

# Миниатюрные помехоподавляющие фильтры СВЧ-диапазона частот

Кива Джуринский

Рассмотрены электрические схемы, конструкция и принцип действия миниатюрных проходных керамических фильтров для подавления электромагнитных помех в устройствах СВЧ-диапазона частот.

Проанализированы керамические материалы, применяемые для изготовления конденсаторов фильтров. Приведены основные типы зарубежных фильтров и их основные характеристики. Подробно рассмотрены параметры отечественных фильтров и особенности их конструкции. Показана необходимость создания герметичных миниатюрных фильтров для современных СВЧ-устройств.

## Введение

Эффективная фильтрация электромагнитных помех (ЭМП) необходима практически для каждого современного электронного устройства, особенно, когда они используют сигналы малой мощности. Точная передача сигналов без искажений и потерь требуется для многих военных и медицинских систем, контрольно-измерительной аппаратуры и других приложений. Общеизвестно, что основным средством подавления ЭМП и развязывания по высокой частоте источников питания и нагрузки является фильтр нижних частот, который пропускает низкочастотный сигнал и блокирует нежелательные высокочастотные помехи [1–5].

Различают две большие группы миниатюрных помехоподавляющих фильтров: проходные, монтируемые в корпусе изделий, и для поверхностного монтажа на печатные платы. Миниатюрными принято считать фильтры с диаметром корпуса менее 6 мм [5]. В данной статье рассмотрены миниатюрные фильтры первой группы. Фильтры второй группы, а также большие

проходные фильтры для высоких напряжений и токов рассмотрены в работе [5].

## Электрические схемы фильтров

Электрические схемы однозвенных фильтров нижних частот приведены на рис. 1 [1].

С-фильтр (рис. 1а) – проходной конденсатор с тремя выводами, включаемый между источником помехи и нагрузкой. При большой ёмкости конденсатор шунтирует переменную составляющую тока, и она не попадает в нагрузку, в которую поступает постоянный ток.

L-C-фильтр (рис. 1б) содержит один индуктивный и один ёмкостный элемент. Возможны два варианта включения L- и C-элементов (рис. 1б и 1в) в зависимости от величины входных и выходных импедансов источника питания и нагрузки во всём диапазоне рабочих частот. LC-фильтры применяют в случае низкого импеданса источника питания и высокого импеданса нагрузки.

Pi-фильтр (рис. 1г) содержит два ёмкостных и один индуктивный элемент. Наличие второго конденсатора значительно улучшает параметры

подавления ЭМП. Фильтры с такой электрической схемой целесообразно применять при низких значениях импеданса источника и нагрузки.

T-фильтр (рис. 1д) состоит из двух индуктивных и одного ёмкостного элементов. Этот фильтр применяют в случае высоких значений импеданса входа и выхода, например, в цепях коммутации.

## Основные параметры фильтра нижних частот

Помехоподавляющий фильтр нижних частот представляет собой линейный четырёхполюсник, предназначенный для частотной селекции сигналов. Фильтр выделяет из сложного электромагнитного колебания, подаваемого на его вход, частотные составляющие, расположенные в полосе пропускания, и подавляет частотные составляющие в полосе задержания – рис. 2 [1].

Основные показатели эффективности фильтра – частота среза ( $f_{cp}$ ), на которой величина вносимого затухания равна 3 дБ, вносимое затухание в заданном диапазоне частот и ширина полосы перехода. Эффективность действия помехоподавляющих фильтров оценивают величиной вносимого затухания  $\alpha$  в децибелах для сигнала помех:  $\alpha$  (дБ) =  $20 \lg(U_1/U_2)$ , где  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения на нагрузке без фильтра и с фильтром.

Чем больше величина вносимого затухания и чем уже полоса перехода, тем выше эффективность подавления ЭМП-фильтром. Частотные зависимости вно-

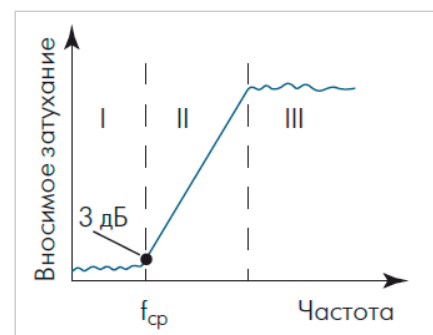


Рис. 2. Частотная характеристика фильтра нижних частот.

