

Разработка и производство коаксиальных радиокомпонентов для микроэлектроники СВЧ

К. Джуринский, к. т. н.¹, О. Карлявина¹, С. Мосалова¹

Коаксиальные радиокомпоненты предназначены для передачи сигналов на частотах до 40 ГГц с микрополосковой линии на радиочастотный кабель, подвода питающих напряжений и управляющих сигналов, а также для подавления межсистемных и внутрисистемных электромагнитных помех в современных герметизированных устройствах микроэлектроники СВЧ. Рассмотрим элементную базу коаксиальных радиокомпонентов, разработанных и выпускаемых АО «НПП «Исток» им. Шокина», а также особенности импортозамещения в области радиочастотных соединителей.

АО «НПП «Исток» им. Шокина» разработало и выпускает следующие типы герметичных коаксиальных радиокомпонентов.

1. Коаксиально-микрополосковые переходы (КМПП) с предельной частотой 18 ГГц, «розетка» с метрической (M6×0,75) и дюймовой (0,250-36UNS) резьбой – 4 типа, в том числе 2 типа составных фланцевых КМПП, заменяемых в полевых условиях [1].
2. КМПП с предельной частотой 33 ГГц «розетка» и «вилка» с метрической (M6×0,75) и дюймовой (0,250-36UNS) резьбой – 4 типа (патент РФ на изобретение 1764477, приоритет от 2 января 1990 года).
3. КМПП составной фланцевый в канале 7,0/3,04 мм с предельной частотой 18 ГГц.
4. Адаптеры герметичные с предельной частотой 26 ГГц «розетка – розетка» с метрической и дюймовой резьбой – 4 типа (патент РФ на полезную модель № 131533, приоритет от 18 марта 2013 года).
5. Адаптеры герметичные с предельной частотой 18 ГГц «розетка – розетка» для работы при повышенном до 100 атмосфер давлении – 2 типа.
6. Микроминиатюрные защелкиваемые соединители типа SMP с предельной частотой 40 ГГц:
 - кабельные «розетки» для отечественных и зарубежных кабелей: прямые с предельной частотой 40 ГГц – 3 типа, угловые с предельной частотой 26,5 ГГц – 3 типа;
 - адаптер герметичный с предельной частотой 40 ГГц «вилка – вилка» (патент РФ на полезную модель № 130150, приоритет от 20 декабря 2012 года);
 - «вилка» приборная герметичная с полным защелкиванием и скользящим соединением – 2 типа.
7. Миниатюрные герметичные СВЧ-вводы (волновое сопротивление 50 Ом) с центральными проводниками диаметром 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 мм – 21 тип.
8. Миниатюрные резьбовые и безрезьбовые герметичные фильтры помех с электрической емкостью 1500–4500 пФ и максимальной величиной вносимого затухания 60 дБ для цепей питания – 10 типов.
9. Миниатюрные герметичные фильтры помех с электрической емкостью 70...90 и 140...170 пФ и максимальной величиной вносимого затухания 20 дБ для цепей управления – 2 типа.
10. Миниатюрные низкочастотные вводы и изоляционные стойки с центральным проводником диаметром 0,6 мм – 15 типов.
11. Многовыводные (до 60 выводов) герметичные металlostеклянные узлы по техническим требованиям заказчиков.

РАДИОЧАСТОТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ

Внешний вид и конструкции стандартных (в соответствии с ГОСТ РВ51914-2002) радиочастотных соединителей с метрической и дюймовой резьбой показаны на



Рис. 1. Стандартные радиочастотные соединители с дюймовой и метрической резьбой

¹ АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Таблица 1. Основные технические характеристики радиочастотных соединителей

