

Инновационные способы соединения печатных плат СВЧ

Кива Джуринский (kbd.istok@mail.ru)

Рассмотрены инновационные способы соединения печатных плат СВЧ зарубежных компаний Radiall (Франция) и SV Microwave/Amphenol (США). Показаны особенности соединения печатных плат с применением стандартного и сверхминиатюрного адаптеров «bullet», а также с использованием ультраминиатюрных соединителей IMP и IMP-LP.

Введение

При создании многофункциональных устройств диапазона СВЧ с печатными платами, изготовленными по технологии поверхностного монтажа (SMT – Surface Mount Technology), необходимо обеспечить эффективное электрическое соединение этих плат между собой. Применяемые для этого радиочастотные соединители, устанавливаемые на платах (платные соединители), также должны иметь исполнение SMT.

Проще всего было бы решить эту задачу, применив соединители вилка, установленные на одной плате, соединители розетка – на противоположной плате и соединяющие их кабельные сборки. Но с повышением рабочего диапазона частот и возрастанием требований к миниатюризации устройств это решение зачастую становится неприемлемым.

Для решения этой задачи компанией Gilbert Corning (США) было предложено соединение между собой однотипных соединителей, обычно вилка, установленных на каждой из плат, при помощи адаптеров розетка-розетка, называемых «bullet» [1]. Дальнейшие работы зарубежных компаний были направлены на совершенствование этого соединения:

- максимально возможное уменьшение расстояния между соединяемыми

ми платами путём уменьшения высоты адаптеров «bullet» [2];

- создание соединителей для поверхностного монтажа, вообще исключая применение адаптеров «bullet» [1–3];
- разработку соединения, исключая необходимость пайки соединителя на поверхность печатной платы [4];
- повышение предельной частоты соединителей для поверхностного монтажа.

Компания Radiall (Франция) – один из мировых лидеров в области радиочастотных соединений – создала для этой цели серию межплатных соединителей MMP (Micro Miniature Pressure Contact – микроминиатюрный прессиновый контакт).

Соединение плат СВЧ с применением стандартного адаптера «bullet»

Соединение двух плат СВЧ состоит из вилок, установленных на каждой соединяемой печатной плате, и сочленённых с ними защёлкиванием или скольжением стандартных (например, длиной не менее 6,5 мм для соединителей SMP) адаптеров розетка-розетка «bullet». В процессе соединения плат центральные проводники вилок входят в кантовые контакты адаптеров «bullet». При этом вилки, установ-

ленные на одной плате, обеспечивают полное или ограниченное защёлкивание, а на другой плате – скользящее соединение с адаптерами «bullet». Так как вилки с защёлкиванием удерживают адаптеры «bullet», при рассоединении плат эти адаптеры остаются на плате с этими вилками. Вилки со скользящим соединением позволяют легко рассоединять платы даже без применения специального инструмента.

Для монтажа на печатные платы используют вилки и адаптеры «bullet» миниатюрных и микроминиатюрных соединителей (с предельной частотой, ГГц) типов SMB (4), MCX (6), MMCX (6), SMP-MAX (6), IMP (6), UMP (6), P-SMP (10), MMBX (12,4), SMP (26,5), SMPM (40). Рис. 1 иллюстрирует стандартное соединение печатных плат.

Требуемое расстояние между платами достигается применением адаптера «bullet» необходимой длины. Адаптер «bullet» обеспечивает надёжное соединение и компенсирует радиальную и осевую несоосности соединителей вилка, установленных на печатных платах.

