

# Зарубежные миниатюрные фильтры нижних частот.

## Ключ к информации о фильтрах

Кива ДЖУРИНСКИЙ,  
к. т. н.

Разработчики радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона все чаще применяют импортные фильтры нижних частот для подавления электромагнитных помех в цепях питания и импульсных сигналов [1], что позволяет выполнить разработку надежнее и оперативнее. Но для этого необходимо понимать и уметь анализировать зарубежную информацию о фильтрах: каталоги, рекламные листы, более подробное описание конкретного типа фильтра (data sheet), чтобы правильно выбрать необходимые фильтры. В журнале «Компоненты и технологии» опубликован аналогичный материал о зарубежных радиочастотных соединителях [2]. Настоящая статья призвана помочь потребителям и дистрибьюторам ориентироваться в зарубежной информации о миниатюрных фильтрах нижних частот, применяемых в радиоэлектронной аппаратуре.

### Фирмы — производители фильтров

За рубежом фильтры нижних частот разрабатывает и выпускает ряд фирм. Информация о самых известных компаниях приведена в таблице 1.

Таблица 1. Ведущие фирмы — производители фильтров

№№ п/п	Компания	Страна	Сайт
1	Spectrum Control, Inc.	США, Германия	<a href="http://www.spectrumcontrol.com">www.spectrumcontrol.com</a>
2	Tusonix, Inc.	Франция	<a href="http://www.tusonix.com">www.tusonix.com</a>
3	Eurofarad	Франция	<a href="http://www.eurofarad.com">www.eurofarad.com</a>
4	Syfer Technology, Ltd.	Англия	<a href="http://www.syfer.com">www.syfer.com</a>
5	Corry Micronics, Inc.	США	<a href="http://www.cormic.com">www.cormic.com</a>
6	Oxley Development Co., Ltd.	США	<a href="http://www.oxleygroup.com">www.oxleygroup.com</a>
7	Advanced Monolithic Ceramics, Inc., A Johnson Comp.	США	<a href="http://www.amccaps.com">www.amccaps.com</a>
8	MuRata Electronics	Япония, США	<a href="http://www.murata.com">www.murata.com</a>

Лидирующую роль в разработке и производстве фильтров играют фирмы США, Франции, Англии, Германии и Японии. В последнее время производство конденсаторов и фильтров для поверхностного монтажа быстрыми темпами наращивают производители из стран Юго-Восточной Азии.

### Конструкция фильтров

Основное назначение фильтров — подавление электромагнитных помех, нарушающих нормальную работу радиотехнических устройств. Проходные фильтры являются фильтрами нижних частот и состоят из керамического конденсатора и ферритовой индуктивности. Они имеют высокое сопротив-

ление изоляции и малую собственную индуктивность, что предотвращает нежелательные резонансные явления.

Электрические параметры фильтра определяются в основном электрической емкостью конденсатора. Применяют конденсаторы трубчатые (tubular capacitors) и многослойные дисковые (discoidal multilayer capacitors) (рис. 1). Величина электрической емкости конденсатора и ее стабильность зависят от керамического материала.

В зарубежных фильтрах нашли применение керамические материалы (на основе титаната бария) трех групп: COG/NPO (сверхстабильные), X7R (стабильные), а также Z5U, Y5V, X7W (общего применения). При использовании керамики COG/NPO с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 10-100$  максимальное изменение электрической емкости не превышает 30 ppm/°C (ppm — parts per million, число единиц на миллион) в диапазоне температур от -55 до +125 °C. Для материала X7R ( $\epsilon = 2000-4000$ ) изменение емко-

сти составляет  $\pm 15\%$ , а для материалов Z5U, Y5V и X7W ( $\epsilon = 5000-25\ 000$ ) — соответственно +22...-56, +22...-56 и +40...-90%.

В 1990-х годах компания AMP разработала фильтры на основе композиционного феррит-титанатного материала. В них на ферритовый сердечник нанесен слой керамики с высокой диэлектрической проницаемостью.

Трубчатые конденсаторы изготавливают с электрической емкостью от 10 пФ до 0,1 мкФ. Многослойные дисковые конденсаторы могут иметь емкость от 100 пФ до 10 мкФ. Минимальный наружный диаметр дискового конденсатора — 2 мм, внутренний диаметр — 0,5 мм.

