

# Миниатюрные коаксиальные фильтры для цепей управления микроэлектронных устройств

Кива ДЖУРИНСКИЙ,  
к. т. н.

Подавление межсистемных и внутрисистемных электромагнитных помех является важнейшей задачей при создании устройств микроэлектроники СВЧ. Фильтрация помех в цепях питания освещена достаточно полно [1]. Подавление же помех в цепях управления, в которых используются импульсные сигналы, не нашло достаточного отражения в специальной литературе. Этому посвящена настоящая работа.

## Назначение фильтров для цепей управления и основные требования к ним

Для управления параметрами устройств микроэлектроники СВЧ применяют наносекундные видеоимпульсы напряжения или тока с амплитудой  $A$ , длительностью  $t_u$  и периодом следования  $T$ . Необходимо, чтобы устройство ввода импульсов существенно не искажало эти параметры. В противном случае возрастает время выхода на рабочий режим, и ухудшаются параметры устройства. Ситуация осложняется тем, что современные микроэлектронные устройства СВЧ должны иметь герметичное исполнение. Поэтому устройство ввода импульсов также должно быть герметичным. Для этой цели используют металлоглазанные вводы. Так как их электрическая емкость мала (единицы пикофард), они пропускают импульсы, не искажая их. Но вводы не обеспечивают помехозащитности устройства, так как через них просачивается электромагнитная энергия. Поэтому для ввода импульсных сигналов применяют герметичные фильтры нижних частот (ФНЧ).

К фильтрам для современных микроэлектронных устройств предъявляют следующие требования:

1. Способность пропускать импульсы без существенного искажения их формы и ослабления.
2. Герметичность на уровне  $10^{-9}$ – $10^{-11}$  м<sup>3</sup>Па/с (определяется скоростью натекания гелия через фильтр).
3. Миниатюрность (диаметр корпуса фильтра не более 6 мм).
4. Вносимое затухание более 15–20 дБ на частотах, больших частоты среза фильтра.
5. Возможность монтажа и пайки фильтра в корпус устройства при температуре не ниже 230 °С без нарушения конструкции и ухудшения параметров фильтра.

## Влияние фильтра на параметры импульса

Фильтр нижних частот представляет собой четырехполюсник типа  $C, LC, T$  или  $P_i$  с реактивными элементами [1]. В таких электрических цепях имеют место переходные процессы при прохождении импульсов. Ток в индуктивности не может изменяться скачком,

поэтому в момент падения импульса индуктивность подобна разрыву цепи в месте ее включения. По мере нарастания тока ее действие все больше соответствует короткому замыканию. На емкости же не может измениться скачком напряжение. Поэтому в первый момент она оказывает действие, подобное короткому замыканию между точками ее включения. По мере того как емкость заряжается, ток через нее уменьшается. При полной зарядке емкость аналогична разрыву.

Совместное действие этих процессов вызывает искажение формы импульса: появление времен фронта  $t_{\phi}$  и спада  $t_{cn}$  и изменение амплитуды  $\Delta A$  (рис. 1). Время фронта и спада принято отсчитывать по уровню амплитуды 0,9 А и 0,1 А.

На рис. 1 в качестве примера показаны входные прямоугольные импульсы. Получить идеальные прямоугольные импульсы технически сложно. Реальные импульсы имеют форму, близкую к трапецеидальной. При конструировании фильтра необходимо выбрать его индуктивность и, особенно, емкость такими, чтобы искажение формы импульса было минимальным. Для этого нестационарные явления, вызванные в электриче-

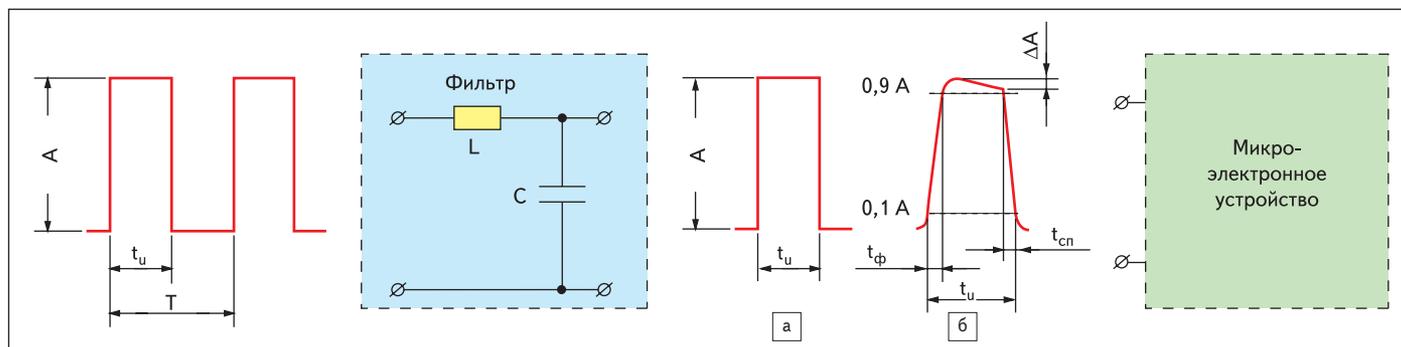


Рис. 1. Импульсы, поступающие в микроэлектронное устройство с выхода фильтра: а) неискаженные; б) искаженные