Соединение печатных плат с применением сверхминиатюрного адаптера «bullet»

В связи с миниатюризацией изделий СВЧ и повышением плотности их компоновки необходимо было мак-



Рис. 1. Соединение печатных плат при помощи адаптеров «bullet» (а), сочетание соединителей SMPM (б): 1 – вилка с защёлкиванием, 2 – адаптер розетка-розетка «bullet», 3 – вилка для скользящего соединения

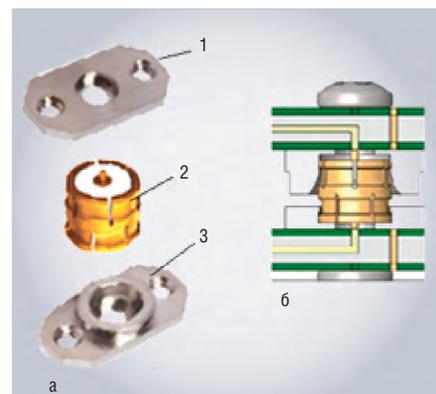


Рис. 2. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» вилка-вилка: а) 1 – «shroud» с интерфейсом «полное защёлкивание», 2 – «bullet» вилка-вилка, 3 – «shroud» с интерфейсом «скользящее соединение», б) печатные платы после соединения

симально уменьшить длину адаптера «bullet». Одним из самых миниатюрных является адаптер «bullet» вилка-вилка соединителей типа SMPM компании SV Microwave/Amphenol [2]. Длина корпуса этого адаптера 2,48 мм, и он обеспечивает соединение плат, отстоящих друг от друга на расстояние всего 3 мм. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» вилка-вилка показано на рис. 2.

На печатные платы устанавливают корпус из нержавеющей стали, имитирующие интерфейсы полного защёлкивания и скользящего соединения, называемые «shroud», с резьбовыми отверстиями для крепления винтами на печатные платы. При соединении плат центральные проводники адаптера «bullet» непосредственно контактируют с микрополосковыми линиями печатных плат. Скользящее соединение обеспечивает лёгкое рассоединение плат без применения специального инструмента. Поэтому при рассоединении плат адаптер «bullet» остаётся на плате соединённым со «shroud» с интерфейсом полное защёлкивание.

Это соединение имеет следующие параметры: рабочий диапазон частот 0...40 ГГц, КСВН в диапазоне частот 0...18 ГГц – 1,10, в диапазоне частот 18...40 ГГц – 1,30; прямые потери 0,30 дБ на частоте 18 ГГц и 0,60 дБ на частоте 40 ГГц [2].

Соединители IMP

В начале 2000-х годов компания Radiall запатентовала конструкцию ультраминиатюрных соединителей IMP (Interconnected Micro Miniature Pressure Contact) с нажимными пружинными контактами для непосредственного соединения печатных плат без применения адаптеров [3, 4]. Соединители R107064070 обеспечивают соединение плат с расстоянием между ними 2 мм, а соединители R107064920 – с расстоянием 3 мм. Соединение печатных плат с помощью этих соединителей иллюстрирует рис. 3 [3].

Один соединитель IMP заменяет две вилки, установленные на печатной плате, и соединяющий их адаптер «bullet». Необходимо отметить, что соединитель IMP самостоятельно не обеспечивает точное расстояние между соединяемыми платами. Для этого потребитель должен применить спейсер (прокладку соответствующей толщины).

Конструкция и внешний вид соединителей R107064070 и R107064920 показаны на рис. 4 и 5.