Индуктивный элемент фильтров представляет собой кольца или трубки из термостабильного феррита (ferrite bead), надетые на центральный вывод фильтра.

### Группы фильтров

Основные группы фильтров представлены в таблице 2.

Самую большую группу составляют фильтры, монтируемые в корпуса изделий. В нее входят миниатюрные резьбовые и безрезьбовые фильтры, герметизированные компаундом и металлоглазным спаем, фильтры для прессовой посадки, фильтры для больших токов и напряжений, так называемые strip-фильтры, «глазковые» фильтры и керамические фильтры для устройств во взрывобезопасном исполнении (рис. 2а).

Большая группа керамических фильтров для поверхностного монтажа (рис. 2б) включает: 1. 3-выводные конденсаторы — чипы групп 0805, 1205 и 1806 с размерами соответствен-



Рис. 1. Трубчатые и дисковые многослойные конденсаторы

Таблица 2. Группы фильтров

№	Группа	Изображение
1	Chassis mount filters	Фильтры, монтируемые в корпуса и панели изделий
2	Surface mount filters	Фильтры для монтажа на поверхность печатной платы
3	Filter plates, Filter plate assemblies	Сборки фильтров с различными электрическими схемами на металлических платах
4	Filtered terminal blocks	Фильтрующие многовыводные блоки. Количество фильтров в блоке — не более 12
5	Filtered connectors and adapters, Filtered connector modules	Многовыводные фильтрующие соединители и адаптеры со штыревым и гнездовым контактами для изделий с плотной компоновкой

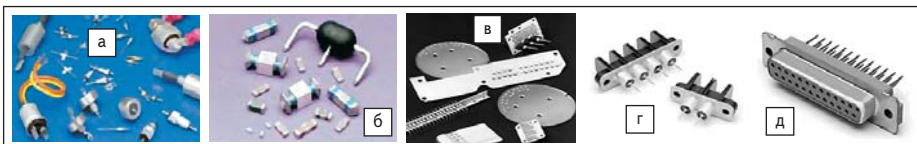


Рис. 2. Группы фильтров: а) монтируемые в корпуса и панели изделий; б) для монтажа на поверхность печатной платы; в) для монтажа на платы с фильтрами; г) фильтрующие блоки; д) фильтрующие соединители

но  $2 \times 1,25 \times 0,8$ ;  $3,2 \times 1,25 \times 0,7$  и  $4,5 \times 1,6 \times 1,0$  мм. Рабочий ток фильтров — до 2 А, напряжение — до 100 В, рабочий диапазон температур:  $-55 \dots +125$  °С. Разработаны фильтры с электрической емкостью от 22 пФ до 470 нФ.

- Неполярные фильтры с электрической схемой  $L-C$  и  $P_i$  — чипы групп 0805 и 1205, рассчитанные на рабочий ток 100 мА и напряжение 25 В. Фильтры эффективно подавляют электромагнитные помехи, начиная с частоты 220 МГц.
- 3-выводные конденсаторы и неполярные фильтры применяют в сотовых телефонах, базовых станциях, аудио- и видеотехнике.
- Мощные  $C$ - и  $P_i$ -фильтры серий SSM и PSM (обозначение компании Spectrum Control), рассчитанные на токи соответственно 10 и 20 А. Фильтры имеют электрическую емкость до 2000 пФ (SSM) и до 10 000 пФ (PSM) и эффективно подавляют электромагнитные помехи в диапазоне частот до 18 ГГц. Область применения фильтров — усили-

тели мощности, источники питания, устройства управления электродвигателями.

В фильтрующие сборки (Filter array assemblies) входят платы и блоки с установленными фильтрами. Применение фильтрующих сборок обеспечивает снижение стоимости устройств и повышение их надежности за счет устранения ошибок при выполнении электрической разводки. В фильтрующих платах установлены ряды фильтров с минимальным расстоянием между осями фильтров 2 мм (рис. 2в). Изготавливают платы с разнообразным расположением фильтров с электрической схемой  $C$  и  $P_i$  и емкостью до 5000 пФ для эффективного подавления электромагнитных помех на частотах до 18 ГГц. Рабочий ток фильтров 5 А, напряжение 50 В, рабочий диапазон температур:  $-55 \dots +125$  °С. По желанию заказчика могут быть изготовлены сборки прямоугольной, круглой или иной формы.