Обозначение соединителя (тип по ГОСТ РВ51910-2002), технические условия	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц			СВЧ- потери, дБ	Экранное затухание, дБ	Масса, г	Рис.
	1...10	1...18	1...33				
КРПГ.434511.015 (IX), КРПГ.434511.015 ТУ	-	1,3	-	0,25	-90	1,0	2-1
ТС2.236.072 (IX), «розетка» ТС0.223.014 ТУ	1,15	1,25	1,40	0,30	-90	1,2	2-2
ТС2.236.072-01 (IX), «розетка» ТС0.223.014 ТУ	1,10	1,25	1,40	0,30	-90	1,2	2-1
ТС2.236.074 (IX), «вилка» ТС0.223.020 ТУ	1,15	1,30	1,43	0,35	-90	2,4	2-3
КРПГ.434511.004-02 и КРПГ.434511.004-03(IX) с СВЧ-вводами КРПГ.433434.015-02, КРПГ.433434.015-03, КРПГ.434511.004 ТУ	-	1,35	-	0,40	-60	2,0	2-4
КРПГ.468562.024 (IX) «розетка-розетка» КРПГ.468562.024ТУ	-	1,25	-	0,30	-60	1,8	2-5
КРПГ.434511.016 (III) «розетка» с СВЧ-вводом КРПГ.433434.048; КРПГ.434511.016 ТУ	-	1,30	-	0,30	-60	25	2-6

рис. 1 и 2, защелкиваемых микроминиатюрных радиочастотных соединителей типа SMP – на рис. 3 и 4, а технические характеристики соединителей приведены соответственно в табл. 1 и 2.

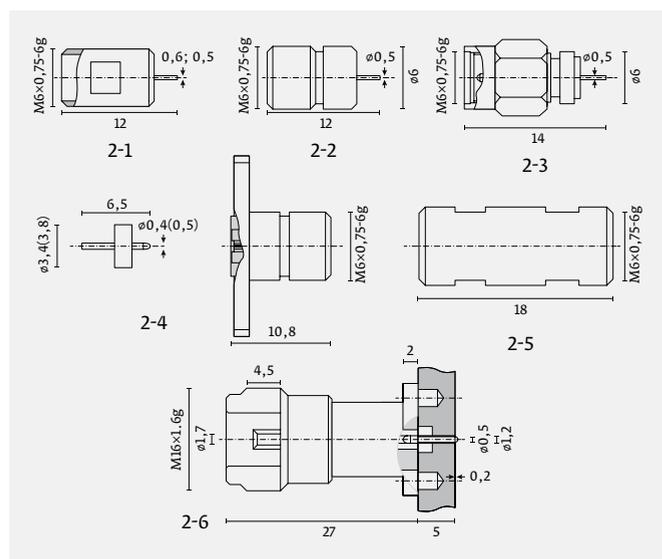


Рис. 2. Конструкции стандартных радиочастотных соединителей. Обозначения соединителей приведены в табл. 1

Материалы и покрытия

- корпус – нержавеющая сталь, бериллиевая бронза, сплав 29НК, латунь, покрытие – износостойкое золото;
- гнездовой контакт – бериллиевая бронза, покрытие – износостойкое золото Ni.Зл-Ко(99,9)З – сплав золото-кобальт по подслою никеля; центральный проводник – сплав 29НК, покрытие – износостойкое золото.

КМПП или СВЧ-ввод соединяются с МПЛ тонкой перемычкой, припаянной или приваренной к торцу центрального проводника и полоску МПЛ. Область соединения – уязвимое место при циклическом изменении температуры и механических воздействиях. Для повышения надежности и улучшения технологии сборки разработано соединение с применением скользящего контакта – рис. 5 [1].

Скользящий контакт представляет собой покрытую золотом миниатюрную цангу из термически упроченной



Рис. 3. Внешний вид радиочастотных соединителей типа SMP

сигналов, изоляционные стойки – для обеспечения внутренних вибропрочных соединений в герметизированных изделиях микроэлектроники СВЧ. Внешний вид и конструкции разработанных в АО «НПП «Исток» им. Шокина» низкочастотных вводов, изоляционных стоек и некоторых многовыводных металlostеклянных узлов показаны на рис. 8, а их геометрические размеры и состав покрытия металлических поверхностей приведены в табл. 4.

Технические характеристики

Сопrotивление изоляции, не менее 5 000 МОм
Герметичность $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па/с
Диапазон рабочих температур – 60...125 °С

МИНИАТЮРНЫЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Помехоподавляющие фильтры предназначены для подавления межсистемных и внутрисистемных электромагнитных помех в цепях питания, а также для развязки по СВЧ в радиоэлектронной аппаратуре. АО «НПП «Исток» им. Шокина» выпускает не имеющие отечественных аналогов миниатюрные герметичные резьбовые и безрезьбовые L–C-фильтры нижних частот, а также кабельный фильтр для подвода питающего напряжения при помощи радиочастотного кабеля.

