

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ СВЧ

КАКИЕ ЛУЧШЕ?

В журнале "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ", 2001, №3 была опубликована обзорная статья К.Джуринского, посвященная зарубежным и отечественным фильтрам, предназначенным для подавления электромагнитных помех в РЭА СВЧ. Последовала ответная реакция: письмо в редакцию "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ", 2002, №3. Его автор — М.Ю.Воловик, внесший значительный вклад в создание отечественной базы керамических конденсаторов и фильтров, — посчитал, что в обзорной статье слишком большое внимание уделено зарубежным разработкам, тогда как отечественные освещены не достаточно всесторонне. Чтобы восполнить пробел, М.Ю.Воловик опубликовал две статьи, посвященные современному состоянию и ближайшим перспективам развития керамических конденсаторов и фильтров, серийно выпускаемых ОАО НИИ "Гириконд" [1,2]. Лейтмотив этих публикаций — утверждение, что "отечественные проходные конденсаторы и фильтры по своим характеристикам практически не уступают зарубежным аналогам, но значительно дешевле их" ([2], с.36). Из этого следует, что разработчикам изделий микроэлектроники СВЧ не нужны дорогостоящие зарубежные фильтры, так как предприятия "Гириконд" и "Кулон" (Санкт-Петербург) выпускают более дешевые компоненты, не уступающие по своим параметрам зарубежным. Так ли это? Насколько полностью удовлетворяют требованиям современной микроэлектроники СВЧ серийно выпускаемые отечественные помехоподавляющие фильтры? И какие фильтры окажутся в распоряжении разработчиков через несколько лет? Попробуем ответить на эти вопросы.

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Борьба с электромагнитными помехами — важнейшая задача при создании РЭА СВЧ и, прежде всего, изделий микроэлектроники СВЧ. Подход к ее решению все более усложняют следующие факторы:

К.Джуринский

- возрастание функциональных возможностей и сложности изделий;
- миниатюризация;
- увеличение плотности компоновки и усиление взаимного влияния компонентов;
- повышение рабочих частот;
- рост требований к надежности и долговечности и вследствие этого — необходимость герметизации изделий.

Основное средство подавления меж- и внутрисистемных помех, а также развязки по СВЧ в цепях питания, управления и коммутации постоянного и переменного токов — помехоподавляющие фильтры нижних частот, защищающие аппаратуру от внешних и внутренних помех, распространяющихся от источника питания, а сеть питания — от помех, создаваемых изделием. Фильтры устанавливаются в каждый незаземленный провод в цепи питания между источником и нагрузкой, по возможности как можно ближе к источнику помех.

Таким образом, из этого следует, что к фильтрам, применяемым в современных изделиях микроэлектроники СВЧ, предъявляются следующие основные требования [3]:

- миниатюрность;
- герметичность на уровне $10^{-9} - 10^{-11}$ м³·Па/с, определяемая скоростью натекания через фильтр;
- высокий уровень вносимого затухания в диапазоне частот от нескольких мегагерц до 18 ГГц;
- предотвращение повреждения фильтров при монтаже в изделие;
- возможность пайки фильтра в корпус изделия (без нарушения конструкции и ухудшения его параметров) при температуре кратковременного нагрева не ниже 230°C;
- низкая стоимость.

Именно по этим параметрам следует сравнивать отечественные и зарубежные помехоподавляющие фильтры, применяемые в микроэлектронике СВЧ. Еще раз подчеркнем: только фильтры для СВЧ-электроники. Другие области применения (силовая, автомобильная электроника, электротехнические изделия и др.) не являются объектом рассмотрения. Не рассматриваются и отечественные керамические трубчатые конденсаторы типов КТП, многослойные конденсаторы К10-54, LC-фильтры К10-78, а также соответствующие им зарубежные аналоги, поскольку их применение в микроэлектронике СВЧ ограничено.

Миниатюрность. Габаритные и присоединительные размеры фильтра, как и его массу, выбирают с учетом размеров и толщины стенки корпуса изделия, а также общего числа устанавливаемых фильтров. Для СВЧ-модулей разных типов требуется от нескольких до десяти и даже более фильтров. Толщина стенки корпусов модулей лежит в пределах 2–6 мм. Следовательно, диаметр корпуса



фильтров для изделий микроэлектроники СВЧ должен быть не более 4 мм, длина – не более 10 мм, а масса – 1–2 г. Крупные фирмы США, Европы и Азии выпускают в совокупности 8000 типов фильтров [2]. Но из-за требования миниатюрности большинство из этих фильтров приходится исключить из рассмотрения. К миниатюрным нельзя отнести и отечественные фильтры типов Б7-2, Б14, Б23А и Б23Б.

