

Гибкие миниатюрные радиочастотные соединители FMC для печатных плат

Кива Джуринский

Рассмотрены конструкция и параметры соединителей FMC с предельной частотой 10 ГГц, предназначенных для поверхностного монтажа на микрополосковые печатные платы и соединения печатных плат между собой в ограниченном пространстве при минимальном расстоянии между ними 6,05 мм. Описан новый способ соединения внутренних проводников вилки и розетки взамен традиционного соединения штырь – гнездо с ламелями, обеспечивающий повышение надёжности соединителей.

1. Соединители SMP и Mini-SMP

Необходимость миниатюризации и повышения плотности компоновки компонентов модулей СВЧ для телекоммуникаций, авиации и военного применения приобретает всё большую актуальность. Все компоненты, устанавливаемые на печатные платы, должны иметь минимально возможные размеры и быть пригодными для сборки по технологии поверхностного монтажа. Многие классические радиочастотные соединители уже не удовлетворяют этим требованиям и стали сдерживающим фактором для систем с высокой скоростью передачи сигналов и широкополосной связи.

Для решения этой проблемы были разработаны коаксиальные соединители для соединения плат между собой, наиболее известными из которых являются миниатюрные защёлкиваемые (push-on, snap-on) соединители SMP и Mini-SMP (рис. 1) [1].

Предельная рабочая частота соединителей SMP и Mini-SMP соответственно 40 и 50 ГГц. Соединители обеспечивают необходимое согласование параметров в сочетании с возможностью поверхностного монтажа на платы. Соединение наружных проводни-

ков вилки и розетки может быть трёх видов: полное защёлкивание, ограниченное защёлкивание и скользящее соединение, при этом соединение внутренних проводников стандартное: штырь – гнездо с ламелями.

Диаметры гнездового проводника розетки соединителей SMP и Mini-SMP равны 0,85 мм и 0,75 мм соответственно. Диаметр штыря ответной вилки – всего 0,40 мм для соединителя SMP и 0,32 мм для соединителя Mini SMP. Поэтому, чтобы не допустить повреждения миниатюрных центральных контактов при соединении вилки и розетки, необходимо обеспечить жёсткие требования к допускам и соотношению их размеров.

Велика вероятность повреждения и в случае несоосного вхождения штыря вилки в гнездо розетки, если не соблюдены жёсткие допуски на позиционирование при сопряжении. Естественно, что очень жёсткие допуски на размеры повышают стоимость этих соединителей.

Ещё одно соображение, которое необходимо учитывать, – ограниченный допуск на осевую несоосность соединителей, установленных на каждой из соединяемых плат (соединение

плата–плата). Платы соединяются при помощи адаптера вилка–вилка «bullet» (рис. 2) [1].

На одной из печатных плат устанавливают соединитель-вилку со скользящим соединением, а на противоположной плате – соединитель-вилку с полным или ограниченным защёлкиванием. Такое простое и экономичное соединение позволяет выравнять смещение плат в осевом направлении до 0,25 мм. При этом максимальное радиальное отклонение $X = L \times \sin \alpha$, мм, где α – максимальный угол отклонения, равный 4° , L – длина «bullet», мм [2].

При угловом и радиальном смещении плат на ламели гнездового контакта розетки воздействует высокая механическая нагрузка. Поскольку толщина стенок этих ламелей не превышает 0,20 мм, слишком большое смещение может привести к разрушению ламелей гнезда или изгибу и поломке ответного штыря вилки соединителей.

Серьёзным недостатком такого соединения является изменение импеданса в интерфейсе «bullet» – соединители SMP на платах в зависимости от расстояния между платами [3]. На более высоких частотах это оказывает влияние на повторяемость параметров соединения.

2. Концепция создания соединителей FMC

За основу была взята традиционная, хорошо зарекомендовавшая себя схема соединения печатных плат, применённая для соединителей SMP: соединитель-вилка со скользящим соединением на одной из печатных плат, соединитель-вилка с пол-