ской цепи фильтра воздействием данного импульса, должны полностью заканчиваться к началу следующего импульса. В общем виде это требование к фильтру можно сформулировать следующим образом: постоянная времени электрической цепи фильтра должна быть меньше, чем длительность импульсов. На практике это означает, что емкость и индуктивность фильтра должны быть минимальными.

### Спектральный состав импульса. Условие прохождения импульса без искажений

Периодическую последовательность импульсов можно представить гармоническим рядом Фурье. Например, для прямоугольных импульсов длительностью  $t_u$  и периодом следования  $T$ , где  $0 < t_u < T$ , этот ряд выглядит следующим образом:

$$f(\omega t) = A \left( \frac{t_u}{T} + 2\pi \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k \frac{t_u}{T}}{k} \pi \cos k\omega t \right).$$

Здесь  $\omega$  — угловая частота.

Этот ряд состоит из постоянной составляющей и из бесконечного числа гармонических составляющих с определенными частотами, амплитудами и начальными фазами (спектр сигнала).

Так как гармонические составляющие отличаются в целое число раз от частоты первой гармоники, то спектральные линии стоят друг от друга на интервал частот  $\Delta f$ , равный частоте первой гармоники. Таким образом, дискретные спектры сигналов представляют собой набор составляющих с кратными частотами ( $f, 2f, 3f, \dots, kf$ ) [2].

Чтобы полностью сохранить форму импульса, фильтр должен пропустить сумму всех составляющих спектра. На практике, однако, в этом нет необходимости, так как амплитуды гармоник уменьшаются с увеличением их номера. Степень допустимого искажения формы импульса определяет минимальное число гармоник, пропускаемых фильтром. Практически для неискаженной передачи можно ограничиться передачей активной ширины спектра импульса. Верхний предел частоты для прямоугольного импульса равен [2, 3]:

$$f_{\text{верхн}}(\text{МГц}) = \frac{2 \dots 3}{t_u},$$

где  $t_u$  — длительность импульса (с).

Для импульса с  $t_u = 20 \text{ нс}$   $f_{\text{верхн}} = 100 \dots 150 \text{ МГц}$ . Для трапецидальных импульсов со временем фронта  $t_\phi$  верхняя частота равна [3]:

$$f_{\text{верхн}}(\text{МГц}) \approx \frac{0,35 \dots 1,0}{t_\phi}.$$

Чем короче импульс, который надо передать без существенных искажений, тем более широкую полосу пропускания должен обес-

Таблица 1. Магнитные свойства ферритов 1000 НН и 50 ВН

Марка феррита	$\mu_n$	$m$ на частотах, МГц							$f_c$ , МГц	$T_c$ , °C
		0,1	5	10	100	400	600	1000		
1000 НН	1000	1000	600	300	—	—	—	~1	0,4	110
50 ВН	50	50	50	50	26	8	5	1,25	70	450

печивать фильтр. Полоса пропускания фильтра нижних частот должна быть больше спектра передаваемого сигнала. Полосой пропускания ФНЧ является область частот, лежащая ниже частоты среза фильтра  $f_{cp}$  — частоты, на которой вносимое затухание равно 3 дБ. Для LC-фильтра, показанного на рис. 1:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

где  $L$  и  $C$  — соответственно его индуктивность и емкость.

Таким образом, для передачи импульсов без искажения должно выполняться условие

$$f_{cp} > f_{\text{верхн}}$$

или

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} > \frac{2 \dots 3}{t_u}$$

для прямоугольного импульса, или

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} > \frac{0,35 \dots 1}{t_\phi}$$

для трапецидального импульса.