Герметичность. Существуют два способа герметизации фильтров. Первый – заливка обоих торцов его корпуса термостойким эпоксидным компаундом, иногда с последующим нанесением изоляционного лака. Этот способ использован во всех серийно выпускаемых отечественных фильтрах: Б7-2, Б14, Б23А, Б23 и Б24. Герметичность таких фильтров не регламентируется. Не имея отечественных миниатюрных герметичных фильтров, разработчики изделий микроэлектроники СВЧ вынуждены устанавливать негерметичный фильтр в шлюзовую отсек корпуса изделия, а герметичность обеспечивать применением металлостеклянного ввода, вплаиваемого в его корпус. Выводы фильтра и ввода соединяют перемычкой. Этот прием вряд ли можно признать эффективным, если учесть еще, что в изделии используются несколько фильтров.

Второй способ – применение металлостеклянного спаев. В этом случае обеспечивается вакуумная плотность фильтра – скорость натекания не превышает 10^{-11} м³·Па/с. Именно такие фильтры желательнее применять в современной герметизированной РЭА СВЧ повышенной надежности и долговечности. Многие фильтры зарубежных фирм, герметизированные металлостеклянным спаем, имеют большую электрическую емкость (от десятых долей до нескольких микрофард) и вследствие этого эффективно подавляют электромагнитные помехи с частотами более 10 кГц. Однако их габариты и масса велики и поэтому в микроэлектронике СВЧ такие фильтры не применяются. Миниатюрные С- и L-С-фильтры выпускают фирмы: Maxwell, Spectrum Control (США), Tusonix (Франция, США), Eurofarad (Франция) (табл. 1).

ВНОСИМОЕ ЗАТУХАНИЕ В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Предварительные замечания. При изучении работ, посвященных отечественным фильтрам [1,2,4], возникает ряд вопросов. Во-первых, вносимое затухание (основной параметр фильтров) определяется в измерительной схеме с волновым сопротивлением 75 Ом. Однако в технике СВЧ общепринято значение волнового сопротивления 50 Ом, и зарубежные производители фильтров определяют вносимое затухание только в 50-Ом измерительной схеме.

По-видимому, имеются и другие различия в методиках измерения. Известно, например, что зарубежные измерители КСВ и ослабления позволяют измерять вносимое затухание 60 дБ и более, а существующие отечественные – менее 40 дБ. Не этим ли объясняется низкое, по сравнению с зарубежными данными, значение вносимого затухания (35–45 дБ) фильтров Б7-2, Б14, Б23А? И чем подтверждается достоверность приводимого для фильтров Б24 и Б23Б вносимого затухания в 65–70 дБ? К сожалению, эти вопросы авторы работ [1,2] не рассматривают.

Во-вторых, приведенные в работах [1,2,4] значения вносимого затухания в некотором диапазоне частот для отечественных фильтров (исключая фильтры Б23Б и Б24) не являются информативным показателем. Как понимать, например, что у фильтра Б7-2 вносимое затухание в диапазоне частот 100–200 МГц равно 35 дБ, если на частоте 100 МГц (а это частота среза) оно равно 3 дБ? Для установления истинных параметров помехоподавления приходится обращаться к техническим условиям. Только в них, как и во всех зарубежных источниках, приведены значения вносимого затухания на фиксированных частотах рабочего диапазона, по которым можно просмотреть частотную зависимость вносимого затухания.

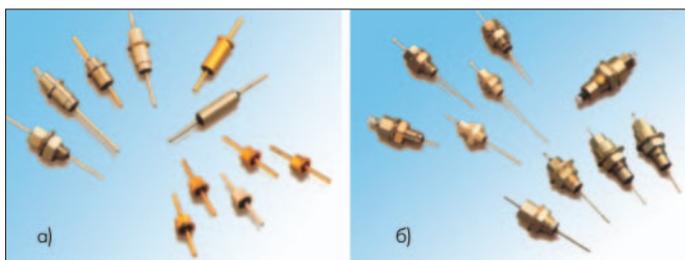
И наконец, при анализе данных работ [1,2] непонятно, почему для фильтров с одинаковой индуктивностью 0,05 мкГн типов Б7-2 (номинальная емкость 4700 пФ) и Б14 (3300 и 4700 пФ) верхняя частота помехоподавления ограничена величиной 1,5 ГГц, а для фильтра Б23А (емкость 1000 и 1500 пФ) – 10 ГГц?