Рис. 1. Соединители SMP и Mini-SMP

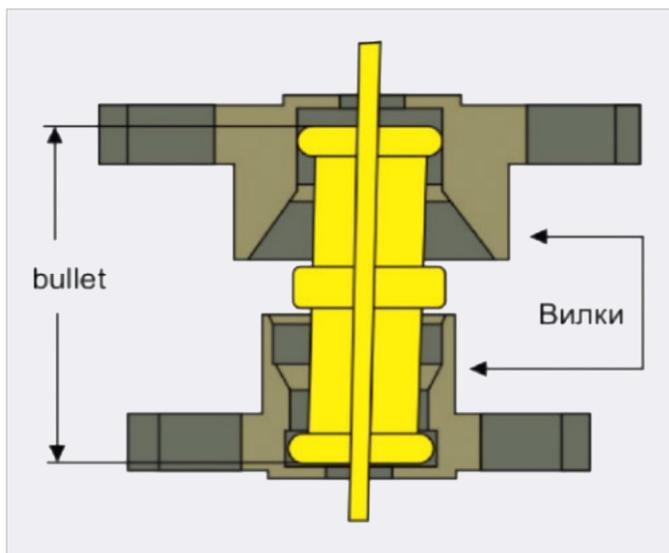


Рис. 2. Соединение двух плат при помощи адаптера «bullet»

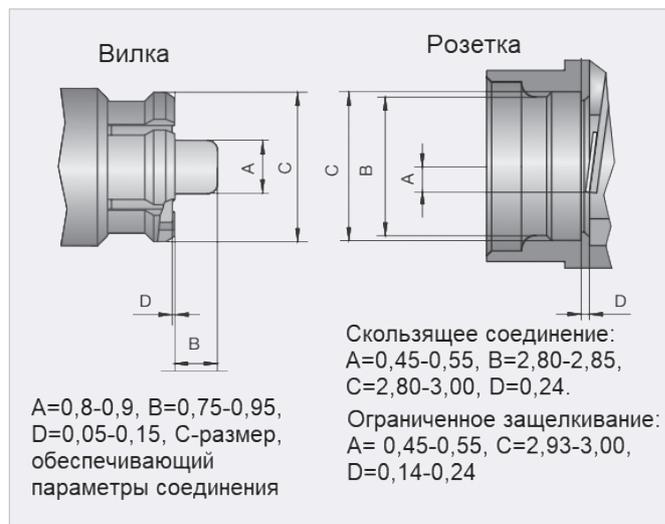


Рис. 3. Схема соединения вилки и розетки и размеры, мм, соединителей FMC

ным или ограниченным защёлкиванием на противоположной плате и адаптер вилка-вилка «bullet» между ними. Для устранения вышеперечисленных проблем, выявленных при применении соединителей SMP, компания Rosenberger в 2004 году разработала серию так называемых «гибких» микрополосковых соединителей FMC (аббревиатура от Flexible Microstrip Connector) [2-8].

Основная идея при создании этих соединителей заключалась в устранении цангового контакта штырь-вилка – гнездо розетки со всеми его механическими и электрическими ограничениями. Другая идея – использование подпружиненного контакта розетки для компенсации осевого смещения при соединении вилки и розетки. Схема соединения и основные размеры соединителей FMC приведены на рис. 3 [4].

Для реализации этих идей центральный контакт соединителя FMC-розетка был выполнен в виде упругой изогнутой металлической пластинки, закреплённой в латунном корпусе с помощью изолятора из LCP (Liquid Cristal Polymer). Нижняя сторона пластинки соединяется низкотемпературной пайкой с микрополосковой линией печатной платы, образуя надёжный переход от коаксиальной к микрополосковой линии с контролируемым импедансом (рис. 4) [4, 5]. Другой конец металлической пластинки, изготовленной из термоупрочнённой бериллиевой бронзы, соединяется со скруглённым на концах центральным проводником адаптера «bullet» (рис. 5) [4, 6]. В области соединения на поверхности металлической

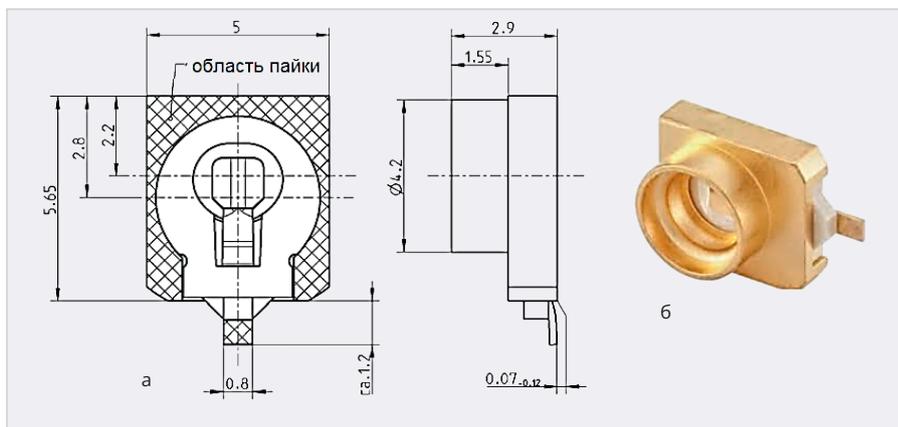


Рис. 4. Конструкция (а) и внешний вид (б) соединителя FMC-розетка для поверхностного монтажа

