

Соединители SMP. Новые возможности для микроэлектроники СВЧ

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.
Михаил ЧЕБУНИН,
к. ф.-м. н.

К современным изделиям микроэлектроники СВЧ предъявляют все более сложные, нередко взаимоисключающие требования: многофункциональность, плотность компоновки, минимальные габариты и масса, возможность высокопроизводительной сборки, высокая надежность. При этом необходимо обеспечить высокий уровень выходных параметров во все возрастающем диапазоне частот (до 40 ГГц и более), герметичность, стойкость изделий к воздействию вибрационных и ударных нагрузок.

Важную роль при создании таких изделий играют устройства для ввода и вывода сигналов СВЧ — радиочастотные соединители. В ответ на повышение требований был разработан класс микроминиатюрных соединителей SMP с предельной рабочей частотой 40 ГГц, обеспечивающих быстрое и надежное соединение «вилки» и «розетки». В отличие от традиционного резьбового соединения в соединителях SMP было использовано соединение «вилки» и «розетки» защелкиванием (snap-on, push-on). Известны и другие безрезьбовые микроминиатюрные соединители для монтажа на печатные платы, работающие по принципу защелкивания: MMS, MMT, MMBX, UMP

и др. [1]. Однако они рассчитаны на предельную частоту от 4 до 12,4 ГГц. И только соединители SMP прочно заняли свое место среди компонентов миллиметрового диапазона длин волн.

Конструкция соединителей SMP

Конструкция микроминиатюрных соединителей SMP представлена на рис. 1, а их внешний вид показан на рис. 2.

Соединение внутренних проводников «вилки» и «розетки» — обычное цанговое. Для реализации соединения защелкиванием наружных проводников на внутренней поверхности корпуса «вилки» сделана канавка,

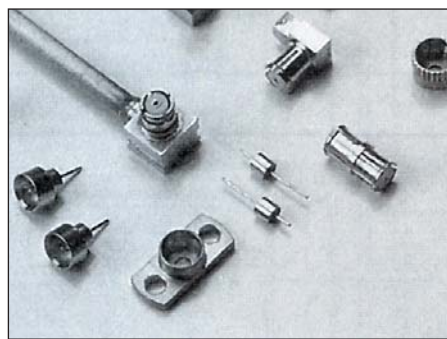


Рис. 2. Внешний вид соединителей SMP

в которую защелкивается выступ на наружной поверхности стыкуемой части «розетки». «Розетка» имеет продольные разрезы, изготовлена из упругого материала и представляет собой пружинный элемент.

Известны следующие конструктивные варианты соединения snap-on:

1. Полное защелкивание, или блокировка (full detent, lock-on), используемая в соединителях, работающих в условиях жесткой вибрации (рис. 1а). «Detent» определяется как механизм, который временно сохраняет одну часть в определенном положении относительно другой и может быть реализован при приложении усилия к одной из частей. Для разъединения «вилки» и «розетки» требуется специальный инструмент — экстрактор. Допускается до 100 циклов соединения-разъединения.
2. Ограниченное защелкивание (limited detent, half detent). В этом варианте диаметр формирующей части «вилки» — $\varnothing A$ отличается от диаметра выступа меньше, чем в случае блокировки. Разъединение пары соединителей возможно и без применения экстрактора. Допустимое количество соединений-разъединений — 500.

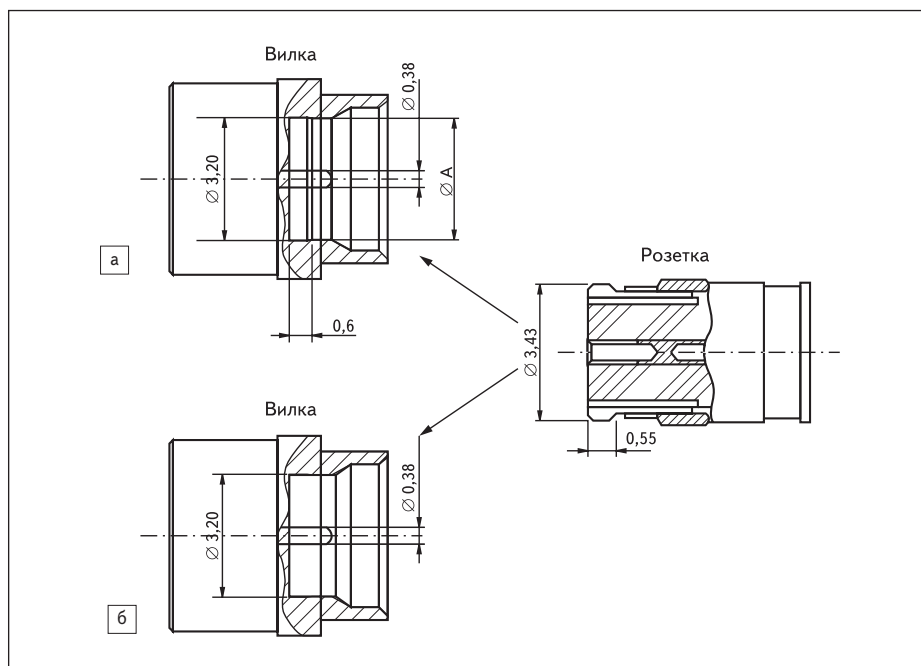


Рис. 1. Конструкция соединителей SMP: а) полное и ограниченное защелкивание; б) скользящее соединение

Соединители «вилка» для полного и ограниченного защелкивания отличаются лишь диаметром A (рис. 1а): в первом случае $\varnothing A = 2,9^{+0,1}$ мм, во втором — $3,0^{+0,1}$ мм. При меньшем диаметре происходит большее сжатие пружинящей входной части «розетки» и более полное защелкивание.