Несмотря на эти замечания, сравним вносимое затухание аналогичных отечественных и зарубежных фильтров. Габариты и масса фильтров Б7-2, Б14 и Б23А велики, уровень вносимого затухания мал (35–45 дБ), недостаточен и гарантированный частотный диапазон помехоподавления (исключая Б23А). Поэтому из всех отечественных фильтров имеет смысл отсановиться только на наиболее перспективных Pi-фильтрах Б24. Это серия фильтров с номинальной емкостью от 43 до 10000 пФ и индуктивностью от 0,03 до 1,8 мкГн. Значение вносимого затухания на высоких частотах достигает 65–70 дБ. Частота среза для фильтров с емкостью 10000 пФ равна 0,7 МГц.

Проведенный нами статистический анализ параметров большого числа зарубежных фильтров показал, что при емкости 100 пФ частота среза равна 100 МГц, при 1500 пФ – 10 МГц, а при 10000 пФ – менее 1 МГц. Уровень вносимого затухания фильтров зарубежных производителей на частотах более 1 ГГц составляет 60–70 дБ. Таким образом, по своим

Таблица 1. Основные параметры миниатюрных отечественных и зарубежных фильтров

Фирма	Серия	Число типовых размеров, шт.	Электрическая схема	Емкость, пФ	Особенности конструкции
ОАО НИИ "Гириконд", ОАО "Кулон" [1,2,4]	Б24 (варианты а,б,в)	8 (по номинальной емкости)	Pi	43–10000	Безрезьбовые. Диаметр корпуса – 2,4 мм, длина – 10,12 мм, диаметр вывода – 0,7 мм. Резьба – М 4х0,7 (вариант в). Герметичность – не регламентируется
Eurofarad [5]	FC030	16	С	100–33000	Безрезьбовые. Диаметр корпуса – 3,2 мм, длина – 2,8 мм (С-фильтры), 8,0 мм (L-С и Pi фильтры), диаметр вывода 0,8 мм Резьба – 8-32UNC-2A или М 4х0,7
	FL030	8	L-С		
	FP030	5	Pi		
	FP040	2	Pi		
Maxwell [6]	1210	8	С	10–15000	Безрезьбовые. Диаметр корпуса 3,25 и 4,2 мм, длина 2,8 и 3,8 мм (С-фильтр), 5,1 и 6,35 мм (L-С-фильтр), диаметр вывода 0,76 мм Резьба – 4-40 UNC-2A. Диаметр вывода – 0,46 мм, длина корпуса – 7,45 мм
	1610	6	L-С	1000–50000	
	1230	8		10–15000	
	1630	6		1000–50000	
	5020	8	С	1000–50000	
	5040	8	L-С		
Tusonix [7]	4300	38	С	5–15000	
Spectrum Control [8]	SCI-9900 SCI-9910 SCI-9920	14	С	5–30000	Безрезьбовые. Диаметр корпуса – 3,25 мм, длина – 2,8 мм, диаметр вывода – 0,76 мм
ФГУП "НПП "Исток" [3,9,10]	КРПГ	13	L-С	50–5000	Резьбовые – М 3х0,5, М 4х0,7. Безрезьбовые. Диаметр корпуса – 3 и 4 мм, длина – 6 и 8 мм, диаметр вывода – 0,8 мм



Безрезьбовые (а) и резьбовые (б) фильтры фирмы "Eurofarad"

электрическим параметрам отечественные фильтры Б24 действительно не уступают зарубежным.

ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ФИЛЬТРОВ В КОРПУСА ИЗДЕЛИЙ

Допустимая температура нагрева. Конструкция всех отечественных фильтров, основы которой были разработаны еще в 60-е годы прошлого века, имеет две отличительные черты:

- использование керамического трубчатого конденсатора в качестве элемента корпуса фильтров Б7-2, Б23А, Б24 (варианты а и б). В фильтрах Б14 и Б24 (вариант в) на конденсатор припаивается резьбовая втулка, являющаяся элементом крепления и служащая для отвода помех "на землю" [2], но это принципиально не меняет сути конструкции;
- применение эпоксидного компаунда для герметизации фильтров.

В связи с этим монтаж фильтров в корпуса изделий возможен только путем клеивания или низкотемпературной пайки в течение менее 4 с припоями типа ПОСК50-18 (температура плавления 145°C) паяльником с температурой жала 200±10°C. Перегрев более чем на 10°C недопустим. Соединение выводов фильтров с электрической схемой необходимо выполнять пайкой припоями ПОСК50-18 или ПСрОС-58. При этом рекомендуется применять теплоотвод от контактного узла фильтра, поскольку перегрев приводит к размягчению компаунда и смещению вывода, а также к возникновению трещин в керамическом корпусе, что хорошо известно тем, кто имел дело с отечественными фильтрами.

