

Прецизионные радиочастотные коаксиальные соединители для измерительной техники

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.

Градации радиочастотных соединителей

Общеприняты 3 градации радиочастотных соединителей: метрологические (metrological connectors), инструментальные (instrument connectors) и общего применения (production connectors, или field connectors) [1–5].

- Метрологические соединители применяют в радиоизмерительной аппаратуре для калибровки и поверки. Это соединители с воздушной коаксиальной линией с волновым сопротивлением 50 Ом. Они обеспечивают наивысшую точность и воспроизводимость результатов измерений, что обусловлено высокой точностью изготовления и применением гнездовых контактов без прорезей (slotless contacts). Корпусы соединителей изготавливают только из нержавеющей стали, гнездовые контакты — из упрочненной бериллиевой бронзы. Метрологические соединители имеют большой срок службы и обеспечивают без ухудшения параметров несколько тысяч соединений и разъединений с ответным соединителем. Они предназначены для прецизионных измерений и не должны использоваться для совместной работы с соединителями общего применения. Соединители имеют наиболее высокую стоимость. Для обеспечения большого срока службы и высокой воспроизводимости параметров метрологические соединители требуют бережного обращения и хранения.
- Инструментальные соединители применяют в радиоизмерительной аппаратуре в сочетании с различными кабелями и адапторами. Они обеспечивают достаточно высокую точность и воспроизводимость результатов измерений и большое количе-

Многие отечественные предприятия, работающие в области микроэлектроники СВЧ, приобрели современную радиоизмерительную аппаратуру (векторные анализаторы цепей, анализаторы спектра и т. д.) известных зарубежных компаний: Anritsu, Agilent, Rohde&Schwarz и др. Без этой аппаратуры невозможна разработка современных изделий СВЧ-техники военного и гражданского назначения.

В радиоизмерительной аппаратуре ввод и вывод сигналов осуществляют в основном при помощи прецизионных коаксиальных радиочастотных соединителей. Поэтому вопросы выбора и применения этих соединителей в настоящее время приобрели первостепенное значение.

ство соединений и разъединений с ответным соединителем. Соединители входят в состав калибровочных комплектов (calibration kits) для радиоизмерительной аппаратуры.

- Соединители общего применения — наиболее распространенная градация соединителей, широко применяемых в устройствах микроэлектроники. По сравнению с метрологическими и измерительными эти соединители имеют более низкий уровень параметров и, прежде всего, меньший срок службы. Перед присоединением к выходным соединителям (портам) радиоизмерительной аппаратуры соединители общего применения необходимо тщательно инспектировать. Из всех трех градаций эти соединители имеют наименьшую стоимость. Для тестирования соединители общего применения рекомендуется подключать к радиоизмерительной аппаратуре через соответствующие адапторы. Адапторы иногда называют «хранителями» соединителей, так как они предохраняют их от износа и повреждения, не внося при этом существенных искажений в измерительную схему.

Таблица 1. Соединители разных градаций

Соединитель	Метрологический	Инструментальный	Общего применения	Предельная частота, ГГц
BNC	–	–	+	2
N	+	+	+	18
7-мм	+	+	+	18
SMA	–	–	+	22
3,5-мм	+	+	+	34
2,92-мм	–	+	+	44
2,4-мм	+	+	+	52
1,85-мм	–	+	+	70
1,0-мм	–	+	+	110

Примечание: + имеется; – отсутствует.

Следует подчеркнуть, что не все типы соединителей выпускают в виде всех трех градаций (табл. 1) [2–5].

Кроме того, за рубежом принято различать две основные группы прецизионных соединителей: LPC (Laboratory Precision Connectors) и GPC (General Precision Connectors). Прецизионными принято считать соединители с высоким уровнем параметров, имеющие высокую предельную частоту и повышенный срок службы. Соединители LPC и GPC одного типа внешне выглядят одинаково. Однако соединители LPC выполнены с более высокой точностью, и их корпус изготовлены исключительно из нержавеющей стали. К тому же, в соединителях LPC применяют только воздушную коаксиальную линию. В соединителях GPC используют коаксиальную линию, заполненную малоотражающим диэлектриком, чаще всего фторопластом. Размеры коаксиальной линии в этом случае возрастают. Из условия равенства 50-Ом волнового сопротивления коаксиальной линии следует, что $D/d = 3,2$ для фторопласта и $D/d = 2,3$ для воздуха, где D — внутренний диаметр наружного проводника, а d — наружный диаметр внутреннего проводника линии. Поэтому, например, размеры коаксиальной линии стандартного соединителя типа SMA с фторопластовым диэлектриком — 4,1/1,27 мм, а аналогичного 3,5-мм соединителя с воздушной линией — 3,5/1,52 мм.

