. 10–12), а также коаксиальные переходы серии ADP1 в коаксиальных трактах 7,0/3,04 мм и 3,5/1,52 мм и между этими трактами.

Негерметичные блочные соединители серии CON1 предназначены для установки в корпуса СВЧ-блоков и модулей. Благодаря отсутствию герметичного металлостеклянного СВЧ-ввода соединители отличаются малыми потерями и отражением в диапазоне частот соответственно до 40 и 65 ГГц. Диэлектрическая опорная шайба выполнена из термостойкого пластика, позволяющего использовать соединители в широком диапазоне температур



Рис. 10. Внешний вид соединителей CON1A1A-29F и CON1A1B-18F

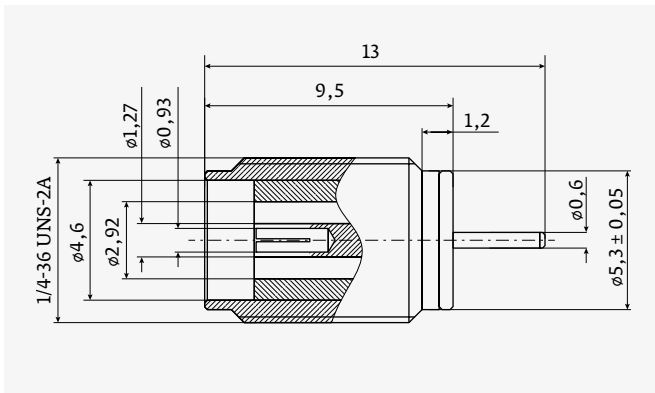


Рис. 11. Розетка блочная CON1A1A-29F в тракте 2,92/1,27 мм

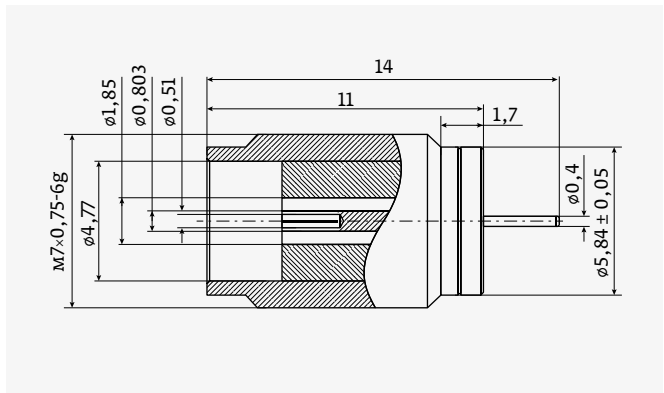


Рис. 12. Розетка блочная CON1A1B-18F в тракте 1,85/0,8 мм

и производить кратковременный нагрев центрального проводника во время пайки.

Торцевые соединители серии CON2, разработанные на базе розетки блочной CON1A1A-29F, предназначены для установки на торец многослойных печатных плат (рис. 13–15). Монтаж соединителей CON2A1A-29F в модули производится при помощи крепежных винтов и пайки к плате, монтаж соединителей CON2A2A-29F выполняется только пайкой.

Печатная плата с соединителями CON2A2A-29F должна иметь линию с переходом на внутренний слой, что необходимо для достижения СВЧ-экранировки модуля. Благодаря раздельной конструкции соединителей замена поврежденной внутренней части изделия осуществляется без демонтажа корпуса с печатной платы.

Вертикальные экранированные соединители серии CON3 в тракте 2,92/1,27 мм, разработанные

ООО «НПК «ТАИР», предназначены для монтажа на многослойные печатные платы (рис. 16–17).

На печатной плате линия должна быть выполнена с переходом на внутренний слой, соединение центрального проводника соединителя с линией производится без пайки при помощи гибкого контакта. Такой способ монтажа значительно упрощает трассировку и конструкцию

