

УДК 621.372.543

Малогабаритные керамические СВЧ фильтры

Миргород Ю. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Все большую роль в коммерческой и военной областях играют беспроводные СВЧ системы связи. Однако при проектировании новых систем разработчики должны решить ряд технических проблем. С одной стороны, для передачи качественного видеоизображения, звука и информации другого рода необходимо применять сложные виды сигналов, поддерживающие высокоскоростные потоки данных, а с другой стороны, для увеличения продолжительности жизни батарей необходимо снижать уровни излучаемых сигналов и потребляемую системой мощность. Значительно сгладить указанные противоречия и найти компромиссное техническое решение позволяет использование новых технологий при разработке, как отдельных устройств, так и систем в целом.

Специфические требования накладываются и на фильтры, работающие в системах с широкополосными видами модуляции, которые должны иметь минимальные потери и малые габариты. Рост скоростей потоков данных требует повышенной пропускной способности каналов, что может быть достигнуто расширением полосы пропускания, т. е. использовать такие системы можно только в СВЧ диапазоне.

Успехи в решении проблем миниатюризации, повышения надежности и технологичности радиоэлектронной аппаратуры диапазона СВЧ в настоящее время основаны на использовании новых видов материалов, при этом совершенствование технологии их получения приводит к реализации перспективных твердотельных активных и пассивных приборов. Одной из разновидностей этих элементов в последние годы стали малогабаритные керамические фильтры (МКФ) на основе объемных коаксиальных резонаторов, применение которых позволяет по-новому решать проблему миниатюризации и создавать устройства с характеристиками, недостижимыми ранее на основе традиционных подходов к решению задач частотной фильтрации СВЧ сигналов [1].

Основными преимуществами этих фильтров являются: малые габариты (10x15x5 мм); небольшой вес (менее 5 г); широкий диапазон частот (от 0,8 до 10 ГГц); малые потери в полосе пропускания (от 0,1 до 4 дБ); механическая прочность; широкий температурный диапазон использования ($-60 \div +85^{\circ}\text{C}$); высокая надежность; возможность поверхностного монтажа. Все это позволяет успешно конкурировать МКФ с фильтрами на ПАВ — по диапазону рабочих частот и мощности, с микро-полосковыми и объемными фильтрами на диэлектрических резонаторах — по габаритам и весу, а в некоторых случаях позволяет заменять громоздкие волноводные фильтры.

Для сравнения представим сведения по мировым разработчикам керамических СВЧ фильтров. Ведущее место в мире по производству МКФ занимают фирмы Murata (Япония), UBE (Япония), SpectrumControl INC (США), Lorch (США), Epcos (ФРГ), Token (Тайвань), Accute (Китай). Они выпускают для коммерческого использования фильтры, работающие в диапазонах беспроводных стандартов связи: Bluetooth — 2400-2480 МГц (средняя частота 2440 МГц); HIPERLAN — средняя частота 5800 МГц; IEEE 802.11 — средние частоты 2450 МГц и 5800 МГц.

МКФ этих фирм позиционируются для использования в таких устройствах, как мобильные телефоны, приемопередатчики сотовых базовых станций, спутниковые телефоны и приемопередатчики, GPS и навигационное автомобильное оборудование, подвижные наземные радиостанции, кабельное телевидение, модемы, беспроводные ЛВС. Российскими разработчиками МКФ являются ОАО «RETEC-KORUS Ltd» и ОАО НИИ «Ферит-Домен».

Основные характеристики малогабаритных керамических фильтров, выпускаемых указанными фирмами, приведены в таблице. На данный момент существует два принципа построения МКФ: на основе дискретных резонаторов и моноблочная конструкция.

