

## КОАКСИАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ СВЧ-ДИАПАЗОНА



Л. Белов  
belovla@post.ru

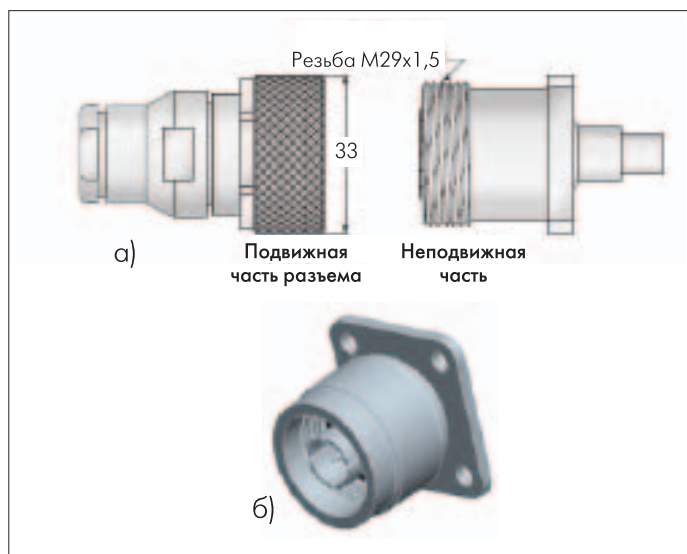
При создании и испытании любой аппаратуры СВЧ-диапазона необходимо обеспечивать соединение электронного блока с источником сигнала, с другими блоками, с антенной, нагрузкой. Соединение должно быть согласовано с подключаемыми блоками во всей полосе частот сигнала и в диапазоне изменения дестабилизирующих внешних факторов. При низком качестве согласования часто не удается реализовать потенциальные возможности радиосистемы, тогда как высокое качество позволяет снизить требования, предъявляемые к функциональным узлам аппаратуры. Поэтому ведущие производители электронных узлов уделяют серьезное внимание качеству соединителей (разъемов) и готовых кабельных отрезков, сочлененных с ними. Цена соединителей в условиях жесткой конкуренции часто превышает цену сложных электронных узлов. Вот почему современный уровень пассивных компонентов этого типа представляет особый интерес. А отечественным разработчикам полезно познакомиться с возможностями совершенствования электронных устройств и освоения диапазона миллиметровых длин волн.

### ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОАКСИАЛЬНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Современные модели коаксиальных радиочастотных соединителей характеризует множество сочетаний параметров. Это – диаметр коаксиального кабеля, наибольшая рабочая частота, технические и эксплуатационные характеристики, особенности и варианты присоединения к высокочастотной

схеме, к корпусу блока, сочленения центральной жилы и коаксиальных контактов. К наиболее важным электрическим и эксплуатационным параметрам радиочастотных соединителей относят следующие:

- **волновое сопротивление.** Чаще всего применяются узлы с импедансом согласования 50 Ом; отдельные модели рассчитаны на сопротивление 75 Ом. Волновое сопротивление специализированных соединителей для двухпроводных линий составляет 78–130 Ом;
- **диапазон рабочих частот.** Наибольшее значение – от постоянного тока до 65 ГГц без резонансных явлений;
- **коэффициент стоячей волны KCB (VSWR);**
- **коэффициент потерь** в прямом направлении (Insert Loss – IL). Этот параметр зависит от частоты, и для большинства изделий справедлива оценочная формула  $IL = 0,03 \sqrt{f}$ , где рабочая частота  $f$  выражена в гигагерцах;
- **диапазон рабочих температур** окружающей среды. Наибольший – от -65 до 165°C;
- **уровень паразитного излучения** (RF Leakage). В лучших моделях – -90 дБ;
- **число циклов замыкания и размыкания**, гарантированное. В лучших моделях – до 1000;
- **сопротивление изоляции.** В лучших моделях – порядка 10 ГОм;
- **сопротивление замкнутых внутреннего и наружного контактов.** В лучших моделях – не более 0,2 мОм;
- **проходящая мощность**, максимальная. В лучших моделях – до 1,2 кВт.
- **конструктивно-присоединительные параметры:** усилие соединения/разъединения, различные варианты сочетаний параметров.