### Частота среза фильтров

Приведенные выше формулы позволяют оценить  $L$  и  $C$  по резонансной частоте фильтра, пропускающего без искажения импульсы с заданными параметрами. В качестве индуктивности в таких фильтрах применяют трубчатые ферритовые сердечники с внутренним центральным проводником. Основную долю (более 90%) в величину индуктивности вносит феррит. Казалось бы, величину индуктивности можно варьировать в широких пределах, подобрав феррит с требуемой магнитной проницаемостью (начальная магнитная проницаемость  $\mu_n$  ферритов разных марок может быть от нескольких единиц до несколько тысяч). Однако с ростом частоты, начиная с критической частоты  $f_c$  (на которой тангенс угла магнитных потерь равен единице), магнитная проницаемость  $\mu$  всех ферритов уменьшается. На частотах более 1 ГГц она близка к единице. К тому же, для многих марок ферритов, имеющих низкую температуру Кюри  $T_c$ , имеет большое значение зависимость магнитных свойств от температуры. В таблице 1 приведены некоторые свойства двух никель-цинковых ферритов: низкочастотного с высокой начальной магнитной проницаемостью феррита марки 1000 НН и высокочастотного феррита марки 50 ВН.

Поэтому для применения в фильтрах выбирают высокочастотные термостабильные никель-цинковые ферриты, обычно марки 50 ВН. Они имеют невысокую начальную магнитную проницаемость, но отличаются температурной стабильностью магнитных свойств, высокой критической частотой, временной стабильностью магнитной проницаемости при воздействии повышенных температур и длительном хранении при относительной влажности до 85% [4].

Емкость же фильтра можно изменять в широких пределах (от единиц пикофард до единиц микрофард), используя диэлектрики с диэлектрической проницаемостью до 20 000 и многослойные дисковые конденсаторы. С ростом частоты диэлектрическая проницаемость уменьшается не столь значительно, как магнитная проницаемость.

На практике частоту среза фильтра определяют путем измерения частотной зависимости его вносимого затухания. На рис. 2 приведена зависимость частоты среза фильтра от его электрической емкости, построенная по усредненным данным ведущих зарубежных фирм — производителей фильтров [5–9].

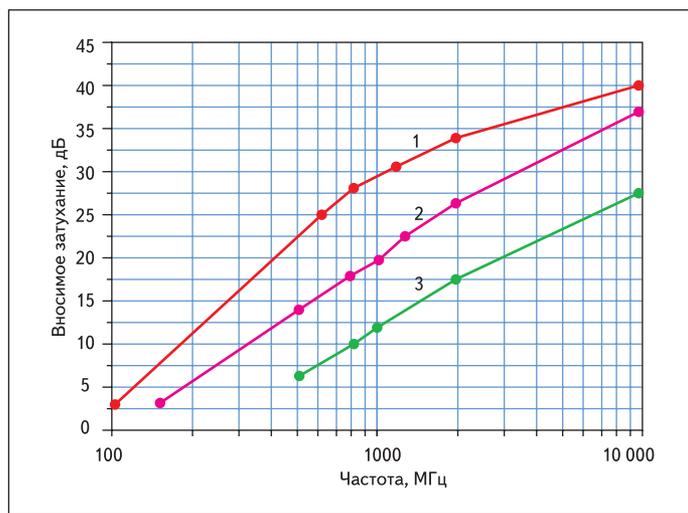
Частота среза определяется величиной электрической емкости и практически не зависит от типа фильтра ( $C$ ,  $LC$ ,  $T$  или  $P_i$ ). Данные разных фирм не всегда совпадают, но все фирмы признают, что частота среза фильтров любых типов с емкостью 100 пФ равна 100 МГц. На рис. 2 приведены также результаты измерений частоты среза LC-фильтров, достаточно хорошо совпадающие с данными зарубежных фирм.

Следует подчеркнуть, что индуктивность фильтра также влияет на его частоту среза. При заданной величине емкости частота среза тем меньше, чем больше индуктивность (особенно при малых величинах емкости — менее 100 пФ) [10]. Однако величина индуктивности миниатюрных фильтров разных типов отличается не более чем в 2 раза и в среднем равна 0,05 мкГн. При больших значениях емкости влияние индуктивности на частоту среза становится незначительным.

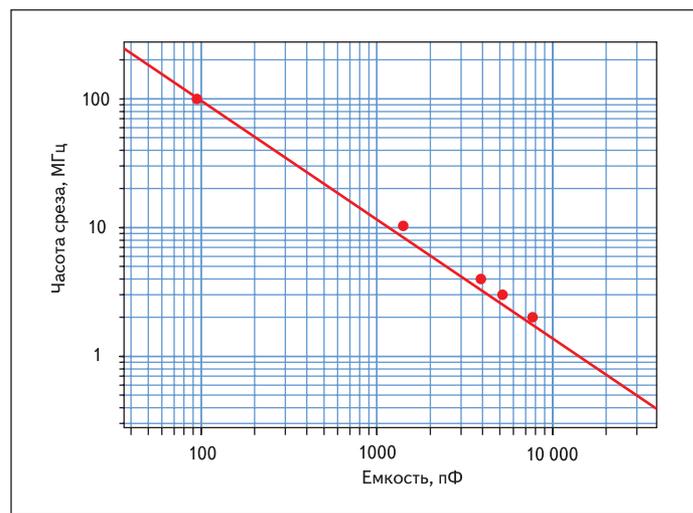
Как видно на рис. 2, для пропускания без искажения наносекундных импульсов с верхней частотой 100–200 МГц фильтр должен иметь электрическую емкость 100–50 пФ.