3. Скользящее соединение (smooth bore, slide-on, blind mate connection), осуществляемое за счет распружинивания выступа «вилки» после ее введения в «розетку» с гладкой (без канавки) внутренней поверхностью (рис. 1б). Типичное применение этого варианта — соединение и рассоединение материнской и дочерней печатных плат. Допустимое количество циклов соединения — более 1000. Многие производители выпускают «вилки», в которых применено также соединение catcher's mitt — разновидность скользящего соединения. Главное его отличие — наличие достаточно широкой заходной фаски под углом 45° . Благодаря этому еще больше облегчается соединение «вилки» и «розетки» в случае их несоосности в момент стыковки.

Для «вилкок» всех типов применяют один и тот же ответный соединитель «розетка».

Классификация соединителей SMP

На рис. 3 приведена классификация соединителей SMP.

Разработаны и выпускаются герметичные и негерметичные «вилки»: приборные, для установки в отверстия печатных плат (PCB surface mount) и для поверхностного монтажа на платы (surface mount, solder-in surface mount). Разновидностью двух последних «вилкок» являются «вилки», устанавливаемые на концах печатной платы (edge mount, end launch). Созданы кабельные соединители «розетка» и «вилка» под полужесткий кабель $0,047''$, $0,086''$ (RG405) и подходящий гибкий кабель (для работы на частотах до 12 ГГц), а также большое число одноканальных и межканальных адаптеров.

Соединители SMP соответствуют военному стандарту MIL-STD-348A и включены в европейские стандарты 94007/94008 DESC. Соединители изготавливают в соответствии с европейской директивой RoHS (Restriction of Hazardous Substances) о запрете применения свинца и других вредных веществ, вступившей в действие с 1 июля 2006 года.

Приборные «вилки»

Приборная «вилка», монтируемая в стенку корпуса изделия, имеет несколько вариантов конструктивного исполнения. Наиболее широко применяют «вилку» в корпусе с внутренним металлокерамическим спаем центрального проводника диаметром $0,38$ мм. Корпус и центральный проводник изготавливают из железо-никель-кобальтового сплава 29НК (ковар, за рубежом — сплав F15). В качестве диэлектрика используют стекло

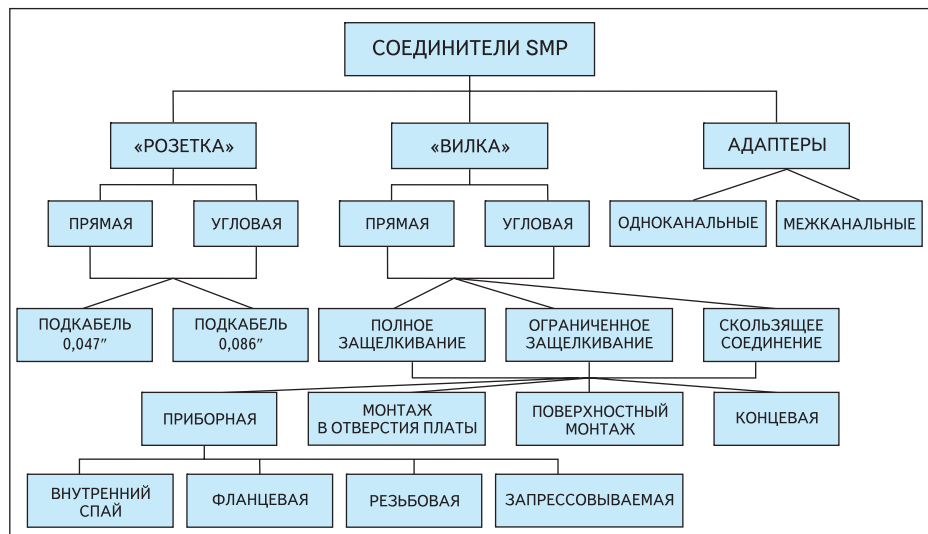


Рис. 3. Классификация соединителей SMP

Corning 7070 с очень низкой для стекол диэлектрической проницаемостью — 4,1. Такое сочетание нельзя признать оптимальным, так как ковар магнитен, а стекло имеет достаточно высокий тангенс угла диэлектрических потерь, резко возрастающий с увеличением частоты и температуры. Но данные материалы обеспечивают получение герметичного спаи при низких технологических затратах.

В негерметичных «вилках» в качестве диэлектрика чаще всего применяют фторопласт (PTFE), иногда торлон (полиимидный материал).

Зарубежные фирмы выпускают разнообразную номенклатуру «вилкок» с различной длиной и конфигурацией участка центрального проводника, контактирующего с печатной платой (прямой, ступенчатый, со скругленным торцом и др.). Разработаны «вилки» с наружным диаметром корпуса 3,7; 3,8; 4,2 мм, длиной 3,56; 4,0 и 4,57 мм и длиной выступающего из корпуса центрального проводника 1,8; 2,16; 2,3 мм.