I – полоса пропускания; II – полоса перехода; III – полоса задержания,  $f_{cp}$  – частота среза

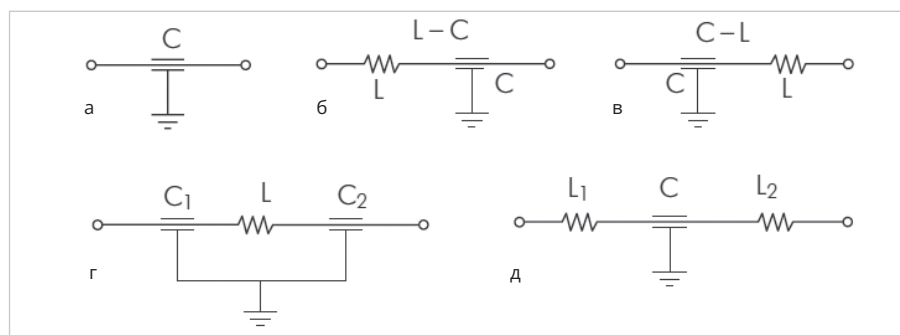


Рис. 1. Электрические схемы фильтров нижних частот

а) С-фильтр, б) L-C-фильтр, в) C-L-фильтр, г) Pi-фильтр, д) T-фильтр

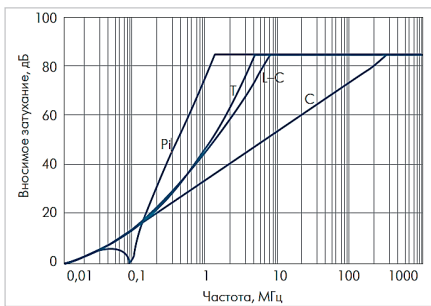


Рис. 3. Частотные зависимости вносимого затухания фильтров с C-, L-C-, T и Pi – электрическими схемами

симого затухания фильтров с разными электрическими схемами по данным компании Spectrum Control [6] приведены на рис. 3. Самая низкая эффективность подавления ЭМП у C-фильтров, самая высокая – у Pi-фильтров. Основные параметры фильтра нижних частот определяются величиной его электрической ёмкости. Чем больше величина ёмкости, тем ниже частота среза, уже ширина полосы перехода и выше уровень вносимого затухания. В табл. 1 по данным компании Syfer Technology Ltd. (Англия) [7] приведена частотная зависимость величины вносимого затухания от ёмкости для фильтров с C-, L-C- и Pi-схемами.

На частотах более 1 ГГц увеличение ёмкости свыше 5000 пФ слабо влияет на величину вносимого затухания, но позволяет снизить частоту среза и уменьшить ширину полосы перехода. Однако применение фильтров с большой ёмкостью в цепях импульсных сигналов вызывает изменение формы выходных импульсов, а также их частотные и фазовые искажения. Ёмкость фильтров для применения в цепях импульсов наносекундной длительности должна составлять десятки пикофарад [8].

При выборе фильтра следует также учитывать номинальные значения его напряжения и тока, сопротивление изоляции, определяющее токи утечки, конструктивные особенности, габаритные, установочные раз-

Таблица 1. Частотная зависимость величины вносимого затухания от ёмкости для фильтров с C-, L-C- и Pi-схемами

Ёмкость	Величина вносимого затухания, дБ, на частоте:								
	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	10 МГц	100 МГц	1 ГГц
	C-фильтр			L-C-фильтр			Pi-фильтр		
470 пФ	1	16	35	2	19	38	2	20	57
1 нФ	4	23	41	6	25	44	6	31	68
10 нФ	22	41	60	23	43	63	27	68	70
100 нФ	41	57	70	44	60	70	68	70	70
1 мкФ	61	70	70	61	70	70	70	70	70

меры и массу фильтра, вид покрытия металлических поверхностей, способ установки в устройство и допустимую температуру его нагрева при монтаже, а также условия эксплуатации.

Для применения в современных герметизированных изделиях микроэлектроники СВЧ повышенной надёжности обязательным условием является герметичность проходных фильтров со скоростью натекания менее  $1,3 \times 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/Па/с. Такой уровень герметичности имеют только фильтры, герметизированные металлостеклянным спаем. Герметичность проходных фильтров, герметизированных любым компаундом, не регламентирована, и их применение в указанных изделиях СВЧ нежелательно [5].

### Принцип действия и конструкция помехоподавляющих фильтров

Принцип действия фильтров основан на отражении и частичном поглощении ЭМП в индуктивности и ёмкости. Для эффективного отражения необходимо, чтобы ёмкостное сопротивление фильтра было минимальным, а значит, его электрическая ёмкость как можно большей. В этом случае происходит «закорачивание на землю» высокочастотных составляющих напряжения, подаваемого на вход фильтра. Поглощение ЭМП в фильтре происходит за счёт магнит-

ных потерь в индуктивности и диэлектрических потерь в ёмкости.

Все миниатюрные проходные фильтры имеют коаксиальную конструкцию, основные элементы которой – проходной трубчатый (обычный, многослойный) или дисковый многослойный керамические конденсаторы и безвитковый дроссель в виде центрального проводника, окружённого трубкой из термостабильного феррита – рис. 4 [9].

Такая конструкция отличается стабильностью величин ёмкостного и индуктивного сопротивлений в широкой полосе частот. Электрическая ёмкость миниатюрных трубчатых конденсаторов от 10 пФ до 0,1 мкФ. Многослойные дисковые конденсаторы могут иметь ёмкость до 10 мкФ. Внешний вид трубчатых и дисковых конденсаторов и конструкция дискового конденсатора показаны на рис. 5.