Разработаны и выпускаются фильтрующие блоки разнообразного конструктивного испол-

полнения с количеством фильтров в блоке от 2 до 12 (рис. 2г). Допустимые ток и напряжение соответственно равны 20 А и 250 В. Блоки имеют жесткую конструкцию и предназначены для эффективного подавления помех на частотах до 18 ГГц в источниках питания, системах распределения мощности, телекоммуникационном оборудовании.

Фильтрующие соединители (рис. 2д) нашли широкое применение в современных радиотехнических устройствах. Замена стандартных низкочастотных соединителей на соединители со встроенными фильтрующими элементами — экономически эффективное решение обеспечения электромагнитной совместимости при создании надежных устройств с высокой плотностью компоновки. Разработаны и выпускаются фильтрующие соединители в герметичном исполнении, а также для эксплуатации при жестких условиях. Наиболее известны D-субминиатюрные фильтрующие соединители.

### Конструктивные особенности

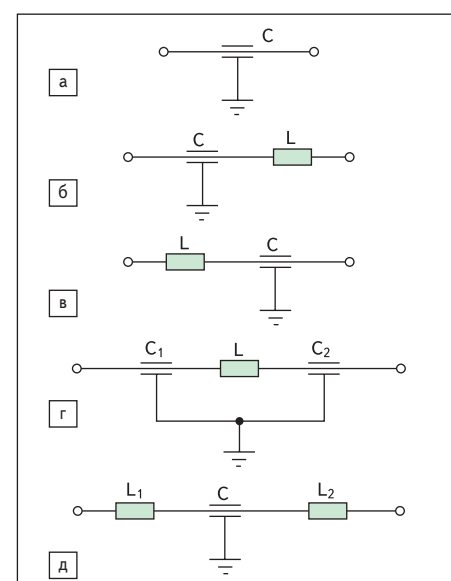
Основные конструктивные исполнения зарубежных фильтров приведены в таблице 3. На рис. 3 показаны электрические схемы однозвенных фильтров нижних частот.

C-фильтр (рис. 3а), включенный между источником помехи и нагрузкой, шунтирует электромагнитную помеху на «землю», и она не попадает на нагрузку. Емкость фильтра для цепей питания должна быть тем большей величины, чем меньше сопротивление нагрузки. Этот фильтр является наиболее экономичным средством подавления помех в устройствах высокоскоростного переключения и в цифровых устройствах, так как он имеет наиболее низкую собственную индуктивность.

L-C-фильтр применяют в электрических цепях с несбалансированными сопротивле-

Таблица 3. Конструктивные исполнения зарубежных соединителей

№	Конструктивное исполнение	
	Обозначение в зарубежной документации	Отечественное обозначение
1	EMI (electromagnetic interference) suppression filter	Фильтр для подавления электромагнитных помех
2	Low-pass filters	Фильтры нижних частот для подавления электромагнитных помех в широком диапазоне частот, начиная с частоты среза
3	Circuit Configurations, Electrical Configurations are available in filters: $C$ $L-C$ $P_i$ $T$	Электрические схемы фильтра (рис. 3). Прходной 3-выводной конденсатор с низкой индуктивностью (рис. 3а); • состоит из одного индуктивного и одного емкостного элементов (рис. 3б, в); • содержит два емкостных и один индуктивный элемент, включенный между ними (рис. 3г); • состоит из двух индуктивных и одного емкостного элементов (рис. 3д)
4	Panel mount screw — in filters, Screw mounted filters, Threaded filters, Bolt-in filters	Фильтры с резьбой на корпусе для резьбового соединения с корпусом изделия (рис. 4а). Электрическая схема фильтров — $C$ , $L-C$ , $P_i$ . Резьба от 2–56 UNC до 5/16–24 UNF
5	Solder-in filters, Solder mounted filters, Solder-in styles filters	Миниатюрные проходные безрезьбовые фильтры, впаиваемые в корпус изделия, герметизированные металлокерамическим спаем (рис. 4б) или эпоксидным компаундом (рис. 4в)
6	Spin filters, Spanner Bushing Feedthrus, Spanner head filters	Миниатюрные резьбовые (резьба 2–56 UNC) фильтры без шестигранной головки для применения (в сочетании с компонентами для поверхностного монтажа) в изделиях с плотной компоновкой (рис. 4г)
7	Press fit filter	Фильтр с накаткой на корпусе для прессовой посадки в корпус изделия (рис. 4д)
8	Resin sealed filters, Epoxy sealed filters	Безрезьбовые и резьбовые фильтры, герметизированные с обоих торцов корпуса эпоксидным компаундом. Электрические схемы фильтров — $C$ , $L-C$ , $P_i$ и $T$
9	High Current/ Voltage filters	Резьбовые фильтры, работающие при токах до 100 А и напряжениях до 1250 В (рис. 4е)
10	Hermetic filters	Фильтры, герметизированные металлокерамическим спаем. Герметичность фильтров (скорость натекания) $10^{-8} \dots 10^{-10}$ м <sup>3</sup> ·Па/с
11	Eyelet style filters, Filter pin	Миниатюрные «глазковые» фильтры с электрической схемой $C$ и $P_i$ (рис. 4ж)
12	Bulkhead filter	Прходной фильтр, устанавливаемый в отверстие панели и закрепляемый с обратной стороны гайкой и шайбой
14	Explosion proof filters	Резьбовые и безрезьбовые фильтры с электрической схемой $P_i$ для устройств во взрывобезопасном исполнении

