

Современные частотные фильтры

Александр Тюменцев, Игорь Ясинский, Андрей Яковлев (Омск)

Статья знакомит с современными отечественными устройствами частотной селекции сигналов для перспективной аппаратуры связи, выполненными на основе пьезоэлектрических и LC-фильтров.

Наиболее широкое распространение из всех типов аналоговых частотно-избирательных устройств получили LC-фильтры, что обусловлено рядом причин: их достаточно высокими электрическими и эксплуатационными параметрами, сравнительно невы-

сокой стоимостью, широким диапазоном рабочих частот и реализуемых относительных полос пропускания, и т.д.

Обычно такие фильтры используются на частотах от 100 кГц до 300 МГц, поскольку в этом диапазоне частот существует достаточно большое число

схем фильтров, элементы которых реализуемы практически. Выбор той или иной схемы зависит как от требований, предъявляемых к частотной характеристике фильтра, так и от заданной ширины полосы пропускания. Некоторые из возможных вариантов этих схем приведены на рисунке 1.

Создание полосовых LC-фильтров на частоты ниже 100 кГц и выше 300 МГц связано с рядом серьёзных трудностей, вызванных, прежде всего, вопросами практической реализации элементов схем. Так, в низкочастотной области величины катушек индуктивности и конденсаторов большинства схем оказываются неприемлемо большими, а в СВЧ-диапазоне – настолько малыми, что в ряде случаев расчётные значения элементов фильтров оказываются сопоставимыми с монтажными.

Комплексное решение ряда схемотехнических, конструкторских и технологических задач позволило ОНИИП создать унифицированные семейства полосовых LC-фильтров, в полной мере отвечающих современным требованиям. Основные параметры этих фильтров приведены в таблице 1, а некоторые из типовых амплитудно-частотных характеристик – на рисунке 2.

Для дальнейшего увеличения диапазона рабочих частот и одновременного улучшения массогабаритных показателей LC-фильтров наиболее перспективной является их реализация с использованием LTCC-технологии,