Типы прецизионных соединителей

Соединители N и 7-мм

Эти соединители (вилка и розетка) (рис. 1) [3] применяют в качестве входных и выходных портов радиоизмерительной аппаратуры.

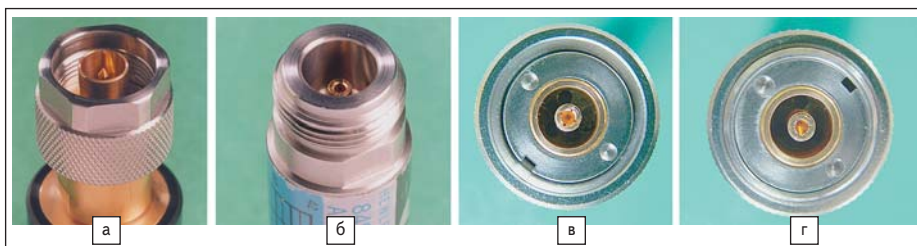


Рис. 1. Соединители N: а) вилка; б) розетка; в) 7-мм розетка, гнездо с 4 ламелями; г) 7-мм розетка, с 6 ламелями

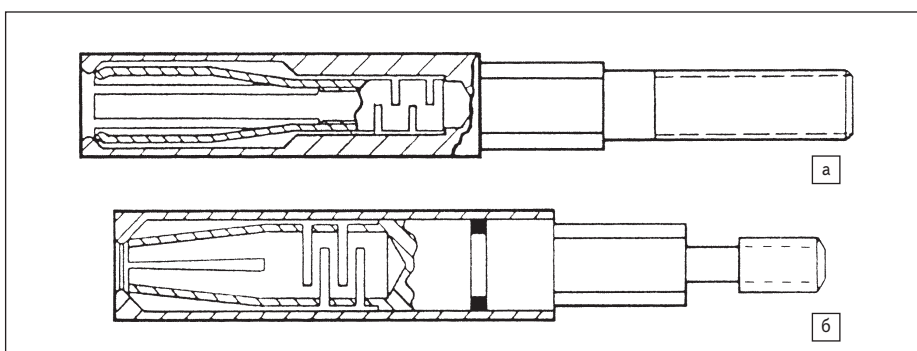


Рис. 2. Гнездовые контакты: а) соединителей N; б) соединителей APC-3,5 и APC-2,4

Они также входят в состав калибровочных комплектов. Соединители имеют большие размеры, жесткую конструкцию и меньшую склонность к повреждению.

Прецизионные 7-мм соединители APC-7, RPC-7 и других типов (рис. 1в, г) имеют предельную рабочую частоту 22 ГГц и предназначены для сочетания с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,141', UT141, 0,085' (RG-405), UT85 или их аналогами. Гнездовой контакт розетки может быть разрезным с 4 или 6 ламелями или без прорезей. В метрологических соединителях применяют только неразрезной гнездовой контакт. Одна из конструкций такого контакта была предложена компанией Hewlett-Packard (ныне Agilent) в 1988 году. В дальнейшем гнездовые контакты без прорезей были разработаны и для соединителей других типов — 3,5-мм, 2,4-мм (рис. 2) [4].

Следует подчеркнуть, что соединители APC-7 были разработаны исключительно как метрологические, и поэтому они не совместимы с соединителями более низких градаций.

Соединители SMA и 3,5-мм

Соединитель SMA, разработанный еще в 1962 году, имеет коаксиальную линию с размерами 4,1×1,27 мм, заполненную фторопластом. Он относится к полупрецизионным соединителям и предназначен для работы на частотах до 22 ГГц, а в специальных случаях — до 26,5 ГГц.