Основные характеристики
малогабаритных керамических фильтров

Название фирмы производителя	Наименование фильтра	Средняя частота f_0 , МГц	Полоса пропускания Δf , МГц	Вносимые потери $a_{вн}$, дБ	Габаритные размеры, мм
На основе дискретных резонаторов					
Murata	DFCH22G45HDHAA	2450	100	1,0	14×10×4
Spectrum Control INC	BPC3-2442-084SB	2442	82	2,4	10×8×3
Моноблочная конструкция					
Murata	DFCB32G45LBJAA	2450	100	3,2	3,6×3×1,6
Murata	DFCB35G77LAHAA	5775	100	3	4,1×4,1×1,6
Spectrum Control INC	IBB2-2442-084SA	2442	82	2	3,7×4,25×2
Spectrum Control INC	IDD2-5800-150SA	5800	150	2	4,2×3,4×2
Epcos	B69812N2337B313	2338	150	2	3,6×3×1,6
Epcos	B69842N5807A150	5800	150	1,3	3×2×1,6
RETEC - KORUS Ltd	VF2450B2	2450	100	2	6,5×4,3×3
RETEC - KORUS Ltd	VF5735B20M	5735	60	3	5×4×2,5
Ферит-Домен	M448.803	1601	45	1,2	10×9×5

В низкочастотной части СВЧ диапазона (до 3 ГГц) полосовые фильтры можно реализовать в виде комбинации отдельных одиночных резонаторов, которые связаны между собой магнитной связью витков проводников, присоединенных к соседним резонаторам. Общий вид одиночного керамического резонатора показан на рис. 1 а, б.

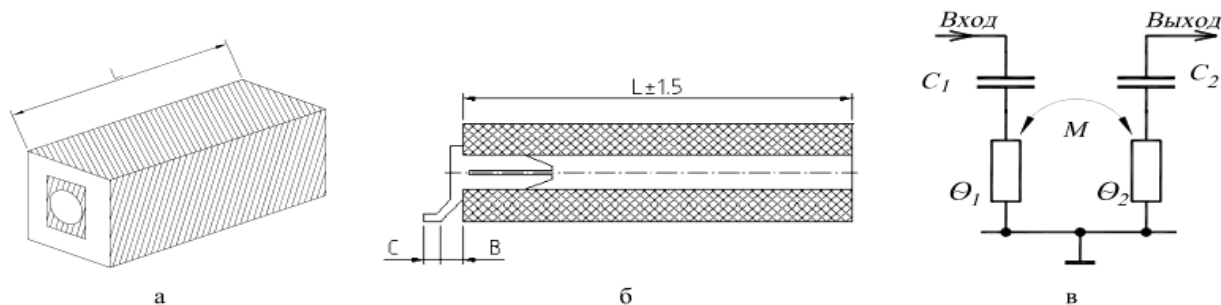


Рисунок 1 – Керамический резонатор

а – внешний вид; б – резонатор в разрезе; в – эквивалентная схема двухрезонаторного фильтра

Резонатор представляет собой закороченную на конце экранированную симметричную линию, длина которой близка к $\lambda/4$ (λ — длина волны). Торцевая симметричная линия формирует емкость резонатора и является местом присоединения резонатора к фильтру.

Керамический фильтр формируется из комбинации нескольких дискретных диэлектрических резонаторов с разной добротностью Q и, соответственно, с разной длиной. Пример реализации такого МКФ приведен на рис. 1в. Керамические резонаторы устанавливаются на монтажную плату, на которой сформированы площадки для подключения резонаторов (рис. 2). Для осуществления возможности поверхностного монтажа на обратной стороне платы сформированы контакты «вход», «выход» и «земля».

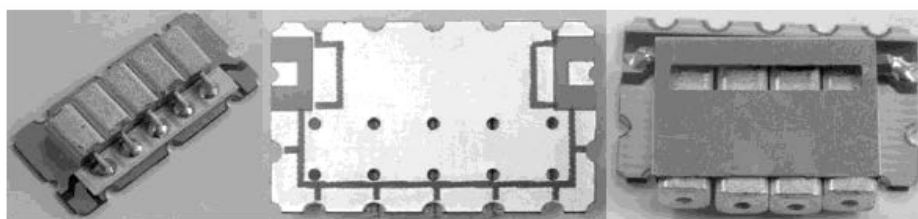


Рисунок 2 – Современная конструкция малогабаритного керамического фильтра

Экранирование фильтра и придание жесткости конструкции обеспечиваются дополнительно устанавливаемым металлическим кожухом. Данная конструкция с небольшими вариациями характерна для всех производителей фильтров на основе дискретных резонаторов.

