

СОЕДИНИТЕЛИ SMP

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ, ПАРАМЕТРЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

К.Джуринский, kbd.istok@mail.ru; В.Батаев, vyabataev@istokmw.ru;
С.Легенкин, negelsa@mail.ru; М. Левашов, levashovm@mail.ru

Создание компанией Gilbert Corning (США) в 1980-х годах соединителей GPO (Gilbert Push-On) ознаменовало собой начало освоения миллиметрового диапазона длин волн субминиатюрными радиочастотными соединителями, работающими по принципу защелкивания (Push-On) [1]. В дальнейшем соединители этой серии получили название SMP (Subminiature Push-On). Они используются в основном в сложных многофункциональных СВЧ-модулях с высокой плотностью компоновки для систем аэронавигационного и аэрокосмического назначения, активных фазированных решеток, радаров и других изделий специального назначения. Рассмотрим применение соединителей SMP в устройствах СВЧ.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СОЕДИНИТЕЛЕЙ SMP

За рубежом соединители SMP широкой номенклатуры выпускают более 30 компаний [1]. В нашей стране соединители SMP были разработаны компанией "НПП Исток" (г. Фрязино) [2] и затем воспроизведены в ПАО "Иркутский релейный завод" – ПАО "ИРЗ" [3]. Кроме того, в НПФ "Микран" (г. Томск) [4] созданы приборная вилка и ответный к ней прямой кабельный соединитель SMP.

Интерфейс соединителей SMP соответствует военному стандарту MIL-STD-348A, а их параметры – стандарту MIL-PRF-39012. Подобно другим соединителям, законченное соединение состоит из вилки и розетки. Большинство производителей называют вилкой соединитель со штыревым центральным проводником, розеткой – с гнездовым проводником, хотя по своему назначению приборные соединители со штыревым центральным проводником – это розетки, а кабельные с гнездовым проводником – вилки [1]. Конструкция соединителей SMP показана на рис.1.

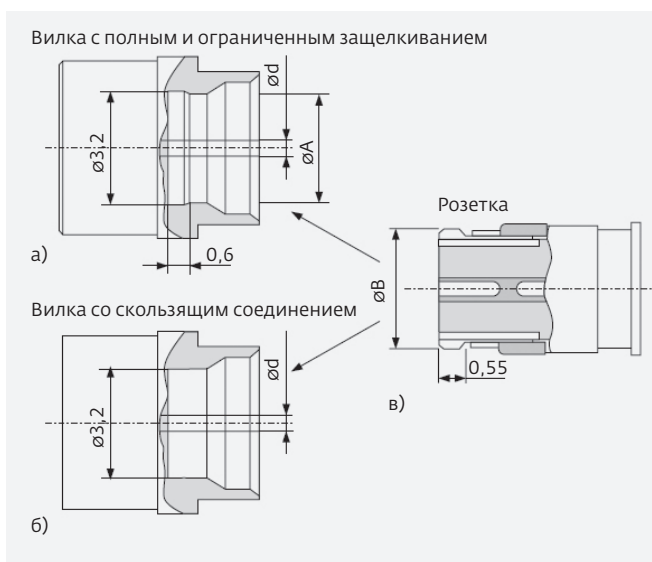


Рис.1. Конструкция соединителей SMP:
а, б – вилка; в – розетка

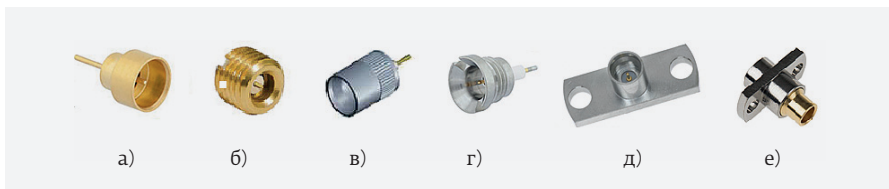


Рис.2. Приборные вилки SMP: стандартная "гладкая" (а), резьбовая (б), запрессовываемая (в), резьбовая catcher's mitt (г), фланцевые (д, е)