Для прецизионных измерений соединитель SMA был усовершенствован путем замены коаксиальной линии с фторопластом на воздушную коаксиальную линию с размерами 3,5×1,52 мм — 3,5-мм соединитель. Внутренний проводник соединителя поддерживается

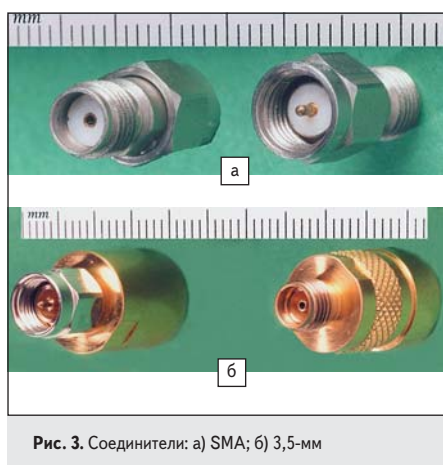


Рис. 3. Соединители: а) SMA; б) 3,5-мм

диэлектрической шайбой, конструкция и размеры которой обеспечивают минимальное рассогласование в коаксиальной линии. Вилка соединителя имеет укороченный штыревой контакт для того, чтобы сочленение внутренних проводников не происходило до того, как стыкуются наружные проводники. Благодаря этому уменьшается возможность повреждения соединителей при сочленении вилки и розетки [1]. Внешний вид соединителей 3,5-мм и SMA показан на рис. 3 [3].

3,5-мм соединители (APC-3,5, RPC-3,5 и других типов) имеют предельную рабочую частоту 33 ГГц. Соединители 3,5-мм и SMA предназначены для работы с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,141', UT141, 0,085' (RG-405), UT85 или их аналогами.

SMA и все 3,5-мм соединители механически совместимы между собой, и для их контактирования не нужно применять адаптеры. Механическая совместимость означает, что в области контактирования вилки и розетки

(reference plane) соединители имеют одни и те же размеры и поэтому могут стыковаться без повреждения. В случае прецизионных измерений необходимо учитывать, что при сочетании 3,5-мм соединителя и SMA имеет место некоторое рассогласование из-за конструктивного различия их коаксиальных линий.

Соединители 2,92-мм

Прецизионные 2,92-мм соединители (рис. 4), известные еще как соединители 2,9-мм, или K, были разработаны для радиоизмерительной аппаратуры, работающей на частотах до 44–46 ГГц. Эти соединители механически совместимы с соединителями 3,5-мм и SMA. Однако при таком сочетании для прецизионных измерений необходимо вносить поправку на различие коаксиальных линий. Как и в 3,5-мм соединителях, в 2,92-мм соединителях для предотвращения повреждения штырь вилки укорочен. Соединители 2,92-мм предназначены для работы с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,119', UT119, 0,085' (RG-405), UT85 или их аналогами. 2,92-мм соединители (K, RPC-29,2 и др.) выпускают несколько зарубежных фирм: Rosenberger, M/A-COM, Amphenol, Anritsu. Внешний вид этого соединителя показан на рис. 4 [3].



Рис. 4. 2,92-мм соединитель

Соединители 2,4-мм

2,4-мм соединитель, разработанный компанией Hewlett-Packard в середине 1980-х годов, называют еще Q-соединителем. HP не получила патент на конструкцию этого соединителя. Была запатентована только конструкция внутреннего гнездового контакта, обеспечивающего высокую стабильность волнового сопротивления (американский патент 4 648.683). Вскоре другие компании начали разработку и выпуск собственных вариантов конструктивного исполнения 2,4-мм соединителей: APC-2,4, RPC-2,4, OS-50. Соединитель имеет воздушную коаксиальную линию с размерами 2,4×1,04 мм и предназначен для работы на частотах до 50–52 ГГц. Соединители 2,4-мм предназначены для работы с полу-



Рис. 5. 2,4-мм соединитель

жестким радиочастотным кабелем марок 0,096', UT96, 0,085' (RG-405), UT85 или их аналогами. Внешний вид соединителей показан на рис. 5 [3].

Соединители 1,85-мм

Соединители этого типа также созданы компанией Hewlett-Packard в 1986 году для применения в векторных анализаторах цепей. Их называют также V-соединителями. В 1-85-мм соединителе с предельной рабочей частотой 65 ГГц реализована воздушная коаксиальная линия с размерами 1,85×0,8 мм. Как и в случае с соединителем 2,4-мм, конструкция 1,85-мм соединителя не была запатентована, и поэтому вскоре появились его конструктивные версии: APC-1,85, RPC-1,85, OS-65. Соединители 1,85-мм предназначены для работы с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,047', UT47 или их аналогами. Внешний вид соединителя показан на рис. 6 [3].

