

ВЧ- и СВЧ-фильтры компании Reactel

Вадим КУВШИНОВ
Александр МАЙСТРЕНКО
info@avrex.ru

Фильтры — неотъемлемая часть ВЧ- и СВЧ-аппаратуры, от них зависит не только ее селективность, помехозащищенность, электромагнитная совместимость, но и надежность. Разрабатывать и выпускать широкий спектр различных типов фильтров с индивидуальными для каждого заказчика параметрами под силу только лидеру отрасли, каким и является компания Reactel. Статья знакомит читателей с фильтрами этой фирмы, отвечающими самым высоким требованиям по качеству и надежности.

С момента своего образования в 1979 году американская фирма Reactel (www.reactel.com) стала одним из лидеров по разработке и производству ВЧ- и СВЧ-фильтров и диплексоров. В результате многолетней исследовательской и практической деятельности были созданы законченные линии фильтров всех типов, включая фильтры на сосредоточенных элементах, резонаторные, волноводные, а также современные типы фильтров на подвешенных подложках. При разработке фильтров используются новейшие системы проектирования, а в производстве — парк станков с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяющий изготавливать фильтры быстро и экономично. Отдел контроля оснащен анализаторами цепей от ведущих мировых фирм, выполняющими измерения быстро и точно. Вложения в технологическое оборудование вылились в высокое качество и надежность продукции. Все фильтры компании Reactel сертифицированы для аэрокосмического применения.

Все серии фильтров Reactel стандартно выполняются как фильтры Чебышева с малой неравномерностью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), представляющие собой компромисс между малыми потерями, малым коэффициентом стоячей волны (КСВ) и высокой селективностью. По требо-

ванию заказчика могут выполняться фильтры Бесселя, Баттерворта, Гаусса, эллиптические или с линеаризованной фазочастотной характеристикой. Основные технические параметры всех рассмотренных в статье типов фильтров приведены в таблице 1. Такие технические параметры фильтров Reactel, как допустимое ускорение при ударе, допустимая вибрация, диапазон рабочих температур и допустимая влажность, отвечают стандарту MIL-STD-202G (табл. 2).

Фирма выпускает следующие виды фильтров:

- на дискретных элементах;
- на коаксиальных керамических резонаторах;
- резонаторные;
- на гребенчатых структурах;
- на подвешенных подложках;
- трубчатые.

Фильтры Reactel на дискретных элементах наиболее универсальны. Они разрабатываются для диапазона частот от 2 кГц до 5 ГГц, корпус может быть прямоугольным или цилиндрическим, выводы оформляются коаксиальными соединителями (BNC, SMA, TNC, N и др.) или в виде ножек для поверхностного монтажа (рис. 1). По виду АЧХ возможны любые типы фильтров: фильтры низкой частоты (ФНЧ), фильтры высокой частоты (ФВЧ), полосно-пропускающие фильтры



Рис. 1. Фильтр на дискретных элементах с выводами для поверхностного монтажа

(ППФ) и полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ).

Фильтры на коаксиальных керамических резонаторах используют в качестве частотозависимых элементов как отдельные керамические четвертьволновые и полуволновые коаксиальные резонаторы (рис. 2а), так и мультирезонаторные блоки, объединяющие в одной керамической детали несколько резонаторов. Серебряное покрытие коаксиальных керамических резонаторов обеспечивает их высокую добротность и надежность пайки. Эти фильтры (рис. 2б) оптимально подходят для больших производственных объемов и недорогих приложений, но в то же время могут использоваться и в военной технике. Выводы могут оформляться коаксиальными соединителями или предназначаться для поверхностного монтажа. По этой технологии изготавливаются полосовые фильтры и мультиплексоры. Фильтры выпускаются