При монтаже фильтров необходимо соблюдать осторожность, так как изгибающие нагрузки, крутящие моменты более 0,025 кгс·м и удары приводят к образованию трещин и сколов керамики и могут вывести фильтры из строя [1,2]. Между тем многих этих недостатков можно было бы избежать, если, подобно зарубежным фирмам, изготавливать фильтры в металлических корпусах и герметизировать их металlostеклянным спаем.

Фильтры, выпускаемые различными зарубежными фирмами, близки по своим конструктивным и электрическим параметрам. Поэтому ограничимся кратким анализом фильтров фирмы Eurofarad (см. рисунок), недавно появившихся на отечественном рынке. Эти фильтры герметизированы с одного торца металlostеклянным спаем, а с другого – термостойким компаундом. Допустимая предельная температура кратковременного (не более 6 с) нагрева фильтров при пайке в корпуса изделий составляет 275±5°C. Металлические корпус и выводы фильтра покрыты серебром или золотом. Диапазон рабочих температур фильтров серии FC030 составляет -55–175°C, остальных серий – от -55 до 125°C.

В отечественных и зарубежных фильтрах применяются миниатюрные керамические трубчатые

и многослойные дисковые конденсаторы. Они в значительной степени определяют основные параметры фильтров, поэтому фирмы-изготовители фильтров обычно имеют собственное керамическое производство. Уровень технологии изготовления конденсаторов в нашей стране и за рубежом можно сравнить хотя бы по точности их размеров (табл.2). Результаты сравнения в комментариях не нуждаются. Ясно только, что конденсаторы ОАО "Кулон" с недопустимо большим разбросом размеров по наружному и внутреннему диаметрам непригодны для установки (впаивания) в герметичные металlostеклянные корпуса фильтров.

Стоимость фильтров. Фильтр Б24 стоит менее 2 долл. Цена фильтров зарубежных фирм в зависимости от их назначения, сложности конструкции и объема поставляемой партии, по имеющимся у автора данным, составляет 2–10 долл. Для изделий микроэлектроники СВЧ желательно применять фильтры, соответствующие военным стандартам, а такие фильтры, естественно, стоят дороже.

ЕСТЬ ЛИ АЛЬТЕРНАТИВА МИНИАТЮРНЫМ ГЕРМЕТИЧНЫМ ЗАРУБЕЖНЫМ ФИЛЬТРАМ?

Вследствие отсутствия отечественных серийно выпускаемых фильтров, удовлетворяющих требованиям современной микроэлектроники СВЧ, предприятие ФГУП "НПП "Исток" было вынуждено разработать и освоить выпуск миниатюрных герметичных L-C-фильтров в металлических корпусах (см. табл.1) [3,9,10]. В конденсаторах для разработанных фильтров применены трубки с высокоточными размерами из керамики Т10000 (группа Н90) и Т-150 производства РУНПП "Монолит" (см. табл.2). В конструкции фильтров не используются органические материалы. Металлические поверхности корпуса и выводы фильтра покрыты сплавом палладий-никель. Благодаря этому допустимая температура кратковременного нагрева фильтров при пайке составляет 320°C, что при сборке изделий позволяет проводить ступенчатую пайку.

Созданные фильтры предназначены для обеспечения разработок и собственного производства предприятия. Но кроме этого они поставляются ещё более чем 25 предприятиям электронной техники. Годовой объём выпуска фильтров сравнительно невелик (20–25 тыс. шт.), поэтому их стоимость достаточно высока и сравнима с ценой зарубежных аналогов. Однако высокая стоимость оправдана высоким качеством фильтров. К сожалению, перспектива промышленного выпуска разработанных фильтров пока не просматривается.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

Эти направления сформулированы в работе [2]. Во-первых, – применение новых термостабильных керамических материалов при из-

Таблица 2. Точность размеров многослойных дисковых и трубчатых конденсаторов

Фирма	Многослойные дисковые конденсаторы			Трубчатые конденсаторы			
	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Толщина, мм	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	
	ОЖО.460.199ТУ			ФАЦТ.673511.001ТУ			
ОАО "Кулон" [4]	4±0,5	1,3 ^{+0,3} _{-0,45}	3	2,4 ^{+0,1} _{-0,2}	1,5 ^{+0,15} _{-0,005}	8,0	
РУНПП "Монолит" (Белоруссия) [11]	–			УБО.128.100ТУ Неметаллизированные трубки			
				2,6 _{-0,05}	1,8 _{-0,05}	1,8 ^{+0,05} _{1,3^{+0,05}}	7,5
Spectrum Control [8]	2,54±0,127 3,35±0,127 4,95±0,127	1,0±0,127 1,0±0,127 1,57±0,127	1,0 1,5 1,8	1,83±0,08 2,06±0,08 2,41±0,08	1,19±0,05 0,94±0,05 1,19±0,05	8,4 10,8 11,43	
Maxwell [6]	2,03±0,127 2,54±0,127 3,30±0,127 4,83±0,127	0,5±0,08 0,81±0,08 1,0±0,08 1,15±0,08	1,0 1,15 1,5 1,8	–			