Для изготовления конденсаторов используются керамические материалы на основе титанатов бария, кальция, стронция, а также окисла титана. В зарубежных фильтрах применяют следующие группы керамических материалов [10]:

- COG/NPO с диэлектрической проницаемостью 10...150 и температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости менее  $\pm 30$  ppm/°C ( $\pm 30 \times 10^{-6}$  1/°C) в диапазоне температур от -55 до +125°C. Это высокостабильный диэлектрик на основе окисла TiO<sub>2</sub>, имеющий высокую до-

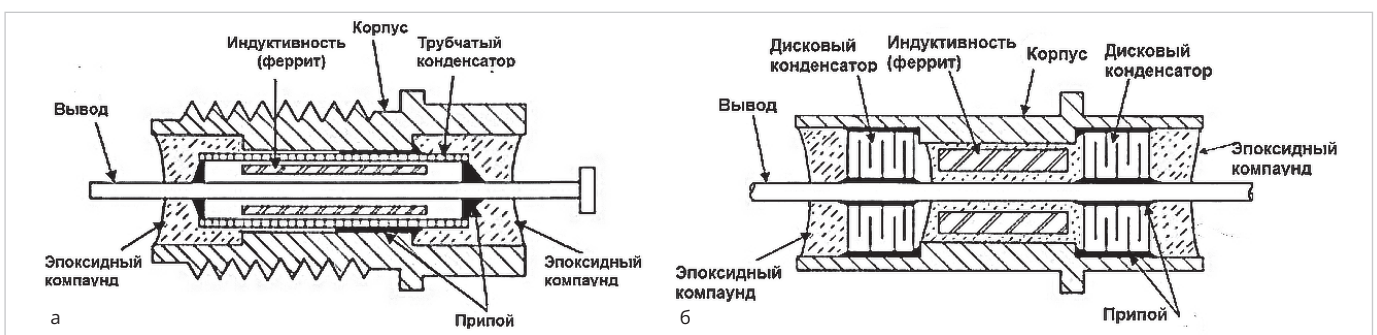


Рис. 4. Фильтры с трубчатым (а) и дисковыми (б) конденсаторами

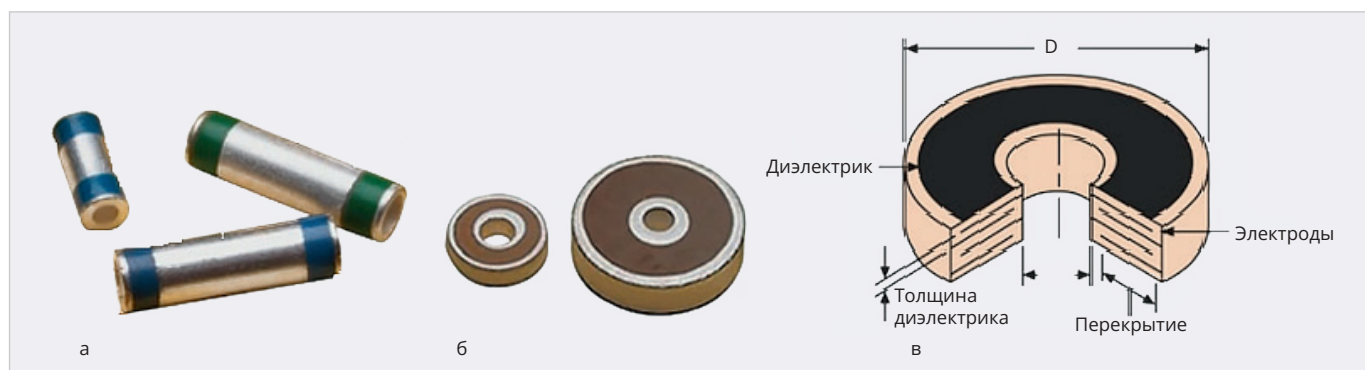


Рис. 5. Трубчатые конденсаторы (а), дисковые конденсаторы (б), конструкция многослойного дискового конденсатора (в). D и d – наружный и внутренний диаметры дискового конденсатора

Таблица 2. Температурный коэффициент ёмкости конденсаторов типа 1 и изменение ёмкости конденсаторов типа 2

Группа по температурной стабильности ёмкости	Тип 1		Тип 2	
	ТКЕ в интервале температур от -60...+125°С,		Группа по температурной стабильности ёмкости	Изменение ёмкости в интервале рабочих температур, %, не более
	Номинальное значение	Допускаемое отклонение		
П133	33	30	H20	20
МПО	0	30	H30	30
М47	-47	40	H50	50
М330	-330	60	H70	70
М750	-750	120	H90	80
М1500	-1500	250	-	-
М2200	-2200	500		
М3300	-3300	500		

бротность и линейную температурную зависимость диэлектрической проницаемости;

- X7R с диэлектрической проницаемостью от 1000 до 4000, изменяющейся не более чем на ±15% в диапазоне температур от -55 до +125°С;
- Z5U с диэлектрической проницаемостью от 5000 до 8000, изменяющейся в диапазоне температур от +10 до +85°С не более чем на 22...56% от значения при температуре +25°С;
- Y5V с диэлектрической проницаемостью от 10 000 до 15 000, изменяющейся в диапазоне температур -30...+85°С от -22 до +82% от значения при температуре +25°С. Из-за низкой стабильности фактическая ёмкость конденсатора, изготовленного на его основе, в наихудшем случае может составлять лишь около 15% от номинальной ёмкости. Отечественные конденсаторы в зависимости от используемого керамического материала подразделяются на типы и группы по температурной стабильности ёмкости.

