

Миниатюрные низкочастотные кварцевые фильтры

Андрей Яковлев (1149@oniip.ru)

В статье рассмотрены вопросы построения миниатюрных низкочастотных кварцевых фильтров, выполненных на основе активных схем и пьезорезонаторов камертонного типа.

Несмотря на успехи, достигнутые в области цифровой обработки сигналов, аналоговые устройства частотной селекции сигналов до сих пор остаются востребованными, и в обозримом будущем ситуация не изменится. В современной аппаратуре связи широко применяются кварцевые фильтры, обладающие высокой селективностью и стабильностью, что в ряде случаев позволяет обеспечить лучшие характеристики по сравнению с другими типами аналоговых устройств частотной селекции.

Однако габаритные размеры таких фильтров зачастую не отвечают требованиям, которые предъявляются к современным радиоэлектронным устройствам. И если в диапазоне частот свыше нескольких МГц эта проблема может быть решена за счёт использования монокристаллических кварцевых фильтров, характеризующихся высокими электрическими и массогабаритными показателями, то для более низких частот эта проблема остаётся актуальной.

Одним из путей миниатюризации кварцевых фильтров низкочастотного диапазона (до нескольких МГц) является использование активных схем, что даёт возможность исключить намоточные изделия и тем самым существенно улучшить массогабаритные показатели фильтров [1]. Кроме того, применение активных схем кварцевых фильтров позволяет не только совмещать функции селекции и усиле-

ния, но и более просто решать вопросы их согласования, а в ряде случаев обеспечить и более высокую линейность.

Дальнейшая миниатюризация низкочастотных кварцевых фильтров ограничена размерами самих пьезоэлементов. Миниатюрные резонаторы камертонного типа представляют собой двузубую вилку с фиксированной длиной, шириной, толщиной зубцов и расстоянием между ними, определяющими их частоту, и могут быть выполнены в корпусах диаметром 1,5 мм и длиной 5 мм [2]. Однако малая величина статической ёмкости (менее 1 пФ), большой ёмкостный коэффициент и высокая динамическая индуктивность сильно затрудняют применение этих резонаторов в большинстве схем активных кварцевых фильтров. Ниже рассматриваются вопросы миниатюризации низкочастотных активных кварцевых фильтров при использовании резонаторов камертонного типа.

При построении активных кварцевых фильтров применяется разложение Гаусса передаточной функции симметричной мостовой цепи на разность двух передаточных функций [3]:

$$T(j\omega) = \frac{H g_H (Y_1(j\omega) - Y_2(j\omega))}{(Y_1(j\omega) + g_H)(Y_2(j\omega) + g_H)}, \quad (1)$$

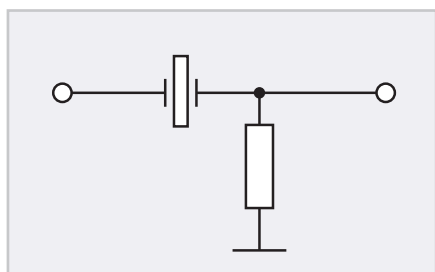


Рис. 1. Частотно-избирательный четырёхполюсник

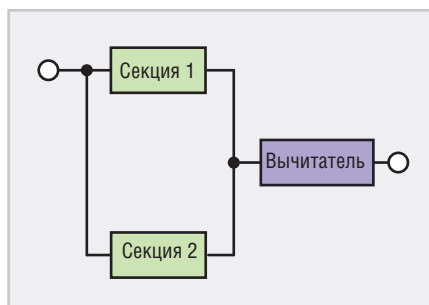


Рис. 2. Алгебраический вычитатель

где $Y_1(j\omega)$, $Y_2(j\omega)$ – реактивные проводимости плеч моста, g_H – проводимость нагрузки фильтра, H – масштабный коэффициент.

Передаточная функция мостовой цепи может быть получена вычитанием передаточных функций двух секций 1 и 2:

$$T_1(j\omega) = \frac{H \times Y_1(j\omega)}{Y_1(j\omega) + g_H},$$

$$T_2(j\omega) = \frac{H \times Y_2(j\omega)}{Y_2(j\omega) + g_H}. \quad (2)$$

Секция, реализующая передаточные функции $T_1(j\omega)$ и $T_2(j\omega)$, представляет собой частотно-избирательный четырёхполюсник (см. рис. 1). Таким образом, активные кварцевые фильтры, эквивалентные мостовым, могут быть выполнены из секций, входы которых включены параллельно, а выходы подключены к алгебраическому вычитателю (см. рис. 2).