Кроме того, разработаны составные «вилки» — отдельный корпус (без центрального проводника) с внутренней геометрией, обеспечивающей защелкивание, который надевается на металлокерамический СВЧ-ввод, предварительно установленный в стенку изделия. В этом случае ввод является внутренним, а корпус — наружным проводником соединителя. Такой корпус (shroud) бывает резьбовым (shroud thread-in mount), фланцевым с двумя крепежными отверстиями на фланце (shroud 2 holes flange mount) или запрессовываемым в стенку изделия (shroud press-in mount). Корпуса обычно изготавливают из нержавеющей стали с пассивированной поверхностью.

Соединители изготавливают с высокой точностью размеров ($0,025$ мм) и высокой чистотой поверхности. Основным видом покрытия металлических деталей является золото, гальванически нанесенное по подслою никеля.

«Вилки» для установки в отверстия печатной платы

В настоящее время созданы разнообразные компоненты для монтажа непосредственно на печатные платы, в том числе и соединители, монтируемые в металлизированные отверстия в платах. Разработаны прямые и угловые «вилки» с разным числом выводов (PCB mount, PCB receptacle). Вилки выпускаются в основном для ограниченного защелкивания или скользящего соединения. Их монтаж на плату осуществляется запрессовыванием или низкотемпературной пайкой. По технологии запрессовывания размер металлизированного отверстия подбирается таким, чтобы образовывалось прочное газонепроницаемое электрическое соединение с пружинящим выводом специальной конфигурации. Запрессовывание не имеет недостатков, присущих низкотемпературной пайке: отсутствуют напряжения в плате и ее загрязнение остатками флюса. В случае низкотемпературной пайки зарубежные компании рекомендуют использовать прогрессивную технологию pin-in-paste.

Переход с коаксиальной на микрополосковую линию из-за различия в структурах этих линий и используемых материалах является основной проблемой при применении соединителей для монтажа на платы. В связи с этим соединители имеют ограниченный рабочий частотный диапазон (предельная частота $26,5$ ГГц) и более высокий уровень КСВН (более 1,2 на частотах до 6 ГГц и 1,3 на частотах до 18 ГГц). Для обеспечения контролируемого импеданса такого перехода необходимо в каждом конкретном случае рассчитывать и создавать на печатной плате систему металлизированных контактных площадок в области установки соединителя (footprint, pad или land).

Выводы и корпус соединителя обычно изготавливают из латуни и покрывают золотом. Компания Rosenberger применяет в своих

соединителях экономичное немагнитное покрытие Au/Dur — тонкий слой золота (толщина 0,8 мкм) поверх слоя химически осажденного никеля.

«Вилки» для поверхностного монтажа на печатную плату

Эти соединители были специально разработаны под требования технологии поверхностного монтажа. Соединитель монтируют низкотемпературной пайкой на полоски и контактные площадки микрополосковой линии. В случае копланарной микрополосковой линии не требуются сквозные металлизированные отверстия в печатной плате. Такие соединители обеспечивают высокую плотность монтажа, высокую производительность сборки и снижение стоимости изделий.

Соединители для поверхностного монтажа имеют преимущества по сравнению с соединителями для монтажа в отверстия платы. Так, например, у лучших соединителей компании Rosenberger КСВН на уровне 1,35 даже в диапазоне частот от 12 до 40 ГГц и 1,1 на частотах до 12 ГГц. Однако в подавляющем большинстве случаев предельная частота соединителей, монтируемых на поверхность платы, ограничивается 20 ГГц. Типичная величина КСВН-соединителей — менее 1,1 на частотах до 6 ГГц и не более 1,2 в диапазоне частот от 6 до 12 ГГц. Достижение оптимальных параметров соединителя затруднено вследствие неконтролируемого импеданса перехода с коаксиальной на микрополосковую линию, недостаточного электромагнитного экранирования и ряда других причин. Следует подчеркнуть, что высокий уровень параметров обеспечивается только при оптимальной конструкции области footprint. Расчет этой области производится по специальным программам на основе граничного элементного анализа.

Соединители для поверхностного монтажа обычно выпускают в вариантах с ограниченным защелкиванием и скользящим соединением. Корпус соединителя изготавливают из латуни, центральный проводник — из латуни или бериллиевой бронзы. В качестве диэлектрика используют фторопласт, Peek, LCP (жидкий кристаллический полимер с диэлектрической проницаемостью около 2,9 и допустимой температурой нагрева 280 °С). Все металлические детали покрывают золотом по подслою никеля.

«Вилки», устанавливаемые на концах печатной платы

Как следует из названия этих соединителей, их устанавливают низкотемпературной пайкой на концах микрополосковых линий. Концевые соединители имеют лучшие параметры согласования, чем стандартные соединители с коаксиальной линией, перпендикулярной микрополосковой линии. Они применяются в микрополосковых устройствах СВЧ, использующих тонкие (толщиной до 0,2 мм)