Температурную стабильность керамического материала характеризует температурный коэффициент ёмкости (ТКЕ), отражающий относительное изменение ёмкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия. Конденсаторы типа 1 имеют линейную зависимость ёмкости от температуры и разделяются на группы по значению температурного коэффициента ёмкости. Конденсаторы типа 2, используемые в помехоподавляющих фильтрах, имеют значительную нелинейную температурную зависимость ёмкости и разделяются на группы по температурной стабильности ёмкости в интервале рабочих температур – табл. 2 [5, 11].

Индуктивный элемент фильтров представляет собой кольца или трубки из термостабильного феррита, надетые на центральный вывод фильтра. В отечественных фильтрах чаще всего применяют феррит марки 50ВН с начальной магнитной проницаемостью 50.

## Типы миниатюрных помехоподавляющих фильтров

### Зарубежные фильтры

За рубежом разработано большое количество миниатюрных помехоподавляющих фильтров с разными электрическими схемами, отличающихся по конструкции, типу применённого керамического материала конденсатора и величине электрической ёмкости. Созданы фильтры резьбовые и безрезьбовые, герметизированные эпоксидным компаундом и металлостеклянным спаем. Проходные помехоподавляющие фильтры разработаны и выпускаются ведущими зарубежными компаниями, представленными в табл. 3.

Основные типы миниатюрных зарубежных фильтров показаны на рис. 6.

- В герметичных безрезьбовых фильтрах с С, L-С и Pi – электрическими схемами, впаиваемых в корпуса устройств (Miniature in Style Filters, Solder Mount), металлостеклянный спай располагают на одном конце фильтра, а его противоположный конец герметизируют эпоксидным компаундом с низким коэффициентом термического расширения (рис. 6а). Электрическая ёмкость этих фильтров 5 пФ ... 0,1 мкФ (в фильтрах с повышенной ёмкостью применены многослойные дисковые конденсаторы), номинальный ток 5...10 А.
- Безрезьбовые, герметизированные компаундом, впаиваемые в корпуса устройств фильтры (Solder-in Filters, Solder-in Pi Circuit, Solder Mount Pi-Filter) показаны на рисунке 6б. Миниатюрные «глазковые» фильтры (Eyelet Style) – керамические фильтры с наружной тонкостенной втулкой для крепления в корпус изделия. Фильтры имеют ёмкость до 5000 пФ и рассчитаны на ток до 10 А. Диапазоны рабочих температур: -55...+85°С и -55...+125°С.

Таблица 3. Зарубежные компании – производители фильтров

№	Компания (страна)	Сайт
1	Spectrum Control Inc. (США) входит в состав API Technologies Corp. (США)	www.spectrumcontrol.com
2	Kyocera – AVX Corp. (США)	www.kyocera-avx.com
3	Tusonix Inc. входит с 2008 года в состав компании CTS Corporation (США)	www.tusonix.ctscorp.com
4	Eurofarad (Франция) входит в группу компаний Exxelia	www.eurofarad.com, www.exxelia.com
5	Syfer Technology Ltd. (Англия)	www.syfer.com
6	Oxley Inc. (Англия)	www.oxleygroup.com
7	Souriau PA&E (Франция)	www.souriau.com
8	EMI Filter Company (США)	www.emifiltercompany.com
9	Corry Micronics Inc. (США)	www.cormic.com

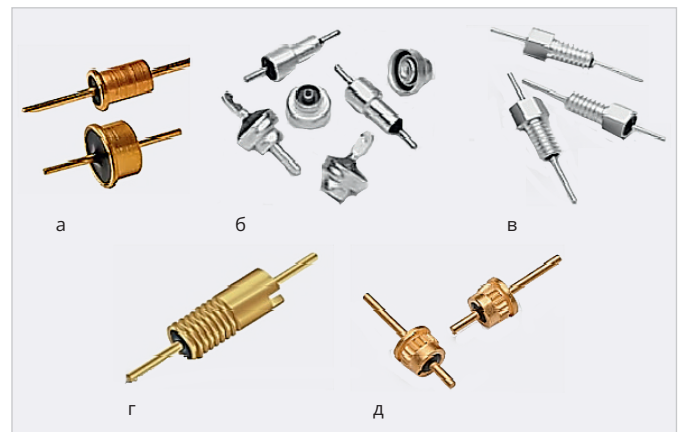


Рис. 6. Основные типы зарубежных миниатюрных проходных фильтров: а) безрезьбовые, герметизированные металлостеклянным спаем, б) безрезьбовые, герметизированные эпоксидным компаундом, в) резьбовые, герметизированные эпоксидным компаундом, г) резьбовые, без шестигранной головки, д) для прессовой посадки