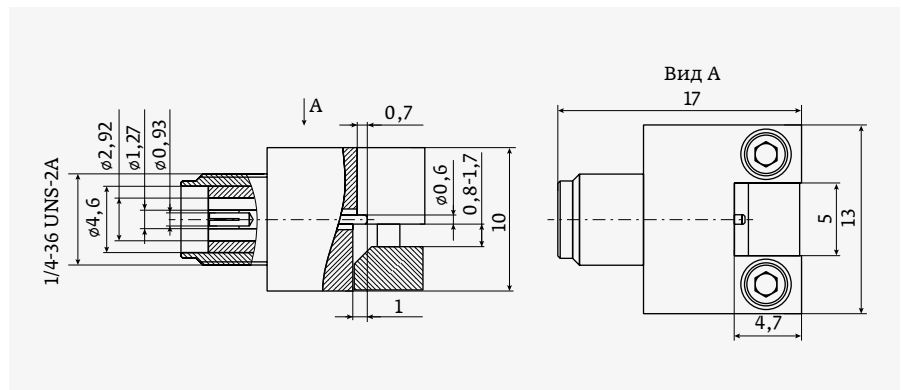


Рис. 14. Розетка торцевая CON2A1A-29F в тракте 2,92/1,27 мм



Рис. 13. Внешний вид торцевых розеток CON2A1A-29F и CON2A2A-29F

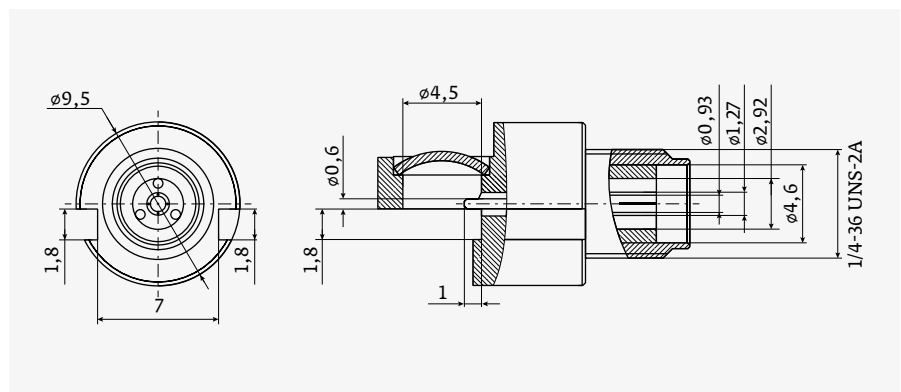


Рис. 15. Розетка торцевая CON2A2A-29F в тракте 2,92/1,27 мм



Рис. 16. Внешний вид соединителей CON3

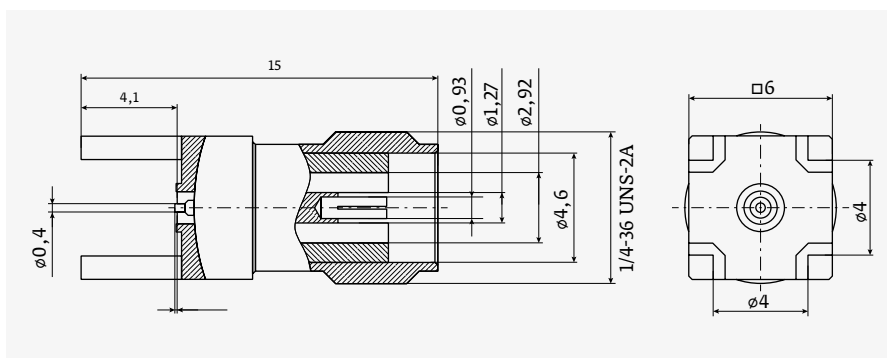


Рис. 17. Розетка вертикальная CON3A2A-29F в тракте 2,92/1,27 мм

печатной платы. Применение соединителей серии CON3 позволяет выводить на верхнюю грань модуля СВЧ-сигналы с малыми потерями и отражением в диапазоне частот до 40 ГГц. Благодаря этому возможно уменьшение габаритных размеров СВЧ-модулей и упрощение соединения межблочными кабелями. Для соединителей CON3 характерны малые потери и отражение в диапазоне частот до 40 ГГц.

Параметры соединителей мм-диапазона, разработанных ООО «НПК «ТАИР», приведены в табл. 5.

Коаксиальные переходы ООО «НПК «ТАИР» применяют при разработке, производстве и проверке различных радиотехнических устройств и систем во время эксплуатации, в условиях промышленного производства, лабораторий и в полевых условиях. В настоящее время изготавливаются переходы серии ADP1 в коаксиальных трактах 7/3,04 мм, 3,5/1,52 мм и между этими трактами (рис. 18).

Типовые характеристики переходов миллиметрового диапазона частот приведены в табл. 6.

Переходы отличаются низким КСВН и малыми вносимыми потерями, повышенным ресурсом, обеспечивают высокую повторяемость и воспроизводимость результатов измерений при повторном подключении, поэтому востребованы в измерительной СВЧ-технике. В переходах применена диэлектрическая шайба оригинальной

конструкции (патент на изобретение № 2597868). Маркировка переходов, соответствующая международной системе цветовой идентификации типов соединителей, позволяет избежать ошибок при подключении.