Таблица 1. Основные параметры фильтров Reactel

	Фильтры на дискретных элементах	Фильтры на керамических резонаторах	Резонаторные фильтры	Фильтры на гребенчатых структурах	Фильтры на подвешенных подложках	Трубчатые фильтры	Мощные фильтры
Диапазон частот, ГГц	≤5	0,3–6	0,03–50	0,5–40	2–40	0,01–18	0,005–5
Тип фильтров*	Н, В, П, З, М	П, М	П, З, Д	П, Д	Н, В, П, З, М	Н, П	Н, В, П
Импеданс, Ом	50, 75, 93	50	50, 75	50, 75	50	50, 75	50
Максимальный порядок фильтра	10	10	16	20	20	16	10
Полоса пропускания, %	≤150	0,1–25	0,5–10	≤70	≤150	0,5–95	
Допустимая мощность сигнала, Вт	5	5	15	15	5	200	25 000

*Примечание. Н — ФНЧ, В — ФВЧ, П — ППФ, З — ПЗФ, Д — диплексор, М — мультиплексор

Таблица 2. Методы испытаний фильтров Reactel по стандарту MIL-STD-202G (редакция от 8 февраля 2002 года)

Спецификация	Метод испытаний	
Влажность	103 В	
Герметичность	Значительная утечка	112 E
	Незначительная утечка	112 E
Соляной туман	101 E	
Удар	Механический удар	207 / 213 В
	Тепловой удар	107 G
Вибрация	Случайная вибрация	214 A
	Высокочастотная вибрация	204 D
Температура	Рабочая температура	–55...+85 °С
	Температура хранения	–55...+125 °С

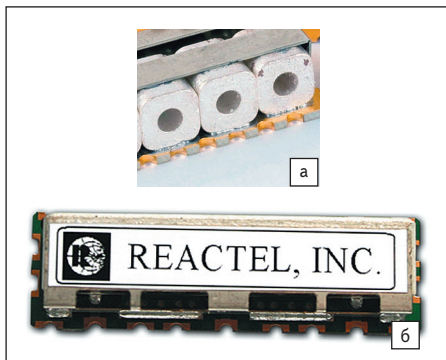


Рис. 2. а) Посеребренные керамические резонаторы; б) фильтр на их основе

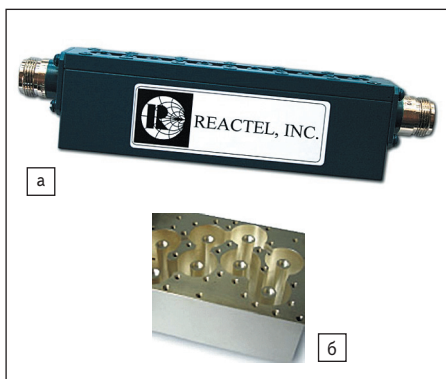


Рис. 3. а) Резонаторный фильтр; б) его внутренний вид

для диапазона частот 0,3–6 ГГц с относительной полосой пропускания до 25%, необходимые заказчику конкретные параметры оговариваются с производителем.

Резонаторные фильтры Reactel (рис. 3а) работают с сигналами мощностью до 15 Вт и отвечают самым высоким требованиям по потерям и селективности в диапазоне рабочих частот 0,03–50 ГГц. Они производятся из цельной алюминиевой заготовки (рис. 3б) и в зависимости от требуемых параметров могут содержать до 16 резонаторов. По этой технологии изготавливаются ППФ и ПЗФ с относительной полосой пропускания 0,5–10%, а также диплексоры. Современное высокоточное оборудование позволяет добиться хорошего повторения параметров для всей серии фильтров независимо от ее объема.