Таблица 4. Отечественные производители миниатюрных проходных фильтров

№	Предприятия, город	Сайт
1	АО НИИ «Гириконд», Санкт-Петербург	www.giricond.ru
2	ОАО «Кулон», Санкт-Петербург	www.kulon.spb.ru
3	АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино Московской области	www.istokmw.ru
4	АО «Иркутский релейный завод»	www.irzirk.ru

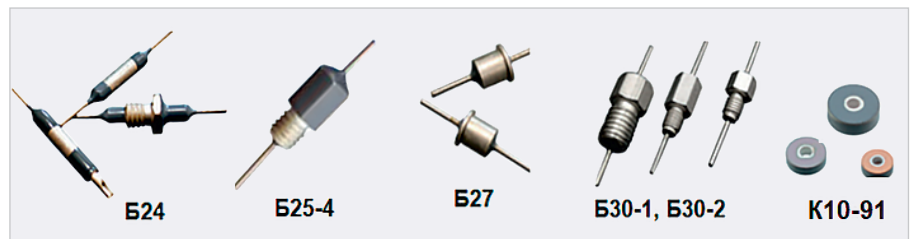


Рис. 7. Миниатюрные проходные фильтры АО НИИ «Гириконд» герметизированы эпоксидным компаундом

- Наиболее широко применяются миниатюрные резьбовые фильтры (Bolt-in Filters) с дюймовой резьбой на корпусе: 4-40UNC-2A, 6-32UNC-2A, 6-40UNF-2A и 8-32 UNC-2A, приблизительно эквивалентной метрической резьбе соответственно: М3×0,5, М3,5×0,6 и М4×0,7 – рис. 6в. Все миниатюрные резьбовые фильтры герметизированы эпоксидным компаундом (Resin Sealed Filters). Электрическая ёмкость миниатюрных резьбовых фильтров 10 пФ – 0,3 мкФ, номинальный ток до 10 А.
- В микроминиатюрных резьбовых фильтрах без шестигранной головки (Spin Filters) с резьбой 0-80UNF-2A на торце корпуса выполнена прорезь, в которую вставляют специальную отвёртку при вкручивании фильтра в изделие – рис. 6г. Фильтры разработаны на основе миниатюрных монокристаллических дисковых конденсаторов с электрическими схемами С, L-С, Pi и Т. Корпуса фильтров изготовлены из стали и покрыты золотом или серебром. Их электрическая ёмкость

10...18 000 пФ. Микроминиатюрные резьбовые фильтры предназначены для применения в изделиях с ограниченным пространством, в которых нет места для применения гаечного ключа, необходимого в случае установки в корпус изделия резьбовых фильтров.

- Фильтры для автоматизированной прессовой посадки (Press-in Filters) применяют, если нагрев изделия при пайке в него фильтров недопустим из-за опасности повреждения компонентов изделия – рис. 6д. Для обеспечения прессовой посадки на корпусе фильтра сделана накатка, а диаметр отверстия в корпусе изделия, в которое запрессовывают фильтр, приблизительно на 0,1 мм меньше диаметра фильтра в области накатки. Фильтры герметизированы эпоксидным компаундом и металлостеклянным спаем с противоположной стороны или только одним эпоксидным компаундом. Корпус фильтра изготовлен из стали и покрыт золотом. Ёмкость фильтров от 5 до 30 000 пФ, номинальное напряжение постоянного тока до 200 В, номинальный ток 5 А. Фильтры имеют электрическую С-схему, и их параметры аналогичны параметрам

стандартных резьбовых и безрезьбовых С-фильтров.

### Отечественные миниатюрные помехоподавляющие фильтры

В нашей стране миниатюрные проходные фильтры разрабатывают и выпускают 4 предприятия – табл. 4.

АО НИИ «Гириконд» выпускает следующие миниатюрные фильтры: B24, B27, B30-1, B30-2, K10-81 (многослойный дисковый конденсатор) – рис. 7. Все фильтры герметизированы эпоксидным компаундом.

В фильтрах B24 (АДПК 431145002 ТУ): B24-1 (Pi-типа) и B24-2 (С-типа) применены три варианта конструкции «а», «б», «в», отличающиеся способом монтажа фильтров в устройства. Монтаж фильтров «а» и «б» осуществляется пайкой корпуса фильтра, варианта «в» – при помощи резьбовой втулки (резьба М4). В фильтрах использованы трубчатые (диаметр трубки 2,4 мм) конденсаторы с ёмкостью 43...10 000 пФ. Рабочие напряжения 250 и 100 В, ток 10 и 5 А. Фильтры предназначены для подавления высокочастотных помех в диапазоне частот 700 кГц ... 10 ГГц в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режи-