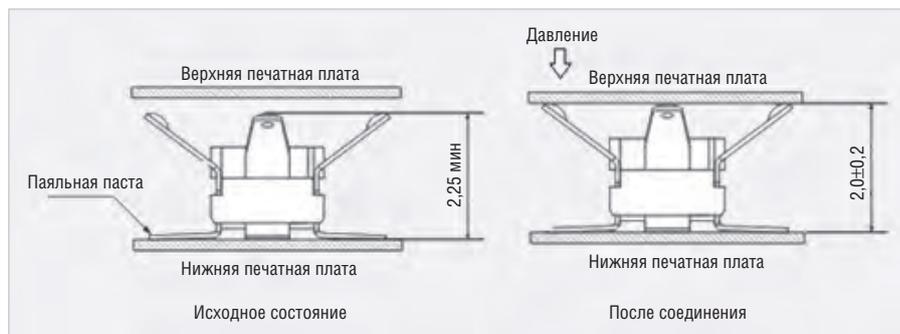


Рис. 3. Соединение печатных плат с помощью соединителей IMP

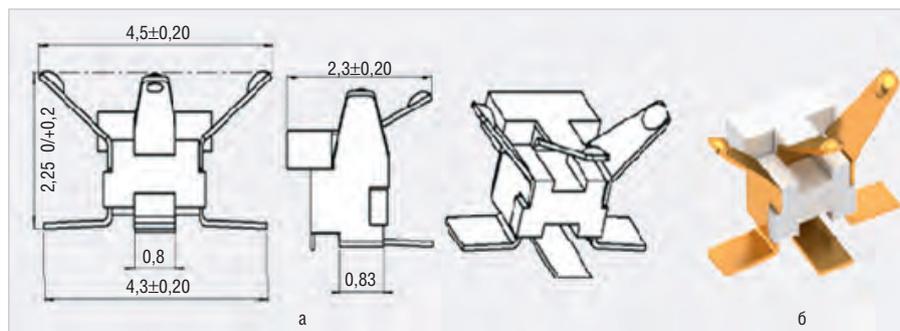


Рис. 4. Соединитель R107064070: конструкция (а) и внешний вид (б)

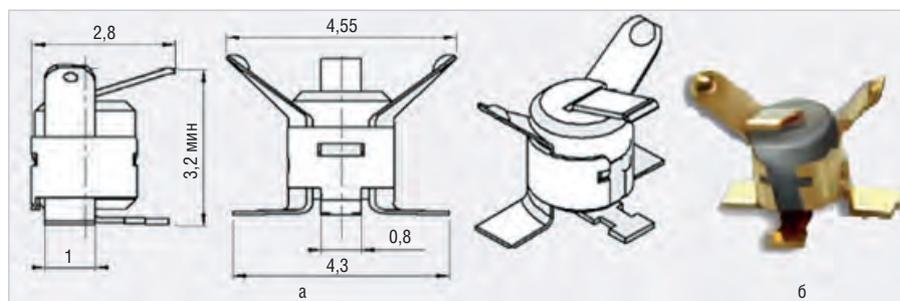


Рис. 5. Соединитель R107064920: конструкция (а) и внешний вид (б)

Корпуса соединителей и центральный контакт изготовлены из термоупрочнённой бериллиевой бронзы и покрыты золотом толщиной 0,5 мкм по подслою никеля толщиной 2 мкм. Материал изолятора соединителей – фторопласты PTFE или РЕЕК.

Установка соединителей на печатную плату осуществляется низкотемпературной пайкой. Соединители IMP адаптированы к автоматизированным процессам установки на печатные платы и пайки. Пайку соединителей на печатную плату рекомендуется выполнять с применением паяльной пасты, состоящей из припоя SnAg4Cu0.5 и флюса с низким содержанием остатков после пайки. В зону пайки на печатной плате паяльную пасту толщиной 150 мкм наносят трафаретной печатью. Максимальная пиковая температура пайки 260°C, время выдержки при этой температуре 10 секунд. При соединении допускается аксиальное смеще-

ние соединителя до $\pm 0,2$ мм и радиальное смещение до 0,2 мм. Соединители поставляют партиями 100, 600, 2500 или 3500 штук, упакованными в ленту, намотанную на катушку.

Основные технические характеристики соединителей IMP приведены в таблице.

Допустимая пропускаемая мощность этих соединителей на частоте 3 ГГц при температуре 20°C на уровне моря равна 20 Вт.

Основное применение соединителей IMP – соединения типов «плата-плата» и «плата-антенна» в устройствах беспроводной связи, мобильных телефонах, GPS-приёмниках и др.

