

Резьбовые радиочастотные соединители для монтажа на печатные платы под углом 45 и 30 градусов

Кива Джуринский, Александр Сотников

Проанализированы конструктивные исполнения угловых радиочастотных соединителей. Рассмотрены конструкция и параметры соединителей, устанавливаемых на печатные платы под углами 45 и 30 градусов к её поверхности, созданных в 2021–2023 годах компаниями Cinch Connectivity Solutions/Johnson, Carlisle Interconnect Technologies (США), Wo-jiang Technology и Frontlynk (Тайвань). Статья написана на основе открытой доступной информации из зарубежных источников.

Конструктивные исполнения угловых радиочастотных соединителей

Угловые соединители широко применяют в разнообразных изделиях СВЧ-диапазона частот. Применение кабельного углового соединителя обеспечивает уменьшение допустимого радиуса изгиба кабеля в соединяемой с ним кабельной сборке и позволяет снизить нагрузку на кабель. Наряду с кабельными соединителями разработаны угловые коаксиально-микрополосковые переходы, соединители для установки на поверхность и в отверстия печатных плат, адаптеры.

Известны угловые радиочастотные соединители трёх конструктивных исполнений [1–4].

1. Соединители с прямоугольным угловым (90°) корпусом и с центральным проводником, состоящим из двух частей, спаянных между собой (Solder Fork).

2. Соединители с прямоугольным угловым (90°) корпусом и с изогнутым внутри корпуса (радиусным) единым центральным проводником (Mitered

Body with Swept Contact, Swept Right Angle Connector).

3. Соединители с изогнутыми (радиусными) корпусом и центральным проводником внутри корпуса (Swept Body with Swept Contact, Swept Radius Angle Connector).

Схематическое изображение конструкции соединителей первого конструктивного исполнения показано на рис. 1 [2]. В качестве примера показан типичный угловой кабельный соединитель SMA типа S-121L (вилка) американской компании Radiolab [5] для заделки обжимом гибкого кабеля марок RG-174, RG-316.

Обычно в задней части таких соединителей имеется отверстие, которое обеспечивает доступ для пайки двух центральных проводников. После пайки отверстие плотно закрывают диском с прокладкой. КСВН соединителя S-121L в частотном диапазоне 0...6 ГГц менее 2, в диапазоне частот 6...12 ГГц КСВН может быть больше 2. Следует отметить, что угловые соединители и адаптеры первого конструктивного исполнения выпускают и в нашей стране. Так, например, угловой соединитель

типа SMA вилка SmRA-316 компании АО «Антекс» (Ruconnectors) (аналог соединителя S-121L) в диапазоне частот 0...12 ГГц имеет КСВН менее 1,25 [6].

Соединители второго конструктивного исполнения внешне похожи на предыдущие соединители, однако отличаются единым центральным проводником, согнутым по радиусу внутри корпуса. На рис. 2 схематически изображена конструкция этих соединителей [2], а также внешний вид кабельного (для полужёсткого кабеля 0,47 дюйма) соединителя американской компании SV Microwave № SF2912-60955 SMA вилка с прямоугольным корпусом и с изогнутым внутри корпуса (радиусным) центральным проводником [2].

По внешнему виду этот соединитель похож на предыдущий соединитель, однако отличается от него отсутствием соединения центральных проводников.

Схематическое изображение соединителей третьего конструктивного исполнения представлено на рис. 3а [2]. На рис. 3б в качестве примера показан внешний вид углового фланцевого вывода энергии SMA № 3457-1 американской компании Coaxicom [3].

Корпус вывода энергии и его внутренний проводник симметрично изогнуты по радиусу. Вывод энергии в диапазоне частот 0...18 ГГц имеет максимальный КСВН $1,05 + 0,01f$ (1,23 на частоте 18 ГГц) и вносимые потери $0,1\sqrt{f}$ (0,42 дБ на частоте 18 ГГц), где f – частота, ГГц.