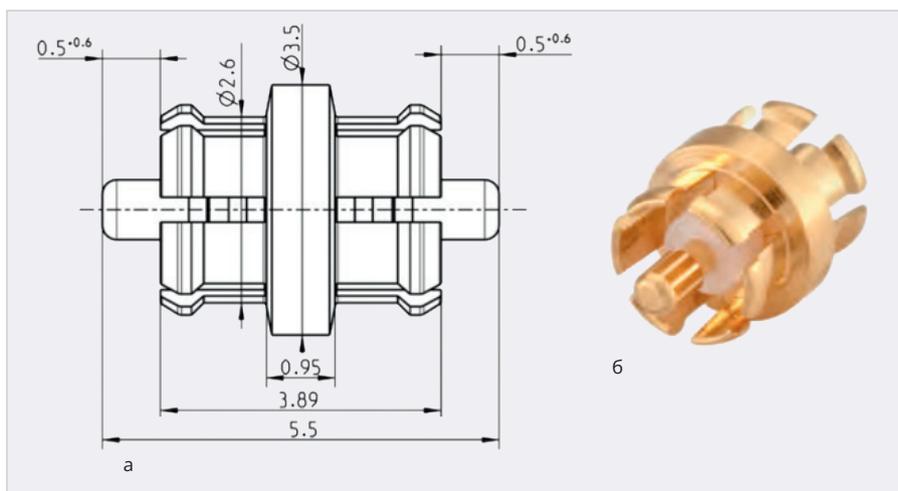


Рис. 5. Конструкция (а) и внешний вид (б) адаптера «bullet» FMC

пластинки выполнено углубление, обеспечивающее многоточечный переход с низким сопротивлением. Благодаря сферической форме центрального проводника адаптера «bullet» соединение может без повреждения смещаться в угловом и радиальном направлении

ях. Смещение в осевом направлении выравнивается за счёт перемещения металлической пластинки соединителя-розетки, в то время как центральный проводник соединителя-вилки, закреплённый во фторопластовом изоляторе, имеет ограниченное смещение.



Рис. 6. Соединители FMC: 16P101-40ML4 и 16P141-40ML4 (а), 16S201-270L5 и 16S201-271L5 (б), 16S101-S00L5 (в), 16S102-S00L5 (г), 16S 132-K00 L5 (д) несколькими способами

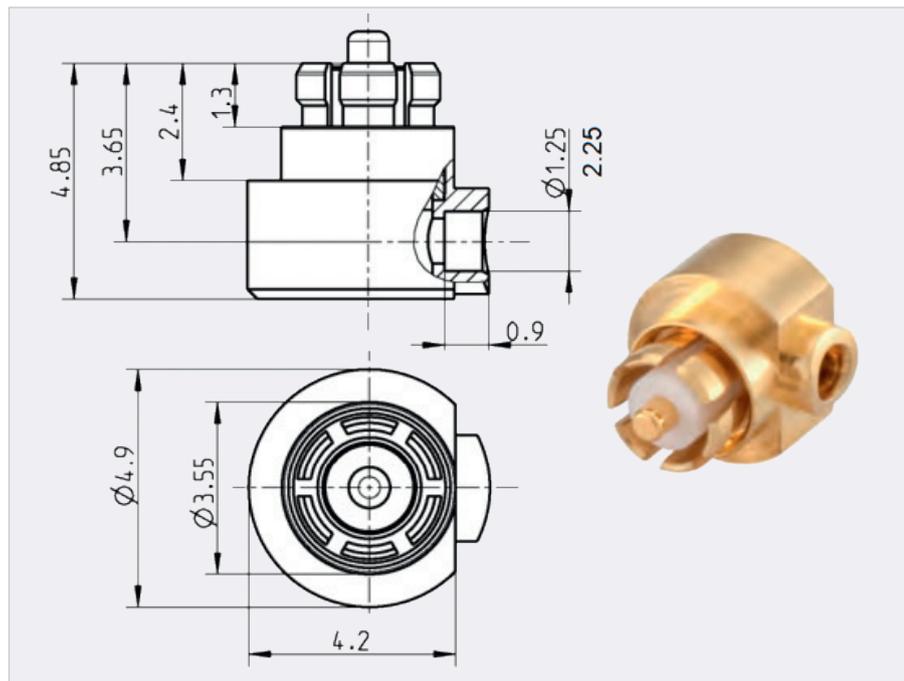


Рис. 7. Конструкция (а) и внешний вид (б) кабельных соединителей FMC

В результате центральные проводники находятся при постоянном давлении, создаваемом подпружиненной металлической пластинкой.