ПРИБОРНЫЕ ВИЛКИ

В состав серии соединителей SMP входят приборные вилки, устанавливаемые в корпуса изделий. Вариантов конструктивного исполнения приборных вилок несколько: с полным защелкиванием кабельных соединителей типа розетка (full detent) и с ограниченным защелкиванием (limited detent) – рис.1а, а также со скользящим соединением (smooth bore) – рис.1б. Разновидностью скользящего соединения является соединение catcher's mitt, которое отличается широкой заходной частью вилки. Наиболее широко применяются герметичные вилки в металлических корпусах с внутренним металlostеклянным спаем центрального проводника. В негерметичных вилок в качестве диэлектрика используется фторопласт. За рубежом выпускаются приборные вилки более 300 разновидностей (рис.2).

Наибольшее количество приборных вилок производят американские компании Micro Mode, Gilbert Corning, Tensolite (ныне Carlisle Interconnect Technologies), Dynawave. В нашей стране также разработаны и выпускаются герметичные приборные вилки (рис.3). Составные вилки включают в себя отдельный корпус (shroud) и металlostеклянный СВЧ-ввод, устанавливаемый в стенку изделия (рис.4). Корпус shroud изготавливается из нержавеющей стали. Чаще всего

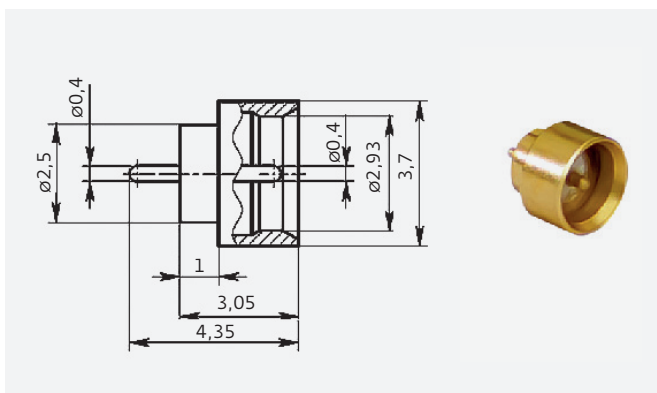


Рис.3. Герметичная приборная вилка КРПГ.433434.054 (АО "НПП "Исток")

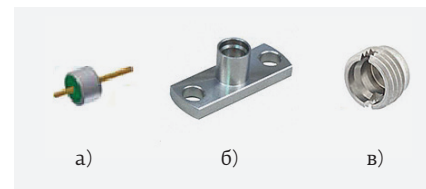


Рис.4. Составные вилки SMP: СВЧ-ввод (а), фланцевый shroud (б), резьбовой shroud (в)

он фланцевой конструкции с двумя крепежными отверстиями во фланце, но существуют также варианты резьбовые и для запрессовывания в корпус изделия.

КАБЕЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ

Прямые и угловые кабельные соединители, предназначенные для работы с миниатюрными полужесткими кабелями 0,086" (RG-405) и 0,047", а также с гибкими и формуемыми вручную кабелями, представлены на рис.5.

Большое количество различных кабельных соединителей разработаны зарубежными компаниями: Tensolite предлагает 147 модификаций, Dynawave – 77, Gilbert Corning – 45, Cristek – 37 [1]. Соединители SMP (7 модификаций) для работы с зарубежными кабелями (0,047", 0,086", Sucoform 0,047, 0,086) и отечественными (РК50–1–23, РК50–1–24 и РК50–1,5–22) выпускают предприятия АО "НПП "Исток" и ПАО "ИРЗ".