Внешний вид и конструкции помехоподавляющих фильтров АО «НПП «Исток» им. Шокина» показаны на рис. 9, а их технические характеристики приведены в табл. 5.

Технические характеристики

Герметичность $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па/с
Сопrotивление изоляции, не менее 5 000 МОм
Допустимая температура кратковременного нагрева 260 °С
Номинальное напряжение 100 В
Номинальный ток 5 А
Диапазон рабочих температур –60...125 °С
Покpытие металлических поверхностей ... НЗ.Пд-Н(80)6
Масса, не более 0,6 г; 1,4 г (фильтр № 10)

Кабельный фильтр «розетка» работает в сочетании со стандартными вилками СР-50-724 ФВ, СР-50-726 ФВ, выпускаемыми по техническим условиям ВРО.364.049 ТУ.

ОБ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Оборонно-промышленному комплексу (ОПК) страны нужны собственные радиочастотные соединители [3]. Но полная замена всех зарубежных соединителей в настоящее время не по силам отечественной промышленности, так как номенклатура импортных

Таблица 3. Геометрические размеры и состав покрытия металлических поверхностей СВЧ-вводов

Обозначение	Геометрические размеры, мм					Состав покрытия металлических поверхностей
	D	d	l	l ₁	L	
ТС3.575.343	2,4	0,3	1,0	4,0	6,0	НЗ.О-Ви(99,7)6
ТС3.575.343-01	2,4	0,3	2,0	2,0	6,0	НЗ.Зл2, НЗ.О-Ви(99,7)6
ТС3.575.343-02	2,4	0,3	2,0	2,0	4,6	НЗ.Зл2, НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.015	3,4	0,4	2,0	1,8	7,5	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.015-01	3,8	0,5	2,0	1,8	7,5	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.015-02	3,4	0,4	2,0	1,8	6,5	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.015-03	3,8	0,5	2,0	1,8	6,5	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.015-04	3,8	0,5	2,0	3,5	9,2	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.015-05	3,8	0,5	2,0	3,5	11,0	Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.003	4,7	0,6	2,0	0,95	7,5	НЗ.Зл2
КРПГ.433434.003-01	4,7	0,6	2,0	0,95	7,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.003-02	4,7	0,6	2,0	6,5	12	НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.003-03	4,7	0,6	2,0	0,95	6,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.003-04	4,7	0,6	2,0	2,75	7,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.068	3,4	0,8	4,5	3,0	13,0	НЗ.Зл2
ТС3.575.425	4,7	0,6	6,0	2,7	10,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
ТС3.575.425-01	4,7	0,6	3,5	1,6	7,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.048	Рис. 7, г					Н1.Зл-Ко(99,9)3
КРПГ.433434.030	3,8	0,5	2,0	3,8	9,5	НЗ.Зл2, НЗ.О-Ви(99,7)6
КРПГ.433434.030-01	3,8	0,5	2,0	7,8	13,5	НЗ.Зл2, НЗ.О-Ви(99,7)6
ТС3.575.560	2,4	0,5	-	2,0	6,5	Н1.Зл-Ко(99,9)3

Примечание. Технические условия – ТС0.357.004 ТУ.

изделий разрослась до многих сотен наименований. К тому же некоторые перспективные зарубежные соединители невозможно воспроизвести в разумные сроки вследствие многолетнего отсутствия нужных

специалистов, необходимых материалов, технологий и оборудования.