**Рис. 1. Среднеразмерные разъемы типа 7/16 DIN (а) и N (б) (размеры в миллиметрах)**

### СОВРЕМЕННЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ РАДИОЧАСТОТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

Сегодня в мире действуют несколько специализированных фирм, выпускающих радиочастотные соединители. Среди них можно выделить [1–11]:

- **Coaxicom** [1]. Корпорация основана в 1985 году. Выпускает широкую номенклатуру радиочастотных кабелей, соединителей, адаптеров для согласования их типов;
- **Tensolit** [3]. Основана в 1941 году. Производит разнообразную кабельную и антенную технику для авиакосмической промышленности;
- **Radiall** [5]. Международная корпорация, основанная в 1952 году во Франции. Имеет 13 филиалов в странах Европы, Америки, Азии и Африки;
- **Pasternack** [8]. Производит широкую номенклатуру изделий для микроволнового и оптического диапазонов (кабельно-волноводные изделия, усилительные и умножительные узлы, ферритовые вентили, нагрузки и согласующие устройства);
- **Amphenol RF** [2]. Международная корпорация, выпускающая коаксиальные соединители более 50 лет. Продажи таких соединителей корпорации за 2005 год превысили

1,5 млрд. долл.;

- **Hubert+Suhner** [10]. Швейцарская группа, специализирующаяся на высококачественной электронной продукции радиочастотного и оптического диапазонов. Совместно с Radiall основала и развивает Альянс производителей стандартизированной радиочастотной продукции **QLF** (Quick Lock Formula);
- **TYCO**. Многопрофильная инновационная компания [11]. Выпускает конкурентоспособные кабельно-соединительные изделия для электронной аппаратуры. Наиболее широко на рынке представлены радиочастотные соединители следующих серий:
  - **7/16 DIN** (рис. 1а). Получила наименование по размерам диаметров внутреннего и внешнего проводников в миллиметрах. Соответствует европейскому стандарту Deutch Industries Norm (DIN). В серии использована метрическая резьба, допустимая по нормам США. Предназначена для цепей с повышенной проходящей мощностью;
  - **N** (см. рис. 1б). Названа по фамилии инженера отделения Bell Labs компании AT&T П.Нейлла (P. Neill), предложившего соединитель этого типа в 1940 году. Соединитель имеет средние размеры, устойчив к износу, выпускается в исполнении, защищенном от воздействия агрессивных сред. Обеспечивает соединение блоков, работающих на частотах до 11 ГГц;
  - **BNC**. Разработана в 1940 году инженером фирмы Amphenol Б. Консельманом (B. Concelman) как миниатюрная версия соединителя типа С и носит его имя. Широко применяется для разнообразных условий соединения электронных узлов с кабелями и платами. Обеспечивает работу в полосе частот до 4 ГГц. Отдельные фирмы выпускают 50-Ом соединители этого типа для сигналов на частотах до 11 ГГц;
  - **Mini-UHF** (рис. 2а). Выпущена в 1970 году как миниатюрный вариант соединителя UHF, который использовался в радиотехнической промышленности с 1930 года. Предназначена для присоединения разнообразных современных гибких коаксиальных кабелей типа RG-58 и для сопряжения с печатными платами;