В свою очередь вычитатель может быть реализован с помощью операционного усилителя, включённого по дифференциальной схеме. Схема активного кварцевого фильтра, выполненного подобным образом, приведена на рисунке 3.

При использовании резонаторов камертонного типа в такой схеме фильтра весьма сложно получить коэффициент усиления более 6 дБ, т.к. это потребует применения очень высоких значений сопротивлений. Действительно, сопротивление нагрузки мостового фильтра ориентировочно может быть вычислено при помощи соотношения (3)

$$R_H \approx 2\pi \times \Delta L_q, \quad (3)$$

где Δ – ширина полосы пропускания фильтра, L_q – эквивалентная индуктивность кварцевого резонатора.

Величина динамической индуктивности резонаторов камертонного типа в зависимости от частоты может достигать нескольких десятков и сотен кГн [2]. Поэтому, как следует из выражения (3), сопротивле-

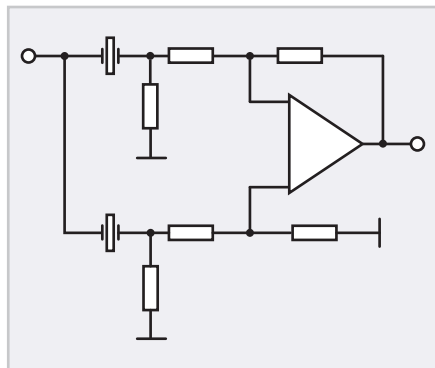


Рис. 3. Схема активного кварцевого фильтра, подключённого к вычитателю, реализованного с помощью операционного усилителя, включённого по дифференциальной схеме

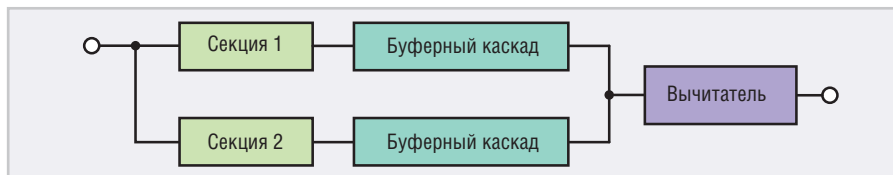


Рис. 4. Схема буферных каскадов, выполненных на основе неинвертирующих усилителей

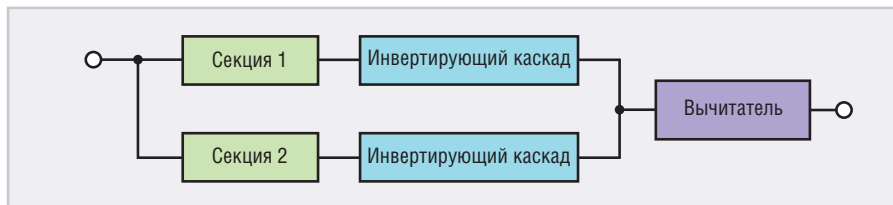


Рис. 5. Схема инвертирующих каскадов

ние нагрузки даже для узкополосных активных кварцевых фильтров может составлять сотни и тысячи кОм. В свою очередь в работе [1] отмечалось, что схема, приведённая на рисунке 3, будет эквивалентна мостовой при условии, что сопротивления дифференциального усилителя будут существенно больше сопротивления нагрузки.

Кроме того, как было показано в работе [4], напряжение собственных шумов, приведённых ко входу фильтра, определяемое выражением (4), растёт при увеличении сопротивлений схемы фильтра за счёт тепловых шумов резисторов и токовой составляющей шума ОУ.

$$U_{швх} = \frac{1}{K} \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} \sum_{j=1}^m \left(G_{e_j}(f) |V_j(f)|^2 + G_{i_j}(f) |W_j(f)|^2 \right) df + \sqrt{4k_6 T \int_{f_1}^{f_2} \sum_{i=1}^n R_i |F_i(f)|^2 df}}, \quad (4)$$

где $G_{ei}(f)$, $G_{ij}(f)$ – спектральные плотности i -го источника шумового напряжения и j -го источника шумового тока, $V_i(f)$, $W_j(f)$ – передаточные функции от i -го источника шумового напряжения и j -го источника шумового тока, соответственно, $F_i(f)$ – передаточная функция от i -го резистора до выхода фильтра, K – коэффициент усиления фильтра.

