

Соединители 1.35 mm для работы в диапазоне частот 0–90 ГГц

К. Джуринский, к. т. н.¹, В. Батаев²

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Рассмотрены конструкция, электрические параметры и номенклатура соединителей 1.35 mm (E-connector) с рабочим диапазоном частот 0–90 ГГц, разработанных в 2014–2018 годах рабочей группой, состоящей из специалистов немецких компаний Rosenberger, Rohde & Schwarz и Spinner, а также национального метрологического института Германии [1–5]. Показана перспективность этих соединителей для применения в автомобильных радарах, спутниковой и мобильной связи, а также для различных 5G-приложений.

В 1986 году американские компании Wiltron и Hewlett Packard анонсировали разработку соединителя 1.85 mm (V-connector) с предельной частотой 65 ГГц. В 1989 году компанией Hewlett Packard был разработан соединитель 1.0 mm (W-connector) с предельной частотой 110 ГГц. В результате этих разработок радиочастотные соединители прочно заняли свою нишу в миллиметровом диапазоне – частотные диапазоны V (50–75 ГГц) и W (75–110 ГГц) [1].

Соединитель W перекрывал диапазон E (60–90 ГГц), и, казалось бы, что разрабатывать соединитель специально для E-диапазона нет необходимости. Однако из-за физических ограничений коаксиальной линии соединителя 1.0 mm конструкция этого соединителя была недостаточно жесткой и легко повреждаемой. К тому же область применения соединителя W достаточно ограничена: радиоизмерения в W-диапазоне частот, различные лабораторные исследования.

В то же время существует группа приложений в E-диапазоне на частотах до 90 ГГц. Речь идет об автомобильных радарах и спутниковой / мобильной связи, векторных анализаторах цепей, требующих достаточно большого количества прочных (менее повреждаемых) и экономичных соединителей и кабельных сборок на их основе.

Компания Spinner с более чем 70-летним опытом работы в области радиочастотных соединителей, изучив конструктивные недостатки и ограничения V- и W-соединителей, в 2014 году начала разработку соединителя 1.35 mm с более прочной конструкцией, предназначенного для работы устройств на частотах не менее 90 ГГц. Были учтены следующие положения [2]:

1. Соединитель 1.85 mm не перекрывает весь диапазон V (от 50 до 75 ГГц), так как его гарантированная верхняя частота применения равна 65 ГГц. В настоящее

время за счет улучшения конструкции достижима верхняя частота не более 70 ГГц.

2. Первоначально рассматривались только многочисленные автомобильные приложения, работающие в диапазоне частот с 76 до 81 ГГц. Однако за прошедшее с тех пор время появились еще приложения Satcom, 5G и WLAN с полосой частот 76–90 ГГц.
3. При разработке была поставлена цель – не уменьшать значение и полезность соединителя 1.0 mm, а только показать особые характеристики соединителя 1.35 mm.

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБАТЫВАЕМОМУ СОЕДИНИТЕЛЮ 1.35 mm

К разрабатываемому соединителю были сформулированы следующие требования [2]:

- за основу надо взять соединитель 1.85 mm (вилка и розетка) с воздушной коаксиальной линией;
- конструкция соединителя должна быть более прочная, чем у соединителя 1.0 mm, с большей площадью контакта наружных проводников. Дополнительные требования к миниатюризации и повышению скорости соединения вилки и розетки не предъявляются;
- соединительная гайка вилки должна иметь резьбу с меньшим шагом, чем у гаек соединителей 1.85 и 1.0 mm, чтобы повысить надежность соединения вилки и розетки;
- наряду с резьбовым должно быть предусмотрено дополнительное соединение защелкиванием (push-on) вилки и розетки;
- кабельная вилка должна сочетаться со стандартным полужестким кабелем 0,047";
- момент закручивания гайки кабельной вилки должен быть таким же, как у соединителей 3.5, 2.92, 2.40 и 1.85 mm – 0,9 Нм. Но даже при максимальном моменте 1,65 Нм не должна происходить пластическая деформация наружных проводников соединителя;

¹ АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», kbd.istok@mail.ru.

² АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», vyabataev@istokmw.ru.