У разработчиков СВЧ-модулей вызывала опасение способность соединителей SMP выдерживать высокие вибрационные и ударные нагрузки в составе кабельных сборок, особенно в сборках с прямыми соединителями. Компания Astrolab, входящая в состав Huber+Suhner, предложила инновационное решение проблемы. Созданные ею соединители сочетают традиционное соединение защелкиванием с дополнительным



Рис.5. Прямые (а) и угловые (б) кабельные соединители SMP

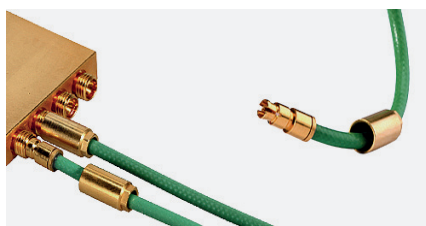


Рис.6. Соединение защелкиванием в сочетании с дополнительным резьбовым соединением

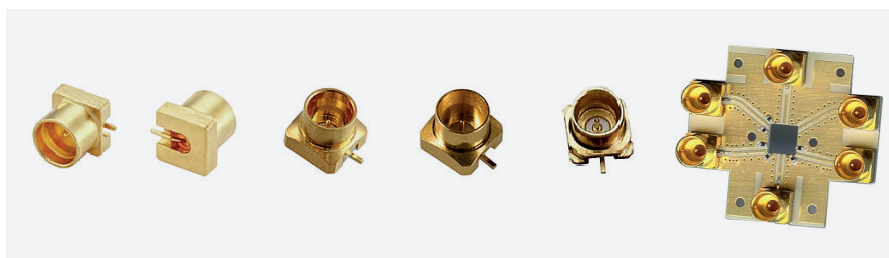


Рис.7. Вилки SMP для поверхностного монтажа на печатные платы

резьбовым соединением при помощи миниатюрной подвижной гайки (рис.6). Разработанные соединители выдерживают удары с ускорением 12 000 g [1].

СОЕДИНИТЕЛИ ДЛЯ МОНТАЖА НА ПЛАТЫ И КОНЦЕВЫЕ

Для поверхностного монтажа на платы и для установки в отверстия печатных плат созданы разнообразные вилки, в качестве диэлектрика в них используется фторопласт или LCP (liquid cristal polymer) – рис.7, 8. Разновидностью вилок для монтажа на печатные платы являются концевые вилки, устанавливаемые на концах печатной платы (рис.9). Отечественные вилки для поверхностного монтажа, установки в отверстия печатных плат и концевые вилки к настоящему времени не разработаны.

АДАПТЕРЫ BULLET

Интерфейс соединителей SMP оказался привлекательным для соединения плат и модулей с плотной компоновкой. Для таких применений предложено оптимальное решение: на каждые из соединяемых печатных плат или модулей устанавливают соединитель SMP-вилка, а их соединение производят при помощи адаптера розетка–розетка, называемого bullet. Адаптер bullet – ключевой элемент при соединении плат и создании модульных конструкций. При соединении плат и модулей центральные проводники вилок, устанавливаемых в каждые из плат или модулей, входят в цанговые контакты адаптера bullet. При этом одна из вилок

выполнена с полным или ограниченным защелкиванием, а другая – со скользящим соединением. Поэтому при рассоединении адаптер bullet остается на плате или в модуле с вилкой под защелкивание. Необходимое расстояние между платами или модулями, а также допустимая погрешность соосности соединения достигаются путем выбора bullet соответствующей длины. Разработаны bullet длиной от 5,8 до 25 и даже 50 мм (рис.10) [1]. В 2014 году в ПАО "ИРЗ" создан bullet-переход розетка–розетка CP-50-968ФВ, правда, его параметры – достаточно скромные: предельная частота 18 ГГц, максимальный КСВн 1,6 и величина потерь не более 0,6 дБ (рис.11).