Фильтры Reactel на гребенчатых структурах в стандартном корпусе (рис. 4) проектируются для диапазона частот 0,5–40 ГГц, а в плоском корпусе — для диапазона 5–40 ГГц. Для обеспечения высокой селективности их порядок может достигать 20. При создании таких устройств используются самые передовые системы проектирования и производства. Точность и воспроизводимость характеристик фильтров гарантируются независимо от объема выпускаемой партии, при этом цена фильтров очень конкурентна. Фильтры изготавливаются по индивидуальному заказу. По типу это ППФ



Рис. 4. Фильтр на гребенчатой структуре в стандартном корпусе

и диплексоры, их относительная полоса пропускания может составлять до 70%. Фильтры поставляются с соединителями типа BNC, SMA, TNC и N, а также с выводами под поверхностный монтаж.

Фильтры с подвешенной подложкой (рис. 5а) выполняются на подложке, покрытой медью с обеих сторон. Они имеют крайне низкие потери при высокой селективности. Структура фильтра вытравливается непосредственно на поверхности подложки (рис. 5б), чем обеспечивается хорошая повторяемость. Топология фильтров позволяет получать уникально широкие относительные полосы пропускания — до 150%. По этой технологии изготавливаются ФНЧ, ФВЧ, ППФ, ПЗФ и мультиплексоры. Конструкция фильтров предусматривает применение в самых жестких условиях эксплуатации. Удары и вибрация им не страшны благодаря минимальному числу конструктивных элементов. Фильтры разрабатываются для диапазона частот 2–40 ГГц и изготавливаются по индивидуальному заказу.

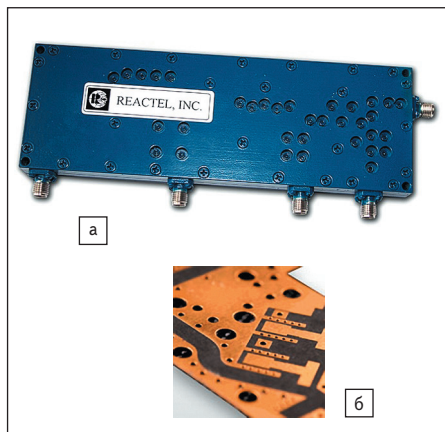


Рис. 5. Фильтр с подвешенной подложкой: а) внешний вид; б) внутренняя структура

Трубчатые фильтры (рис. 6а) удовлетворяют самому широкому спектру требований. В зависимости от типа их диаметр может составлять от 6,4 до 35 мм. В стандартном варианте это ФНЧ или ППФ. Они имеют определенные преимущества над другими видами фильтров, в частности, у них очень широкая полоса заграждения и очень высокое подавление сигналов в этой полосе. В числе их достоинств также следует назвать возможность

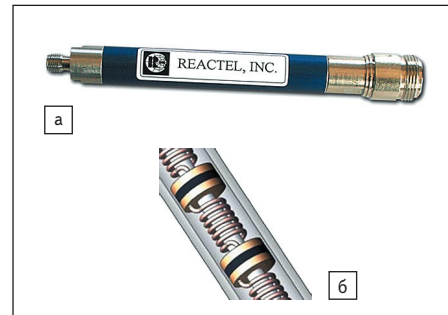


Рис. 6. а) Трубчатый фильтр; б) его внутренняя структура

работы с мощными сигналами. По требованию заказчика могут быть изготовлены фильтры Бесселя, Баттерворта, Гаусса и с линейной фазочастотной характеристикой. На рис. 6б показана внутренняя структура трубчатого фильтра.

Далеко не все фирмы предлагают фильтры для работы с мощными сигналами. Наличие мощных фильтров в линейке продукции фирмы Reactel можно считать одним из ее конкурентных преимуществ. Эти фильтры выполняются по дискретной или трубчатой технологии как ФНЧ, ФВЧ или ППФ в рабочем диапазоне частот 0,005–5 ГГц и работают с сигналами мощностью до 25 кВт. Несмотря на низкие потери, они нуждаются в естественном или принудительном воздушном охлаждении и поэтому выполняются в корпусе с повышенной теплоотдачей (рис. 7). Мощные фильтры изготавливаются по индивидуальному заказу.

