

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.

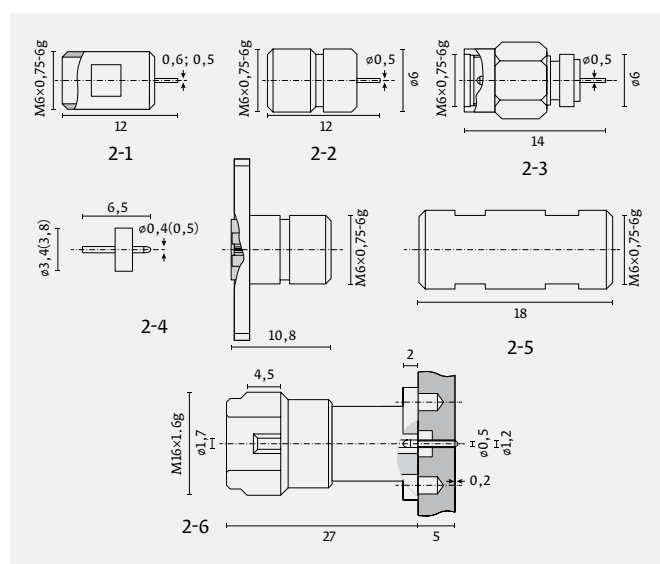


Рис. 2. Конструкции стандартных радиочастотных соединителей. Обозначения соединителей приведены в табл. 1

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

Таблица 2. Технические характеристики соединителей типа SMP

Обозначение соединителя (КРПГ.434511.019ТУ)	Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	Потери СВЧ, дБ	Экранное затухание, дБ	Масса, г	Рис.
Прямые кабельные соединители «розетка»:					
КРПГ.434511.020 – кабель 0,047', РК50-1-24.	1,4 (0–40)	0,63	–65	0,25	4–1
КРПГ.434511.020-01 – кабель РК50-1-23.					
КРПГ.434511.020-02 – кабель 0,085', РК50-1,5-22					
Угловые кабельные соединители «розетка»:					
КРПГ.434511.019 – кабель 0,047', РК50-1-24.	1,5 (0–26,5)	0,51	–65	0,5	4–2
КРПГ.434511.019-01 – кабель РК50-1-23.					
КРПГ.434511.019-02 – кабель 0,085', РК50-1,5-22					
Вывод приборный «розетка» КРПГ.433434.054	1,4 (0–40)	0,63	–65	0,1	4–3
Адаптер герметичный «вилка – вилка» КРПГ.434511.021	1,5 (0–40)	0,51	–65	0,64	4–4

бериллиевой бронзы БрБ2, оканчивающуюся лепестком для соединения с МПЛ. При сборке скользящий контакт надевают на центральный проводник, а лепесток припаивают или приваривают к полоску МПЛ. При воздействии температуры и вибрации контакт скользит по поверхности центрального проводника соединителя, что предотвращает образование напряжений в соединении с МПЛ. АО «НПП «Исток» им. Шокина» разработало конструкцию скользящего контакта (патент РФ на полезную модель № 162470, приоритет 12 октября 2015 года), которая реализована Иркутским релейным заводом [2].

МИНИАТЮРНЫЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ СВЧ-ВВОДЫ

Герметичные металlostеклянные вводы с волновым сопротивлением 50 Ом используют для внутрисхемных

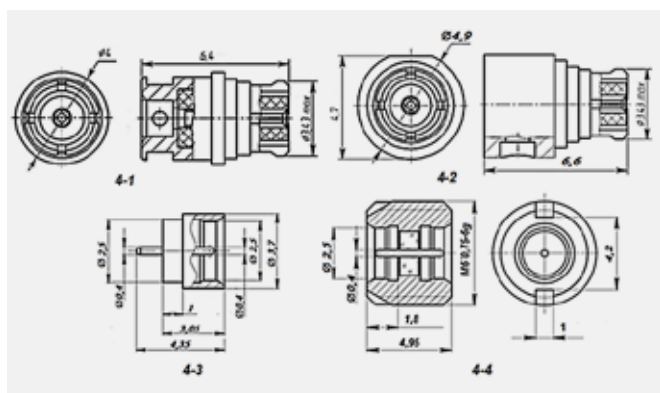


Рис. 4. Конструкции соединителей типа SMP. Обозначения соединителей приведены в табл. 2

и межблочных соединений, а также в составе составных коаксиально-микрополосковых переходов в изделиях микроэлектроники СВЧ. Внешний вид и конструкции разработанных СВЧ-вводов показаны на рис. 6 и 7, а их геометрические размеры и состав покрытия металлических поверхностей приведены в табл. 3.