СКОЛЬЗЯЩИЕ КОНТАКТЫ

Одной из проблем при применении SMP, как и соединителей других типов, является соединение центрального проводника с микрополосковой линией (МПЛ), оно определяет КСВн вход-выход, выходную мощность и другие параметры изделий. Стандартное соединение с помощью тонкой перемычки сложно и неудобно в изготовлении, является уязвимым местом при циклическом изменении температуры [1]. Элегантное и при этом достаточно простое решение проблемы снятия напряжений в области соединения МПЛ с центральным проводником соединителя SMP обеспечивает скользящий контакт (sliding contact, optional socket), разработанный зарубежными компаниями [1]. Его называют также контактом для снятия напряжений (microstrip stress relief contact), так как обеспечивается



Рис.8. Вилки SMP для монтажа в отверстия печатных плат



Рис.9. Концевые вилки SMP для установки на печатные платы



Рис.10. Адаптеры bullet SMP разных модификаций

защита соединения от температурных, вибрационных и ударных воздействий. Цанговый скользящий контакт представляет собой миниатюрную трубку из термически упрочненной бериллиевой бронзы, покрытую золотом, разрезанную вдоль продольной оси и имеющую на одном конце лепесток для соединения с МПЛ. При сборке цангу скользящего контакта надевают на центральный проводник, а лепесток припаивают или приваривают к полоску МПЛ. При воздействии температуры и вибраций контакт скользит по поверхности центрального проводника, что предотвращает образование напряжений в соединении с МПЛ. Скользящие контакты в последние годы начали применять при создании отечественных изделий микроэлектроники СВЧ. В 2014 году компания "НПП Исток" разработала оригинальную конструкцию, а ПАО "ИРЗ" выпустило следующие скользящие контакты (рис.12):

- № 181 – для герметичных вилок SMP с центральным проводником диаметром 0,4 мм и длиной до 1,45 мм;
- № 182 – для СВЧ-вводов и коаксиально-микрополосковых переходов (КМПП) с центральным проводником диаметром 0,6 мм и длиной до 2,65 мм;
- № 182-01 – для СВЧ-вводов и КМПП с центральным проводником диаметром 0,5 мм и длиной до 2,65 мм.

ПАРАМЕТРЫ СОЕДИНИТЕЛЕЙ SMP

Компании-производители представляют соединители SMP с волновым сопротивлением 50 Ом как соединители с предельной частотой 40 ГГц. Однако в полной

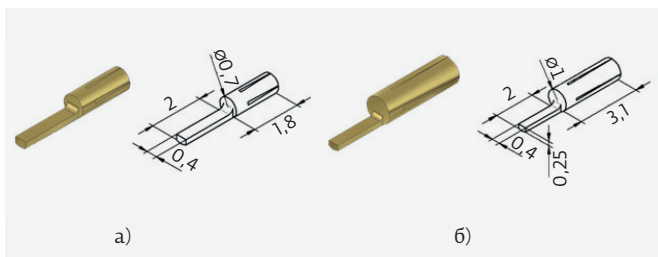


Рис.12. Скользящие контакты для соединения с центральным проводником вилки SMP (а), СВЧ-вводов и КМПП (б)

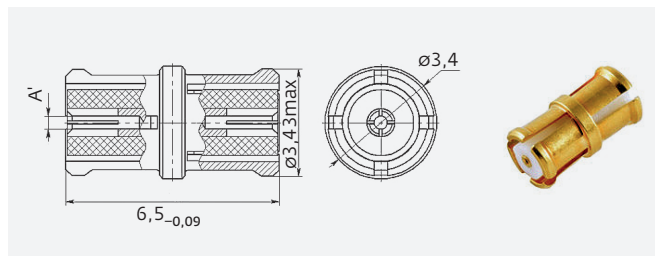


Рис.11. Переход розетка-розетка CP-50-968ФВ

мере это утверждение относится лишь к адаптерам bullet и к некоторым типам прямых кабельных соединителей. Речь идет лишь о том, что в соединителях SMP коаксиальная линия, заполненная твердым диэлектриком, эквивалентна воздушной коаксиальной линии 2,92-мм соединителей, имеющих приемлемый уровень КСВн и потерь на частотах до 40 ГГц [1]. Реальные электрические параметры соединителей SMP зависят от многих факторов: типа соединителей (кабельные, приборные, для установки на платы, прямые или угловые), кабеля и способа его заделки в соединитель, способа установки соединителя в корпус или на плату [1]. Требования к параметрам соединителей SMP приведены в спецификациях DSCC 94007/08 (Defense Supply Center, Columbus). Электрические параметры зарубежных соединителей SMP показаны в табл.1 [1].