По нашему мнению, объектом разработки и серийного производства в ближайшее время должны стать



Рис. 6. Внешний вид СВЧ-вводов

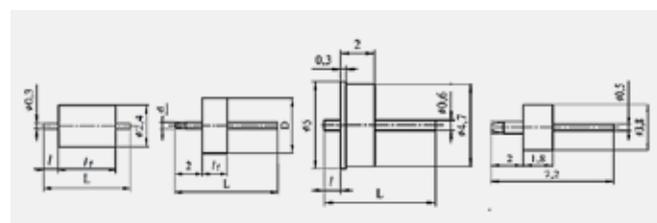


Рис. 7. Конструкции СВЧ-вводов. Номера вводов приведены в табл. 3

Таблица 4. Геометрические размеры и состав покрытия металлических поверхностей низкочастотных вводов и изоляционных стоек

Номер ввода, стойки	Обозначение	Геометрические размеры, мм			Состав покрытия металлических поверхностей
		l_1	l_2	L	
Вводы (рис. 8б)					
1	ТС3.575.337, КРПГ433434.005	2,35	2,6	7,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
2	ТС3.575.337-01	4,50	1,5	7,5	НЗ.Зл2
3	ТС3.575.337-02	4,50	2,0	10,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
4	ТС3.575.337-03, КРПГ433434.005-02	2,35	2,6	7,5	НЗ.Зл2
5	ТС3.575.337-04	4,50	1,5	7,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
6	ТС3.575.337-05	4,50	2,0	10,5	НЗ.Зл2
7	ТС3.575.337-06	4,50	5,0	14,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
8	ТС3.575.337-07	4,50	3,8	12,0	НЗ.О-Ви(99,7)6
9	ТС3.575.337-08	4,50	3,8	12,0	НЗ.Зл2
10	КРПГ433434.005-01	2,35	5,5	10,5	НЗ.О-Ви(99,7)6
11	КРПГ433434.005-03	2,35	5,5	10,5	НЗ.Зл2
Изоляционные стойки (рис. 8в)					
12	ТС4.886.004, КРПГ687213.001-01	2,35	2,6	5,2	НЗ.О-Ви(99,7)6
13	КРПГ687213.001	2,35	1,5	4,2	НЗ.О-Ви(99,7)6
14	КРПГ687213.001-02	2,35	1,5	4,2	НЗ.Зл2
15	КРПГ687213.001-03	2,35	2,6	5,2	НЗ.Зл2

Примечание. Технические условия – ТСО.357.003ТУ

миниатюрные герметичные радиочастотные соединители широкого применения, работающие в широком диапазоне частот 0...50 ГГц. Соединители должны быть радиационно-стойкими (для устройств космического назначения), изготовлены из отечественных материалов, предусматривать модификации для поверхностного монтажа на печатные платы.

Проблемы, возникающие при воспроизведении зарубежных соединителей, рассмотрены в работе [4]. Отметим главную из них – отсутствие производства в нашей стране ряда стратегически важных материалов, необходимых для создания указанных соединителей, а именно:

- радиационно-стойких полимерных изоляционных материалов для замены широко применяемого фторопласта Ф4. За рубежом разработаны и широко

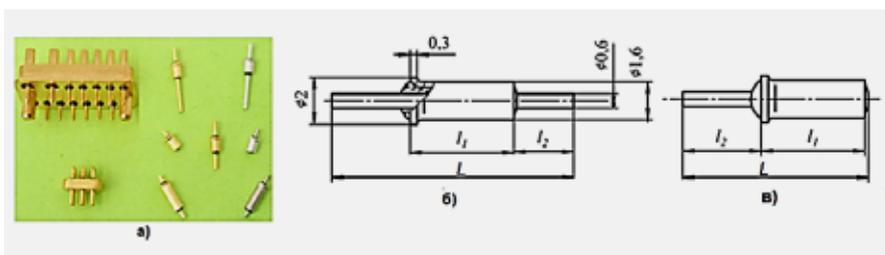


Рис. 8. Внешний вид и конструкции металлостеклянных узлов (а), низкочастотных вводов (б) и изоляционных стоек (в)

применяются радиационно-стойкие полимеры Torlon, Ultem, Noryl (PPO) и др. [5];

- стекла с диэлектрической проницаемостью 4,0–4,1 и тангенсом угла диэлектрических потерь $20 \cdot 10^{-4}$ – аналога зарубежного стекла Corning 7070. Большая часть герметичных зарубежных соединителей с предельной частотой 26,5–65 ГГц выполнена с применением стекла Corning 7070 [1];