Таблица 1. Параметры приборных соединителей SMP зарубежных компаний

| Параметр | Компания | | | | |
|---|--|---------------------------------|---|--|--------------------------------|
| | Micro-Mode, Tyco, AEP | Corning Gilbert | Radiall, Rosenberger | Molex | Amphenol |
| Электрические параметры | | | | | |
| Волновое сопротивление, Ом | 50 | | | | |
| Рабочий диапазон частот, ГГц | 0–40 | | | | |
| Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц | 1,10 (0–23) 1,15 (23–26) 1,30–1,40 (26–40) | 1,15 (0–26,5) 1,50 (26,5–40) | 1,15 (0–18) 1,35 (18–26,5) 1,50 (26,5–40) | 1,5 max | 1,15 (0–26,5) 1,5 (26,5–40) |
| Прямые потери СВЧ, дБ, на частотах f, ГГц | 0,1 √f | — | 0,12 √f | ≤0,1 (на 1 ГГц) | 0,1 √f |
| Экранное затухание, дБ, для полного защелкивания (на частотах, ГГц) | –80 (до 3) –65 (3–25) | — | –80 (до 3) –65 (3–26,5) | –65 | — |
| Минимальное сопротивление изоляции, МОм | 5000 | | | | |
| Рабочее напряжение, В | 335 | | | | |
| Сопротивление проводников, Ом: внутреннего наружного | 6 · 10 ⁻³ 2 · 10 ⁻³ | 6 · 10 ⁻³ — | 6 · 10 ⁻³ 2 · 10 ⁻³ | 6 · 10 ⁻³ 2 · 10 ⁻³ | — |
| Механические параметры | | | | | |
| Гарантированное количество циклов соединение-рассоединение: полное защелкивание, ограниченное защелкивание, скользящее соединение | 100 500 1000 | — 500 1000 | 100 500 1000 | — 500 — | 100 500 1000 |
| Усилие соединения, Н, не более: полное защелкивание, ограниченное защелкивание, скользящее соединение | 44,5 22,2 8,9 | 40 31 8,9 | 68 45 9 | — | 40,5 31,5 9 |
| Усилие разъединения, Н, не менее: полное защелкивание, ограниченное защелкивание, скользящее соединение | 8,9 6,6 2,2 | 31 22,2 2,2 | 22 9 2 | — | — |
| Усилие удержания, Н, не менее: внутренних проводников | 6,6 | 6,6 | 6,8 | — | — |
| Допустимая несоосность пары соединителей: аксиальная радиальная | 0,25 до 0,50 | ±0,25 ±0,25 | 0–0,25 ±0,25 | — | 0,25 ±0,25 |
| Рабочий диапазон температур, °С | –65...+165 | | | | |

диэлектрические подложки печатных плат. В варианте end launch в настоящее время выпускают многие стандартные соединители: SMA, N и др. С их помощью соединяют, например, дочернюю и материнскую платы (card edge connector).

Разработаны прямые и угловые «вилки» SMP для полного и ограниченного защелкивания. Предпочтительнее угловая конструкция, так как она обеспечивает параллельность коаксиальной линии соединителя и микрополосковой линии на плате.

Кабельные соединители «розетка»

Кабельные соединители SMP, прямые и угловые, выполнены в основном в варианте «розетка». Они предназначены для работы с миниатюрным полужестким кабелем 0,086" (RG405) и 0,047". Многие фирмы выпускают и кабельные соединители «вилка», а также соединители для работы с гибким кабелем. Обзор кабельной продукции ряда зарубежных фирм выполнен в работе [2].

Подготовленный к установке кабель заводят в соединитель и припаивают его центральный проводник к гнездовому контакту, а наружный проводник — к корпусу соединителя. Для удобства монтажа кабеля в задней стенке углового соединителя предусмотрено отверстие. После пайки его закрывают металлической крышкой.

На корпусе «розетки» установлены антиударное кольцо (anti-rock ring) и кольцо из резины, поглощающей СВЧ (EMI ring). При нажатии на антиударное кольцо экс-трактором происходит сжатие выступа корпуса «розетки», и ее можно извлечь из «вилки». Оно также предохраняет соединитель от

неправильных действий оператора. Применение кольца из поглощающей резины улучшает электромагнитное экранирование соединителя.

Корпус и гнездовой контакт «розетки» изготавливают из бериллиевой бронзы, упрочненной термической обработкой, антиударное кольцо — из латуни или бериллиевой бронзы, а изолятор — из фторопласта. Необходимо высокое качество механической обработки деталей соединителей: допуски на размеры — 0,025 мм, на углы — 5°, высота неровностей поверхности — не более 0,08 мкм. Металлические детали соединителя покрывают слоем золота толщиной 1–2 мкм по подслою никеля.

Адаптеры

Разработано и выпускается большое число одноканальных (in-series adaptors) и межканальных (between series adaptors) адаптеров. Большая часть одноканальных адаптеров SMP–SMP создана в варианте «розетка»–«розетка». В зарубежной литературе они получили название «bullet» (дословно — «пуля»). Их основное назначение — гибкая связь между печатными платами, на которых установлены соединители «вилка». Межканальные адаптеры разработаны в вариантах SMP–SMA, SMP — 3,5 мм, SMP — 2,92 мм, SMP — 2,4 мм для различных сочетаний «розетка» и «вилка». Такие адаптеры необходимы для соединения со стандартными выходными разъемами радиоизмерительной аппаратуры (панорамные измерители КСВН и ослабления, анализаторы спектра и др.), а также для стыковки модулей СВЧ с разными выходными разъемами.

Параметры соединителей SMP

Основные параметры приборных соединителей SMP представлены в таблице 1.

Следует подчеркнуть, что КСВН и прямые потери СВЧ зависят от типа соединителя, а для кабельных соединителей — еще и от типа применяемого радиочастотного кабеля. Наименьшие КСВН и прямые потери имеют одноканальные адаптеры, наибольшие — угловые кабельные соединители. Так, по данным компании SV Microwave в диапазоне частот до 26,5 ГГц для одноканального адаптера максимальный КСВН равен 1,15, потери — 0,5 дБ, а для кабельного соединителя — соответственно 1,35 и 0,6 дБ.