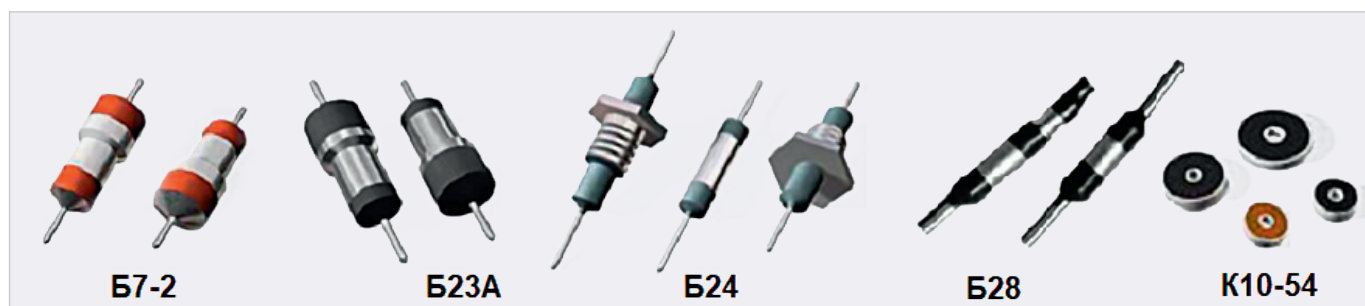


Рис. 8. Помехоподавляющие фильтры ОАО «Кулон»

мах. Величина вносимого затухания фильтров Б24 с ёмкостью более 1500 пФ в диапазоне частот 0,8...10 ГГц превышает 60 дБ.

Фильтр Б25-4 (АДПК 431145003ТУ) в металлическом резьбовом корпусе (резьба М4) с центральным проводником диаметром  $0,7 \pm 0,1$  мм разработан на основе дисковых многослойных керамических конденсаторов с электрической ёмкостью 0,015...0,33 мкФ. Рабочие напряжения фильтров 50, 100 и 250 В, ток 10 А. Фильтры предназначены для подавления высокочастотных помех в диапазоне частот от 10 кГц до 10 ГГц в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах. Величина вносимого затухания фильтров Б25-4 с ёмкостью более 0,01 мкФ на частоте 1 ГГц превышает 55 дБ.

Фильтры Б27 (АДПК 431145005ТУ) – первые отечественные фильтры в металлическом корпусе. Это фильтры С-типа, аналоги фильтров серии 4302 компании Tusonix, США, созданные на основе дисковых многослойных керамических конденсаторов с ёмкостью 100 пФ ... 0,15 мкФ. Диаметр корпуса фильтра 4 мм, диаметр центрального проводника  $0,7 \pm 0,1$  мм. Рабочие напряжения фильтров 50, 100, 160 и 250 В, ток 10 А. Величина вносимого затухания фильтров Б27 с ёмкостью более 6800 пФ на частоте 1 ГГц превышает 60 дБ.

Фильтры Б30-1 (С-типа) и Б30-2 (Pi-типа) (АДПК 431145006ТУ) для монтажа с помощью резьбового корпуса с резьбой соответственно М3 и М6. Фильтр Б30-1 – первый отечественный миниатюрный фильтр Pi-типа с повышенной крутизной АЧХ, аналог фильтров серии 4400 компании Tusonix. Фильтры Б30-1 и Б30-2 созданы на основе многослойных керамических конденсаторов с ёмкостью соответственно 100 пФ...0,33 мкФ и 150 пФ...0,22 мкФ. Рабочие напряжения фильтров Б30-1: 50, 100, 160 и 250 В, фильтров Б30-2: 100, 160 и 250 В, ток обоих фильтров 10 А. Величина вносимого затухания фильтров Б30-1 и Б30-2 с ёмкостью более 0,015 мкФ на частоте 10 ГГц превышает 60 дБ.

Фильтры К10-81(АДПК.673511.018ТУ) – серия многослойных керамических проходных конденсаторов с низким значением собственной индуктивности. Ёмкость конденсаторов от 4,7 пФ до 10 мкФ, группы температурной стабильности: МП0, Н20, Н50 и Н90. Конденсаторы К10-81 используются в качестве ёмкостных элементов фильтров помех разных типов. Величина вносимого затухания конденсаторов К10-81 с ёмкостью 6800 пФ на частоте 1 ГГц – 50 дБ, а с ёмкостью 0,1 мкФ – 65 дБ.

ОАО «Кулон» выпускает следующие миниатюрные проходные фильтры: Б7-2, Б14, Б23А, Б24, Б28 – рис. 8. Все фильтры герметизированы эпоксидным компаундом.

Б7-2 (ОЖО.206.005ТУ) – керамический проходной фильтр Pi-типа с ёмкостью 4700 пФ, предназначенный для работы в цепях постоянного и переменного токов для подавления высокочастотных помех в диапазоне частот 100...1500 МГц. Рабочее напряжение фильтра 250 В, ток 5 А. Габаритные размеры фильтра: диаметр 6 мм, диаметр центрального проводника 0,8 мм. Величина вносимого затухания фильтра Б7-2 в диапазоне частот 200...800 МГц – 50 дБ.