Гибкую пластинку соединителя-розетки изготавливают прецизионным формованием и штамповкой. Это гарантирует высокий уровень точности и низкие производственные затраты при серийном производстве. Корпус адаптера изготавливают из упрочнённой бериллиевой бронзы, центральный проводник – из латуни, изолятор – из фторопласта. Покрытие металлических деталей: AuroDur (золото толщиной 2...3,5 мкм по подслою химического никеля).

3. Серия соединителей FMC

Серия соединителей FMC состоит из двух соединителей-розеток для поверхностного монтажа: 16P101-40ML4 (для соединения с ограниченным защёлкиванием) и 16P141-40ML4 (для скользящего соединения), двух угловых кабельных соединителей 16S201-270L5 и 16S201-271L5, двух адаптеров вилка-

вилка «bullet»: 16S101-S00L5 длиной 6,35 мм и 16S102-S00L5 длиной 10,35 мм и адаптера 16S132-K00 L5 FMC-вилка – SMA-розетка (рис. 6) [4]. Соединители FMC поставляются в упаковке из лент, намотанной на катушку, для автоматического размещения на печатной плате.

Угловые кабельные соединители предназначены для сочленения с соединителями-розетками ограниченным защёлкиванием или скольжением. При этом для розеток с разным видом соединения используется один и тот же кабельный соединитель (рис. 7) [4, 7].

Кабельные соединители 16S201-270L5 предназначены для работы с полужёстким кабелем UT47 диаметром 0,47 дюйма (1,19 мм), 16S201-271L5 – с кабелем UT86 диаметром 0,86 дюйма (2,2 мм). Монтаж соединителя на кабель производят низкотемпературной пайкой. Корпуса кабельных соединителей изготовлены из упрочнённой бериллиевой бронзы, центральный проводник – из латуни, изолятор – из

фторопласта. Покрытие металлических деталей – золото толщиной 0,15 мкм по подслою химического никеля.

4. Параметры соединителей FMC

Типичные параметры соединителей FMC приведены в табл. 1 [4].

Для каждого конкретного соединителя FMC они могут несколько отличаться, точные значения приведены в data sheet. По данным работы [3], соединители FMC могут иметь приемлемые параметры согласования на частотах до 20 ГГц, однако их гарантированная рабочая частота ограничена 10 ГГц.

5. Результаты сравнения основных параметров соединителей FMC и аналогов

Компания Rosenberger разработала радиочастотные коаксиальные соединители нескольких типов для поверхностного монтажа на печатные платы: SMP, Mini-SMP, P-SMP, Longwave-SMP и FMC. Основные параметры этих соединителей приведены в табл. 2 [4, 9].

Основной вывод, который можно сделать в результате анализа этих данных, – явное занижение некоторых основных параметров соединителей FMC. Компания Rosenberger, видимо, решила подстраховаться, так как это был её первый опыт разработки соединителей для поверхностного монтажа без традиционного соединения штырь – гнездо с ламелями. Прежде всего, это малое количество соединений и рассоединений вилки и розетки – 100. Для соединителей SMP оно равно 500 (ограниченное защёлкивание) и 1000 (скользящее соединение) [9]. При этом в соединителях SMP диаметр центрального штыревого проводника всего 0,4 мм, а в соединителях FMC – 0,8 мм, и к тому же нет цангового центрального проводника розетки. По-видимому, низкое количество соединений и рассоединений обусловлено опасением потери упругости термоупрочнённой бериллиевой бронзы, из которой изготовлена пластинка центрального проводника розетки, и нарушением вследствие этого контакта в соединении вилки и розетки. Также по этой же причине максимально допустимая осевая несоосность для соединителей FMC ограничена: всего $\pm 0,3$ мм, что меньше более чем в 2 раза по сравнению с соединителями

Longwipe-SMP и в 3 раза – с соединителями P-SMP.

Вероятно, по этой же причине допустимая пропускаемая мощность соединителей FMC всего 50 Вт на частоте 2,2 ГГц. Этот показатель для соединителей SMP приблизительно в 3 раза, а для соединителей P-SMP – в 4 раза больше.