### Вносимое затухание фильтров для цепей управления

Полоса пропускания любого фильтра лежит в области частот ниже частоты среза. На более высоких частотах происходит по-



**Рис. 2.** Зависимость частоты среза ФНЧ от его емкости  
 ● — экспериментальные данные



**Рис. 3.** Частотная зависимость вносимого затухания фильтров с емкостями 100 (1), 50 (2) и 20 (3) пФ

давление электромагнитных помех. Для однозвенных фильтров невозможно обеспечить скачкообразный переход от области пропускания к области подавления помех. Поэтому за частотой среза следует переходная область частот, в которой вносимое затухание плавно нарастает от 3 дБ до максимальной для данного фильтра величины вносимого затухания.

Чем больше емкость фильтра, тем короче его переходная область и тем большее вносимое затухание он имеет. На рис. 3 приведены частотные зависимости вносимого затухания LC-фильтров с емкостями 20, 50 и 100 пФ и индуктивностью около 0,05 мкГн.

Естественно, что однозвенные фильтры с малой емкостью не могут обеспечить такого же высокого уровня вносимого затухания, как фильтры с емкостью более 1500 пФ для цепей питания. Но даже при вносимом затухании 20 дБ помеха ослабляется в 100 раз, а при 30 дБ — в 1000 раз.

## Зарубежные фильтры

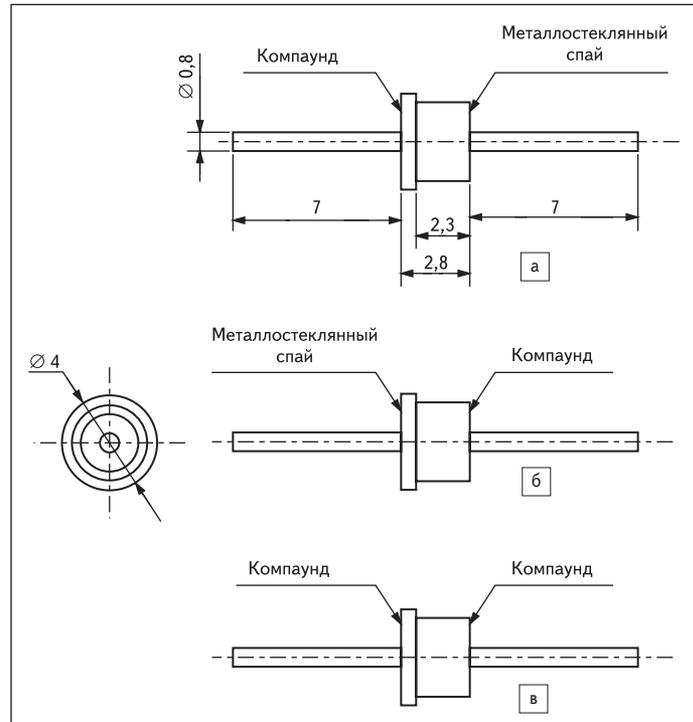
За рубежом малоемкостные фильтры для цепей управления разрабатывают и выпускают фирмы Spectrum Control (США) [5], Maxwell (США) [6], Tusonix (Франция, США) [7], Eurofarad (Франция) [8], AMP (США) [9] и др. Разработаны несколько типов конструкций миниатюрных фильтров.

### Безрезьбовые герметизированные металlostеклянным спаем и (или) эпоксидным компаундом фильтры (Solder-in Filters, Solder-in Styles, Solder Mount)

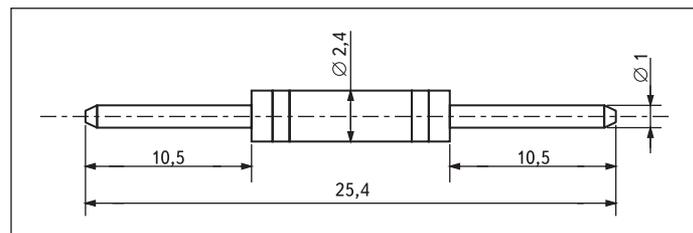
В этом исполнении (рис. 4) выпускается большая часть фильтров для цепей управления. В большинстве случаев они представляют собой проходные конденсаторы, реже имеют электрическую схему LC.