При использовании резонаторов камертонного типа, обладающих высокой динамической индуктивностью, данная схема будет обладать высоким уровнем собственных шумов. Устранить эти недостатки позволяет введение в схему буферных каскадов, выполненных на основе неинвертирующих усилителей, как это показано на рисунке 4. Данная схема позволяет обеспечить высокий коэффициент усиления (свыше 20–30 дБ) при меньшем уровне собственных шумов по сравнению с фильтром на одном усилителе. Однако в связи с тем, что в такой схеме резонаторы подключаются непосредственно к входам операционных усилителей, влияние их

входной ёмкости приводит к существенному уменьшению максимально реализуемой ширины полосы пропускания. Особенно остро это проявляется при использовании кварцевых резонаторов камертонного типа, обладающих малой величиной статической ёмкости.

Минимизировать влияние входных ёмкостей усилителей на резонаторы и тем самым увеличить максимально реализуемую относительную ширину полосы пропускания позволяет использование инвертирующих каскадов (см. рис. 5).

Проведённые расчёты и экспериментальная проверка показали, что применение резонаторов камертонного типа в активном кварцевом фильтре, выполненном с использованием инвертирующих каскадов, позволяет реализовать миниатюрные устройства частотной селекции сигналов в стандартных металлостеклянных корпусах размерами 20×12×5 мм, обладающие следующими характеристиками:

- диапазон частот 20...270 кГц;

ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

АО «ОНИИП» освоил выпуск миниатюрных термокомпенсированных кварцевых генераторов на частоты от 2,5 до 100 МГц в SMD-исполнении (9,3×7,3×2 мм) и в корпусе DIP-14 для аппаратуры современных комплексов связи, радиолокации и навигации.

Основные технические характеристики генераторов:

- диапазон номинальных частот 2,5...60 МГц;
- напряжение питания от 2,75 до 5,5 В;
- потребляемый ток 2,5 мА (20 МГц), 10 мА (60 МГц);
- температурная стабильность в интервале от 0 до +50 °С ±1·10⁻⁷;
- температурная стабильность в интервале от -60 до +85 °С ±1·10⁻⁶;
- долговременная стабильность до ±5·10⁻⁷ за год;
- изменение частоты при управлении внешним напряжением 5·10⁻⁶.

Россия, Омск, 644009, Масленникова 231, тел. (3812) 514900, факс. (3812) 536673, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru.

Реклама

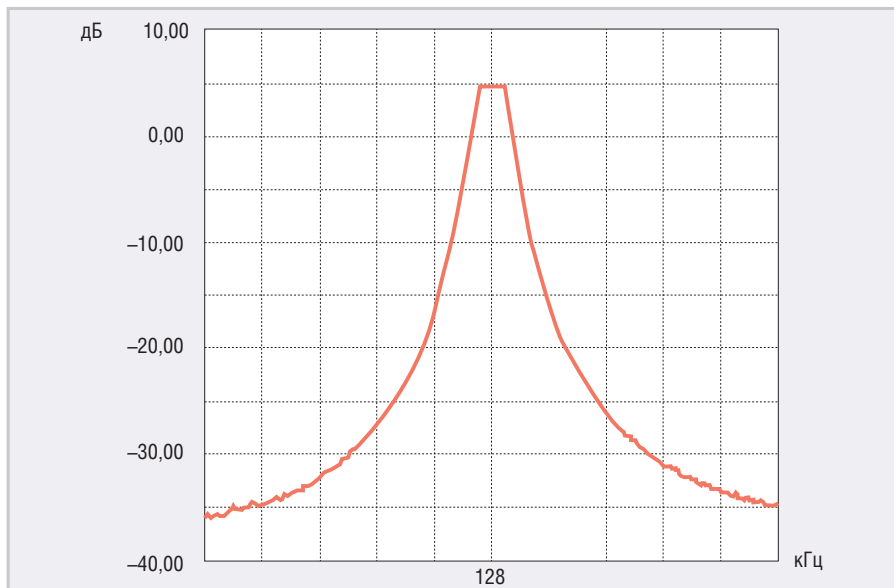


Рис. 6. Экспериментальная АЧХ активного кварцевого фильтра на частоту 128 кГц с полосой пропускания 30 Гц

- ширина относительной полосы пропускания 0,01...0,1%;
- коэффициент усиления 0...30 дБ;
- затухание в полосе задерживания 20...40 дБ.