Рис. 3. Электрические схемы фильтров: а) C-фильтра; б, в) L-C-фильтра; г)  $P_i$ -фильтра; д) T-фильтра

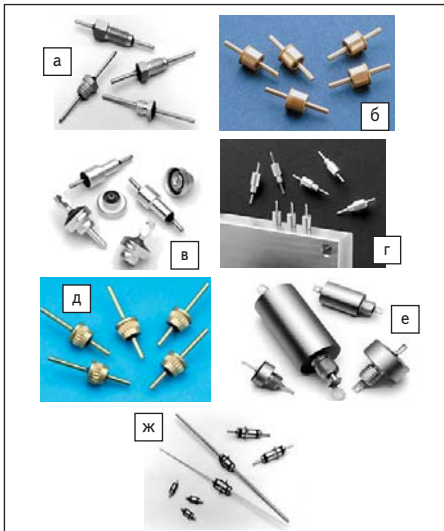


Рис. 4. Основные типы фильтров:

- а) резьбовые, герметизированные компаундом;  
 б) безрезьбовые, герметизированные металлоглазным спаем;  
 в) безрезьбовые, герметизированные компаундом;  
 г) резьбовые без шестигранной головки;  
 д) для прессовой посадки;  
 е) для больших напряжений и токов; ж) глазковые

ниями источника помехи и нагрузки. Возможны два варианта включения  $L$ - $C$ -фильтра. При низком сопротивлении источника и высоком сопротивлении нагрузки применяют схему рис. 3б, в противоположном случае — схему, представленную на рис. 3в. Для правильного выбора должны быть известны величины этих сопротивлений во всем диапазоне рабочих частот. Если они не известны, правильнее выбирать схему рис. 3в.

$P_i$ -фильтр (рис. 3г) наиболее эффективен в электрических цепях с неизвестными или отличающимися друг от друга сопротивлениями источника и нагрузки. Его применение предполагает низкие сопротивления источника и нагрузки. Наличие второго конденсатора значительно улучшает эффективность подавления помех.  $P_i$ -фильтры не рекомендуются использовать в цепях коммутации.

$T$ -фильтр (рис. 3д) предназначен для применения в цепях коммутации при высоких сопротивлениях источника и нагрузки.

Кроме того, применяют двойные  $P_i$  и  $T$ -схемы.

Фильтры различных конструкций показаны на рис. 4.

Миниатюрные фильтры в подавляющем большинстве герметизированы эпоксидным компаундом с низким коэффициентом термического расширения (рис. 4а, в). Компаунд, заполняющий внутренние полости в корпусе фильтра, поддерживает вывод фильтра, повышает жесткость конструкции и защищает конденсатор от воздействия влаги из окружающей среды. Требование герметичности к этим фильтрам не предъявляют. В перечне типовых испытаний согласно стандарту MIL-F-28861 испытание на герметичность для них исключено.

Фильтры, герметизированные металлоглазным спаем, выпускают двух типов:

- миниатюрные безрезьбовые фильтры, в основном проходные конденсаторы (рис. 4б);
- мощные резьбовые фильтры для больших токов и напряжений (рис. 4е).