Соединители FMC превосходят все другие соединители для поверхностного монтажа на микрополосковые платы только по возможности соединять платы, отстоящие друг от друга на расстоянии всего 6,05 мм. Поэтому, если позволяет диапазон рабочих частот, соединители FMC наилучшим способом подходят для применения в устройствах с ограниченным пространством. Не менее важным является низкая стоимость этих соединителей, наименьшая по сравнению с соединителями, представленными в табл. 2.

Заключение

Соединители FMC были одними из первых соединителей упрощённой конструкции, без стандартного соединения штырь – гнездо с ламелями. Задолго до их создания были разработаны миниатюрные соединители SMP, которые постоянно совершенствовались, доведя их предельную частоту до 100 ГГц в результате уменьшения размеров коаксиальной линии [9]. При этом допустимая передаваемая СВЧ мощность уменьшалась до нескольких десятков и даже единиц ватт, повышалась повреждаемость соединителей и снижалась их надёжность.

Однако, несмотря на это, соединение двух плат с применением адаптера «bullet» оказалось настолько технологичным и привлекательным, что зарубежные компании продолжали разрабатывать всё новые соединители специально для печатных плат, сохранив неизменным принцип соединения защёлкиванием. Размеры коаксиальной линии соединителей пришлось увеличить, что повлекло за собой увеличение допустимой пропускаемой мощности, но привело к значительному уменьшению диапазона рабочих частот. Это и есть «путь назад: от высоких к низким частотам», как указано в подзаголовке этой статьи.

Литература

1. Джуринский К., Сотников А. Эволюция радиочастотных соединителей для электроники СВЧ. В поиске компромиссных решений. Часть 2. Соединители SMP // СВЧ-электроника. 2017. № 2. С. 30–35.

Таблица 1. Параметры соединителей FMC

Электрические параметры	Значение параметра
Волновое сопротивление	50 Ом
Диапазон рабочих частот	0...10 ГГц
КСВН в рабочем диапазоне частот	Не более 1,15
Вносимые потери в зависимости от частоты f , ГГц	$\leq 0,1 \times \sqrt{f}$, дБ
Сопротивление изоляции	Более 5 ГОм
Сопротивление центрального контакта	≤ 6 МОм
Сопротивление наружного контакта	≤ 2 МОм
Рабочее напряжение	335 В
Рабочий ток	1,2 А
Испытательное напряжение	500 В
Допустимая пропускаемая мощность на частоте 2,2 ГГц	50 Вт
Экранное затухание в диапазоне частот	≥ 80 дБ (0...3 ГГц), ≥ 65 дБ (3...10 ГГц)
Рабочий диапазон температур. Максимальная температура при пайке	-40...+105°C 250°C
Механические параметры	Значение параметра
Гарантированное количество соединений и разъединений вилки и розетки	Более 100
Усилие соединения	≤ 45 Н (ограниченное защёлкивание) ≤ 9 Н (скользящее соединение)
Усилие разъединения	> 9 Н (ограниченное защёлкивание) $\geq 2,2$ Н (скользящее соединение)
Аксиальное смещение	$\pm 0,3$ мм
Радиальное смещение	4°
Расстояние между соединяемыми платами	6,05 мм (без учёта толщины припойной пасты)

Таблица 2. Основные параметры соединителей для поверхностного монтажа

Параметр	Соединители				
	SMP	Mini-SMP	P-SMP	Longwipe-SMP	FMC
Предельная рабочая частота, ГГц	40	65	10	6	10
Допустимая пропускаемая мощность на частоте 2,2 ГГц, Вт	~160	~100	200	100	50
Минимальное расстояние между соединяемыми платами, мм	9,05	7,9	12,6	9,25	6,05
Максимально допустимая осевая несоосность, мм	$\pm 0,3$	$\pm 0,25$	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$
Максимально допустимая радиальная несоосность, градусы	4	4	3	4	4
Гарантированное количество соединений и разъединений вилки и розетки	500	500	500	500	100

2. Board-to-Board Connectors – Rosenberger Group // URL: www.rosenberger.com.

3. A Flexible Microstrip Connector // Microwave Journal. 2006. March 1.

4. The Extremely Small FMC Connector Series – Rosenberger // URL: https://rosenberger.com/0_documents/de/catalogs/ba_communication/catalog_coax/03_Chapter_FMC.pdf.

5. URL: <https://www.microwavejournal.com/articles/1065-a-flexible-microstrip-connector>.

6. URL: <https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/60-16S101-S00L5.pdf>.

7. URL: <https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/60-16S101-S00L5.pdf>.

8. Flexible Microstrip Connectors – compensate misalignments // EDN. 2004. № 4.

9. Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Файнстрит, 2014.