готовлении конденсаторов фильтров. Во-вторых, – создание фильтров с номинальным напряжением до 1000 В и током до 200 А. В-третьих, – разработка С- и L-С-фильтров в металлических корпусах, подобных зарубежным Bolt-in-Filters. И наконец, – создание многозвенных фильтров, фильтров для "наплатного" монтажа и фильтров с варисторной защитой.

Из этих направлений для микроэлектроники СВЧ наибольший интерес представляют первое и третье. Актуальность создания и применения новых термостабильных материалов для конденсаторов несомненна. Вопрос лишь в том, будут ли выпускаться на основе таких материалов достаточно дешёвые миниатюрные трубчатые и многослойные дисковые конденсаторы с точными размерами. Важно также, что планируется разработка фильтров в металлических корпусах.

Но что понимается под зарубежным прототипом Bolt-in-Filters? Ведь обычно это резьбовые фильтры, герметизированные компаундом [4,9]. Их более точное название – Resin Style Bolt-in-Filters или Bolt Style Epoxy Seals. Хотелось бы, чтобы в качестве прототипа были выбраны Bolt Style Hermetic Filters [4,9] – резьбовые фильтры, герметизированные металлостеклянным спаем. Если этого не сделать, то в ближайшие годы в нашей стране не появятся миниатюрные герметичные промышленные фильтры и останутся связанные с этим проблемы.

ПОДВОДЯ ИТОГИ

Из всех серийно выпускаемых отечественной промышленностью фильтров для микроэлектроники СВЧ только фильтр типа Б24 конкурентоспособен с зарубежными аналогами. Эти фильтры дешевле зарубежных и не уступают им по таким основным параметрам, как миниатюрность, номинальная электрическая ёмкость, вносимое затухание в широком диапазоне частот.

Вместе с тем, миниатюрные зарубежные фильтры, герметизированные металлостеклянным спаем, превосходят фильтр типа Б24 по таким показателям, как герметичность, допустимая температура кратковременного нагрева, степень повреждаемости при установке и пайке в изделии.

ТАК КАКИЕ ЖЕ ФИЛЬТРЫ ЛУЧШЕ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИЛИ ЗАРУБЕЖНЫЕ?

Автор стремился дать объективную оценку достоинств и недостатков отечественных помехоподавляющих фильтров. Выбор же отечественного или зарубежного фильтра остаётся за разработчиками конкретных изделий микроэлектроники СВЧ. Несомненно только, что отечественная микроэлектроника СВЧ должна базироваться на отечественных компонентах, в том числе и фильтрах, не уступающих по своим параметрам зарубежным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воловик М.** Отечественные керамические проходные конденсаторы и фильтры для подавления электромагнитных помех. – Компоненты и технология, 2002, №5, с. 8–11.
2. **Воловик М., Смирнов В.** Керамические проходные конденсаторы и фильтры нижних частот. Состояние и перспективы развития. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №7, с. 36–40.
3. **Джуринский К.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Агентство "Издательский сервис", 2003 – 128 с.
4. ОАО "Кулон". Каталог, 2004.
5. "EMI RFI Filters. Product Catalog 029 фирмы Eurofarad". New Issue, 2003.

6. Каталог фирмы Maxwell Technologies Energy Product (Sierra- KD components), 2000.
7. EMI/RFI Filters. Каталог 4000R4 фирмы Tusonix Inc, 2003.
8. EMI Filtering Product Guide. Innovative. EMC Solution. Каталог фирмы Spectrum Control Inc. ISO 9001, 1997.
9. **Джуринский К.** Миниатюрные помехоподавляющие фильтры для РЭА СВЧ. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №3, с.24–30.
10. **Джуринский К.** Зарубежные и отечественные миниатюрные фильтры нижних частот для подавления помех в РЭА СВЧ. Справочные материалы по электронной технике.– НПП "Исток", 1998, 42 с.
11. РУНПП "Монолит". Каталог, 2003.