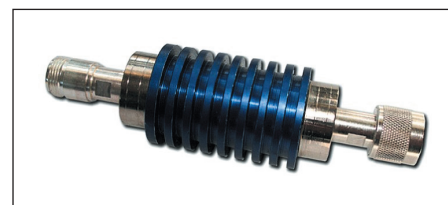


Рис. 7. Фильтр высокой мощности в корпусе с повышенной теплоотдачей

Иногда ограниченные размеры свободного пространства не позволяют поместить в него фильтр в стандартном исполнении. В таком случае производитель может изготовить фильтр в требуемых заказчиком габаритах. Чаще всего фильтр приходится «складывать» один (рис. 8) или несколько раз. Поскольку у каждого заказчика требования по габари-



Рис. 8. «Сложенный» трубчатый фильтр

там уникальные, подходящее решение об-суждается с производителем.

Reactel выпускает большой ассортимент фильтров для беспроводных приложений. Они предназначены для всех узлов беспроводных систем: антенн, базовых станций, ретрансляторов, для подавления взаимных помех и т. д. Для этих целей изготавливаются фильтры на дискретных компонентах, резонаторные, керамические, с подвешенной подложкой и трубчатые. По стоимости они варьируются от недорогих с выводами для пайки до мощных с коаксиальными соединителями. Есть фильтры с герметичными корпусами для наружной установки. Фильтры разработаны для таких беспроводных приложений, как 3G, 4G, AMPS, AWS, CDMA, DCS, EGSM, GPS, GSM, Inmarsat, Iridium, LTE, MMDS, PCS, SMR, UMTS, WCDMA, Wi-Fi, Wi-Max, WLAN и другие.

В качестве примера высокого технологического уровня изделий фирмы Reactel можно привести ПЗФ с рекордными параметрами. В условиях постоянно возрастающей радиочастотной активности в эфире все более актуальными становятся электромагнитная совме-

стимость и защита от помех. Для этой цели компания Reactel создала линию узкополосных ППФ и ПЗФ в диапазоне от нескольких мегагерц до 10 ГГц. Один из них на центральной частоте 2 ГГц обеспечивает подавление сигнала на 80 дБ (рис. 9). Полоса заграждения по уровню 3 дБ составляет 1,45 МГц, это всего лишь 0,0725% от центральной частоты. Столь узкая полоса получена в результате использования высокочастотных резонаторов, обычными методами удалось бы получить полосу заграждения около 10 МГц.

Компания изготавливает фильтры по заказу, срок выполнения которого составляет 2–3 недели. Ограничения на размер заказа нет, компания может изготовить как один фильтр для космического, так и тысячи фильтров для коммерческого применения. Компания считает, что ее фильтры могут эксплуатироваться в самых тяжелых условиях, и готова по требованию заказчика провести испытания своей продукции по стандарту MIL-STD-202G (табл. 2) или другому, согласованному с заказчиком.

Очередным шагом на пути повышения надежности и качества продукции стало полу-

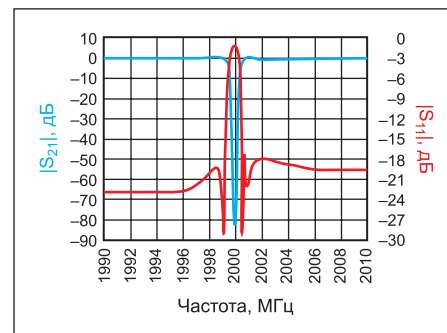


Рис. 9. Частотные параметры узкополосного ПЗФ

чение фирмой Reactel сертификата AS 9100. До получения AS 9100 компания Reactel была с 1996 года сертифицирована по ISO 9001. Стандарт качества AS 9100 предназначен для компаний, разрабатывающих и производящих авиакосмическую технику. Для компании Reactel он означает двойную сертификацию, включающую как требования стандарта качества ISO 9001, так и дополнительные требования, специфические для аэрокосмической техники. ■