Средняя допустимая мощность, проходящая через соединители SMP, в зависимости от частоты представлена в таблице 2 (данные компании Dynawave).

Таблица 2. Средняя допустимая мощность (Вт) соединителей SMP

| Тип соединителя | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |
|--|-----|-----|-----|----|----|
| Герметичная «вилка» с центральным выводом Ø0,38 мм | 180 | 100 | 70 | 50 | 30 |
| Кабельный соединитель «розетка» | 410 | 300 | 180 | 90 | 70 |

В логарифмическом масштабе частотная зависимость мощности имеет линейный характер. Приведенные данные получены при условии: атмосферное давление на уровне моря, температура 38 °С (100° по Фаренгейту). При других значениях температуры и давления необходимо вводить поправочные коэффициенты. Например, при температуре 20 °С допустимая мощность возрастает в 1,3 раза.

Компании — производители соединителей SMP

В таблице 3 представлены сводные данные о выпускаемой продукции зарубежных компаний, специализирующихся на выпуске соединителей SMP.

Эти данные не претендуют на абсолютную достоверность и исчерпывающую полноту. Они лишь свидетельствуют о возросшей потребности в соединителях SMP, а также о том, что в настоящее время большинство зарубежных производителей осуществляют их выпуск. Следует также подчеркнуть, что в таблице 3 приведены только те типы соединителей, поставку которых компания гарантирует. По желанию заказчика компании могут разработать и поставить и другие модификации соединителей.

По нашим данным, из 21 компании, приведенной в таблице 3, полный набор соединителей SMP производят только 5 компаний. Приборные «вилки» выпускают 18, кабельные соединители — 18, адаптеры — 16, соединители для монтажа в отверстия платы — 13, для поверхностного монтажа — 11 и концевые соединители — 10 компаний.

Таблица 3. Соединители SMP зарубежных компаний

| № п/п | Компания | Типы выпускаемых соединителей, шт. | | | | | Адаптеры |
|-------|--|------------------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------------|----------------------|----------|
| | | «Розетки» | «Вилки» | | | | |
| | | | Кабельные соединители | Приборные | Монтаж в отверстия печатных плат | Поверхностный монтаж | |
| 1 | Rosenberger www.rosenberger.de | 6 | 2 | 5 | 8 | 1 | 17 |
| 2 | Radiall www.radiall.com | 24 | 40 | 12 | 3 | 3 | 11 |
| 3 | Micro-Mode www.micromode.com | более 30 | 30 | 11 | 11 | 70 | |
| 4 | Gilbert Corning www.corninggilbert.com | 8 | 15 | — | — | — | 5 |
| 5 | SM Electronics www.smelectronics.com | 8 | 31 | 29 | 8 | — | |
| 6 | Amphenol www.amphenol.com | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 |
| 7 | JC. Electronics www.jcel.com | 2 | 3 | 2 | 1 | 6 | 2 |
| 8 | Sabritec www.sabritec.com | 4 | 3 | 9 | — | 3 | 7 |
| 9 | Dynawave www.dynawave.com | 5 | 24 | — | — | — | — |
| 10 | Molex RF/Microwave www.molex.com | 4 | — | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | Pasternack Enterprises www.pasternack.com | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | — |
| 12 | Applied Engineering www.aepconnectors.com | 6 | 3 | — | — | — | 3 |
| 13 | AMP (Tyco) www.amp.com | 4 | 15 | — | — | — | 1 |
| 14 | M/A-COM (Tyco) www.macom.com | 8 | 11 | — | — | — | 6 |
| 15 | Spectrum Electrotechnik www.spectrum-et.org | 45 | 20 | — | — | 93 | |
| 16 | Astrolab www.astrolab.com | 5 | — | 5 | 4 | — | 4 |
| 17 | SV Microwave www.svmicrowave.com | 6 | 12 | — | — | 1 | 5 |
| 18 | Huber+Suhner www.hubersuhner.com | 7 | — | — | 3 | — | 12 |
| 19 | Tensolite www.tensolite.com | — | 48 | 16 | 16 | — | — |
| 20 | Special Hermetic Products www.shp-seals.com | — | 15 | — | — | — | — |
| 21 | W.L.Gore & Associates www.gore.com | — | 6 | — | — | 22 | |

Кроме перечисленных компаний, отдельные типы соединителей SMP выпускают Corry Micronics Inc., GigaLine Inc., Connecting Devices Inc., HY Resource Inc., Cosmetic Resources Co.,Ltd., Compel Group, Zifor Enterprise Co.Ltd. и некоторые другие компании.

Одним из лидеров в производстве соединителей SMP является Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH&Co.KG. Компания производит весь спектр этих соединителей. Приборные соединители «розетка» и «вилка» этой компании показаны на рис. 4.

Кроме стандартных кабельных соединителей «розетка» под полужесткий кабель 0,047" и 0,086" выпускаются кабельные соединители «вилка» (4 наименования) и соединители под гибкий кабель (9 наименований).

Компания выпускает только стандартные прямые и угловые герметичные «вилки» с внутренним спаем центрального проводника. Основной упор сделан на выпуск соединителей для печатных плат. Полагая, что наиболее перспективно применение соединителей SMP для межплатного соединения в модульных конструкциях современных изделий с плотной компоновкой, Rosenberger отдает предпочтение соединителям для по-



Рис. 4. Приборные соединители SMP компании Rosenberger

верхностного монтажа с ограниченным зацеплением и скользящей посадкой. Кроме того, производятся все необходимые адаптеры — 12 одноканальных с различным сочетанием «вилки» и «розетки» и 5 межканальных для сочетания с SMA и 2,92-мм соединителями.