Номенклатура и основные параметры отечественных соединителей SMP приведены в табл.2.

К соединителям SMP предъявляются следующие требования:

- максимальное рабочее напряжение 335 В на уровне моря, 65 В – на высоте 21,3 км;
- напряжение пробоя 500 В на уровне моря, 125 В – на высоте 21,3 км;
- минимальное сопротивление изоляции 5000 МОм;
- максимальное сопротивление: центрального проводника 6 МОм, наружного проводника – 2 МОм;
- диапазон рабочих температур: от –65 до 165 °С;
- максимальное усилие сочленения вилки и розетки: 68Н (полное защелкивание), 45Н (ограниченное защелкивание), 9Н (скользящее соединение);
- минимальное усилие расчленения вилки и розетки: 22Н (полное защелкивание), 9Н (ограниченное защелкивание), 2,2Н (скользящее соединение);
- допустимое количество циклов сочленение-расчленение: 100 (полное защелкивание), 500 (ограниченное защелкивание), 1000 (скользящее соединение);
- допустимое радиальное и аксиальное смещение между осями вилки и розетки при сочленении 0,25 мм.

Таблица 1. Основные электрические параметры зарубежных соединителей SMP

Компания	Основные электрические параметры соединителей SMP разных типов					
	Максимальный КСВн (в диапазоне частот, ГГц)			Величина потерь, дБ (на частоте f, ГГц)		Экранное затухание, дБ (в диапазоне частот, ГГц)
	Прямые кабельные соединители*	Угловые кабельные соединители*	Адаптеры bullet	Кабельные соедини- тели*	Адап- теры bullet	Пара вилка-розетка, полное защелкивание
Radiall	1,2 (DC** -18) 1,35 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	1,2 (DC-18) 1,35 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	1,1 (DC-18) 1,15 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	0,12√f		-80 (DC-3)
Rosenberger	1,5 (DC-40)	-	1,5 (DC-40)	0,1√f		-
Amphenol / SV Microwave	1,2 (DC-18) 1,35 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	-	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,7 (26,5-40)	0,1√f	0,12√f	-80 (DC-3) -65 (3-26,5)
АЕР	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,35 (26,5-40)	-	-			-
Telegartner, IMS	1,03+0,02f	1,04+0,03f	-	-	-	-
Spectrum Sabritec	1,5 (DC-40)	-	-	0,1√f	-	-
Corning Gilbert	1,15 (23-26)	-	1,5 (DC-40)	-	-	-
Tyco	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,35 (26,5-40)	-	-	0,1√f		-80 (DC-3) -65 (3-26,5)
Molex	1,5 (DC-26,5)	-	-	0,1/1 ГГц		-65 (DC-26,5)
Phoenix	1,35 (18-26,5)	-	-	0,12√f		-65 (DC-26,5)
Emerson	1,2 (DC-18) 1,35 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	1,2 (DC-18)	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,35 (26,5-40)	0,1√f	0,12√f	-80 (DC-2,5)
Micro Mode	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,35 (26,5-40)	-	-	-	0,12√f	-80 (DC-3) -65 (3-26,5)
Huber+Suhner	1,12 (DC-8) 1,22 (8-40)	1,12 (DC-7) 1,22 (7-26,5)	-	-	-	-70 (DC-26,5)
Требования DSCC 94007/08	1,2 (DC-18) 1,35 (18-26,5) 1,7 (26,5-40)	-	1,1 (DC-23) 1,15 (23-26,5) 1,35 (26,5-40)	0,12√f	0,1√f	-80 (DC-3) -65 (3-26,5)

* Под полужесткий кабель.