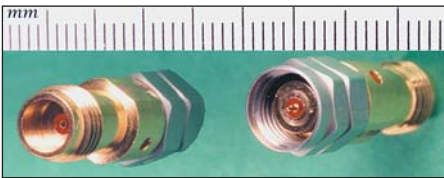


Рис. 6. 1,85-мм соединитель

Соединители 1,0-мм

1,0-мм соединитель, известный также как W-соединитель, предназначен для работы на частотах до 110 ГГц. В нем реализована исключительно миниатюрная воздушная коаксиальная линия с размерами 1,0×0,434 мм, выполненная с точностью несколько микрон. Эти дорогостоящие соединители требуют исключительно бережного обращения и хранения. Соединители 1,0-мм работают в сочетании с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,047', UT47 или их аналогами.

1,0-мм соединители выпускают компании Rosenberger (RPC-1,0), M/A-COM (OS-1,0), Anritsu. Внешний вид соединителя 1,0-мм по-

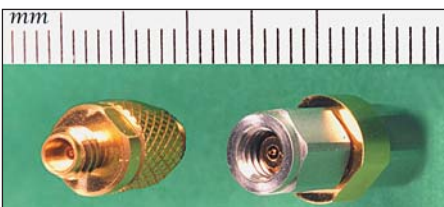


Рис. 7. 1,0-мм соединитель

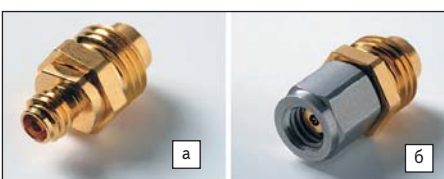


Рис. 8. 1,0-мм соединители компании Anritsu: а) розетка; б) вилка

Таблица 2. Параметры воздушных коаксиальных линий прецизионных соединителей

Соединитель	Размеры проводников линии, мм		Волновое сопротивление, Ом	Предельная верхняя частота, ГГц		Прямые потери, дБ/100 мм
	наружного	внутреннего		номинальная	теоретическая	
7-мм	7 ±0,01	3,04 ±0,01	50 ±0,5	18,0	19,4	—
3,5-мм	3,5 ±0,005	1,52 ±0,01	50 ±0,5	33,0	38,8	0,30
2,92-мм	2,92 ±0,05	1,27 ±0,07	50 ±0,6	40,0	46,5	0,50
2,4-мм	2,4 ±0,01	1,04 ±0,01	50 ±0,95	50	56,5	0,70
1,85-мм	1,85 ±0,007	0,8 ±0,007	50 ±1,0	65	73,3	0,90
1,0-мм	1,0 ±0,007	0,434 ±0,005	50 ±1,15	110	135,7	2,00

казан на рис. 7. На рис. 8 показан внешний вид вилки и розетки 1,0-мм соединителя компании Anritsu.

Соединители 1,0-мм, 2,4-мм и 1,85-мм совместимы между собой, но не совместимы с соединителями 3,5-мм, 2,92-мм и SMA.

Коаксиальные линии соединителей

Размеры и электрические параметры воздушных коаксиальных линий прецизионных соединителей приведены в таблице 2 [1, 6].

С увеличением предельной частоты размеры коаксиальной линии уменьшаются, а точность размеров возрастает. При этом также возрастают КСВН и прямые потери в линии передачи.

Повторяемость параметров

Точность измерения определяется не только параметрами измеряемой пары соединителей (DUT — device under test), но и особенностями области контактирования DUT с входным и выходным соединителями (портами) измерительной аппаратуры. К дефектам этой области относятся: несоответствие диаметра и длины штыря вилки и гнезда розетки, плохое качество и загрязнение поверхности вилки и розетки, недостаточное контактное давление. На повторяемость параметров соединителя влияют его конструкция, материал и покрытие наружного и внутреннего проводников, чистота поверхностей, ососность проводников, момент затягивания гайки на вилке при ее соединении с розеткой, конструкция гнездового контакта и, наконец, квалификация оператора [6]. Повторяемость параметров (В) определяют по формуле:

$$B = 20 \lg |\Gamma| = 20 \lg |\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2}|,$$

где Γ_{m1} и Γ_{m2} — результаты измерений до и после определенного количества циклов соединения и разъединения вилки и розетки.