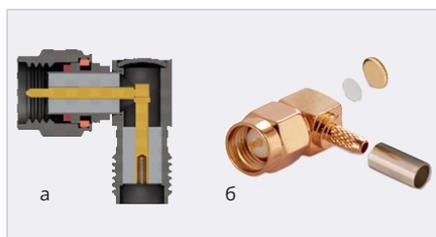


Рис. 1. Схематическое изображение соединителей первого конструктивного исполнения (а), внешний вид соединителя S-121L (б)



Рис. 2. Схематическое изображение угловых соединителей второго конструктивного исполнения (а), внешний вид соединителя-вилки SMA № SF2912-60955 (б)

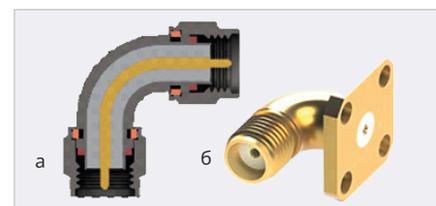


Рис. 3. Схематическое изображение угловых соединителей третьего конструктивного исполнения (а), внешний вид вывода энергии SMA № 3457-1 (б)

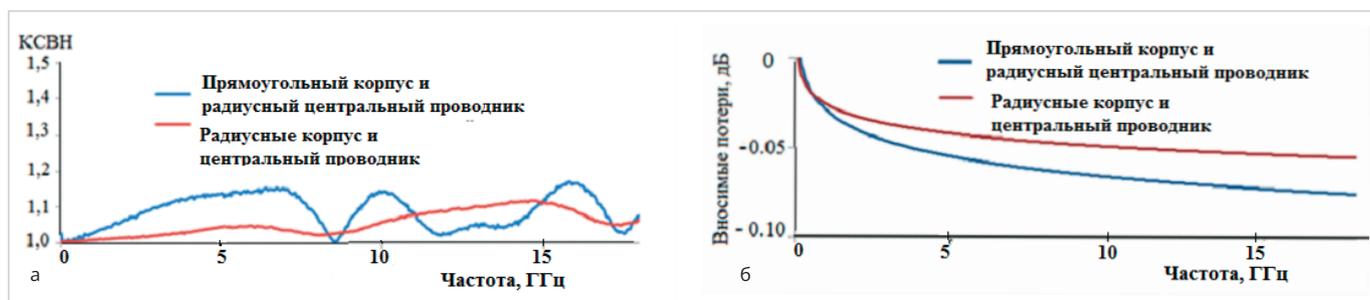


Рис. 4. КСВН и вносимые потери соединителей с прямоугольным корпусом и радиусным центральным проводником (а), с радиусными корпусом и центральным проводником (б)



Рис. 5. Соединители SMA для установки на печатные платы: прямой (а), угловой (б), концевой (в), для установки без пайки с наклоном к плате (г); 1 – угловой, 2 – прямой, 3 – концевой соединители, 4 – печатная плата

Применение радиусного центрального проводника позволяет расширить рабочий диапазон частот соединителя. Кроме того, снижается вероятность отказов в результате воздействия ударов и вибрации при работе в сложных условиях.

На рис. 4 по данным компании SV Microwave [1, 2] показаны частотные зависимости КСВН и вносимых потерь соединителей с прямоугольным корпусом и радиусным внутренним проводником, а также с радиусными корпусом и центральным проводником.

Центральный проводник, состоящий из соединённых между собой двух перпендикулярных друг другу отрезков в соединителе первого конструктивного решения, является причиной возрастания КСВН и вносимых потерь. Поэтому были разработаны угловые соединители с изогнутым (радиусным) внутренним проводником, хотя корпус оставался прямоугольным. Это позволило улучшить радиочастотные характеристики по сравнению с характеристиками соединителя первого конструктивного исполнения. В дальнейшем был создан угловой соединитель с изогнутыми (радиусными) корпусом и центральным проводником с оптимальными для угловых соединителей параметрами.