К достоинствам конструкции фильтров на дискретных резонаторах можно отнести: возможность индивидуальной настройки каждого резонатора; возможность использования резонаторов с различными параметрами, что позволяет получать амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) необходимой формы; получение фильтров с большим количеством звеньев. Однако кроме достоинств есть у данной конструкции и изъяны: частотный (до 4000 МГц); увеличение потерь вследствие внешней связи между резонаторами; низкая механическая прочность; недостаточная термостабильность компонентов фильтра; дополнительная трудоемкость при изготовлении. Использование корпусов позволяет повысить механическую прочность и термостабильность фильтров, но при этом возрастают габаритные размеры и вес конструкции, а также усложняется процесс изготовления, что приводит к повышению себестоимости продукции.

Для устранения недостатков конструкции на дискретных резонаторах и улучшения характеристик была разработана моноблочная конструкция. Отличием ее является объединение резонаторов и реализация связи внутри монолитного объема аналогично связанным линиям передачи. Для получения необходимых характеристик фильтров (избирательности, полосы пропускания) формируется различное количество резонаторов (1-5) в объеме заготовки.

Условно конструкцию фильтра можно разделить на три основные части, каждая из которых выполняет определенную функцию: 1 — связанные диэлектрические резонаторы, реализованные в виде отрезков регулярных связанных симметричных линий круглого сечения, которые на торце закорочены; 2 — элементы связи с внешней цепью, выполненные из комбинации отрезков копланарной линии, расположенных над отрезком связанных линий с соответствующей нагрузкой на конце; 3 — схема внешней настройки фильтра, выполненная в виде проводящих площадок, обеспечивающих емкостную связь.

Моноблочная конструкция имеет ряд значительных преимуществ перед конструкцией фильтров на дискретных резонаторах: расширенный частотный диапазон (до 10 ГГц); механическая прочность (обеспечивается формой и материалом); термостабильность (обеспечивается выбором материала); малый вес и габариты (нет необходимости использовать корпус). А к недостаткам ее следует отнести: сложность получения многозвенных фильтров (ввиду сложности изготовления пресс-форм и согласования резонаторов между собой); невозможность индивидуальной настройки каждого резонатора; в некоторых случаях необходимость использования заготовок сложной конфигурации для получения АЧХ заданной формы (пазы, отверстия резонаторов разного диаметра и т.д.).

В работе представлены результаты разработки полосовых малогабаритных керамических СВЧ фильтров на основе моноблочной конструкции. Данная конструкция обеспечивает возможность проектирования фильтров на частоты 3-8 ГГц с необходимыми характеристиками. Механическая прочность, термостабильность и малый вес обеспечивается выбором керамического материала. Для улучшения технологичности используется двухзвенная конструкция фильтров, для расширения полосы пропускания осуществляется ослабление связи между резонаторами посредством паза заданной величины. Размеры керамических элементов, паза и конфигурация копланарных линий, обеспечивающих «вход» и «выход», определяются посредством расчета. Для улучшения характеристик фильтров предусмотрена возможность применения каскадирования, использования монтажной платы с заданными параметрами, установки экрана. Для осуществления подстройки предусмотрены проводящие площадки на открытой стороне фильтра, обеспечивающие емкостную связь и возможность нанесения рисок на копланарных линиях, образующих «вход» и «выход».

Внешний вид конструкции малогабаритного объемного керамического фильтра, принятой в качестве базовой, показан на рис. 3.