### Безрезьбовые, герметизированные компаундом, впаиваемые в корпус устройства фильтры (Pin-Sleeve Style)

Фирма AMP разработала 2 варианта конструкции таких фильтров (рис. 5). В первом варианте на центральный проводник из медного сплава с золотым покрытием надет и припаян ферритовый сердечник, на поверхность которого нанесен диэлектрик, покрытый снаружи слоем металлизации. Для надежности пайки в корпус устройства на наружную поверхность таких фильтров надевают металлическую втулку (Eylet Style). Считается, что на частотах до 1 МГц электрическая схема фильтра представляет собой сосредоточенные индуктивность и емкость, соединенные параллельно. На частотах выше 20 МГц электрическую схему фильтра представляют в виде цепочки распределенных индуктивностей и емкостей.



**Рис. 4.** Конструкции миниатюрных безрезьбовых фильтров, герметизированных металlostеклянным спаем и эпоксидным компаундом



**Рис. 5.** Миниатюрные безрезьбовые фильтры, герметизированные компаундом

Во втором варианте конструкции, применяемой в проходных конденсаторах, на центральный проводник надевают и припаивают диэлектрическую трубку с металлизированными цилиндрическими поверхностями.

Таблица 2. Основные параметры зарубежных фильтров

№	Обозначение фильтра	Тип конструкции	Емкость, пФ	Вносимое затухание, дБ, на частотах, МГц				Особенности конструкции
				100	300	1000	10 000	
<b>Spectrum Control [5]</b>								
С-фильтры								
1	SCI-9920-101	Рис. 4а	100	3	10	20	28	—
2	SCI-9920-101Т							
3	SCI-9920-101R							
4	SCI-9110-100	Рис. 5 резьба 4-40 UNC	10	—	—	10	10	S = 3,96, d = 0,81
5	54-862-001							
6	547900001X5F101M							
7	54-862-002	Рис. 6 резьба 6-32 UNC	100	—	—	10	10	S = 3,18, d = 0,81
8	54779001X5F100M							
9	54713001X5F101 M	Рис. 5 резьба 8-32 UNC	100	—	10	20	20	S = 4,75, d = 0,51
LC-фильтры								
10	54713001X5F101 M	Рис. 6 резьба 8-32 UNC	100	—	10	20	20	S = 4,75, d = 0,51
11	SCI-9920-101							
Pi-фильтры								
12	51-762-006	Рис. 6 резьба 8-32 UNC	65			16	42	—
<b>Maxwell [6]</b>								
С-фильтры								
1	1210-FE7-100S	Рис. 4а	100	—	—	5	20	—
2	1212-FE7-100S	Рис. 4б						
3	1210-FE7-101S	Рис. 4а						
4	1212-FE7-101S	Рис. 4б						
LC-фильтры								
5	1230-FE7-100S	Рис. 4а	100	—	—	5	20	—
6	1232-FE7-100S	Рис. 4б						
7	1230-FE7-101S	Рис. 4а						
8	1232-FE7-101S	Рис. 4б						
<b>Tusonix [7]</b>								
С-фильтры								
1	4300-008	Рис. 4а	10	—	—	5	20	—
2	4300-028	Рис. 4б						
3	4302-008	Рис. 4в						
4	4300-009	Рис. 4а	25	—	—	10	25	—
5	4300-029	Рис. 4б						
6	4302-009	Рис. 4в						
7	4300-000	Рис. 4а	100	3	—	20	28	—
8	4300-050							
9	4305-001							
10	4300-020	Рис. 4б	10	—	—	5	20	—
11	4300-060	Рис. 4б						
12	4302-000	Рис. 4в						
13	4400-008	Рис. 6 резьба 4-40 UNC	10	—	—	5	20	S = 3,96, d = 0,51
14	4400-038							S = 3,96, d = 0,76
15	4403-008							S = 3,18, d = 0,51
16	4403-038							S = 3,18, d = 0,76
17	4400-009							S = 3,96, d = 0,51
18	4400-039							S = 3,96, d = 0,76
19	4403-009							S = 3,18, d = 0,51
20	4403-039							S = 3,18, d = 0,76
21	4400-000							S = 3,96, d = 0,51
22	4400-030							S = 3,96, d = 0,76
23	4403-000							S = 3,18, d = 0,51
24	4403-030							S = 3,18, d = 0,76
25	4400-076	Рис. 6 резьба M3,5x0,5	100	3	—	20	28	S = 4,0, d = 0,79
26	2430-003-X5F0-101M	Рис. 6 резьба 6-32 UNC						S = 3,96, d = 0,63
27	2425-018-X5U0-101M	Рис. 6 резьба 8-32 UNC						S = 4,75, d = 1,29
28	2425-544-X7R0-101M	Рис. 6 резьба 8-32 UNC						
LC-фильтры								
29	4400-050	Рис. 6 резьба 4-40 UNC	100	3		20	33	S = 3,96, d = 0,51
Pi-фильтры								
30	4205-002	Рис. 6 резьба 8-32 UNC	65	3		16	45	S = 4,75, d = 1,02
31	4205-018							
32	4201-048							