Зарубежные компании не производят миниатюрные резьбовые фильтры, герметизированные металлоглазным спаем, хотя такие фильтры наиболее оптимальны для герметизированных изделий повышенной надежности.

$Spin$ -фильтры (рис. 4г) — это миниатюрные резьбовые фильтры, обеспечивающие наименьшее межцентровое расстояние при установке в ряд и не требующие пайки при монтаже в изделие. Для вкручивания в корпус изделия необходим специальный инструмент. Фильтры имеют электрическую емкость от 10 до 10 000 пФ. Их рабочий ток 5 А, напряжение 50 В, рабочий диапазон температур:  $-55...+125$  °С. Такие фильтры применяют в синтезаторах частоты, усилителях и в других изделиях с плотной компоновкой.

Фильтры для прессовой посадки (рис. 4д) разработаны для применения в изделиях, не допускающих нагрева при пайке. Фильтры имеют емкость от 5 до 30 000 пФ и эффективно поглощают электромагнитные помехи на частотах до 10 ГГц. Их рабочий ток 5 А, напряжение 50–200 В, рабочий диапазон температур:  $-55...+125$  °С. Разработаны фильтры, герметизированные металлоглазным спаем с одного торца и компаундом — с другого. Область применения фильтров — аттенуаторы, синтезаторы частоты, осцилляторы.

Резьбовые фильтры для больших токов и напряжений (рис. 4е) широко применяют в источниках питания, системах зажигания, медицинской аппаратуре. Фильтры имеют электрическую схему  $C$ ,  $L$ - $C$ ,  $P_i$  или  $T$ , емкость до нескольких микрофард и эффективно подавляют электромагнитные помехи в диапазоне частот от 1 МГц до 18 ГГц. Герметичность фильтров обеспечивает их применение в агрессивных средах. Рабочий диапазон температур:  $-55...+125$  °С.

Миниатюрные «глазковые» фильтры — это керамические фильтры с тонкостенной втулкой на наружной поверхности для крепления в корпус изделия. Компании Corry Micronics и Oxley выпускают серии таких фильтров с электрической схемой  $C$  и  $P_i$ . Фильтры имеют емкость до 5000 пФ и рассчитаны на ток до 10 А. Рабочий диапазон температур:  $-55...+85$  °С и  $-55...+125$  °С.

Фильтры всех типов выпускают в соответствии с требованиями стандартов MIL-F-15733 и MIL-F-28861.

### Основные параметры фильтров

К основным параметрам фильтров с разными электрическими схемами относятся:

- вносимое затухание (insertion loss);
- электрическая емкость (capacitance);
- рабочий ток (current rating, rated current);

- рабочее напряжение (voltage rating, working voltage);
- сопротивление изоляции (insulation resistance);
- герметичность (hermetic);
- рабочий диапазон температур (temperature range, operating temperature).

### Вносимое затухание

Вносимое затухание рассчитывают в децибелах как отношение напряжений помехи на нагрузке без фильтра ( $U_1$ ) к напряжению ( $U_2$ ) с включенным фильтром:

$$\alpha_{дБ} = -20 \times \lg(U_1 / U_2).$$

Например, если  $U_1 = 100$  мВ, а  $U_2 = 1$  мВ, то  $\alpha_{дБ} = -20 \times \lg(100/1) = -40$  дБ.

Следует подчеркнуть, что вносимое затухание определяют в измерительной схеме с волновым сопротивлением 50 Ом. При включении фильтра в электрическую схему, в которой сопротивления источника и нагрузки не равны 50 Ом, величина эффективного вносимого затухания фильтра отличается от измеренной [1]:

$$\alpha_{эфф}(\text{дБ}) = -20 \times \lg[1 + (Z_{И} \times Z_{Н} / (Z_n(Z_{И} + Z_{Н})))],$$

где  $Z_{И}$  и  $Z_{Н}$  — сопротивления соответственно источника и нагрузки, Ом;  $Z_n$  — сопротивление линии передачи, Ом, определяемое по графику (рис. 5).