Компания Radiall предлагает широкий спектр (100 наименований) соединителей SMP (фирменное обозначение SBMO) и, прежде всего, разнообразные приборные «вилки»: герметичные, с внутренним спаем центрального проводника (12), фланцевые (9), резьбовые (3) и запрессовываемые в корпус изделия (6 наименований). Предельная частота большинства таких «вилков» — 18 ГГц. Radiall выпускает разнообразные соединители для печатных плат, а также одноканальные (3) и межканальные (8) адаптеры.

Калифорнийская компания Micro-Mode Products наряду с производством соединителей типа SMA, TNC и др. специализируется на разработке и выпуске всех типов соединителей SMP (фирменное обозначение MMSP), а также их более миниатюрных аналогов SMPM и MSSS (с предельной частотой 75 ГГц). В рекламных материалах компании утверждается, что предельная частота выпускаемых соединителей SMP не 40, а 50 ГГц. В распоряжении потребителей имеются 19 одноканальных адаптеров SMP-SMP и 51 межканальный адаптер SMP-SMA, SMP — 2,92 мм, SMP — 2,4 мм. По данным компании, во всем диапазоне частот КСВН выпускаемых адаптеров не превышает 1,1, а прямые потери СВЧ равны $0,001 + 0,01565 \cdot \sqrt{f_{ГГц}}$ (менее 0,12 дБ). Кабельные соединители «розетка» и «вилка» этой компании (более 30 наименований) предназначены для работы с полужестким кабелем 0,086" (RG405) и 0,047", а также с гибким кабелем некоторых типов.

Компания SM Electronics освоила выпуск основных типов соединителей SMP, кроме адаптеров. Основное внимание уделено выпуску приборных «вилок» и «вилков» для установки на печатные платы (68 наименований).

Конструкция соединителей SMP была впервые предложена Gilbert Corning. Соединители этой компании, называемые GPO connectors, полностью совместимы с соединителями SMP. Компания выпускает все необходимые приборные соединители «вилка», кабельные соединители и адаптеры. Однако в ассортименте ее продукции отсутствуют соединители для печатных плат.

Все типы соединителей SMP производят также Amphenol, JC.Electronics Inc., а также Sabritec (за исключением «вилков» для поверхностного монтажа), но разновидностей соединителей сравнительно немного.

Большую серию приборных «вилков», а также кабельных соединителей предлагает Dynawave Inc. По данным этой компании уровень прямых потерь СВЧ выпускаемых «вилков» в 2,5 раза ниже, а КСВН существенно меньше, чем у аналогов других компаний.

Molex RF/Microwave предлагает большинство типов соединителей SMP, кроме «вилков» приборных и для монтажа на платы.

Pasternack Enterprises Inc. производит основные типы соединителей SMP, кроме адаптеров. По сравнению с другими компаниями ассортимент соединителей невелик.

Applied Engineering Products (AEP), Connecting Devices, M/A-COM (Tyco) и AMP (Tyco) выпускают приборные соединители «розетка» и «вилка», а также адаптеры. Параметры соединителей совпадают с параметрами аналогов других компаний. «Вилки» для установки на печатные платы эти компании не производят.

Spectrum Electrotechnik GmbH выпускает большую серию приборных соединителей «розетка» и «вилка» и адаптеров, но не производит соединители для поверхностного монтажа.

В перечне продукции Astrolab Inc. имеются все соединители, кроме приборных «вилков» и концевых соединителей для печатных плат.

SV Microwave выпускает достаточный ассортимент приборных соединителей «розетка» и «вилка» и адаптеров, но не производит соединители для установки в отверстия печатных плат и для поверхностного монтажа.

Известная швейцарская компания Huber+Suhner выпускает соединители SMP (фирменное обозначение SMPX) и мини-SMP (предельная частота 65 ГГц). Выпускаются:

- стойкие к радиации прямые кабельные соединители «розетка» (3 типа) для двух диапазонов частот: 0–8 ГГц с КСВН до 1,12 и 8–40 ГГц с КСВН не более 1,22;
- приборные фланцевые с двумя отверстиями на фланце (2 типа);
- приборные «вилки» (2 типа).

Компания производит также одноканальные адаптеры (5 типов), межканальные адап-

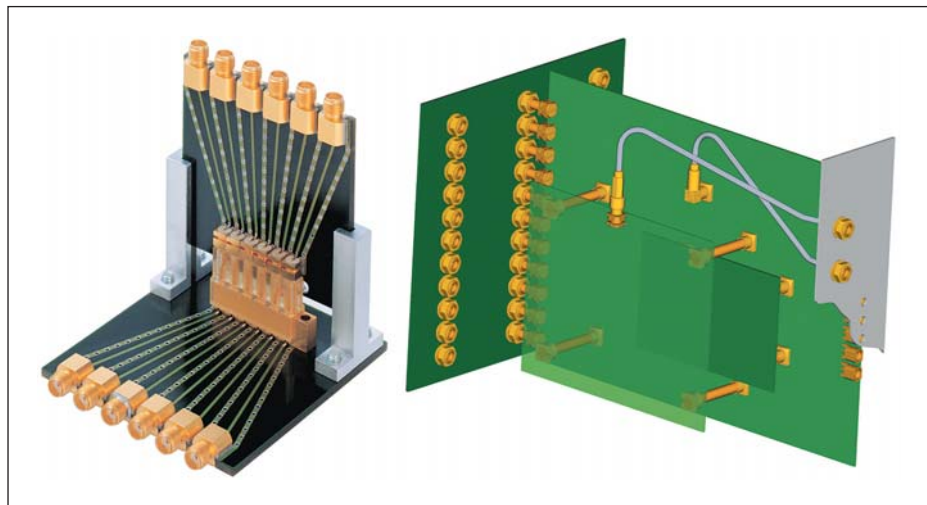


Рис. 5. Применение соединителей SMP для межплатных соединений (предоставлено компанией Rosenberger)

теры SMP — 2,92 мм (7 типов) и «вилки» для поверхностного монтажа.