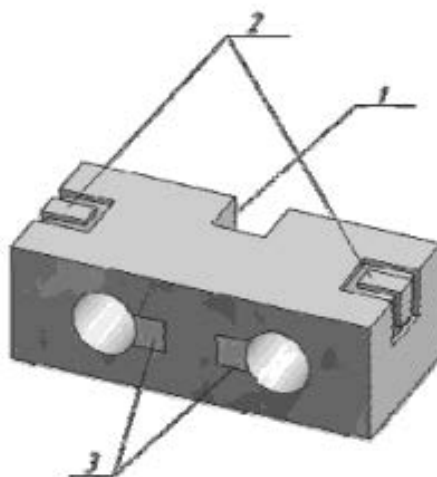


Рисунок 3 – Внешний вид конструкции малогабаритного объемного керамического фильтра

Для сравнения расчётных и экспериментальных характеристик фильтра удобно использовать измеритель модуля коэффициента передачи и отражения P2M-18 по схеме на рис. 4. Основные характеристики прибора: диапазон рабочих частот синтезатора от 10 до 18000 МГц; относительная погрешность установки частоты при работе от внутреннего опорного генератора $\pm 0,1\%$, волновое сопротивление выхода «СВЧ» 50 Ом.

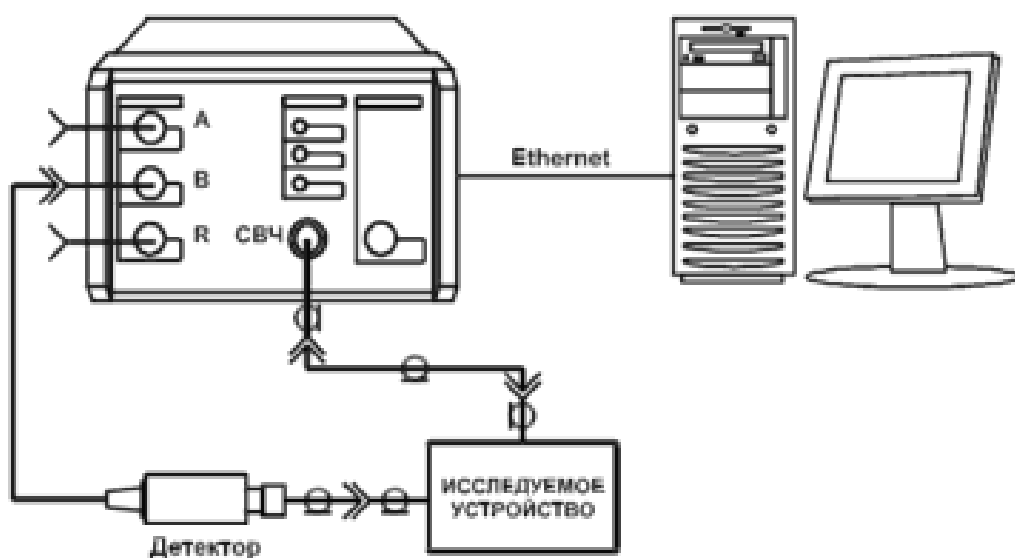


Рисунок 5 – Схема включения прибора P2M-18 для измерения модуля коэффициента передачи

Примеры АЧХ образцов фильтров приведены на рис. 5.

Как видно из характеристик коэффициента передачи, фильтры имеют ширину полосы пропускания от 0,5 до 3%, затухание в полосе пропускания не более 4 дБ (затухание на подключающем устройстве ~ 1 дБ). В полосе заграждения затухание составляет ~ 35 дБ. Неравномерность характеристик можно компенсировать с помощью подстроечных элементов.

Анализ полученных результатов показал, что двухзвенная моноблочная конструкция позволяет проектировать полосовые СВЧ фильтры в диапазоне 3-10 ГГц. Дальнейшая работа позволит эффективно использовать настройку фильтров для улучшения их параметров. Для

уменьшения потерь в полосе пропускания планируется уменьшить потери на отражение путем оптимизации элементов связи с внешней цепью.