Типы угловых радиочастотных соединителей

В настоящее время известны более 55 серий радиочастотных соединителей, рабочий диапазон частот которых

начинается с частоты 3 ГГц. Общей характеристикой соединителей всех серий является наличие соединительных вилок/розеток, а также прямая и угловая конструкции. Угловые соединители входят в состав следующих серий, различающихся по способу соединения вилок и розетки [7]:

- с резьбовым соединением: SMA, SSMA, N, TNC, SMC, SSMC, 3,5 мм, 2,92 мм и др.;
- с байонетным соединением: BNC, mini BNC и др.;
- с соединением защёлкиванием (Snap-On) разных видов: MCX, MMCX, SMB, SSMB, SMP, mini SMP и др.;
- с соединением Blind Mate («вслепую»): BMA;
- с соединением Quick Lock: QMA.

Наиболее широко применяются угловые резьбовые кабельные соединители. Угловой соединитель и был создан для применения в тех случаях, когда кабельную сборку с прямым соединителем сложно или невозможно было подключить к устройству без опасного перегиба кабеля.

На рис. 5 показаны основные типы угловых соединителей SMA, применяемых для установки на печатные платы.

Прямой и угловой соединители ограничивают высоту корпуса устройства, а концевой соединитель ограничивает ширину или длину корпуса. Это важно для устройств, которые должны иметь минимальные габаритные размеры.

Угловые соединители для монтажа без пайки на печатные платы с наклоном к плате

В ряде случаев возникает необходимость в передаче высокочастотных сигналов с участка микрополосковой линии, расположенного на некотором расстоянии от края печатной платы. Кроме того, требуются угловые соединители для соединения между платами при ограничении по высоте и ширине. Для решения этих задач были созданы соединители с наклоном к печатной плате, предназначенные для быстрого и простого монтажа в труднодоступных местах, где предпочтительна угловая конструкция соединения, а размеры платы ограничены.

Специально разработанное семейство соединителей с наклоном к плате под углом 45 и 30 градусов, устанавливаемых без пайки, с помощью винтов, было предназначено для применения в небольших корпусированных устройствах с ограниченным пространством. Эти соединители позволили обеспечить минимальный радиус изгиба кабеля в ответной кабельной сборке. Кроме того, низкие величины КСВН и вносимых потерь сделали возможным применение этих соединителей в контрольно-измерительном оборудовании, в оборудовании спутниковой связи, GPS и антеннах с фазированной решеткой, в радиолокационных системах, в оборудовании для автоматического тестирования и связи, для дистанционного мониторинга [8].



Рис. 6. Прецизионный угловой соединитель с наклоном к печатной плате



Рис. 7. Соединители SMA для установки в отверстия печатной платы (а) и для установки с помощью двух винтов (б)

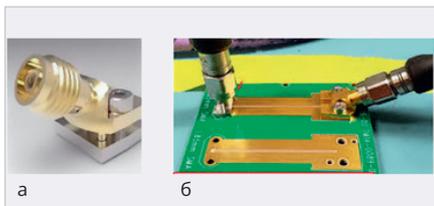


Рис. 8. Соединитель 1,85 мм компании CarlisleIT (а), его установка на печатной плате (б)

Соединители компании Cinch Connectivity Solutions/Johnson

В 2021 году компанией Cinch Connectivity Solutions/Johnson (ныне входящей в группу компаний Bel Fuse) было начато производство соединителей с углом наклона к печатной плате 45 градусов, а в 2023 году – с углом наклона 30 градусов [8]. Были созданы прецизионные соединители-розетки: 1,85 мм, 2,4 мм и 2,92 мм. В них было использовано соединение с печатной платой без пайки, с помощью двух винтов для быстрой и простой установки на плату – рис. 6 [8].

Кроме того, был разработан соединитель-розетка SMA (с наклоном к печатной плате) двух видов: для установки в отверстия печатной платы (№ 142-0711-271) и для установки на плату без пайки (№ 142-0711-281) – рис. 7 [2]. Параметры этих соединителей представлены в табл. 1.