В общем случае наилучшая повторяемость у соединителей, наружный проводник которых изготовлен из твердого материала (нержавеющей стали), имеет высокую чистоту обработки поверхности и большое усилие затягивания [6]. В соединителях с высокой повторяемостью параметров внутренний проводник (гнездо) имеет толстые стенки, малую площадь контакта гнезда и штыря, и требуется большее усилие при соединении внутренних проводников. Поэтому такие контакты подвержены износу. Из всех соединителей с высокими предельными рабочими частотами наибольшая повторяемость параметров у 3,5-мм и 2,4-мм соединителей.

Гнездовой контакт с прорезями (с ламелями) нередко применяют в прецизионных соединителях. Однако прорези обуславливают неоднородность коаксиальной линии. Изменение диаметра штыря на 0,05 мм приводит к отражениям на уровне 50 дБ на частоте 40 ГГц [6]. Лучшую повторяемость обеспечивает гнездовой контакт без ламелей (табл. 3).

Гнездовые контакты без ламелей целесообразны в соединителях, используемых для калибровки и поверки, так как в этом случае отсутствует влияние неоднородности из-за изменения диаметра гнезда при введении в него штыря. Однако при этом возрастает зависимость параметров от величины зазора между штырем и гнездом.

В реальных соединителях имеет место рецессия («утопание») штыря вилки и гнезда розетки относительно плоскости контактирования наружных проводников, а после вве-

Таблица 3. Повторяемость параметров соединителей

Соединитель	Величина обратных потерь, дБ	
	Гнездо с прорезями	Гнездо без прорезей
3,5-мм	53	56
2,92-мм (тип К)	50	—
2,4-мм	52	55
1,85-мм (тип V)	48	—

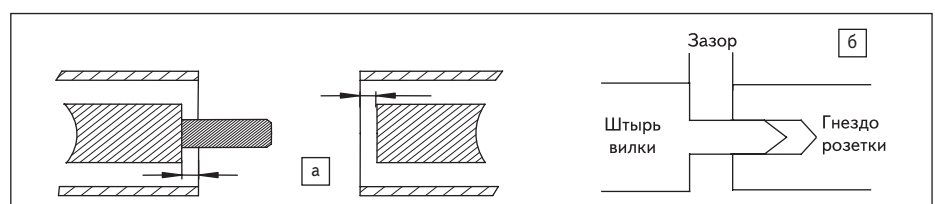


Рис. 9. Рецессия штыря и гнезда (а) и зазор между штырем и гнездом (б)

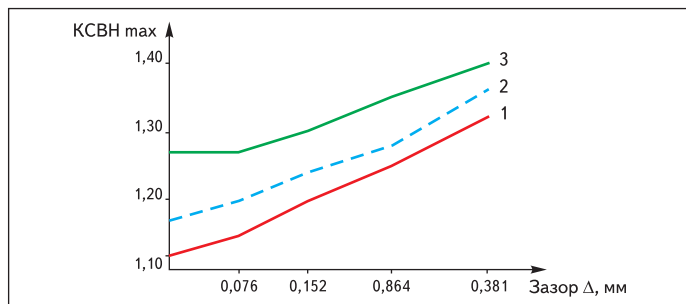


Рис. 10. Зависимость максимального КСВН пары соединителей SMA от величины зазора Δ_1 при: 1) $\Delta_2 = 0$, 2) $\Delta_2 = 0,152$, 3) $\Delta_2 = 0,24$ мм

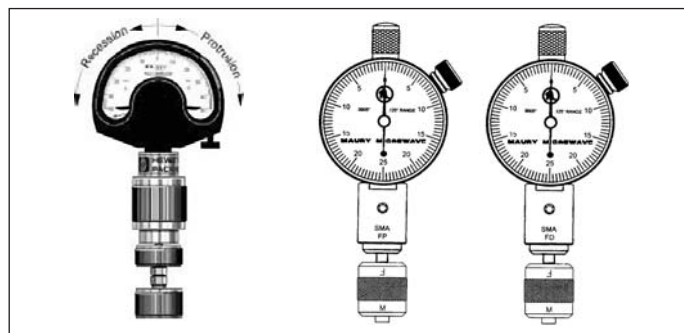


Рис. 11. Образцы инструмента для контроля размеров соединителей

дения штыря в гнездо между ними имеется некоторый зазор (рис. 9).