** DC (direct current) – постоянный ток.

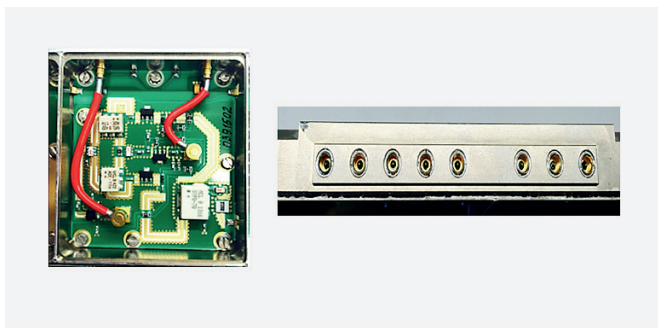


Рис.13. Внешний вид модуля СВЧ: вид сверху (а), вид сбоку (б)

ПРИМЕНЕНИЕ СОЕДИНИТЕЛЕЙ SMP

Благодаря применению соединителей SMP удается значительно уменьшить габаритные размеры и массу изделий, повысить плотность компоновки и снизить стоимость. Соединители SMP привлекли внимание разработчиков СВЧ-изделий не только миниатюрностью (масса адаптера bullet всего 0,17 г, кабельного соединителя – менее 0,75 г), но и отсутствием резьбового соединения пары вилка-розетка. Не менее важно и то, что они обеспечивают быстрое соединение печатных плат и СВЧ-модулей даже при аксиальной и радиальной несоосности до 0,25 мм и минимальном межцентровом расстоянии между соединителями 4,3 мм. Появилась возможность "вслепую" соединять платы без применения кабелей, а с помощью адаптеров bullet – уменьшать расстояние между платами до размеров самого адаптера. Для соединения "вслепую" необходимы вилки SMP с полужесткой и скользящей фиксацией, чтобы уменьшить суммарные усилия по одновременному соединению и разъединению плат. Облегчить соединение "вслепую" помогло и появление в линейке

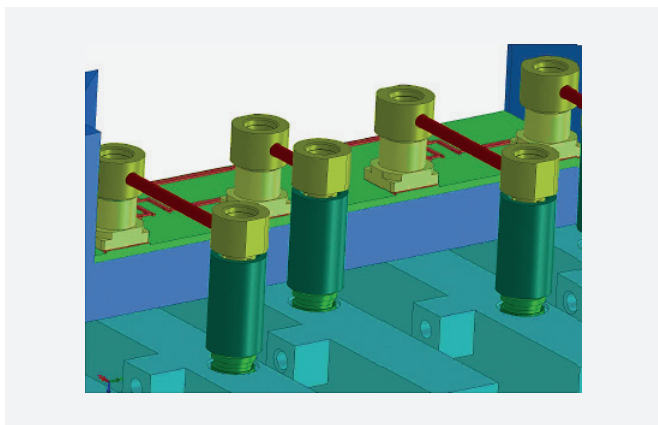


Рис.14. Объемный монтаж СВЧ-устройства с применением вилок для установки на печатную плату, bullet и кабельных сборок