Соединители относятся к числу изделий, заменяемых в полевых условиях (Field Replaceable). Для соединителей разных типов рабочее напряжение на уровне моря равно от 150 до 500 В, рабо-

Таблица 1. Параметры соединителей Cinch Connectivity Solutions/Johnson с углами наклона 45 и 30 градусов

Тип соединителя	Номер соединителя	Диапазон рабочих частот, ГГц	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	Максимальная величина вносимых потерь, дБ, (на частоте, ГГц)
Соединители с углом наклона 45 градусов				
1,85 мм	148-0701-221	0...67	1,5 (0...67)	0,98 (67)
2,4 мм	147-0701-281	0...50	1,5 (0...50)	0,85 (50)
2,92 мм	145-0701-221	0...40	1,25 (0...26,5) 1,5 (26,5...40)	0,76 (40)
SMA	142-0711-281	0...26,5	1,5 (0...26,5)	0,62 (26,5)
	142-0711-271	0...18	1,5 (0...18)	–
Соединители с углом наклона 30 градусов				
1,85 мм	148-0791-301	0...67	1,35 (0...67)	0,98 (67)
2,4 мм	147-0791-301	0...50	1,3 (0...50)	0,85 (50)
2,92 мм	145-0791-301	0...40	1,3 (0...40)	0,76 (40)
SMA	142-0791-301	0...26,5	1,5 (0...26,5)	0,62 (26,5)

Таблица 2. Параметры соединителей Carlisle Interconnect Technologies с углом наклона 30 градусов

Тип соединителя	Номер соединителя	Диапазон рабочих частот, ГГц	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	Максимальная величина вносимых потерь, дБ, на частоте f (ГГц)
1,85 мм	TM14-0089-00	0...70	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40), 1,33 (40...60), 1,50 (60...70)	≤ 0,05 √f
2,4 мм	TM14-0143-00	0...50	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40), 1,33 (40...50)	≤ 0,05 √f
2,92 мм	TM14-0141-00	0...40	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40)	≤ 0,04 √f
3,5 мм	TM14-0142-00	0...34	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40)	≤ 0,04 √f

чий диапазон температур: –55...+85°С и –65...+165°С, допустимое количество циклов соединение-рассоединение – 500.

Корпуса соединителей изготовлены из бериллиевой бронзы или латуни (для соединителей SMA) и покрыты износостойким золотом. В соединителях используются 2 изолятора, один из полимера PCTFE (термопластичный кристаллический гомополимер с диэлектрической проницаемостью 2,3...3,0) или Ultem-1000 (полиимид с диэлектрической проницаемостью 3,15...3,2), второй из PTFE (фторопласт с диэлектрической проницаемостью 2,05...2,1).

Соединители компании Carlisle Interconnect Technologies

Компания Carlisle Interconnect Technologies (CarlisleIT) разработала прецизионные соединители для установки на печатные платы под углом 30 градусов. При угле наклона 30 градусов нагрузка на кабель кабельной сборки сводится к минимуму, что продле-

вает срок службы и надёжность кабеля. Разработана линейка соединителей: 1,85 мм, 2,4 мм, 2,92 мм и 3,5 мм, параметры которых представлены в табл. 2.

Корпуса соединителей компании CarlisleIT изготовлены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом. В конструкцию соединителей входят 2 изолятора: первый в виде шайбы с 6 отверстиями из полимера PTFE, второй – из органического термопластичного полимера PEEK с диэлектрической проницаемостью около 3,0. Типичный диапазон рабочих температур для данной линейки соединителей составляет: –40...+85°С.

Внешний вид соединителя 1,85 мм компании CarlisleIT и его установка на печатную плату показаны на рис. 8 [14].

Предельная частота соединителей 1,85 мм – 70 ГГц, КСВН не превышает 1,5, вносимые потери сведены к минимуму: 0,41 дБ в диапазоне частот 60...70 ГГц.

Компания CarlisleIT предлагает оптимизированные схемы расположения плат и контуры печатных плат угловых соединителей для достижения целост-

ности сигнала. Также предлагается оценочная плата с прецизионными радиочастотными, соединителями, позволяющая измерять целостность сигнала, включая S-параметрические данные для сигналов, проходящих по длине платы 1 дюйм.