Б23А (ОЖО.206.021ТУ) – керамические проходные фильтры Pi-типа с номинальной ёмкостью 1000; 1500; 2200; 3300; 4700 пФ, предназначенные для подавления высокочастотных помех в диапазоне частот 100 МГц ... 10 ГГц. Рабочее напряжение фильтров 250 В, ток 10 и 15 А. Габаритные размеры фильтров: диаметр 5 или 6 мм, диаметр центрального проводника 0,7 мм. Минимальная величина вносимого затухания фильтров Б23А в диапазоне частот 4...10 ГГц равна 40 дБ.

Фильтр Б24 (АДПК.431145.002 ТУ) выпускают и ОАО «Кулон», и АО НИИ «Гириконд». Его технические характеристики были рассмотрены ранее.

Б28 (АЖЯР.431145.004 ТУ) – сравнительно новая разработка ОАО «Кулон». Б28 – серия помехоподавляющих фильтров и фильтр-контактов, выпуска-

емых для применения в специальной радиоэлектронной аппаратуре и в составе электрических соединителей. Разработаны 2 варианта конструкции фильтров Б28. Фильтр варианта «а» с проволочным центральным проводником диаметром 0,7 мм, варианта «б» – с выводом-контактом для соединителей. Разработаны фильтры Б28 С-типа и Pi-типа с ёмкостью 47...10 000 пФ, номинальным напряжением 100 и 250 В, номинальным током 4 А. Фильтры обеспечивают подавление высокочастотных помех в диапазоне частот 0,7...10 000 МГц, величина вносимого затухания до 70 дБ.

К10-54 (АДПК.673511.006 ТУ, ОЖО.460.199 ТУ) – монолитные керамические конденсаторы дисковой конструкции с отверстием для проходного вывода, применяемые для работы в цепях постоянного и переменного тока и для комплектации помехоподавляющих фильтров.

АО «НПП «Исток» им. Шокина» разработало серию миниатюрных герметичных проходных LC-фильтров для подавления электромагнитных помех в цепях питания и управления изделий СВЧ [1]. Конструкция фильтров показана на рис. 9, а их внешний вид – на рис. 10.

Разработаны миниатюрные безрезьбовые (10 модификаций), резьбовые (3 модификации) и кабельный (для подвода напряжения при помощи радиочастотного кабеля) фильтры. Все фильтры герметизированы металлокерамическим спаем (скорость натекания менее  $1,3 \times 10^{-11}$  м<sup>3</sup>Па/с) без применения компаунда и имеют допустимую температуру кратковременного нагрева до 280°С. Диаметр центрального проводника всех фильтров равен 0,8 мм. Диаметры безрезьбовых фильтров разных типов:  $\varnothing D_1 = 2,6; 3,4$  мм,  $\varnothing D = 3,2; 4,0$  мм, длина корпуса  $l_2 = 4; 6$  мм, длина центрального проводника  $L = 14,5; 13; 10,5; 10$  и 8 мм. Резьбовые фильтры выполнены с резьбой на корпусе М4×0,5 или М3×0,5. Покрытие металлических поверхностей фильтров НЗ.Пд-Н(89)6.

Таблица 5. Вносимое затухание фильтров АО «НПП «Исток»

Ёмкость фильтра, пФ	Вносимое затухание (дБ) на частоте (ГГц)				
	0,01	0,1	1,0	10	18
5000	10	20	35	50	60
3000	8	15	30	45	60
2500	5	12	25	40	50
1500	–	5	15	30	40
50–100	–	–	<3	10	25

Масса фильтров менее 0,5 г, кабельного фильтра – менее 1,4 г. Электрическая ёмкость фильтров: 5000, 3000, 2500, 1500, 50...100 пФ, номинальное напряжение 100 В, номинальный ток 3 А, диапазон рабочих температур: –60...+125°С.

Вносимое затухание фильтров в зависимости от частоты представлено в табл. 5. Разработанные фильтры не имеют отечественных аналогов.

Иркутский релейный завод в последние годы разработал и выпускает миниатюрные фильтры ФПГ-01 (С-типа) для подавления электромагнитных помех в диапазоне частот от 1 МГц до 10 ГГц. Разработаны 7 модификаций этих фильтров с ёмкостью 27, 100, 510, 1000, 5100, 10 000, 30 000 пФ. Конструкция и внешний вид фильтров показаны на рис. 11.

Фильтры герметизированы металло-стеклянным спаем, корпус и центральный проводник изготовлены из сплава 29НК и покрыты сплавом золото-кобальт М.НЗ.Зл-Ко(99,5-99,9)3. Максимальное вносимое затухание фильтров с ёмкостью 30 000 пФ на частоте 10 ГГц равно 55 дБ.