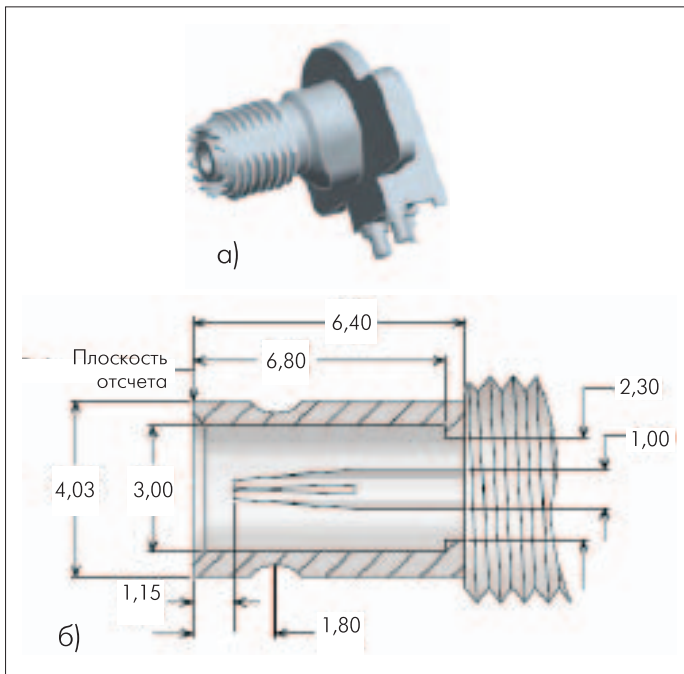


Рис.2. Миниатюрные разъемы Mini-UHF (а) и типа 1.0/2.3 (б)

- **1.0/2.3** (см. рис.2б). Разработана европейскими производителями в 1990 году для компактной аппаратуры авиационного и космического назначения, работающей на частотах до 10 ГГц. В соединителях серии применена тефлоновая изоляция;
- **SMP** (рис.3а). В серию входит набор субминиатюрных соединителей для частот в диапазоне от 18 до 40 ГГц;

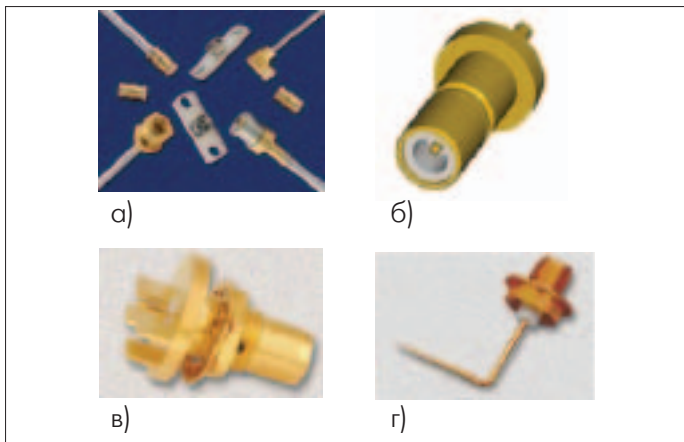


Рис.3. Субминиатюрные соединители SMP (а), SMB (б), BMA (в), SMA (г)

- **SMA** (SubMiniature version A). Субминиатюрный соединитель с повышенной износостойкостью. Создан в 60-е годы и предназначен для цепей с сигналами на частоту до 18 ГГц (см. рис.3в).
- **SSMB, SSMA, MMCX, 1,85mm, SMPM** – микроминиатюрные (рис.4) соединители для сигналов с предельно высокими частотами (до 40–65 ГГц). Особенность серии MMCX, разработанной в 1990 году, – механизм соединения ("lock-snap") с возможностью поворота на 360° вокруг оси соединителя.

Типичные частотные диапазоны основных типов соединителей представлены на рис.5.

Сочленения неподвижной и подвижной частей радиочастотных соединителей могут выполняться путем давления, свинчивания, защелкивания, смещения, байонетного замыкания, механической блокировки. При этом значения усилия соединения/разъединения и силы сдавливания в контактной зоне различны. Ряд конструктивных решений в этой области запатентован.



Рис.4. Микроминиатюрные разъемы MMCX компании Delta (а) и SSMA компании Radiall (б)

На неподвижной (Jack) части коаксиального соединителя стандартной конфигурации размещается гнездо (Female), а на подвижной (Plug) – вилка (Male). Европейскими и американскими стандартами разрешены выпускаемые в этих