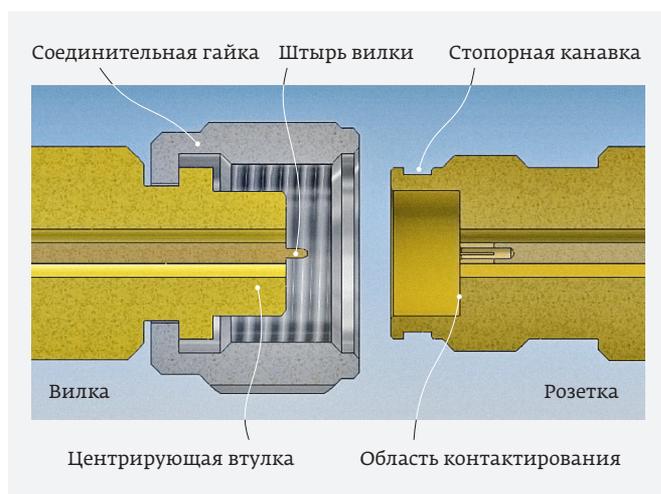


Рис. 1. Продольный разрез секций вилки и розетки соединителя 1.35 mm

- закручивание гайки должно производиться динамометрическим ключом, аналогичным ключам других соединителей мм-диапазона;
- должны быть разработаны соединители двух уровней качества: метрологического и инструментального.

КОНСТРУКЦИЯ ВИЛКИ И РОЗЕТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ 1.35 mm

Схематическое изображение интерфейса вилки и розетки соединителя 1.35 mm показано на рис. 1 [2].

Коаксиальная линия соединителя имеет следующие размеры: диаметры наружного проводника – 1,35 mm, внутреннего проводника – приблизительно 0,6 mm. Диаметр штыря кабельной вилки равен 0,29 mm, диаметр центрирующей втулки вилки – 3,5 mm, что обеспечивает большую площадь соприкосновения наружных проводников вилки и розетки при их сочленении. На корпусах вилки и розетки выполнена метрическая резьба с мелким шагом – 5,5×0,5 mm, что обеспечивает надежное соединение при механических воздействиях на соединители. При таком шаге внутренней резьбы и моменте закручивания соединительной гайки 0,9 Нм не должно происходить непреднамеренное ослабление гайки, которое возможно при использовании соединителей 1.0 mm.

Диаметр контактного штыря равен номинальному диаметру центрального проводника стандартного полужесткого 0,047-дюймового кабеля. Эта позволяет создавать недорогие кабельные соединители вилка высокого качества (рис. 2).



Рис. 2. Кабельная вилка, в которой внутренним проводником является центральный проводник полужесткого кабеля 0,047"

В дополнение к резьбовому соединению вилки и розетки предусмотрено их соединение защелкиванием (push-on). Для этого на корпусе розетки предусмотрена стопорная канавка, в которой защелкивается вилка при соединении с розеткой (рис. 3).

В процессе соединения сначала наружный проводник вилки точно направляется в наружный проводник розетки, и только после этого происходит соприкосновение укороченного штыря вилки и гнезда розетки. Такое решение, предложенное еще в 1983 году специалистами компании Wiltron, предотвращает повреждения гнездового контакта розетки [1].

ПАРАМЕТРЫ СОЕДИНИТЕЛЕЙ 1.35 mm

Параметры соединителей 1.35 mm и, для сравнения, параметры соединителей 1.85 и 1.0 mm представлены в табл. 1 [2–6]. Эти данные показывают, что теоретическая предельная частота соединителя 1.35 mm превышает верхнюю частоту применения, как и для соединителей других типов. Это означает, что имеется небольшой резерв повышения верхней частоты применения. В качестве примера можно привести соединители SMA, верхнюю частоту применения которых удалось повысить с 18 до 27 ГГц [1, 7, 8].

По данным компании Spinner [2], для инструментальных соединителей 1.35 mm волновое сопротивление равно $50 \pm 0,25$ Ом, КСВН – 1,22, величина прямых потерь – 0,05 дБ. Для метрологических соединителей волновое сопротивление равно $50 \pm 0,15$ Ом, КСВН – 1,13, величина прямых потерь – 0,05 дБ. Экранное затухание обоих соединителей менее –90 дБ.

При разработке кабельного соединителя 1.35 mm компании учитывали, что экономичные кабельные сборки являются неотъемлемой частью успешного запуска проекта. Для сочетания с соединителем 1.35 mm лучше

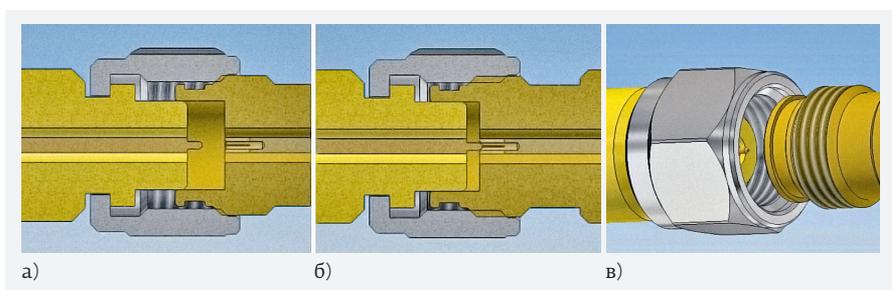


Рис. 3. Схема соединения вилки и розетки соединителя 1.35 mm: а – наружных проводников, б – внутренних проводников, в – 3D-вид соединения