В настоящее время ООО «НПК «ТАИР» проводит испытания и осваивает серийное производство коаксиальных переходов в трактах 2,92/1,27 мм, 2,4/1,042 мм и 1,85/0,8 мм со стандартными и усиленными соединителями для измерительной СВЧ-техники. Внешний вид опытных образцов переходов в коаксиальном тракте 1,85/0,8 мм показан на рис. 19.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2016–2019 годы для решения задачи импортозамещения в рамках Федеральной целевой программы выполняются опытно-конструкторские работы по воспроизведению и организации серийного производства коаксиальных радиочастотных соединителей, переходов (в том числе герметичных) и малогабаритных соединителей в диапазоне частот до 40 ГГц для применения в трактах СВЧ-аппаратуры [2]. Однако можно инвестировать в дорогостоящее механическое и теххимическое оборудование, программное обеспечение, но все это окажется неэффективным, если нет квалифицированных специалистов – разработчиков радиочастотных соединителей.

Таблица 5. Параметры соединителей ООО «НПК «ТАИР»

Тип соединителя	КСВН, не более	Вносимые потери, дБ, не более	Диапазон частот, ГГц
CON1A1A-29F	1,2	0,35	0–40
CON1A1B-18F	1,25	0,8	0–65
CON2A1A-29F			
CON2A2A-29F	1,3	0,5	0–40
CON3A2A-29F			



Рис. 18. Коаксиальные переходы серии ADP1

Таблица 6. Параметры коаксиальных переходов в тракте 3,5/1,52 мм серии ADP1

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон рабочих частот, ГГц	0–32
КСВН, не более	1,05
Повторяемость коэффициента отражения, дБ	–60
Вносимые потери, дБ, не более	0,15
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	1 000
Рабочее напряжение, В, не более	335
Количество сочленений (ресурс)	3 000
Рабочий диапазон температур, °С	–60–110
Атмосферное давление, кПа	70–106,7
Момент вращения гайки, Н·м	От 0,8 до 1,0

Как следует из статьи, специалисты достаточно высокого уровня в нашей стране есть. Казалось бы, именно они должны выполнять государственные заказы по созданию соединителей мм-диапазона. К сожалению, этого не происходит. В качестве примера можно привести выполняемую в рамках Федеральной целевой программы разработку соединителей 1,85 мм.

Работы по созданию соединителей в рамках целевых программ – только первый шаг в этом направлении. Задач в области создания современной базы радиочастотных соединителей остается немало:

1. Необходимы оригинальные отечественные разработки в области радиочастотных соединителей. Просто копировать зарубежные соединители – значит обрекать отечественную промышленность в этом сегменте на бесконечное отставание.
2. Создать приборные соединители – это часть задачи. Необходимо обеспечить выпуск аксессуаров коаксиального тракта (адаптеры, нагрузки согласованные, холостого хода и короткого замыкания, аттенюаторы, скользящие контакты и др.) прежде всего для измерения электрических параметров соединителей. Уместно вспомнить, что в 1980-х годах программа создания соединителей с предельными частотами 50, а затем 65 ГГц была предложена тремя компаниями США: Hewlett-Packard, Amphenol и M/A-COM. Работа велась по созданию сразу трех модификаций соединителей: промышленной, инструментальной и метрологической. Параллельно разрабатывались соответствующие адаптеры [1]. Значительный опыт создания аксессуаров коаксиального тракта накопили АО «НПФ «Микран»



Рис. 19. Опытные образцы (ООО «НПК «ТАИР») коаксиальных переходов в тракте 1,85/0,803 мм

и ООО «НПК «ТАИР». Даже с учетом того, что аксессуары – расходный материал, их производство является мелкосерийным и доступным для указанных предприятий.

3. Требуется разработка стандартизированных методик измерения электрических параметров радиочастотных соединителей, прежде всего кабельных соединителей, с применением современной зарубежной и отечественной измерительной аппаратуры.
4. Необходимо привести в соответствие с международными стандартами отечественные ГОСТы в области радиочастотных соединителей.
5. Потребуется решить вопрос о производстве в нашей стране изоляционных материалов для диэлектрических шайб и стекла Corning 7070 для герметизации соединителей мм-диапазона.
6. Создавать отечественные кабельные соединители мм-диапазона необходимо с учетом соответствующего радиочастотного кабеля. В нашей стране многие кабели, аналогичные зарубежным, не выпускаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К. Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д. т. н. Борисова А. А. – СПб: Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит», 2014. 426 с.
2. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. – М.: ООО «Ваш Формат», 2019. 400 с.
3. **Сазонов В. П.** Приоритеты России в вакуумной СВЧ-электронике в XX столетии / Под ред. д. т. н. Королёва А. Н. – М.: Изд-во «Медпрактика-М», 2012. 356 с.
4. **Джуринский К. Б.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники. – М.: Техносфера, 2006. 216 с.
5. RF coaxial precision connectors. Test and measurement applications. Catalog 2 компании Rosenberger, 2004.
6. www.irzirk.ru.
7. www.micran.ru.
8. www.npktair.com.
9. www.planarchel.ru.