Tensolite, Special Hermetic Products, имеющие большой опыт производства металло-стеклянных спаев, выпускают широкую номенклатуру герметичных приборных «вилков». Кроме того, Tensolite выпускает значительное число модификаций соединителей «вилка» для монтажа в отверстия и поверхностного монтажа на платы. Кабельные соединители и адаптеры эти компании не производят.

W.L.Gore & Associates, наряду с 6 типами «вилков» приборных и для монтажа в отверстия, производит 20 межканальных и 2 миниатюрных одноканальных адаптера «розетка» — «розетка». По данным компании, адаптеры имеют приемлемый уровень КСВН и прямых потерь даже на частотах до 100 ГГц.

Кроме рассмотренных компаний все типы соединителей SMP выпускает также IMS Connector System (www.imscs.com): вилки с ограниченным защелкиванием и со скользящей посадкой для поверхностного монтажа и для монтажа в отверстия, кабельные соединители и адаптеры. Адаптеры длиной от 6,75 до 24,2 мм предназначены для межплатного соединения при расстоянии между платами от 9,8 до 27,2 мм. Однако предельная рабочая частота соединителей ограничена 12 ГГц, а по уровню КСВН (1,3 на частотах до 12 ГГц) соединители этой компании существенно уступают аналогам других производителей.

Применение

Соединители SMP не предназначены для использования в радиоизмерительной аппаратуре. В ней традиционно применяют прецизионные резьбовые соединители с воздушными коаксиальными линиями 3,5, 2,92, 2,4 и 1,85 мм.

Возросший интерес производителей изделий микроэлектроники СВЧ к соединителям SMP обусловили три фактора: миниатюрность, возможность быстрого соединения

и высокий уровень параметров в диапазоне частот до 40 ГГц.

Главное применение соединителей SMP — межплатные соединения в современных модульных конструкциях изделий СВЧ с высокой плотностью монтажа — рис. 5.

В этом случае на одной из плат устанавливают соединитель «вилка» с ограниченным защелкиванием, а на другой — «вилку» со скользящим соединением. Соединение «вилка» — «розетка» производят при помощи адаптера «розетка» — «розетка» (рис. 6).



Рис. 6. Соединение «вилка», установленных на платах при помощи адаптеров (предоставлено компанией Rosenberger)

При рассоединении плат адаптер остается на плате с «вилкой», имеющей ограниченное защелкивание. Расстояние между платами может быть разным в зависимости от длины примененного адаптера.

Благодаря скользящему соединению обеспечиваются приемлемый уровень параметров, многократность и надежность соединения плат даже при значительной аксиальной и радиальной несоосности между осями соединителей (рис. 7).

Максимальная радиальная несоосность X_R «вилки» и адаптера (bullet) зависит от расстояния L между платами (длины адаптера) и углового отклонения α между осями «вилки» и адаптера:

$$X_R = L \sin \alpha.$$

Максимальная величина угла отклонения — 4°.

Максимальная аксиальная несоосность до 0,7 мм допустима только при применении «вилки» со скользящим соединением на стороне платы. С учетом радиальной несоосности реальная аксиальная несоосность может быть в пределах от 0,1 до 0,6 мм.

Второе важное применение соединителей SMP — сложные многофункциональные модули СВЧ с высокой плотностью компоновки. В таких модулях для размещения стандартных резьбовых соединителей просто не хватает места. В качестве примера на рис. 8 показаны сравнительные размеры SMP и 2,92-миллиметровых соединителей, также работающих в диапазоне частот до 40 ГГц.

Благодаря жесткой конструкции соединители с полным защелкиванием сохраняют свои параметры при работе в условиях вибраций и ударных нагрузок. Поэтому они нашли применение в модулях СВЧ аэронавигационного и аэрокосмического назначения, в активных фазированных решетках, радарх и других изделиях специального назначения. В современных модулях СВЧ применяют соединители SMP как приборные, так и для установки на печатные платы. Миниатюрность этих соединителей обеспечивает возможность их установки в модулях даже при расстоянии между осями пары соединителей всего 4,8 мм (рис. 9).