**Резьбовые фильтры, герметизированные с обоих концов компаундом**

Их выпускают с дюймовой резьбой 4-40 UNC-2A, 6-32 UNC-2A, 6-40 UNF-2A или 8-32 UNC-2A, приблизительно эквивалентной метрической резьбе M 3×0,5, M 3,5×0,6 и M 4×0,7 соответственно.

№	Обозначение фильтра	Тип конструкции	Емкость, пФ	Вносимое затухание, дБ, на частотах, МГц				Особенности конструкции
				100	300	1000	10 000	
<b>Eurofarad [8]</b>								
С-фильтры								
1	FC030.3.101 HTY	Рис. 4а	100	3	—	10	22	—
2	FC030.3.101 HTRY							
3	FC030.3.101 HTRX							
4	FC035.3.101 CR	Рис. 6 резьба 6-32 UNC	100	—	12	22	—	d = 0,8
5	FC035.3.101 IR	Рис. 6 резьба M6×0,6						
6	FC035.3.10 YR	Рис. 6 резьба M3,5×0,35						
7	FC035.3.101 UR	Рис. 6 резьба 6-40 UNF	100	—	12	22	—	d = 0,8 мм
8	FC0401.102 IR	Рис. 6 M4×0,7						
9	FC0401.102 IR	Рис. 6 резьба 6-40 UNF						
10	FC0401.102 IR	Рис. 6 резьба 8-32 UNC	100	—	12	22	—	d = 0,8 мм
11	FC0401.102 IR	Рис. 6 резьба M4×0,7						
Pi-фильтры								
12	1099 SR	Рис. 4а	100	3		35		Диаметр корпуса — 3 мм, длина — 9,5 мм, диаметр проводника 0,8 мм
<b>AMP [9]</b>								
1	859656-1	Рис. 5	50...174	—	—	16	42	Частота среза всех фильтров — 150 МГц
2	859653-1							
3	859668-1							
4	859665-1							
5	859659-1	Рис. 6 резьба 8-32 UNC	50...174	—	—	16	42	S = 4,78 мм, d = 1 мм
6	859671-1		80...125					

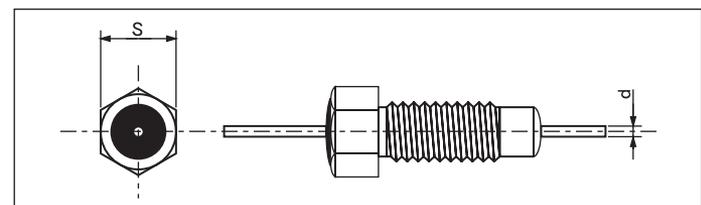


Рис. 6. Миниатюрные резьбовые фильтры

Фирмы Tusonix, Eurofarad и Spectrum Control выпускают также фильтры с метрической резьбой M 3×0,5 и M 3,5×0,6. Резьбовые фильтры широко применяются в микроэлектронике. Типичная конструкция миниатюрного резьбового фильтра показана на рис. 6. Размеры S и d приведены в таблице 2.

**Резьбовые фильтры, герметизированные металлоглазным спаем**

Миниатюрные фильтры с резьбой 4-40 UNC-2A, имеющие электрическую схему С или LC, выпускает фирма Maxwell. Конструкция фильтров аналогична конструкции, приведенной на рис. 6.

На долю миниатюрных герметизированных фильтров приходится менее одной трети от количества всех типов и типоразмеров фильтров (8000) [10], выпускаемых зарубежными фирмами. Мало-емкостные миниатюрные фильтры для цепей управления составляют менее 10% от общего количества миниатюрных фильтров. При этом необходимо учесть, что герметичность фильтров, залитых компаундами, не регламентируется. Герметичными — со скоростью натекания  $10^{-9} \dots 10^{-11}$  м³Па/с — могут считаться лишь фильтры, герметизированные металлоглазным спаем (рис. 4а,б) и небольшое число резьбовых фильтров (рис. 6). Основные параметры зарубежных фильтров представлены в таблице 2.