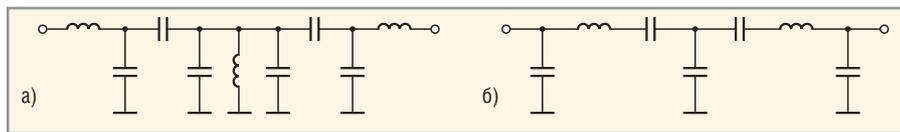


Рис. 1. Схемы LC-фильтров

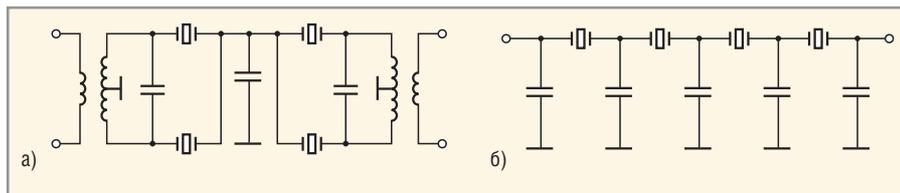


Рис. 2. Варианты реализации пассивных пьезоэлектрических фильтров

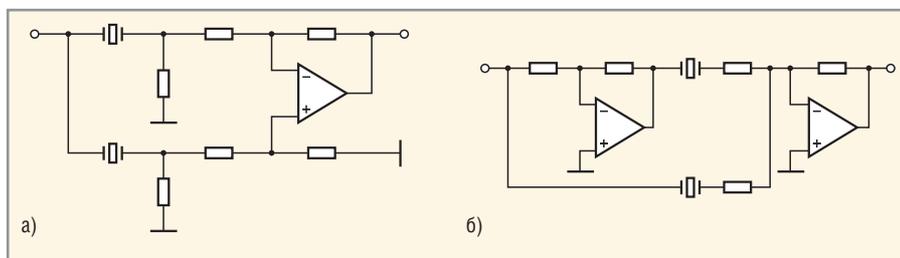


Рис. 3. Варианты реализации активных пьезоэлектрических фильтров

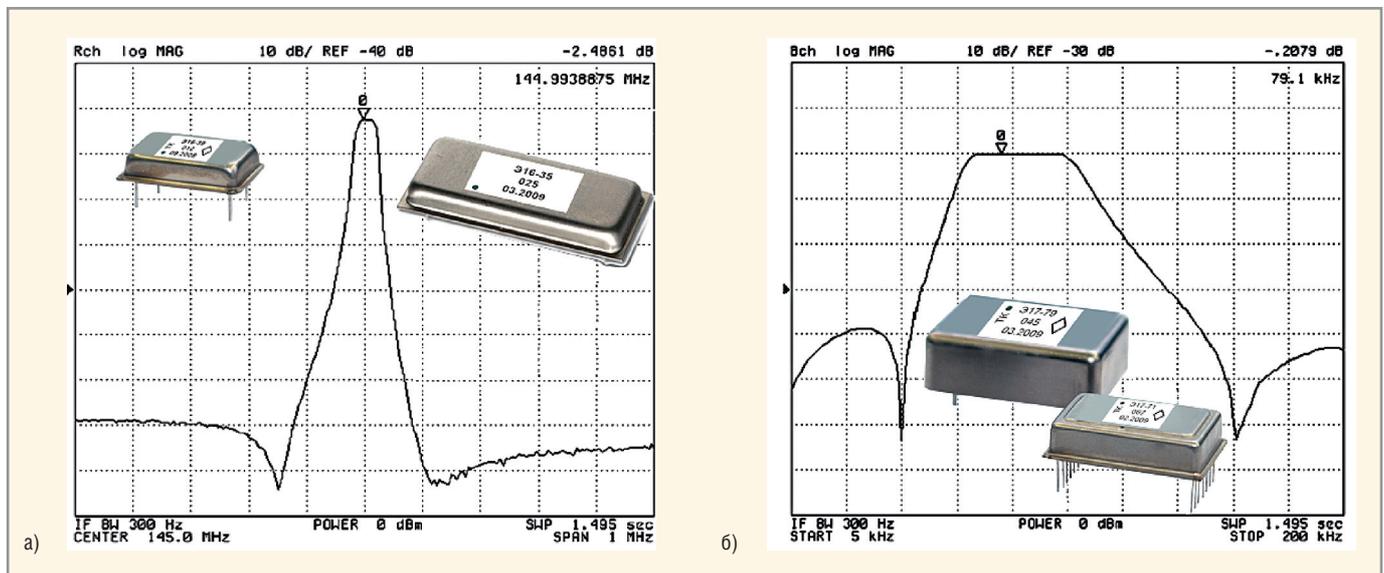


Рис. 4. АЧХ пьезоэлектрических и LC-фильтров

позволяющей реализовывать трёхмерные интегральные структуры.

Наряду с LC-фильтрами, в современной радиоэлектронной аппаратуре достаточно широкое применение находят пьезоэлектрические фильтры, в том числе и на дискретных резонаторах. По сравнению с LC-фильтрами, пьезоэлектрические не только позволяют обеспечить большую крутизну характеристики затухания, но обладают гораздо лучшей стабильностью и дают возможность реализовать узкие относительные полосы пропускания. Такие фильтры позволяют в диапазоне частот от 10 кГц до 250 МГц реализовать относительную полосу пропускания от сотых долей процента до нескольких процентов, обеспечивая при этом высокие электрические параметры.

Пьезоэлектрические фильтры могут быть реализованы на основе лестничных, перекрытых Т-образных, симметричных мостовых или дифференциально-мостовых схем [1–3]. Некоторые из вариантов этих схем приведены на рисунке 3. Выбор одной из этих схем определяется совокупностью технических требований, предъявляемых к фильтру. Так, лестничные схемы, как правило, используются при построении узкополосных пьезоэлектрических фильтров, а дифференциально-мостовые – более широкополосные.

Существенным недостатком дифференциально-мостовых схем является необходимость использования дифференциальных трансформаторов. Это ведёт не только к ухудшению технологии изготовления пьезоэлектрических фильтров, выполненных на основе дифференциально-мостовых схем, но и к увеличению массогабаритных показателей, особенно в области низких частот.

Поэтому в низкочастотном диапазоне пассивные пьезоэлектрические фильтры, выполненные по дифференциально-мостовым схемам, находят ограниченное применение в современной аппаратуре связи. Наиболее перспективными фильтрами для этого диапазона частот являются активные пьезоэлектрические фильтры, поскольку они позволяют не только значительно улучшить массогабаритные характеристики, упростить технологию изготовления, в ряде случаев проще решить вопросы согласования, но и сочетать в себе функции селекции и усиления. Более того, использование активных схем пьезоэлектрических

Таблица 1. Основные параметры LC-фильтров

Диапазон частот, МГц	Относительная ширина полосы пропускания, %	Вносимые потери, дБ	Гарантированное затухание в полосе задерживания, дБ	Размеры, мм
0,01...3	10...200	1...3	До 40	36 × 27 × 16
3...300	20...200	2...4	До 30	20,5 × 12,6 × 7
1...1000	10...200	1...3	До 60	38 × 18 × 14

Таблица 2. Основные параметры пьезоэлектрических фильтров

Тип фильтра	Диапазон частот, МГц	Относительная ширина полосы пропускания, %	Коэффициент передачи, дБ	Затухание в полосе задерживания, дБ
Пассивный	3...160	0,01...0,5	-2...-4	До 60
Активный	0,04...0,5	0,01...3	0...30	До 40

фильтров даёт возможность расширить номенклатуру используемых резонаторов, например, миниатюрных резонаторов камертонного типа, высокое значение динамической индуктивности которых не позволяет применять их в пассивных схемах.

При построении активных пьезоэлектрических фильтров дифференциальные трансформаторы замещаются своими функциональными аналогами, реализованными на основе транзисторных каскадов, дифференциальных и операционных усилителей [3]. Наиболее распространёнными из них являются схемы на операционных усилителях, поскольку по сравнению с остальными вариантами они позволяют обеспечить наиболее высокую стабильность параметров, в частности коэффициент усиления, и проще решить вопросы согласования. Некоторые из вариантов таких схем приведены на рисунке 3.

Многолетний опыт разработки пьезоэлектронных устройств частотной селекции сигналов позволил ОНИИП создать ряд пассивных и активных пьезоэлектрических фильтров, имеющих объём до 1 см³ и отвечающих современным требованиям. Основные параметры этих фильтров приведены в таблице 2, а некоторые из типовых амплитудно-частотных характеристик – на рисунке 4.

В заключение отметим, что дальнейшее увеличение диапазона рабочих частот пьезоэлектрических фильтров, по всей видимости, связано с применением плёночных пьезорезонаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босый Н.Д. Электрические фильтры. Киев, 1957.
2. Великин Я.И., Гельмонт З.Я., Зелях Э.В. Пьезоэлектрические фильтры. М: Связь, 1966.
3. Аржанов В.А., Ясинский И.М. Электрические фильтры и линии задержки. Омск, 2000.