Несовершенство области контактирования соединителей (вилки и розетки) приводит к ухудшению не только КСВН, но и стабильности и воспроизводимости параметров. Влияние рецессии и зазора на электрические параметры соединителей было предметом многих исследований [1, 4–7]. Было установлено, что величина рецессии не должна превышать 0,0125 мм для соединителей группы LPC и 0,0508 мм для соединителей группы GPC [6]. Выступление же штыря и гнезда над плоскостью контактирования наружных проводников недопустимо, так как это может привести к их повреждению. Оптимальным считается такое соединение вилки и розетки, при котором штырь входит в гнездо без зазора, а при наличии фторопластовых изоляторов между ними нет зазора [1, 7]. В соединителях 7-мм, 3,5-мм и 2,92-мм максимальная величина зазора не должна превышать 0,05 мм, а в соединителях 2,4-мм, 1,85-мм и 1,0-мм — 0,038 мм [6]. В качестве примера на рис. 10 показаны результаты экспериментального исследования влияния зазоров между штырем и гнездом (Δ_1) и между изоляторами (Δ_2) розетки и вилки на величину максимального КСВН в диапазоне частот 2–26 ГГц пары соединителей SMA [7].

Повторяемость зависит не только от величины зазора между внутренними проводниками вилки и розетки, но и от состояния поверхностей проводников в области контактирования и величины момента затягивания гайки на вилке. Закручивание гайки следует

выполнять при помощи торированного ключа (torque wrench). Чрезмерный момент затягивания может стать причиной непригодности соединителей к работе. Рекомендуемые моменты затягивания гайки приведены в таблице 4 [2–6].

Для соединителей высокого качества повторяемость (величина обратных потерь) должна быть лучше 50 дБ.

Повреждение соединителей

Необходимо, чтобы на измерение не попадали дефектные соединители, так как повреждение входного и выходного портов аппаратуры требует больших затрат на ее ремонт. Так, стоимость замены дефектной скользящей нагрузки с выходным 3,5-мм соединителем составляет \$2000, а с 2,4-мм соединителем — \$2200. Замена порта анализатора 8515A обойдется в \$1000 [4].

Повреждение соединителей происходит из-за сильного износа сопрягаемых поверхностей. В результате этого нарушается резьба, появляются царапины, зазубрины, выбоины и другие дефекты на поверхности наружных проводников. Нередки случаи искривления и поломки центральных проводников. Поэтому перед подсоединением к радиоизмерительной аппаратуре, прежде всего, необходимо путем визуального осмотра убедиться в отсутствии повреждения резьбы на гайке соединителя «вилка» и на корпусе соединителя «розетка». Гайка должна свободно вращаться, а на резьбе не должно быть заусенцев, отрывающихся металлических частиц, забоин и неровностей. Повреждение резьбы обычно обусловлено наличием волосян (это дефект на поверхности металлических изделий в виде прямых тонких штрихов-трещинок) и мелких трещин в металле.

Затем следует осмотреть наружные проводники в области контактирования. Надежный плоский контакт в этой области требует соосности проводников и отсутствия глубоких царапин и неровностей. Однако незначительные концентрические царапины и потертости на металле или на покрытии в области контактирования не должны вызывать беспокойства.

Центральный проводник соединителя должен быть прямым и отцентрированным по

отношению к наружному проводнику. Штыревой контакт соединителя «вилка» должен быть скруглен на конце для облегчения его захода в гнездовой контакт розетки. Если на штыре есть кольцевая нарезка из-за его износа, то это результат вращения штыря в гнезде. Это возможно, когда при соединении вилки и розетки вращается не гайка на корпусе вилки, а сам корпус вилки. Изношенный штырь — причина плохого контакта, что приводит к ошибкам измерений. Гнездо должно быть свободно от загрязнений и симметрично расположено. Ламели гнездового контакта (6 ламелей у 3,5-мм соединителя, 4 — у 2,4-мм соединителя) не должны быть повреждены.

При правильной эксплуатации зарубежные компании гарантируют надежность соединителей обычно в течение года с начала поставки и, в случае обнаружения дефектов, обеспечивают замену бракованных соединителей.

Контроль размеров соединителей

Поскольку точность размеров (десятки или даже единицы микрон) определяет основные параметры прецизионных соединителей, необходимо проводить поверку этих размеров. Для этого применяют специальный измерительный инструмент (gauge) — индикаторные головки с набором эталонных насадок для контроля размеров вилки и розетки (рис. 11) [3, 4].