На рисунке 6 в качестве примера представлена экспериментальная амплитуд-

но-частотная характеристика выполненного подобным образом активного кварцевого фильтра на частоту 128 кГц с полосой пропускания 30 Гц. Для увеличения уровня затухания в полосе задерживания возможно каскадное включение необходимого числа фильтров.

Таким образом, можно заключить, что использование миниатюрных резонаторов камертонного типа в активных схемах позволяет обеспечить высокоизбирательные активные кварцевые фильтры с параметрами, не уступающими своим пассивным аналогам и существенно превосходящими их по массогабаритным показателям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанов В.А., Ясинский И.М. Электрические фильтры и линии задержки. – Омск, 2000.
2. Пьезоэлектрические резонаторы. / Справочник под ред. Кандыбы П.Е., Позднякова П.Г. – М: Радио и связь. 1992.
3. Means D.R., Ghausi M.S. Inductorless filter design using active elements and piezoelectric resonators. // IEEE Trans. on circuit theory. 1972. CT-19. №3. С. 247–253.
4. Ясинский И.М., Яковлев А.Н. Шумовые свойства активных кварцевых фильтров на операционных усилителях. Техника радиосвязи. 2002. Вып. 7. С. 86–92.



LUMINEO
POWERED BY ВЕНЕК

ДИСПЛЕИ ДЛЯ
от -50°C

PROSOFT®
WWW.PROSOFT.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

НОВОСТИ МИРА

В ГИС промышленности будут использоваться методики Координационного совета Союзмаш России

Координационный совет разработчиков и производителей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), электронной компонентной базы (ЭКБ) и продукции машиностроения Союза машиностроителей России и «Фонд развития промышленности» (ФРП) договорились о применении опыта Совета при разработке методик и инструментов государственной информационной системы (ГИС) промышленности. В ходе заседания Координационного совета, состоявшегося 23 августа на полях форума «Армия-2017», был намечен план дальнейшего взаимодействия двух организаций.

Координационный совет разработчиков и производителей РЭА, ЭКБ и продукции машиностроения был создан в середине 2014 года по решению Бюро правления Союзмаш под председательством Сергея Чемезова. ФРП заинтересовался опытом, наработанными Координационным советом за три года его существования. В частности, Совет выработал методики урегулирования

конфликтов в сфере кооперационного взаимодействия, решения задач в области качества и надёжности, планирования развития совместно с приборостроителями и финалистами, координации деятельности участников различных сегментов рынка hi-tech (ЭКБ, вычислительная техника, телеком и др.) в вопросах технического и нормативно-правового регулирования отрасли.



«Процесс цифровизации методик Координационного совета и их интеграция в ГИС совместно с Фондом развития промышленности коррелирует с Индустрией 4.0 и выводит системы планирования и кооперации на уровень использования Big Data и других перспективных инструментов развития

отраслей промышленности. Это особенно важно для конкурентоспособности цепочек поставок наших предприятий на гражданских рынках», – рассказал председатель Совета, заместитель генерального директора – статс-секретарь холдинга «Росэлектроника» Арсений Брыкин.

Инструментарий ГИСП был представлен в рамках доклада заместителя директора ФРП Владимира Распопова «Сервисы государственной информационной системы промышленности. UBER для промышленности». Также представители компании «Галактика» презентовали уже разработанные IT-инструменты управления кооперационным производством.

Координационный совет разработчиков и производителей РЭА, ЭКБ и продукции машиностроения, действует при Союзе машиностроителей России. В Совет входят представители всех основных предприятий радиоэлектроники (более 850). В заседаниях Совета также принимают участие представители крупнейших российских банков, а также Минобороны, Минпромторга и ФАС России.

Пресс-служба Госкорпорации Ростех

ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ

до +85°C



Основные свойства электр люминесцентных дисплеев

- Кристальная чёткость изображения. Отсутствует размытость изображения движущегося объекта при температуре -60°C
- Широкий угол обзора – свыше 160°
- Время отклика менее 1 мс
- Средний срок безотказной работы более 116 000 часов
- Срок эксплуатации не менее 11 лет при потере яркости 25–30%
- Устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям
- Низкий уровень электромагнитного излучения
- Компактный корпус и обрамление

Области применения

- Специальная техника
- Транспортные средства
- Промышленное оборудование
- Медицинские приборы
- Аппаратура морской техники

LUMINEQ
POWERED BY BENEQ

МОСКВА
(495) 234-0636
info@prosoft.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 448-0444
info@spb.prosoft.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 376-2820
info@prosoftsystems.ru



Реклама