Соединители IMP-LP компании Radiall

Компания Radiall пошла ещё дальше, предложив способ соединения плат СВЧ, расположенных на очень близком расстоянии друг от друга

Таблицы

№	Параметры соединителей IMP-LP	Значение параметра соединителей:			
		R107064070	R107064920	R107802000	R107803000
1	Расстояние между соединяемыми платами, мм	2,0	3,0	1,41	2,85±0,18
2	Размеры соединителя, мм	2,25×2,8×4,5	2,8×3,2×4,55	∅3,9	∅3,9
3	Вес, г (±15%)	0,013	0,020	0,13	0,16
4	Волновое сопротивление, Ом	50			
5	Диапазон рабочих частот, ГГц	0...6		0...18	
6	Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	1,06 (0...3); 1,08 (3...16)		1,3 (0...12); 1,55 (12...18)	
7	Максимальная величина потерь (на частоте ГГц), дБ	0,12 (6)		0,25 (18)	
8	Рабочее напряжение, В	100		225	
9	Напряжение пробоя изоляции, В	250		500	
10	Сопротивление изоляции, МОм	3000		1000	
11	Рабочий диапазон температур, °С	-40...+90		-55...+125	
12	Минимальное количество соединений и рассоединений	20		50	
13	Минимальное осевое усилие соединения, Н	-		0,5	



Рис. 6. Внешний вид соединителя IMP-LP типа R107802000



Рис. 7. Конструкция соединителя IMP-LP типа R107802000

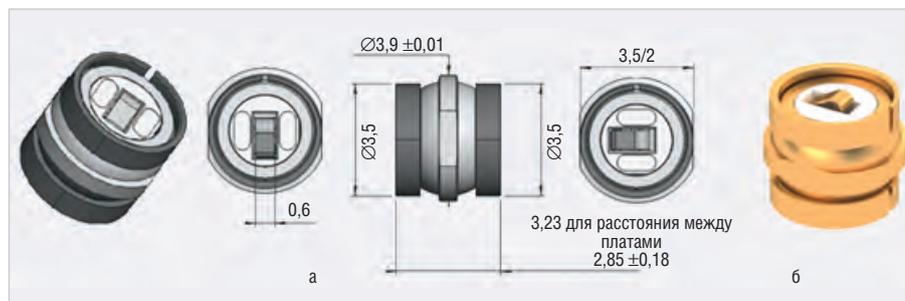


Рис. 8. Конструкция (а) и внешний вид (б) соединителя R107803000

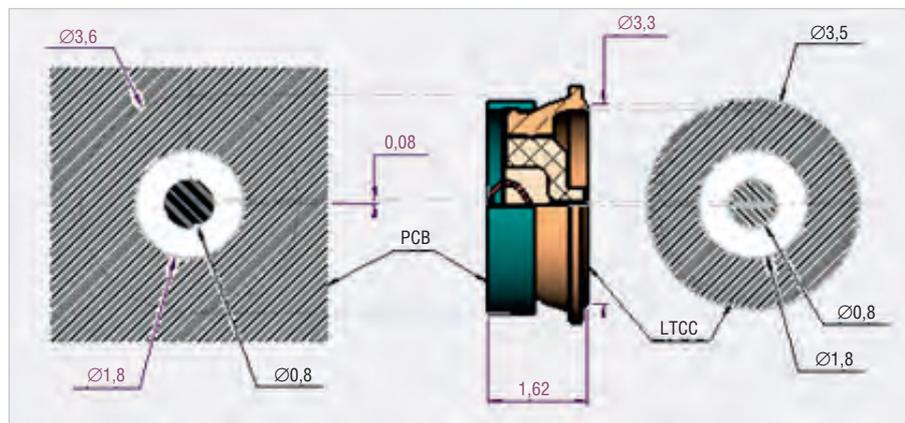


Рис. 9. Контактные площадки на печатных платах для R107803000

(1,41 мм), без применения адаптеров «bullet» и с установкой соединителей на платы без пайки. В 2019 году ею были созданы оригинальные ультраминиатюрные межплатные соединители IMP-LP (IMP/ Board to Board Connectors) двух модификаций: R107802000 и R107803000 с внутренними и внешними прижимными упругими (прессовыми) контактами [5–8]. IMP-LP (Interconnected Micro Miniature Pressure Contact. Low Profile) – это соединитель, заменяющий две вилки и адаптер «bullet». Внешний

вид соединителя R107802000 показан на рис. 6.