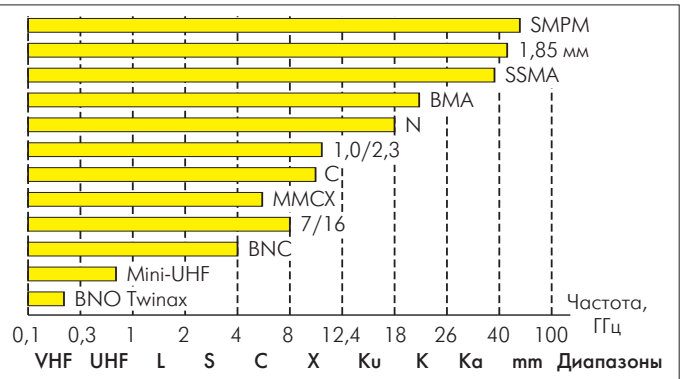


Рис.5. Частотный диапазон некоторых серий СВЧ-соединителей

регионах соединители обратной полярности (рис.6), а также смешанной (hermaphroditic) конструкции.

Конструкции соединителей отличаются типом кабеля (полужестким, гибким или сверхгибким); способом соединения с внешними высокочастотными цепями центрального и внеш-



Рис.6. Разъем серии TNC "обратной полярности"



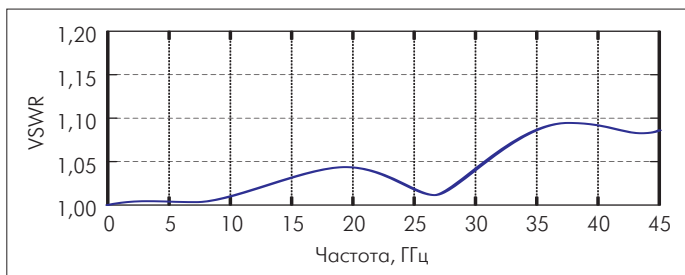
### Параметры радиочастотных коаксиальных соединителей

Серия	Диапазон частот, ГГц	Диаметр кабеля, мм	СВЧ-мощность, Вт (на 1 ГГц)	Число циклов	Диапазон температур, °С	Мощность излучения, дБ <sup>1)</sup>	Сопротивление		Источник информации
							изоляции, ГОм	контакта, МОм	
BNC Twinax <sup>2)</sup>	0–1	3–10	–	500	-50...125	–	5	2	[4], [10]
Mini-UHF	0–2,6	3–5	1000	500	-55...85	–	5	–	[2]
BNC	0–4	3–8	800	100/500	-65...165	55	5	1,5	[1], [5]
BNC Triax <sup>3)</sup>	0–4	5–11	800	500	-50...125	–	10	1	[4], [5]
MMCX	0–6	2–4	–	500	-55...155	–	1	5	[7], [10]
7/16 DIN	0–6	11	3000	500	-40...150	–	5	–	[1], [2], [5]
1.0/2.3	0–10	2,3	100	500	-40...155	–	10	–	[2], [4]
C	0–11	5–11	1200	500	-65...165	–	10	–	[5]
ZMA <sup>4)</sup>	0–12,4	2–5	250	500	-55...155	-90	10	–	[7]
BMA	0–18	3–6	–	1000	-40...100	90	5	2	[1]
N	0–18	6	1200	500	-65...165	-90	5	0,2	[2], [5]
TNC	0–18	3–8	800	500	-65...165	-60	5	1,5	[1], [5]
3.5mm	0–33	2–4	–	100	-65...90	-70	5	3	[2], [10]
SMA	0–40	3–5	–	500	-55...125	–	5	3	[1], [4]
SSMA	0–40	2	100	500	-65...165	-100	5	2	[1], [2], [4]
SMP	0–40	2–3	–	500	-65...165	-80	5	6	[4], [9]
1.85mm	0–60	1–2	–	100	-65...165	–	1	–	[8]
SMPM	0–65	1	–	100/1000	-65...165	–	1	–	[4]

**Примечание.** <sup>1)</sup> На частоте 3 ГГц; <sup>2)</sup> двухпроводный кабель 78–130 Ом; <sup>3)</sup> две коаксиальных оплетки; <sup>4)</sup> байонетное соединение в 1/4 или 1/3 поворота.

него проводников (пайкой или сдавливанием); способом закрепления неподвижной части (наружным или внутренним фланцем, двумя или четырьмя винтами, гайкой, запрессовыванием, пайкой); видом основы неподвижной части (металлическая панель блока, печатная плата); требованиями к влажно- и вибростойкости, к напряжению между центральным и наружным проводниками; требованиями к изменению направления линии передачи и др.