Например, если  $Z_{И} = 100$  Ом,  $Z_{Н} = 50$  Ом, а величина вносимого затухания фильтра равна 50 дБ на частоте 100 МГц при измерении в 50-омной схеме,  $Z_n = 0,08$  Ом, то и  $\alpha_{эфф}(\text{дБ})$ :

$$\alpha_{эфф}(\text{дБ}) = -20 \times \lg[1 + (100 \times 50 / (0,08(100 + 50)))] = -52,4 \text{ дБ}.$$

Это обстоятельство следует учитывать при сравнении параметров отечественных фильтров, вносимое затухание которых определяют в 75-омной измерительной схеме, с зарубежными фильтрами.

Вносимое затухание фильтров с разными электрическими схемами зависит от частоты. Сравнение частотных зависимостей вноси-

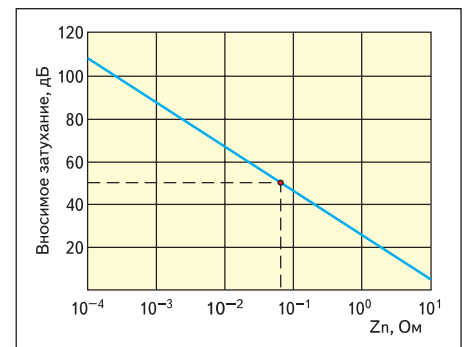


Рис. 5. График для определения сопротивления линии передачи

мого затухания фильтров, построенных на основе разных электрических схем, показывает, что эффективность подавления электромагнитных помех возрастает в последовательности  $C$ ,  $L$ - $C$ ,  $T$ ,  $P_i$ -схемы [1]. Зарубежные компании приводят величины вносимого затухания на определенных частотах, например 10, 100, 300 МГц, 1 и 10 ГГц. Величину вносимого затухания отечественных фильтров обычно приводят как среднее значение в заданном диапазоне частот. Это обстоятельство следует учитывать при сравнении отечественных и зарубежных фильтров.

Важным параметром фильтра является частота среза (cut-off frequency) — частота, на которой вносимое затухание фильтра равно 3 дБ. Она определяет нижнюю границу частотного диапазона подавления помех. Частота среза зависит от электрической емкости фильтра.

#### Электрическая емкость

К основным характеристикам фильтра относится величина его электрической емкости. Емкость определяет все основные параметры фильтра: частоту среза, ширину полосы пропускания, уровень вносимого затухания в полосе задержания. Чем больше величина электрической емкости, тем меньше частота среза, ширина полосы пропускания и тем выше уровень вносимого затухания. Емкость фильтров для применения в цепях питания должна быть не менее 1500 пФ, для цепей наносекундных импульсных сигналов (чтобы не исказить форму импульса) — не более 50 пФ [1].

#### Рабочий ток и рабочее напряжение

Это номинальные параметры, указанные в технической документации, при которых фильтр может работать в заданных условиях в течение срока службы. При температуре от 105 до 125 °С максимальный ток должен быть снижен до величины 60% от величины номинального тока. Номинальное напряжение переменного тока определено для работы фильтра при температуре менее 125 °С и частоте до 400 ГГц.

#### Сопrotивление изоляции

Сопrotивление изоляции — это электрическое сопротивление изоляции между корпусом и выводом фильтра, измеренное при определенном напряжении. Оно определяет ток утечки фильтра. Величина сопротивления изоляции зарубежных фильтров — от 500 МОм до 1 ГОм.

#### Герметичность

Само понятие «герметичность» без указания величины скорости натекания гелия (или другого газа) через фильтр не имеет практического смысла. Известны 3 уровня герметичности [1]:

1. Герметичность не регламентируется и поэтому не гарантируется. Это относится ко всем фильтрам, герметизированным компаундами.
2. Скорость натекания ( $1,3 \times 10^{-6} \dots 1,3 \times 10^{-7}$ ) м<sup>3</sup>Па/с — средний уровень герметичности.

Такой уровень обеспечивают, например, пластмассовые корпуса микросхем. Фильтры среднего уровня герметичности нежелательно применять в надежных герметизированных изделиях с большим сроком сохранения. Они предназначены для изделий менее ответственного назначения или кратковременного действия.

3. Скорость натекания ( $1,3 \times 10^{-9} \dots 1,3 \times 10^{-11}$ ) м<sup>3</sup>Па/с — высокий уровень герметичности (вакуумная плотность) фильтра. Герметичность обеспечивается за счет внутреннего металлостеклянного спая. Такую скорость натекания определяют масс-спектрометрическим методом при помощи гелиевого течеискателя. Фильтры этого уровня герметичности необходимы для применения в герметизированной аппаратуре высокой надежности.