Рабочий ток фильтров 5-10 А, напряжение 50-200 В, сопротивление изоляции — не менее 500 МОм, сопротивление центрального проводника — не более 5 МОм, рабочий диапазон температур —

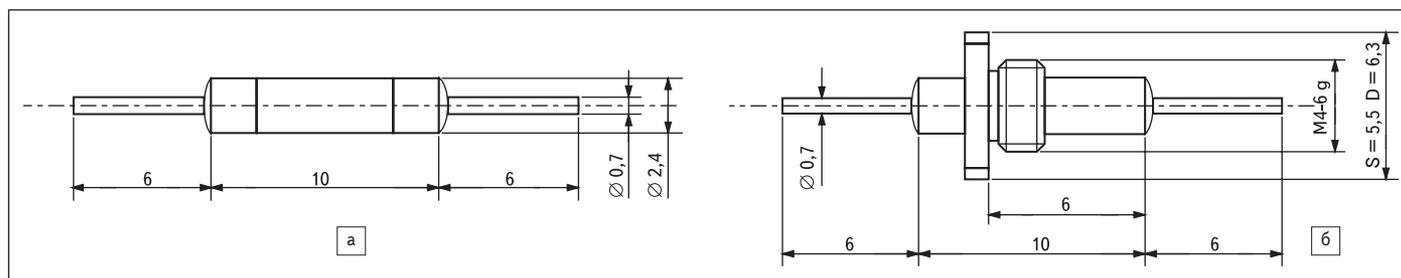


Рис. 7. Фильтры Б24: а) для пайки в устройство по корпусу фильтра; б) для пайки с помощью резьбовой втулки

Таблица 3. Параметры отечественных фильтров

№	Обозначение фильтра	Тип конструкции	Емкость, пФ	Вносимое затухание, дБ, на частотах, МГц					Частота среза, МГц	Электрическая схема
				100	300	500	1000	10 000		
ОАО «Гириконд», ОАО «Кулон» [10–11]										
1	Б24 АДПК.431145002ТУ	Рис. 7	47	2	10	20	36	150	Pi	
2			68	3	15	27	42	100		
3			150	10	30	42	48	40		
ФГУП НПП «Исток» [1]										
1	КРПГ.433553.005 (КРПГ.433553.005 ТУ)	Рис. 8	100–130	4	17	27	33	40	95	LC
2	КРПГ.433553.005-01 (КРПГ.433553.005 ТУ)		50–70	1,5	8	13	20	30	150	

от  $-55$  до  $+125$  °С. Металлические поверхности фильтров покрыты золотом или серебром. Впаивание фильтров в корпуса устройств производят эвтектическими оловянно-свинцовыми припоями с добавлением серебра или без него при температуре  $210\text{--}230$  °С (при пайке в печи) или  $260$  °С (при пайке паяльником).

Зарубежные фирмы выпускают фильтры как для гражданского, так и для военного применения в соответствии с международным стандартом MIL-F-15733.

## Отечественные фильтры

Помехоподавляющие фильтры шести типов серийно выпускают предприятия ОАО «Гириконд» и ОАО «Кулон» (Санкт-Петербург). Из них для применения в цепях управления пригодны только фильтры Б24 с электрической емкостью  $43\text{--}240$  пФ (рис. 7) [10, 11]. Фильтр Б24 имеет электрическую схему  $P_i$ . Его основным элементом является трубчатый конденсатор. Внутренний электрод конденсатора выполнен из двух изолированных друг от друга емкостных элементов. Емкость каждого элемента равна половине номинальной емкости фильтра.

Индуктивным элементом фильтра является центральный проводник, на который надет трубчатый сердечник из термостабильного феррита. Параметры фильтров Б24 приведены в таблице 3 [10–11]. При работе в импульсных режимах они подавляют электромагнитные помехи в диапазоне частот до  $10$  ГГц.

Фильтры Б24 рассчитаны на номинальное напряжение до  $250$  В и ток  $1$  А, их индуктивность —  $0,03\text{--}0,085$  мкГн, сопротивление изоляции — более  $10\,000$  МОм, рабочий диапазон

температур от  $-60$  до  $+125$  °С, срок сохранности  $20$  лет. По своим электрическим параметрам они не уступают зарубежным аналогам.

Недостатки фильтров Б24 обусловлены особенностями их конструкции [12]:

1. Применение эпоксидного компаунда для герметизации фильтра.
2. Использование керамического конденсатора в качестве корпуса фильтра (рис. 7а). Резьбовая втулка, припаянная к конденсатору и служащая для крепления фильтра в корпус устройства (рис. 7б), принципиально не меняет сути конструкции.