ведущие производители соединителей используют немагнитные сплавы, тщательно подбирают режим электрохимической обработки поверхностей и их покрытия. При выборе сопротивления в зонах контакта центрального и внешнего проводников, допустимого уровня СВЧ-мощности, а также гаран-



**Рис. 7. Зависимость VSWR от частоты для разъема серии SMP компании SVMicro [7]**

Ограничения на наибольшую проходящую мощность соединителей возникают из-за влияния нескольких факторов. Это, во-первых, вероятность появления короны на внутренних участках соединителя с повышенным градиентом изменения электрического поля. Чтобы снизить влияние этого эффекта оптимизируют форму диэлектрических вставок, вакуумируют и обеспечивают герметичность конструкции. Во-вторых, при повышенной высокочастотной мощности возрастает вероятность нелинейных искажений сигнала. Это связано с возникновением контактной зоны с нелинейными вольт-амперными характеристиками при механическом соединении металлических поверхностей. Наиболее заметны нелинейные свойства при контакте оксидных пленок на поверхности ферромагнитных материалов. Для минимизации этого эффекта

тированного числа циклов соединения и разъединения приходится находить компромисс между значениями высокочастотных и механических параметров соединителя.

Различаются радиочастотные соединители и по относительному уровню паразитного СВЧ-излучения контактной зоны. Для недорогих моделей этот параметр составляет -40 дБ. Для моделей, оптимизированных по уровню паразитного излучения, например для серии SMA корпорации Coaxicom, гарантированный уровень такого рода излучений не превышает  $-100 + f$ , где рабочая частота  $f$  выражена в гигагерцах, а уровень ослабления в децибелах. С увеличением рабочей частоты возрастает гарантированный уровень VSWR радиочастотных соединителей. Например, для серии SMA компании Radiall в полосе частот до 40 ГГц гарантированный уровень VSWR не хуже  $1,05 + 0,005f$ . Фактические значения VSWR меньше значений, полученных по подобным формулам (рис.7).

Параметры соединителей основных производителей представлены в таблице. Следует обратить внимание на ограничение гарантированного числа циклов соединений/разъединений устройств с электромеханическими контактами. Интервал рабочих температур заметно превышает возможности активных полупроводниковых устройств. Некоторые производители не приводят детальных технических характеристик, ссылаясь на стандартизированные нормы для конкретных применений. Каждый из них, наряду с выпуском соединителей типовых серий, предлагает также собственные, обычно запатентованные, конструкции.

### АДАПТЕРЫ

На рынке представлено множество различных вариантов соединителей, производимых даже одной компанией. Поэтому неудивительно, что каждая из них выпускает большое число адаптеров, обеспечивающих переход с одной серии на другую (рис.8). Поскольку в аппаратуре используются несколько се-

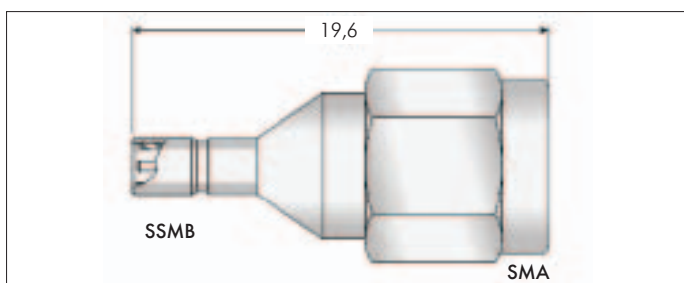


Рис.8. Согласование разъемов серий SSMB и SMA с помощью адаптера компании Coaxicom

рий соединителей, при проведении экспериментальных работ требуется касса разнообразных адаптеров. Применение цепочек из нескольких последовательно включенных адаптеров существенно снижает полосу и ухудшает другие высокочастотные свойства цепи. Наряду с собственно адаптерами ряд производителей (например, корпорация Coaxicom) выпускают такие сопутствующие коаксиальные изделия, как адаптоаттенюа-

торы, добавители фазы (Phase Adjuster, Phase Trimmer) [8], разделители по постоянному току (DC Block), согласованные нагрузки, короткозамыкающие (Short) или разомкнутые (Dust Caps) антипыльные крышки и др. Весьма полезными могут оказаться наборы оснастки для зарядки микроминиатюрных соединителей, без которых трудно обеспечить нужное качество соединения и реализовать гарантированные параметры.