Соединители тайваньских компаний

Компания Bo-Jiang technology разработала соединитель-розетку 1,85 мм с углом наклона к плате 30 градусов № 3366LR502SQ000B [15]. Соединитель крепится на плату двумя винтами без пайки. Предельная частота соединителя 67 ГГц.

Аналогичный соединитель FL33J6-LR502SQA00 создан также компанией Frontlynk [16]. Внешний вид соединителей 1,85 мм компании Frontlynk, установленных на печатную плату, показан на рис. 9 [15].

Заключение

Данная статья не претендует на исчерпывающую полноту, так как многие зарубежные источники в настоящее время недоступны. Несмотря на это, информация, представленная в статье, может быть полезна прежде всего разработчикам миниатюрных СВЧ-устройств, в кото-

рых соединения выполнены с помощью кабельных сборок, а также специалистам в области измерительной техники.

Литература

- How well do Right Angle RF Connectors Work? SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.
- Right Angle SMA Solution. SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.
- SMA Swept Right Angle Receptacles and Adapters. Coaxicom. URL: <https://coaxicom.com/specifications/sma-swept-radius-right-angle-specifications/>.
- SMA Series Subminiature RF Connectors Radiall. URL: <https://www.radiall.com>.
- Разъём S-121L SMA (male) RG-174, RG-316 угловой. URL: <https://www.mic.ru>.
- АО «Антекс». URL: <http://ruconnectors.ru>.
- Джурицкий К.Б. Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. М.: Ваш Формат, 2018. 400 с.
- Angled Precision RF Coax Connectors. URL: www.belfuse.com/cinch.
- Connector Tips Angled, 30-degree RF connectors boast high-frequency. URL: <https://www.connectorstips.com>.
- 2,92 mm 45 Degree PCB Mount. Connector Signal Integrity, June 2020.
- RF connector line expands. Engineer Live News Desk. 11th August 2023.
- Cinch Connectivity Solutions Extends RF Connector Line with New mm Wave Angled 30-degree Product Family. August 09, 2023. URL: <https://www.belfuse.com/cinch>.
- Cinch expands RF connector line. Electronic Products. 2023. URL: <https://www.electronicproducts.com>.
- Carlisle Interconnect Technologies. URL: <https://www.carlisleit.com>.
- 1.85 mm Angled Solderless PCB SMD JACK. URL: <https://www.bojiang.com.tw>.
- 1.85 mm Angled Solderless PCB SMD JACK - 67GHz. URL: <https://www.frontlynk.com.tw>.

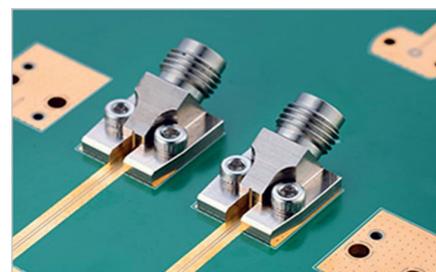
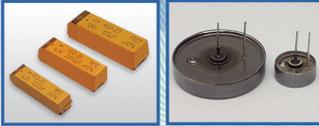
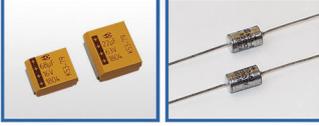


Рис. 9. Соединители 1,85 мм компании Frontlynk, установленные на печатной плате



ЭЛЕКОНД
РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

<p>Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C</p>	<p>3,2 ... 485 1,0 ... 470 000 -60 ... 125</p>	
<p>Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C</p>	<p>3,2 ... 200 1,5 ... 60 000 -60 ... 175</p>	
<p>Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C</p>	<p>2,5 ... 63 0,033 ... 2 200 -60 ... 175</p>	
<p>Суперконденсаторы K58-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °C</p>	<p>2,5 ... 2,7 1,0 ... 4 700 -60 ... 65</p>	
<p>Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C</p>	<p>5,0 ... 48 0,08 ... 783 -60 ... 65</p>	

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3
 Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53
 e-mail: elecond-market@elcudm.ru, www.elecond.ru



Реклама