Таблица 1. Параметры соединителей 1.85, 1.35 и 1.0 mm

Параметры соединителей	Соединители		
	1.85 mm (V-соединитель)	1.35 mm (E-соединитель)	1.0 mm (W-соединитель)
Верхняя частота применения, ГГц	65	90	110
Теоретическая предельная частота, ГГц	72	98,5	133
Диаметр наружного проводника, мм	1,85	1,35	1,00
Диаметр внутреннего проводника, мм	0,803	0,598	0,434
Диаметр штыря кабельной вилки, мм	0,511	0,290	0,250
Резьба на корпусе соединителя	M 7×0,75	M 5,5×0,5	M 4×0,75
Момент затягивания гайки при соединении вилки и розетки, Нм	0,9	0,9	0,45
Максимально допустимый момент затягивания гайки	–	1,65	–
Размер «зева» динамометрического ключа, мм	8	8	8
Опция соединения защелкиванием (push-on)	Нет	Есть	Нет
Допустимое количество циклов соединения и разъединения, более	500	3000	500

всего подходит полужесткий кабель 0,047", обеспечивающий приемлемые параметры согласования в E-диапазоне частот. Компания Spinner выбрала в качестве партнера по изготовлению кабельных сборок Teledyne Storm Microwave [9], имевшую опыт изготовления сборок на основе соединителей 1.0 mm. В сборках был применен коаксиальный кабель SF047EW этой компании. Кабельные сборки с применением кабеля 0,047" во всем диапазоне частот 0–110 ГГц выпускает также компания SAGE Millimeter, Inc. [10]. Кабельные сборки этой компании – SCW-1M1M003-S1, SCW-1M1M006-S1, SCW-1M1M009-S1 – длиной соответственно 76,2; 152,4 и 228,6 мм имеют величину потерь 0,08 $f^{0,54}$; 0,16 $f^{0,54}$ и 0,23 $f^{0,54}$ (где f – частота, ГГц) и КСВН не более 1,4.

Поскольку рынки автомобильной и спутниковой связи в настоящее время стали достаточно большими, было важно создать технологию изготовления кабельных сборок с высокой производительностью. Разделку кабеля перед установкой в соединитель и пайку производили на автоматизированном оборудовании. Пайка кабеля в соединители выполнена бессвинцовым припоем, у которого температура плавления примерно на 30 °C выше, чем у стандартного припоя состава олово-свинец. Так как нагрев может изменить размеры диэлектрических материалов, примененных как в кабеле, так и в соединителе, и, следовательно, импеданс кабельной сборки, при пайке выполняли точный контроль температуры.

В результате совместной работы немецких компаний Spinner, Rosenberger и Rohde & Schwarz с национальным метрологическим институтом Германии было внесено предложение о включении интерфейса соединителя 1.35 mm в международные стандарты. Подкомитету P287 было предложено включить соединитель 1.35 mm в стандарт IEEE 287-2007 для прецизионных коаксиальных соединителей. Параллельно интерфейс соединителя 1.35 mm был также представлен в комитет МЭК 61169-65.

НОМЕНКЛАТУРА СОЕДИНИТЕЛЕЙ 1.35 mm

Компания Spinner [2, 6] разработала и выпускает (рис. 4):

- кабельный соединитель под кабель 0,047";
- панельный соединитель;
- вывод энергии для поверхностного монтажа на печатную плату;
- концевой вывод энергии;
- шесть межсерийных адаптеров 1.35–1.0 mm с разным сочетанием розетка и вилка, в том числе два упрочненных адаптера для портов измерительной аппаратуры;
- девять типов коаксиально-волноводных переходов (КВП);
- калибровочный измерительный набор.

Компания Rosenberger в 2018–2019 годах анонсировала серию прецизионных соединителей 1.35 mm с верхней частотой применения 90 ГГц, получивших название RPC-1.35 [4, 5]. Соединители RPC-1.35 компании Rosenberger

и 1.35 mm компании Spinner имеют аналогичную конструкцию и одинаковые параметры.