Особая задача – обеспечение сопряжения изделий разных производителей. Ее решению в значительной степени способствует регулирующая деятельность Альянса QLF и стандартизация соединителей. Члены Альянса [1–10] сопровождают свои изделия перекрестными ссылками на серийные номера сопрягаемых изделий других производителей.

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ

Помимо соединителей массового применения для стандартных систем выпускаются специализированные изделия. Можно выделить следующие их типы:

- для экранированных двухпроводных линий (Twin);
- с двумя экранирующими электродами (Triax) и пониженным уровнем паразитного излучения;
- межблочные, два сочленяемых узла которых закрепляются на корпусах блоков. Конструкция такого соединителя предусматривает патентованные меры коррекции несоосности. Пример – соединитель серии AFI с полосой частот до 6 ГГц фирмы Amphenol;
- допускающие вращение вокруг центрального проводника на 360° (серия MMCX);
- со встроенным четвертьволновым шлейфом (серия Quarter Wave Stub, QWC), позволяющие улучшать согласование при известной частоте сигнала, а также подключать постоянное напряжение смещения;
- с поворотом линии передачи на 90° или с определенным радиусом изгиба;
- с "прыгающим" механизмом соединения, отличающиеся малым усилием соединения/разъединения;
- конструкция, позволяющая одновременно соединять (разъединять) несколько типов кабелей: коаксиальных (с частотой сигнала до 40 ГГц), волоконно-оптических или кабелей электропитания. Многие крупные производители [2, 3, 5, 11] выпускают подобного рода комбинированные соединители, рассчитанные на 5–12 линий (рис.9).



Рис.9. Многокабельный соединитель компании Tensolit



Основные тенденции развития радиочастотных коаксиальных соединителей: расширение полосы пропускаемых частот вплоть до миллиметрового диапазона без резонансных явлений; повышение механической точности изготовления соединителей и кабельных отрезков, что обеспечивает снижение потерь, уменьшение VSWR, повышенную долговечность, а также взаимозаменяемость изделий; существенное увеличение числа конструктивных вариантов. Кабельно-соединительная продукция, пригодная для работы в сверхширокой полосе частот (от постоянного тока до десятков гигагерц), требует высокого качества изготовления, калибровки параметров, соединения с линией передачи и потому стоит дорого.

Дополнительные сведения о конструкции и параметрах СВЧ коаксиальных соединителей отечественных и зарубежных производителей имеются в [12].

Чтобы предотвратить случайный или неоптимальный выбор соединителя из-за огромного разнообразия конструкций и свойств, следует воспользоваться консультацией квалифицированных специалистов. Фирма РАДИОКОМП [13], как официальный представитель корпорации Coaxicom – одного из ведущих мировых разработчиков коаксиальных соединителей, предоставляет такие услуги, а также оказывает помощь в приобретении и таможенной очистке изделий зарубежного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [www.coaxicom.com](http://www.coaxicom.com)
2. [www.amphenolrf.com](http://www.amphenolrf.com)
3. [www.tensolite.com](http://www.tensolite.com)
4. [www.deltarf.com](http://www.deltarf.com)
5. [www.radiall.com](http://www.radiall.com)
6. [ebiz.midwest-microwave.com](http://ebiz.midwest-microwave.com)
7. [www.svmicrowave.com](http://www.svmicrowave.com)
8. [www.pasternack.com](http://www.pasternack.com)
9. [www.aepconnectors.com](http://www.aepconnectors.com)
10. [www.hubersuhnerinc.com](http://www.hubersuhnerinc.com)
11. [www.tycoelectronics.com](http://www.tycoelectronics.com)
12. **Джуринский К.Б.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.
13. [www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)