#### Рабочий диапазон температур

Рабочий диапазон температур зарубежных фильтров:  $-55 \dots +85$  °С и  $-55 \dots +125$  °С. Температура существенно влияет на электрическую емкость конденсатора, а значит, и на параметры поглощения фильтра.

#### Монтаж фильтров в изделия

Керамический конденсатор и изоляция фильтра могут быть повреждены при нарушении технологии монтажа фильтра в изделие. Поэтому, выбирая фильтры, необходимо ознакомиться с рекомендациями компании по их монтажу. Они сводятся к следующему:

1. Монтажные отверстия в корпусе или панели изделия должны иметь форму и размеры в соответствии с data sheet на данный тип фильтра.
2. Момент вкручивания в корпус изделия резьбовых фильтров не должен превышать величин, рекомендуемых компанией-изготовителем (табл. 4).  
Запрещается применять для вкручивания фильтра плоскогубцы, струбцины и другой сдавливающий инструмент.
3. Следует избегать скручивания и изгиба выводов фильтров. Если есть необходимость обрезать вывод, это нужно выполнять до монтажа фильтра в изделие.
4. Скорость нагрева при пайке не должна превышать 3 °С/с. Пайку фильтров большинства типов рекомендуется производить оловянно-свинцовым эвтектическим припоем (аналогичным отечественному припою ПОС-61 с температурой плавления 183 °С). При пайке паяльником температура его жала не должна превышать 270 °С, время пайки должно быть 3–5 с. По возможности следует применять теплоотвод от корпуса фильтра. Необходимо также учитывать, что в настоящее время зарубежные фирмы при изготовлении фильтров гражданского назначения перешли на бессвинцовую технологию в соответствии с европейской директивой RoHS (Restriction of Hazardous Substances), введенной в действие с июля

Таблица 4. Момент вкручивания резьбовых фильтров

Тип резьбы на корпусе фильтра	Максимальная величина момента вкручивания по данным компаний, нм		
	Spectrum Control	Oxley	Syfer
4–40 UNC, M2,5×0,45, M3×0,5	0,17	0,20	0,15
6–32 UNC, M3,5×0,6	0,34	0,20–0,30	0,18
8–32 UNC, M4×0,5	0,45	0,20–0,30	0,25
12–32 UNC, M5×0,5	0,68	0,30–0,40	0,30
1/4–28 UNF, M6×0,75	0,79	0,50	–

2006 года. Согласно этой директиве пайку фильтров следует производить бессвинцовыми припоями (SAC) состава олово-медь-серебро (SnCuAg). Эти припои имеют температуру плавления более чем на 30 °С выше, чем у стандартного припоя со свинцом. Фильтры, изготовленные по бессвинцовой технологии, имеют специальное обозначение. Так, компания Corry Micronics к обозначению таких фильтров добавляет суффикс «С». Например, обозначение фильтра FT 10005-103 Z выглядит как FT 10005-103 Z/C. На изделия военного назначения директива RoHS не распространяется.

5. Фильтры для поверхностного монтажа необходимо устанавливать на контактные площадки (pad, track) печатной платы. Геометрия и размеры контактных площадок приведены в data sheet на фильтры конкретных типов. Компании обычно дают подробные рекомендации по выбору припоя и температурному режиму пайки фильтров на печатную плату.

Указанные рекомендации следует учитывать и при монтаже отечественных фильтров, естественно, с коррекцией на температурный режим пайки.

#### Заключение

Для обеспечения оптимальных параметров разрабатываемой аппаратуры необходимо правильно выбрать зарубежный фильтр и обеспечить его монтаж, используя соответствующий инструмент.

Важным показателем при выборе фильтра является его цена. Стоимость фильтров высокой надежности американских и европейских фирм выше, чем фильтров азиатских производителей. Однако для сложных многофункциональных устройств СВЧ, особенно военного назначения, необходимо применять фильтры, имеющие высокий уровень параметров и надежность, и экономия на фильтрах недопустима. ■

#### Литература

1. Джурицкий К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
2. Джурицкий К. Зарубежные радиочастотные соединители. Ключ к информации о соединителях // Компоненты и технологии. 2008. № 11.