Компания Rosenberger выпускает (рис. 5):

- прямой кабельный соединитель под кабель 0,047" с КСВН менее: 1,15 в диапазоне частот до 26,5 ГГц, 1,22 (26,5–50 ГГц), 1,29 (50–90);
- угловые (30° и 90°) выводы энергии для поверхностного монтажа на печатные платы с максимальным КСВН, равным 1,67, во всем диапазоне частот 0–90 ГГц;
- шесть межсерийных адаптеров: RPC-1.35 mm – RPC-1.0 mm «вилка-вилка» и «розетка-розетка», RPC-1.35 mm – RPC-1.85 mm «вилка-вилка» и «розетка-розетка», в том числе два упрочненных адаптера с КСВН менее: 1,08 в диапазоне частот до 20 ГГц, 1,22 (20–40 ГГц), 1,33 (40–90) для портов измерительной аппаратуры;
- три внутрисерийных адаптера «вилка-вилка», «розетка-розетка» и «розетка-вилка» с КСВН менее: 1,08 в диапазоне частот до 20 ГГц, 1,25 (20–40 ГГц), 1,33 (40–90);
- четыре типа коаксиально-волноводных переходов;
- калибровочный измерительный набор;
- кабельные сборки RPC-1.35 mm «вилка-вилка» на полужестком кабеле с КСВН менее: 1,33 в диапазоне частот до 26,5 ГГц, 1,5 (26,5–50 ГГц), 1,67 (50–90 ГГц);
- кабельные сборки RPC-1.35 mm вилка – RPC-1.85 mm вилка на гибком кабеле с КСВН менее: 1,33 в диапазоне частот до 50 ГГц, 1,5 (50–90 ГГц).

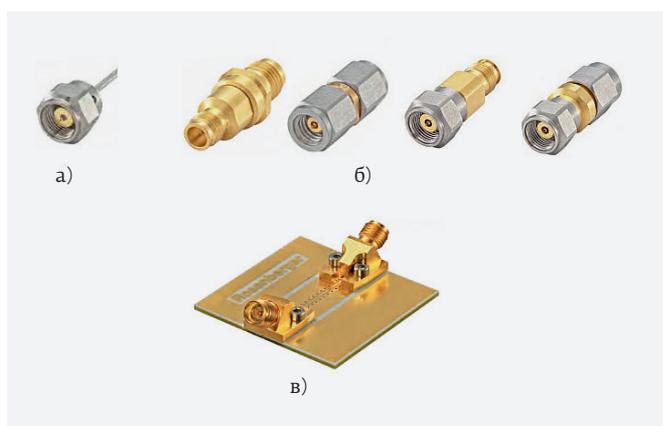


Рис. 5. Соединители 1.35 mm компании Rosenberger: а – кабельный, б – внутрисерийные и межсерийные адаптеры, в – угловые, для монтажа на печатные платы



Рис. 4. Соединители 1.35 mm компании Spinner: а – кабельный, б – панельный, в – вывод энергии для поверхностного монтажа, г – концевой вывод энергии, д – адаптеры, е – КВП

* * *

Соединители 1.35 mm закрыли пробел в частотном диапазоне между 65 ГГц (соединитель 1.85 mm) и 110 ГГц (соединитель 1.0 mm) и идеально подходят для радиочастотных измерений на частотах 60–90 ГГц, для датчиков, применяемых в автомобилях с автономным управлением и для различных приложений 5G. После завершения процедуры включения этих соединителей в международные стандарты они будут востребованы в разработках изделий мм-диапазона длин волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2006. 216 с.
2. **Barnett D., Nickel H. U.** Novel 1.35 mm precision coaxial connector enables very high-performance. E-Band cable assemblies // Microwave Components. 23 September 2018. www.mwee.com.
3. High frequency performance worldwide. The Robust Precision Interface for DC to 90 GHz www.spinner-group.com.
4. Rosenberger Introduces 1.35 mm Connector Series for RF-Connections up to 90 GHz. February 7, 2019, <https://www.everythingrf.com>.
5. Robust Precision Interface up to 90 GHz. RPC-1.35 Connectors, www.rosenberger.com.
6. High Frequency Performance Worldwide. The Robust Precision Interface for DC to 90 GHz, www.spinner-group.com.
7. **Джуринский К. Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д. т. н. Борисова А. А. – СПб: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014. 426 с.
8. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. – М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018. 400 с.
9. Teledyne Storm Microwave. Semi-Rigid Assemblies. www.teledynestorm.com
10. Sage Millimeter, Inc. 2018 Main Product Catalog. www.sagemillimeter.com.