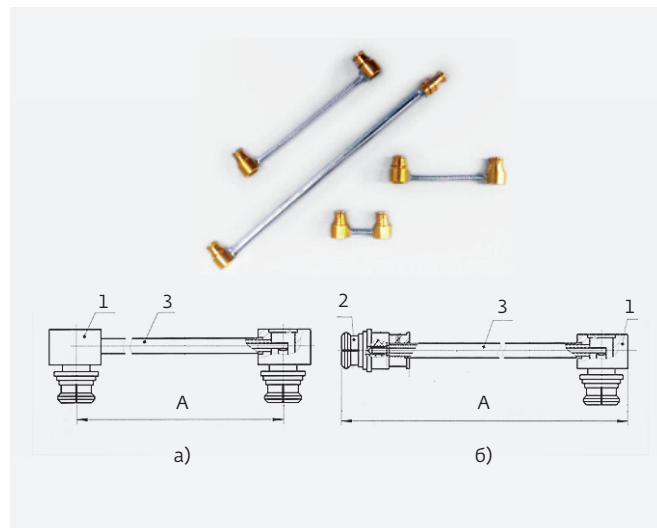


Рис.15. Внешний вид и конструкция кабельных сборок с угловыми соединителями (а), с прямым и угловым соединителями (б). 1 – угловой соединитель, 2 – прямой соединитель, 3 – кабель.

вилки модели catcher's mitt, которая упрощает попадание bullet в вилку [1].

Еще один вариант применения соединителей SMP в составе кабельных сборок – компактное соединение внутри СВЧ-модулей и между ними. Возможно использование в модуле СВЧ (рис.13) герметичных приборных вилок, вилок для поверхностного монтажа в сочетании с кабельными сборками, состоящими из отрезков кабеля Sucoform-86, прямых и угловых соединителей SMP. Кабель Sucoform-86 диаметром 2,1 мм компании Huber+Suhner [5] имеет предельную частоту 40 ГГц и потери менее 2,4 дБ/м на частоте 10 ГГц. В сборках применены кабельные соединители SMP отечественного производства. Фрагмент объемного монтажа СВЧ-устройства с применением вилок для установки на печатную плату, адаптеров bullet и кабельных сборок показан на рис.14.

В устройстве применено большое количество вилок для поверхностного монтажа, адаптеров bullet и кабельных сборок, состоящих из отрезков кабелей Sucoform.86 и 0,047" и кабельных соединителей SMP отечественного производства. Внешний вид и конструкция кабельных сборок показаны на рис.15. Длина кабельных сборок А – от 7 до 100 мм. КСВн и потери в кабельных сборках были измерены в диапазоне частот до 40 ГГц с использованием векторного анализатора MS4644A компании Anritsu (измерения выполнены А.В.Андросовым). Для подключения к портам анализатора были применены зарубежные адаптеры SMP-вилка–2,9 мм-вилка. Чтобы исключить влияние адаптеров, анализатор предварительно калибровали вместе с ними. В результате

Таблица 2. Основные электрические параметры отечественных соединителей SMP

№	Наименование соединителя	Максимальный КСВн (в диапазоне частот, ГГц)	Величина потерь, дБ (в диапазоне частот, ГГц), не более	Экранное затухание, дБ	Зарубежные (компания Rosenberger) и отечественные аналоги
АО "НПП "Исток" (КРПГ.434511.019ТУ)					
1.	Вилка герметичная приборная с полным защелкиванием-вывод КРПГ.433434.054	1,4 (0-40)	0,63 (0-40)	-65	Вилка 19S181-5НОЕ4
2.	Вилка герметичная приборная со скользящим соединением-вывод КРПГ.433434.065	1,4 (0-40)	0,63 (0-40)	-65	Аналогов нет
3.	Розетка кабельная прямая КРПГ.434511.020, кабель 0,047"	1,4 (0-40)	0,63 (0-40)	-65	Розетка 19K101-270L5
4.	Розетка кабельная прямая КРПГ.434511.020-01, кабель РК50-1-23, РК50-1-24				Аналогов нет
5.	Розетка кабельная прямая КРПГ.434511.020-02, кабель 0,086", РК50-1,5-22				Розетка 19K101-271L5
6.	Розетка кабельная угловая КРПГ.434511.019, кабель 0,047"	1,5 (0-26,5)	0,51 (0-26,5)	-65	Розетка 19K202-270L5
7.	Розетка кабельная угловая КРПГ.434511.019-01, кабель РК50-1-23, РК50-1-24				Аналогов нет
8.	Розетка кабельная угловая КРПГ.434511.019-02, кабель 0,086", РК50-1,5-22				Розетка 19K202-271L5
9.	Адаптер вилка-вилка-соединитель КРПГ.434511.021	1,5 (0-26,5)	0,51 (0-26,5)	-65	Аналогов нет
ПАО "ИРЗ" (КАПД.434511.019ТУ)					
10.	Вилка герметичная приборная-переход герметичный микрополосковый СРГ-50-972В	1,35 (0-18)	0,35 (0-18)	-65	Аналоги - соединители АО "НПП "Исток"
11.	Розетка кабельная прямая СР-50-969ФВ, кабель 0,047"	1,6 (0-26,5)	0,55 (0-26,5)	-65	
12.	Розетка кабельная прямая СР-50-969-01ФВ, кабель РК50-1-23, РК50-1-24				
13.	Розетка кабельная прямая СР-50-969-02ФВ, кабель 0,086", РК50-1,5-22	1,6 (0-40)	0,55 (0-40)	-65	Розетка 19K107-270L5
14.	Розетка кабельная прямая СР-50-971ФВ, кабель 0,047"				
15.	Розетка кабельная прямая СР-50-971-01ФВ, кабель РК50-1-23, РК50-1-24				
16.	Розетка кабельная прямая СР-50-971-02ФВ, кабель 0,086", РК50-1,5-22				