Конструкция (а) соединителя IMP-LP типа R107802000 показана на рис. 7.

Соединитель R107803000 является сдвоенным соединителем R107802000 в одном корпусе (Double IMP). Внешний вид и конструкция соединителя R107803000 показаны на рис. 8. Корпуса соединителей IMP-LP изготовлены из бронзы, центральный проводник выполнен из термоупрочнённой бериллиевой бронзы и покрыт золотом толщиной 1,3 мкм по подслою

никеля толщиной 2 мкм. Покрытие корпусов соединителей – NPGR (Nickel Phosphorous Gold Radiall) – слой немагнитного химического никеля с содержанием более 10% фосфора, на который нанесён тонкий слой золота для защиты от коррозии.

Материал изолятора РЕЕК – органический термопластичный полимер с частично кристаллической структурой (40%), в котором удачно сочетаются высокие механические свойства, химическая и радиационная стойкость, стабильность размеров и приемлемые диэлектрические свойства. На частоте 1 МГц диэлектрическая проницаемость РЕЕК равна 2,2...3,3, тангенс угла диэлектрических потерь – $(10...40) \cdot 10^{-4}$. В соединителях IMP-LP этот полимер применяют, по-видимому, благодаря возможности его литья под давлением. Фторопласт (PTFE) в этих микроминиатюрных соединителях было бы технически сложно применить, так как при нагревании этот полимер не переходит в вязко-текучее состояние, что исключает возможность его литья под давлением.

Соединение печатных плат с помощью соединителей IMP-LP состоит из следующих операций.

1. Подготовка соединяемых печатных плат PCB (Printed Circuit Board), заключающаяся в формировании на поверхности плат системы контактных площадок. На рис. 9 показаны контактные площадки на верхней печатной плате (PCB) и нижней печатной плате, изготовленной из низ-

котемпературной совместно обжигаемой керамики LTCC, для установки соединителя R107802000.

- Изготовление промежуточного элемента: держателя соединителей (Interposer/Holder IMP-LP), представляющего собой пластину из диэлектрического материала с системой отверстий, диаметры которых равны диаметру соединителей. Высота держателя обеспечивает выступание из него центрального контакта соединителей.
- В отверстия держателя, установленного на нижнюю печатную плату, размещают соединители – рис. 10.
- Подводят верхнюю печатную плату и прижимают её к сборке, надавливая на центральные контакты соединителей – рис. 11.

На рис. 12 показано соединение платы PCB с платой LTCC с помощью соединителя R107802000.

Параметры соединителей IMP-LP

Основные параметры соединителей IMP-LP приведены в табл. Этот микроминиатюрный соединитель диаметром 3,9 мм обеспечивает сверхнизкое расстояние между платами: 1,34 мм. Наименьшее осевое смещение расстояния от платы до платы составляет $\pm 0,1$ мм.

Соединители IMP-LP были квалифицированы для работы в сложных условиях MIL-AERO, где требуется устойчивость к вибрации и ударам, что позволяет их применять во встроенных системах радиолокации и радиоэлектронной борьбы. Предполагается, что соединители IMP-LP найдут применение в радарх, антенных устройствах и в приложениях, требующих миниатюрного соединения печатных плат.