Технические характеристики

Потери СВЧ, менее 0,1 дБ
 Сопротивление изоляции, более 5 000 МОм
 Герметичность $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па / с
 Диапазон рабочих температур –60...125 °С

МИНИАТЮРНЫЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВВОДЫ И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТОЙКИ

Герметичные низкочастотные вводы предназначены для ввода напряжений питания и низкочастотных

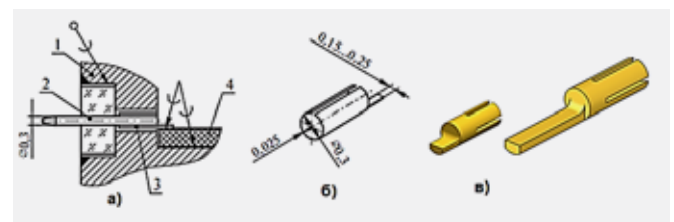


Рис. 5. Соединение СВЧ-ввода с МПЛ при помощи скользящего контакта (а), конструкция контакта (б) и его внешний вид (в): 1 – корпус изделия, 2 – СВЧ-ввод, 3 – скользящий контакт, 4 – плата с МПЛ

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

Сопротивление 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
Сопротивление 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
Покрытие 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

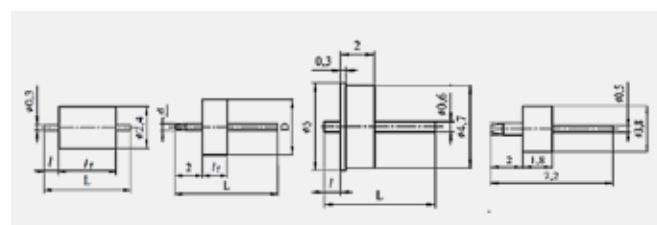


Рис. 7. Конструкции СВЧ-вводов. Номера вводов приведены в табл. 3

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

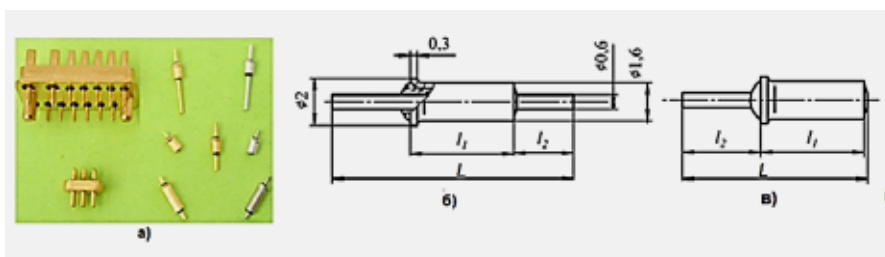


Рис. 8. Внешний вид и конструкции металлостеклянных узлов (а), низкочастотных вводов (б) и изоляционных стоек (в)

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.

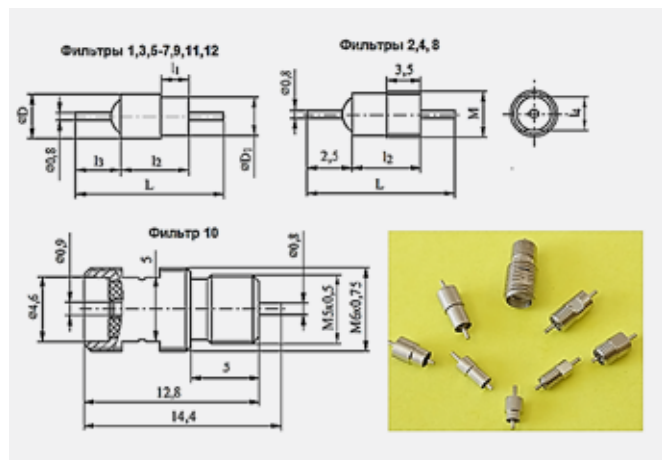


Рис. 9. Конструкции и внешний вид фильтров. Номера фильтров приведены в табл. 5