Такой контроль необходим перед использованием соединителя, а также после каждых 100 циклов соединения и разъединения. Это позволяет выявить недопустимое выступание или утопание внутренних проводников в области контактирования и определить размеры этой области.

Чистка соединителей

После многократных соединений и разъединений вилки и розетки, а также при несоблюдении условий хранения на поверхности проводников и диэлектрика появляются нежелательные загрязнения: различные посторонние частицы и, прежде всего, металлические частицы из-за истирания покрытия, отрывающиеся заусенцы, жировые и другие

Таблица 4. Моменты затягивания гайки для соединителей разных типов

Соединитель	Вид резьбы	Момент, Н·м	Торированный ключ для закручивания гайки
7-мм	0,625-24UNEF	1,36	
3,5-мм	0,250-36UNS	0,90	
2,92-мм		0,56–0,90	
2,4-мм	M7 0,75	0,90	
1,85-мм		0,90	
1,0-мм		0,34	
SMA		0,250-36UNS	
N	0,625-24UNEF	1,36	

Примечание. 1,0-мм соединители RPC-1,0 компании Rosenberger выполнены с резьбой M4X0,75.

Таблица 5. Идеальные и реальные радиочастотные соединители

№ п.п.	Параметры	Идеальный соединитель	Реальный соединитель	Причины различия
Электрические параметры				
1	Волновое сопротивление, Ом	50 ± 0	50 ± (0,5–1,5)	Неоднородности в коаксиальной линии соединителя
2	Предельная верхняя частота	Критическая частота f_c , выше которой в линии возникают высшие типы волн, отличные от TEM-волны	Меньше f_c	Зависит от конструкции соединителя, геометрических размеров коаксиальной линии и их точности
3	КСВН	1,0 (нет отражений)	Более 1,0 (зависит от частоты)	Отражения от неоднородностей в коаксиальной линии
4	Экранное затухание, дБ	Полное экранирование (нет утечки высокочастотной энергии)	До 120 дБ (зависит от частоты)	Зависит от конструкции соединителя, покрытия, примененного кабеля и способа его заделки
5	Прямые потери	0 (нет потерь)	> 0, возрастают с увеличением частоты	Потери в проводниках и диэлектрические потери в изоляторе
6	Рабочее напряжение, напряжение пробоя	Должны быть больше рабочего напряжения и напряжения пробоя кабеля	Могут быть меньше напряжения пробоя кабеля	Зависят от размеров коаксиальной линии и типа диэлектрика
7	Сопротивление изоляции	В пределе — бесконечная величина	Существенно меньшая величина (несколько ГОм)	Диэлектрические потери, зависящие от материала изолятора и его размеров
8	Сопротивление проводников	0 (полная проводимость)	Единицы или десятки мОм	Удельное сопротивление покрытия проводников, контактное сопротивление
Механические параметры				
1	Усилия соединения и рассоединения вилки и розетки	0	> 0	Зависят от конструкции контактов соединителя и степени их износа
2	Момент затягивания гайки на вилке	Гайка должна свободно вращаться усилием руки, и при этом должно обеспечиваться нулевое контактное сопротивление	Величина момента определяется величинами КСВН и экранного зазухания	Зависит от конструкции области соединения наружных проводников вилки и розетки
3	Усилие удержания контактов соединителя	Внутренний проводник не должен перемещаться в аксиальном и радиальном направлениях	Выполняется при правильной конструкции соединителя и соблюдении условий применения	Определяется деформацией изолятора, удерживающего внутренний проводник
4	Количество соединений и рассоединений вилки и розетки	Бесконечно большое	500–5000	Зависит от конструкции соединителя, степени износа его контактов
5	Усилие удержания кабеля	Должно быть не меньше усилия разрыва кабеля	Может быть меньше усилия разрыва кабеля	Определяется конструкцией соединителя и способом заделки в него кабеля

загрязнения. Чтобы обеспечить длительную работу, а также повторяемость параметров, необходимо регулярно проводить тщательную чистку соединителей, контролируя загрязнение при помощи микроскопа или увеличительной линзы.