Привлекательной особенностью соединителей SMP для печатных плат является возможность их высокопроизводительной автоматизированной установки на платы по технологии поверхностного монтажа — SMT (surface mount technology). SMT состоит из следующих операций: подготовка поверхности платы, нанесение паяльной пасты на контактные площадки, установка на них соединителей, пайка и очистка платы после пайки от остатков флюса. Пасту наносят специальными дозаторами или трафаретной печатью. Соединители поступают на сборку на лентоносителях, и автоматические укладчики устанавливают их на контактные площадки. В зависимости от конструкции сборки и имею-

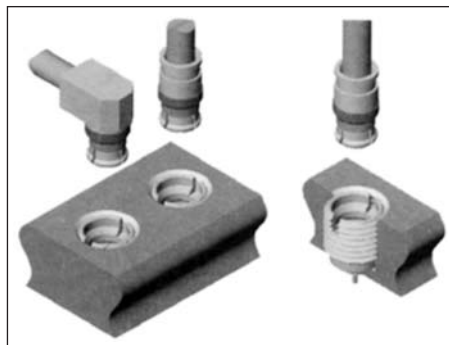


Рис. 9. Соединение «вилки» с прямыми и угловыми «розетками» (с сайта www.radiall.com)

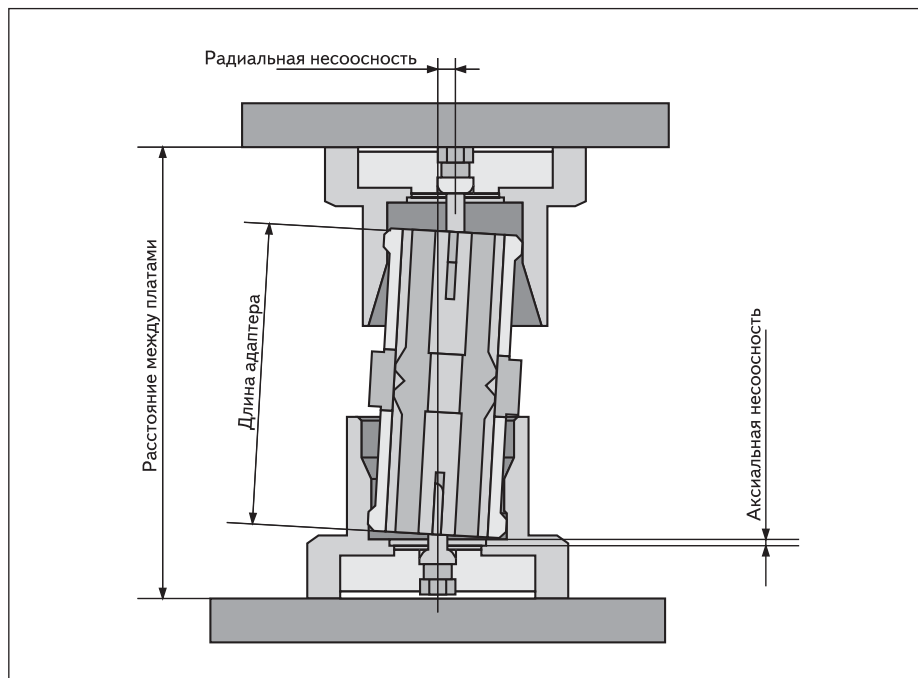


Рис. 7. Соединение двух «розеток» SMP и адаптера в случае их аксиальной и радиальной несоосности (с сайта www.rosenberger.de)

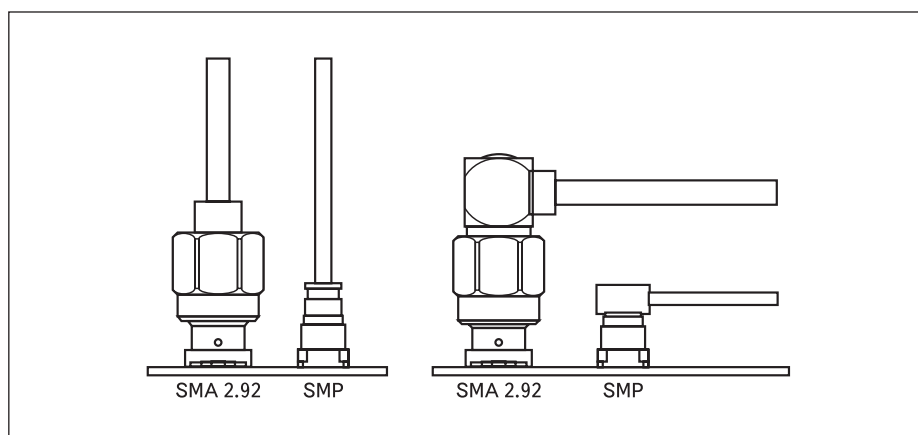


Рис. 8. Сравнение SMP и 2,9-миллиметровых соединителей (с сайта www.radiall.com)

щегося оборудования применяют следующие способы пайки: волной припоя, инфракрасная, в парогазовой фазе, лазерная или с резистивным нагревом. Технология поверхностного монтажа повышает стабильность и воспроизводимость параметров изделий и в серийном производстве обеспечивает снижение до 50% стоимости изделий.

Заключение

Применение соединителей SMP открывает новые возможности для совершенствования изделий микроэлектроники СВЧ: увеличение плотности компоновки и дальнейшая миниатюризация, повышение производительности монтажа и снижение стоимости, повышение воспроизводимости параметров и надежности изделий. Многие зарубежные компании разработали и выпускают еще бо-

лее миниатюрный аналог этих соединителей — мини-SPM (SMPM) с предельной рабочей частотой 65 ГГц. Эти соединители заслуживают отдельного рассмотрения.

Остается с сожалением констатировать, что в нашей стране соединители SMP в настоящее время не производятся. Поэтому в случае необходимости разработчикам отечественной аппаратуры СВЧ необходимо использовать соединители ведущих зарубежных компаний Rosenberger, Radiall, Amphenol, Molex и др.

Литература

1. Джуринский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
2. Browne J. Cables and Connectors Forge Critical Lincs. *Microwaves&RF*, April 2007.