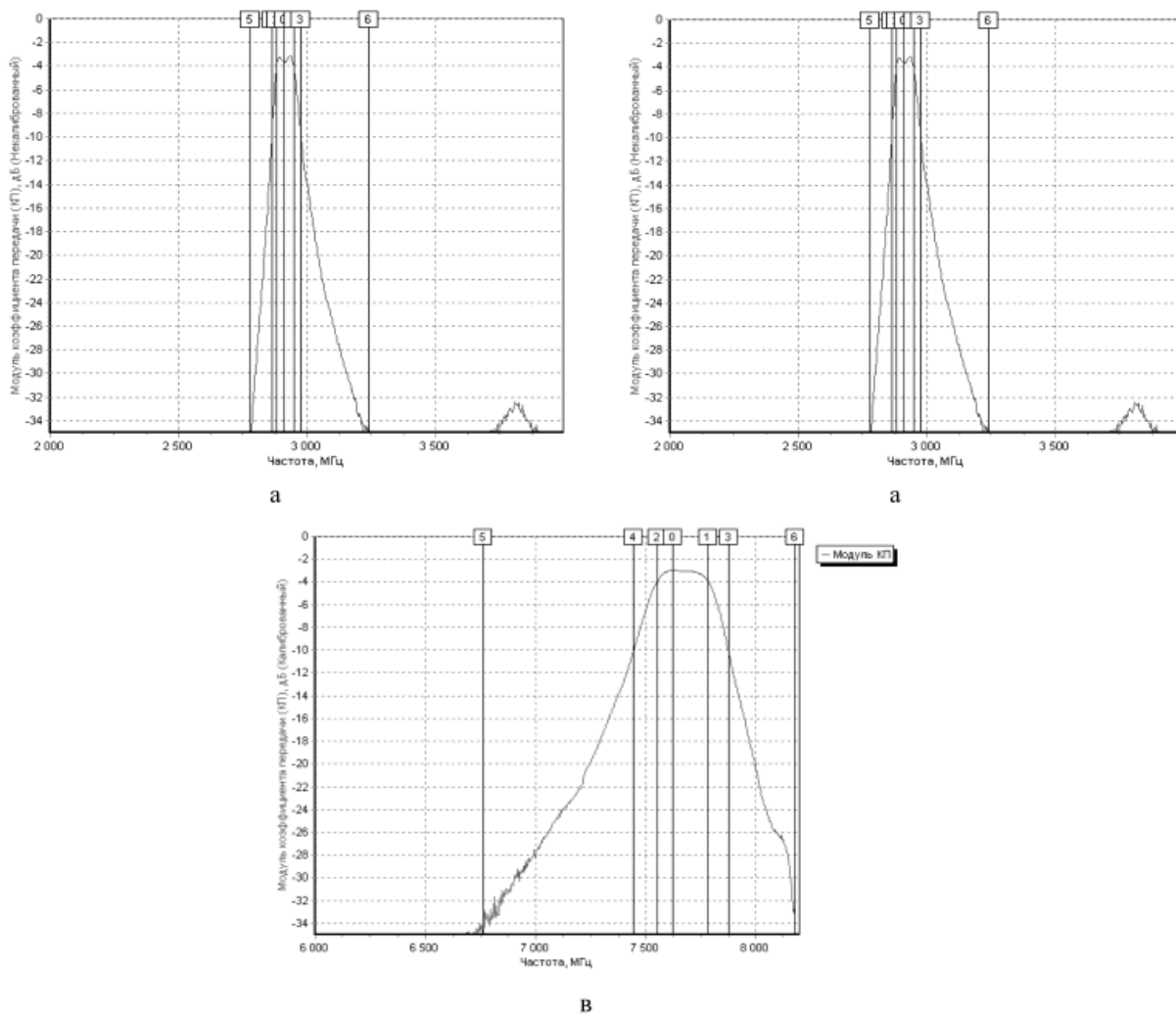


Рисунок 5 – Амплитудно-частотные характеристики малогабаритных керамических фильтров
 а – $f_0=2,9$ ГГц; б – $f_0=4,88$ ГГц; в – $f_0=7,65$ ГГц

Литература

1. Recent Dielectric Filter Technology and Relationship with SAW Technology in the Future. Jun Hattori. Murata Manufacturing Company, LTD