Прежде всего, из внутреннего объема соединителя удаляют посторонние частицы обдувом струей сжатого воздуха или азота. Воздух должен быть отфильтрован и очищен от паров масла, влаги и конденсата. Не рекомендуется обдувать соединители воздухом изо рта (в нем много нежелательных примесей). Оставшиеся после обдува мелкие посторонние частицы аккуратно удаляют деревянной заостренной палочкой (типа зубочистки). После этого очищают внутреннюю поверхность и резьбу соединителя щеткой из ткани, смоченной изопропанолом. Ткань не должна оставлять ворсинки. В качестве растворителя не рекомендуются применять ацетон и метанол. Растворитель должен быть чистым (99,5%), и его нельзя использовать многократно. Количество растворителя должно быть минимальным. Не следует допускать обильного смачивания растворителем опорной диэлектрической шайбы. Недопустимо также применение абразивных материалов для протирки поверхностей соединителя.

После протирки соединитель необходимо снова продуть сжатым воздухом для удаления оставшихся частиц и для высушивания.

Специальные требования предъявляются к чистке соединителей измерительной аппаратуры, содержащей устройства, чувствительные к статическому электричеству.

При чистке таких соединителей оператор должен носить на запястье заземленный браслет. Металлический наконечник сопла, подающего сжатый воздух, должен быть заземлен, а скорость струи воздуха не должна быть слишком высокой (избыточное давление воздуха — не более 0,4 атм.), чтобы не вызвать эффекта электростатической зарядки.

Хранить соединители надо только с надежными на концах защитными колпачками.

Выбор прецизионного соединителя

При заказе радиочастотных соединителей часто выдвигают такие требования: высокий уровень и повторяемость параметров, большой срок службы и минимально возможная стоимость. По сути, заказчик требует поставки идеального соединителя. Однако идеальных соединителей быть не может в силу многих ограничений (табл. 5) [1, 2].

Реальные параметры соединителя с заделанным в него кабелем зависят не только от параметров самого соединителя, но и от параметров кабеля и способа его заделки. Соединители с предельной рабочей частотой более 34 ГГц обеспечивают высокий уровень параметров только в сочетании с полужестким кабелем марок 0,085 (RG-405), 0,047 или их аналогами. Если, например, выбран соединитель с предельной частотой 18 ГГц, а к нему гибкий кабель RG-58 с предельной частотой 5 ГГц, то при таком сочетании высокий уровень параметров можно гарантировать только на частотах до 5 ГГц.

Общие рекомендации по выбору прецизионного соединителя сводятся к следующему:

1. Выбираемый соединитель должен соответствовать назначению и особенностям конструкции устройства и измерительной аппаратуры.
2. Необходимо детально изучить весь комплекс параметров соединителя по data sheet (подробное описание конкретного типа соединителя).
3. Следует учесть рекомендации компании-изготовителя по выбору марки радиочастотного кабеля и способа его заделки в соединитель.
4. Одновременно с соединителями желательно приобретать и соответствующие адаптеры, а также необходимые приспособления и инструмент для работы с соединителями (торированный ключ, устройство заделки кабеля и др.).
5. Необходимо строго придерживаться рекомендаций компании-изготовителя по применению соединителей (инспекция внешнего вида и размеров, способ чистки соединителя и др.).

Заключение

По-видимому, появление отечественной радиоизмерительной аппаратуры сантиметрового и, особенно, миллиметрового диапазона длин волн и необходимых метрологических и инструментальных радиочастотных соединителей, соответствующих мировым стандартам, произойдет еще не скоро. Поэтому в отечественном производстве изделий микроэлектроники СВЧ придется все больше использовать дорогостоящую измерительную технику и прецизионные соединители зарубежных компаний. Необходимо сделать правильный выбор не только измерительной аппаратуры, но и соединителей, и соблюдать рекомендации зарубежных компаний по их применению. Ошибки при этом недопустимы, так как обходятся слишком дорого.

Литература

1. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Технофера, 2006.
2. Suhner RF Connector Guide. Understanding Connector Technology, Document № 648116, 2003.
3. Maury M. A., Jr. Microwave Coaxial Connector Technology: A continuing Evolution Maury Microwave Corporation. 13 December, 2005. Maury Connector guide.
4. www.agilent.com
5. RF Coaxial Precision Connectors Test and Measurement Applications. Catalog 2. Rosenberger, 2003.
6. Oldfield B. The connector interface and its effect on calibration accuracy // Microwave Journal. 1996. No. 3.
7. Bruno S. T., Kirkpatrick G. R. 3,5-mm connectors. A significant improvement over SMA's in test applications // Microwave Journal. 1979. No. 4.