## Заключение

Разработана широкая номенклатура проходных фильтров гражданского применения для применения в устройствах специального назначения, где необходимы герметичные помехоподавляющие фильтры с высоким уровнем электрических параметров и с уменьшенными размерами и массой. Создание таких фильтров возможно только на основе многослойных дисковых керамических конденсаторов и герметизации фильтров метал-лостеклянным спаем, без применения органических компаундов. Размеры дискового конденсатора определяют размеры фильтра. За рубежом созданы дисковые конденсаторы с минимальным диаметром 1,27±0,25 мм [5]. Минимальный диаметр отечественного дискового конденсатора 4±0,5 мм. В этом направлении, а также для создания керамических материалов с высоким уровнем диэлектрических параметров и совершенствования

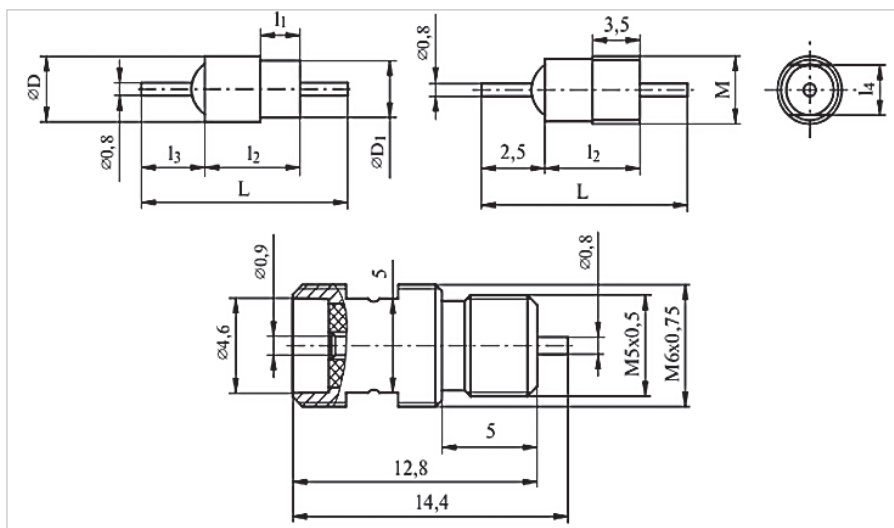


Рис. 9. Конструкция фильтров АО «НПП «Исток»

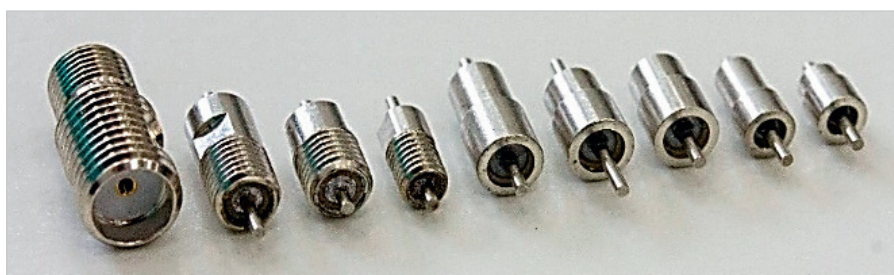


Рис. 10. Внешний вид фильтров АО «НПП «Исток»

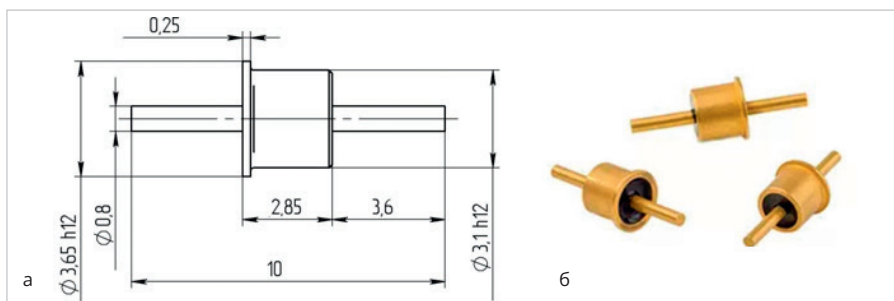


Рис. 11. Конструкция (а) и внешний вид (б) фильтров ФПГ-01

технологии серийного изготовления фильтров необходимы научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

## Литература

1. Джурицкий К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006. 216 с.
2. Князев А.Д., Кочиев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учётом электромагнитной совместимости. М.: Радио и связь, 1989. 224 с.
3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. М.: Высшая школа, 1990. 432 с.
4. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / пер. с англ.; под ред. М.В. Гальперина. М.: Мир, 1979. 317 с.
5. К.Б. Джурицкий. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. Борисова А.А., ЗАО «Медиа Группа Файн-стрит», Санкт-Петербург, 2014. 426 с.
6. EMI Filtering Product Guide / Innovate EMC Solutions. Каталог компании «Spectrum Control» (США), 1997.
7. EMI Filters. Проспект компании Syfer Technology Inc., 2008.
8. К.Б. Джурицкий. Миниатюрные коаксиальные фильтры для цепей управления микроэлектронных устройств // Компоненты и технология. 2007. № 2. С. 90–95.
9. PAE. cat.057. Souirau PA&E. 2007. Vol. 3.
10. Understanding Ceramic Capacitors: types - MLCC, COG, X7R, Y5V, NP0, etc // URL: <https://www.electronics-notes.com>.
11. Керамические помехоподавляющие конденсаторы и фильтры // URL: [www.giricond.ru](http://www.giricond.ru)