Таблица 5. Основные технические характеристики помехоподавляющих фильтров

№ п.п.	Обозначение фильтров	Ем-кость, пФ	Вносимое затухание, дБ, не менее, на частотах, ГГц					Геометрические размеры, мм (рис. 4)							
			0,01	0,1	1,0	10	18	D	D ₁	l ₁	l ₂	L	l ₃	M	l ₄
1	ТС2.263.017							4,0	3,4	4,0	8,0	13,0	2,5	-	-
2	ТС2.263.017-01	≥4500	15		30		55	-	-	-	8,0	13,0	2,5	M4×0,5	3,2
3	ТС2.263.017-02							4,0	3,4	6,0	8,0	14,5	4,0	-	-
4	КРПГ.433553.001							-	-	-	6,0	10,0	2,5	M4×0,5	3,5
5	КРПГ.433553.001-01	≥2500	5	15	30	45	55	4,0	3,4	2,5	6,0	10,0	2,5	-	-
6	КРПГ.433553.001-02							4,0	3,4	3,5	6,0	10,0	2,5	-	-
7	КРПГ.433553.002							3,2	2,6	3,5	6,0	10,0	2,5	-	-
8	КРПГ.433553.002-01	≥2500	-	5	15	30	45	-	-	-	6,0	10,0	2,5	M3×0,5	2,5
9	КРПГ.433553.002-02	≥1500	-	3	10	25	35	3,2	2,6	1,4	4,0	8,0	2,5	-	-
10	КРПГ.433553.003	≥2500		15	30	45	55								Рис. 9
11	КРПГ.433553.005	140–170	-	3	10	15	25								
12	КРПГ.433553.005-01	70–90	-	-	10	15	25	4,0	3,4	2,5	6,0	13,0	4,0	-	-

Примечание. Технические условия на фильтры № 1–3 – ТСО.226.004ТУ, фильтры № 4–9 – ТСО.028.052ТУ, фильтр № 10 – КРПГ.433553.003ТУ, фильтры № 11–12 – КРПГ.433553.005ТУ.

- клея-герметика с диэлектрической проницаемостью приблизительно 2,9 и допустимой температурой нагрева 270...290 °С, необходимого при разработке миниатюрных соединителей для поверхностного монтажа на печатные платы.

Кроме того, необходимо корректировать при соединительные размеры и электрические параметры,

предусмотренные отечественными стандартами на радиочастотные соединители: ГОСТ РВ 51914-2002, ГОСТ 13317-89 и ГОСТ 20265-83. В ГОСТ РВ 51914-2002 и 20265-83 требуется ввести широко применяемый тип соединителей 2,92 мм с предельной частотой 40 ГГц [1].

ЛИТЕРАТУРА

- Джуринский К. Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д. т. н. Борисова А. А. – СПб: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файн-стрит». 2014. 426 с.
- www.irkirz.ru. Новые разработки.
- Евсеев В., Наливкин И. Импортозамещение ЭКБ и развитие радиоэлектроники. Обсуждение проблемы // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 8. С. 156–159.
- Джуринский К. Радиочастотные соединители. Импортозамещение или снижение зависимости от импорта // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 8. С. 66–71.
- Джуринский К., Прокимов А., Смирнова Ю. Перспективные изоляционные материалы для радиочастотных кабелей и соединителей // Компоненты и технологии. 2017. № 2. С. 105–113.

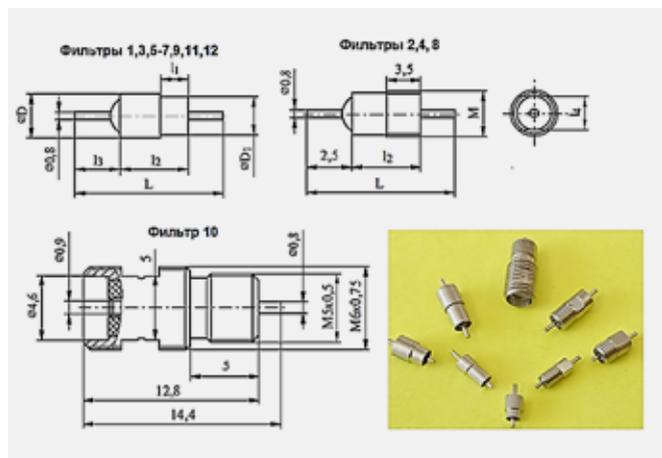


Рис. 9. Конструкции и внешний вид фильтров. Номера фильтров приведены в табл. 5