В связи с этим герметичность фильтров не регламентирована. Их монтаж в корпуса устройств возможен только путем вклеивания или пайки припоями типа ПОСК  $50\text{--}18$  паяльником с температурой жала  $200$  °С. При соединении вывода фильтра с электрической схемой необходим теплоотвод от контактного узла фильтра. Перегрев приводит к размягчению компаунда и смещению вывода, а также к возникновению трещин в керамическом корпусе фильтра. При монтаже фильтров необходима особая осторожность. Изгибающие нагрузки, крутящий момент более  $0,025$  кгс·м и удары вызывают образование трещин в керамическом корпусе фильтра. Всех этих недостатков можно было бы избежать, если бы фильтры были изготовлены в герметичных металлостеклянных корпусах.

Более совершенными являются фильтры КРПГ.433553.005 (емкость  $100$  пФ) и КРПГ.433553.005-01 (емкость  $50$  пФ), разработанные и выпускаемые мелкими сериями ФГУП НПП «Исток». Фильтры имеют электрическую схему  $LC$ , выполнены в металлическом корпусе и герметизированы металлостеклянным спаем (рис. 8).

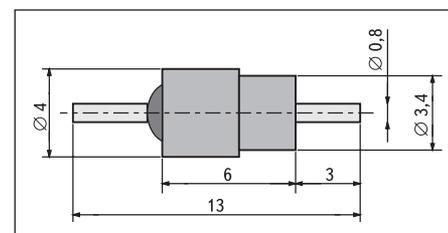


Рис. 8. Фильтры КРПГ.433553.005/01

В конструкции фильтров не использованы органические материалы. Металлические поверхности фильтров покрыты палладиево-никелевым сплавом.

Основные параметры фильтров представлены в таблице 3.

Фильтры обеспечивают подавление помех в диапазоне частот (по меньшей мере) до  $18$  ГГц. Они разработаны на номинальные напряжения  $150$  В и ток  $3$  А, сопротивление изоляции составляет не менее  $5\,000$  МОм. Рабочий диапазон температур — от  $-60$  до  $+125$  °С, срок сохраняемости —  $15$  лет. Герметичность фильтров —  $1,3 \times 10^{-11}$  м<sup>3</sup>Па/с. Допустимая температура кратковременного нагрева фильтров при пайке в корпус устройства —  $320$  °С, что позволяет производить пайку припоями ПОС-61 и ПСр 1,5.

Недостатки фильтров КРПГ.433553.005/01:

1. Возможность значительного уменьшения сопротивления изоляции при флюсовой пайке в корпуса устройств в результате загрязнения остатками флюса торцевой поверхности конденсатора. После флюсовой пайки необходимы тщательная отмычка корпуса устройства с впаиванием фильтром от остатков флюса, сушка при температуре  $80\text{--}120$  °С и контроль сопротивления изоляции.
2. Высокая стоимость, в несколько раз превышающая стоимость серийно выпускаемых фильтров.

## Заключение

В данной статье дан обзор фильтров для цепей управления, выпускаемых наиболее известными зарубежными фирмами. Возможно, что какие-то типы фильтров не попали в число рассматриваемых. В любом случае, при выборе фильтра необходима консультация с фирмой-производителем или ее дистрибьютором.

В нашей стране выбор фильтров для цепей управления ограничен. Серийно выпускаемый фильтр Б24 имеет существенные недостатки. Однако есть надежда, что они будут устранены в результате разработки и освоения в производстве фильтров в металлических корпусах [11]. ■

## Литература

1. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Издание второе. М.: Техносфера. 2006.
2. Иванов А. Б., Сосновкин Л. Н. Импульсные передатчики СВЧ. М.: Советское радио. 1956.
3. Конструирование радиоэлектронных средств. Под ред. В. Б. Пестрякова. М.: Радио и связь. 1992.
4. Куневич А. В., Сидоров И. Н. Индуктивные элементы на ферритах. Ферритовые сердечники в узлах радиоаппаратуры. СПб.: Лениздат. 1997.
5. EMI Filtering Product Guide. Каталог фирмы Spectrum Control Inc. США. 1997.
6. Каталог фирмы Maxwell Technologies Energy Product (Sierra-KD components). США. 2000.
7. EMI/RFI Filters. Каталог 4000R4 фирмы Tusonix Inc. 2003.
8. EMI — RFI Filters. Product Catalog 029 фирмы Eurofarad. Франция. 2003.
9. AMP Filters and Filtered Connectors. Каталог 82061 фирмы AMP Inc. 10/1994.
10. Воловик М. Отечественные керамические конденсаторы и фильтры для подавления электромагнитных помех // Компоненты и технологии. 2002. № 5.
11. Воловик М., Смирнов В. Керамические проходные конденсаторы и фильтры питания нижних частот. Состояние и перспективы развития // Электроника: НТБ. 2004. № 7.
12. Джуринский К. Б. Отечественные и зарубежные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ // Электроника: НТБ. 2005. № 1.