Заключение

Необходимо отметить, что при установке на платах большого числа сое-

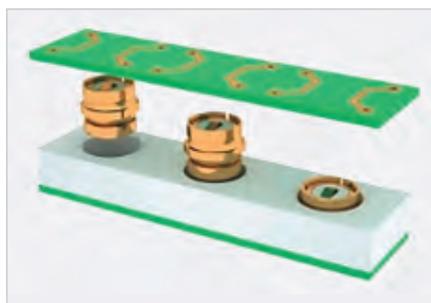


Рис. 10. Установка соединителей R107803000 в держателе

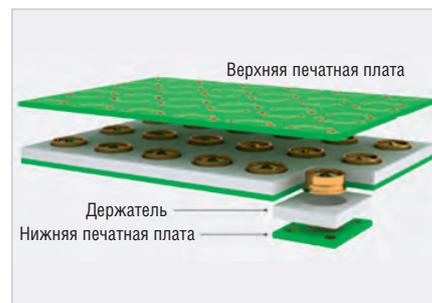


Рис. 11. Схема образования соединения плат с применением соединителей IMP-LP

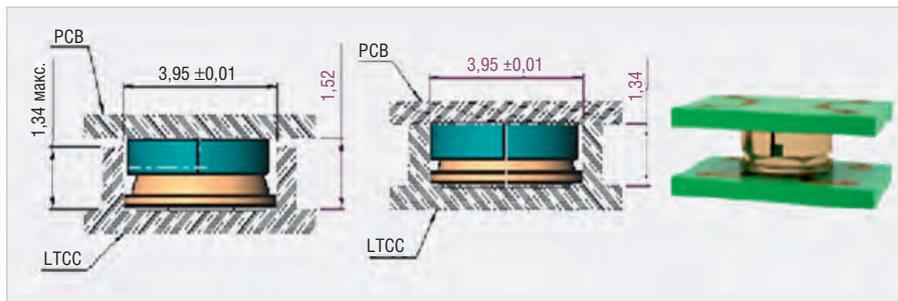


Рис. 12. Соединение платы PCB с платой LTCC с помощью соединителя типа R107802000

единителей с нажимными контактами достаточно сложно обеспечить надёжное контактирование соединяемых печатных плат. Для этого необходимо, чтобы соединители имели идентичные размеры контактов и их упругие свойства.

Зарубежные компании постоянно совершенствуют способы соединения печатных плат СВЧ с целью миниатюризации выпускаемых устройств и повышения технологичности их изготовления. С этой целью компании создают всё более миниатюрные соединители СВЧ, совершенствуют способы изготовления печатных плат и способы установки на них соединителей.

Литература

- Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и поме-

хоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит», 2014, 426 с.

- Джуринский К.Б. Новейшие достижения компании SV microwave/Amphenol в области радиочастотных соединений // Современная электроника. 2021. № 9.
- IMP / UMP series R107 // URL: <https://www.radiall.com>.
- Miscellaneous: BR2/Type 43/UHF/IMP/UMP // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP-LP_Handout_D1C177TE // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP / BOARD TO BOARD CONNECTOR 1.41MM – Radiall // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP / Board to Board Connector 1.41mm. SKU: R107802000 // URL: <https://shop.rojone.com>.
- URL: <https://b2b.partcommunity.com/3d-cad-models/r107802000-radiall>. ©

НОВОСТИ МИРА

В ЮЖНОЙ КОРЕЕ ПРЕДЛОЖЕНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ШЁЛК ДЛЯ «АБСОЛЮТНО НАДЁЖНОЙ» КРИПТОЗАЩИТЫ ДАННЫХ

Шёлк представляет собой физический объект, ряд характеристик которого невозможно копировать. С помощью объектов, обладающих таким свойством (physical unclonable functions, PUF), можно обеспечить практически непреодолимую криптозащиту данных.

Дело в особой структуре волокон. Дифракция света на разных участках шёлковой нити уникальна, поэтому свет будет преломляться по-своему на каждом из них. На то, чтобы взломать криптозащиту, искусственно воссоздав уникальную «световую подпись» одного участка шёлкового волокна, при нынешних возможностях компьютеров уйдёт не менее 5×10^{41} лет, подсчитали учёные.

Специалисты института также разработали и протестировали простой «шёлковый» считыватель и идентификационную карту, содержащую фрагмент волокна, которое служит ключом доступа. Показано, что шёлк в качестве PUF подходит для обеспечения практически абсолютной безопасности криптозащиты данных.

industry-hunter.com