Таблица 2. Продолжение

№	Наименование соединителя	Максимальный КСВн (в диапазоне частот, ГГц)	Величина потерь, дБ (в диапазоне частот, ГГц), не более	Экранное затухание, дБ	Зарубежные (компания Rosenberger) и отечественные аналоги
17.	Розетка кабельная угловая СР-50-970ФВ, кабель 0,047"	1,5 (1-26,5)	0,5 (0-26,5)	-65	Аналоги – соединители АО "НПП "Исток"
18.	Розетка кабельная угловая СР-50-970-01ФВ, кабель РК50-1-23, РК50-1-24				
19.	Розетка кабельная угловая СР-50-970-02ФВ, кабель 0,086", РК50-1,5-22				
20.	Переход герметичный вилка-вилка СРГ-50-974В	1,35 (0-18)	0,35 (0-18)	-65	
21.	Переход розетка-розетка СР-50-968ФВ (bullet)	1,6 (0-18)	0,6 (0-18)	-65	SMP f / SMP f bullet 19K101-KOOL5
ЗАО НПФ "Микран"					
22.	Герметичный коаксиально-микроволосковый переход-блочная вилка SMP с полным защелкиванием ПКМ-26-038/1,27	1,3 (0-20)	0,4 (0-20)	-	-
23.	Кабельный прямой РК1-20-16Р-2,1, кабель Sucoform 86	1,2 (0-20)	-	-	-

измерений было установлено, что начиная с частоты 26,5 ГГц КСВн и потери в сборках с угловыми соединителями недопустимо резко возрастали. Сборки с прямыми соединителями сохраняли приемлемый уровень этих параметров во всем частотном диапазоне.

* * *

Соединители SMP позволяют создавать изделия СВЧ-диапазона с улучшенными массогабаритными характеристиками, использовать технологию автоматизированного поверхностного монтажа и снижать стоимость изделий. Неслучайно вслед за Corning Gilbert многие зарубежные компании наладили производство этой продукции. Предприятия предлагают соединители SMP широкой номенклатуры. В этих условиях важно не ошибиться в выборе нужного соединителя. Без тщательного изучения data sheet и технических условий, а иногда и без обращения к производителю невозможно правильно подобрать соединитель SMP. В настоящее время появилась возможность применять

и отечественные аналоги некоторых зарубежных соединителей SMP.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К.Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. – СПб.: Изд-во ЗАО "Медиа Группа Файнстрит", 2014.
2. www.istokmw.ru.
3. www.irkirz.ru.
4. www.micran.ru.
5. www.hubersuhner.com.