

04, апрель 2016

УДК 001.124

Классификация кварцевых резонаторов с позиции их виброустойчивости

*Джандаров А.Р., магистр
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Резчикова Е.В., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»
bauman@bmstu.ru*

Введение

Электронная аппаратура широко применяется в системах аэрокосмического комплекса и на других подвижных объектах. Работают такие ЭА в условиях воздействия вибраций, ударов и других интенсивных механических и тепловых воздействий [1 - 4]. Надежность и стабильность работы ЭА при этом без применения специальных средств защиты могут значительно снижаться [5].

В современных летательных аппаратах требуется высокая надежность в используемой аппаратуре. К таким требованиям так же относятся требования к виброустойчивости аппаратуры.

Одним из элементов бортовой РЭА являются кварцевые резонаторы, они наиболее часто выходят из строя из-за вибровоздействий, так как являются наименее устойчивыми к виброперегрузкам. В связи с этим возникает необходимость в использовании разного рода технических методов и средств по обеспечению виброустойчивости кварцевых резонаторов. Но, прежде чем выбрать существующий метод или разработать новый, нужно проанализировать все возможные варианты кварцевых резонаторов, классифицировать их. Обобщить их технические характеристики и сформулировать рекомендации по применению.

1 Анализ схем реализации кварцевого резонатора

Пьезоэлектрическим резонатором называется устройство, состоящее из определенного образом выполненного пьезоэлектрического кристалла и приспособления, предназначенного для закрепления и соединения его с внешней электрической цепью [6].

Кварцевый резонатор - пьезоэлектрический резонатор, основным элементом которого является кварцевый кристаллический элемент – электромеханическая колебательная система, всегда состоящая из держателя и смонтированного в нем вибратора [7].

Конструкция кварцевого резонатора представлена на рисунке 1.

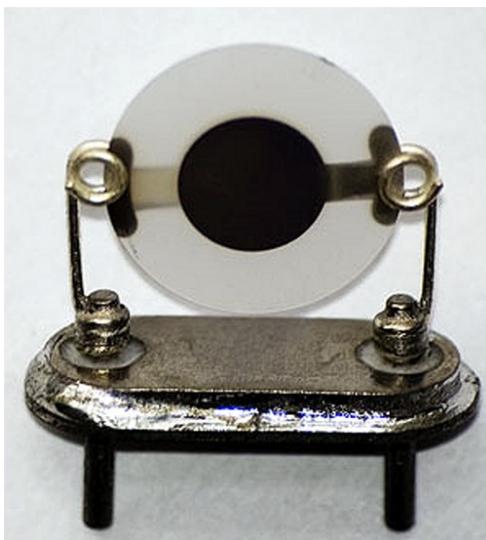


Рис. 1. Внутренняя конструкция кварцевого резонатора в кристаллодержателе

Если к электродам кварцевого резонатора приложить переменную разность потенциалов, то вследствие пьезоэффекта в кварце возбудятся колебания.

Кварцевая пластина, как любая механическая система, имеет собственную резонансную частоту. Если частота переменного напряжения, подводимого к электродам кварца, совпадает с собственной частотой механических колебаний пластины, амплитуда колебаний резко возрастает, т.е. наблюдается эффект резонанса.

При резонансе, когда деформации кварца велики, электрическое сопротивление кварца резко уменьшается, и величина пьезоэлектрической составляющей тока, проходящей через кварц, резко возрастет [8]. Следовательно, кварцевый резонатор эквивалентен колебательной цепи, представленной на рисунке 2. Данная цепь представляет собой последовательное соединение эквивалентного активного сопротивления потерь $R_{акт}$, эквивалентной индуктивности L_1 и емкости C_1 механической

колебательной системы резонатора. C_0 – собственная емкость кристалла, образуемая кристаллодержателем и обкладками резонатора. Для настройки частоты кварцевых генераторов и пьезоэлектрических фильтров можно рекомендовать универсальный комплекс настройки частоты подробно рассмотренный в [9].

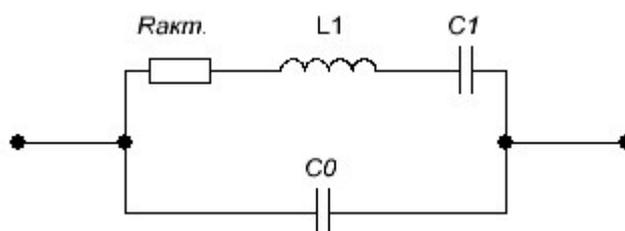


Рис. 2. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Благодаря малым потерям кварцевый резонатор обладает высокой добротностью эквивалентного колебательного контура, нежели любым другим способом.

Общая проблема для всех конструкций кварцевых резонаторов – это низкая виброустойчивость и вибропрочность. Наиболее типичные виды отказов представлены на рисунке 3.

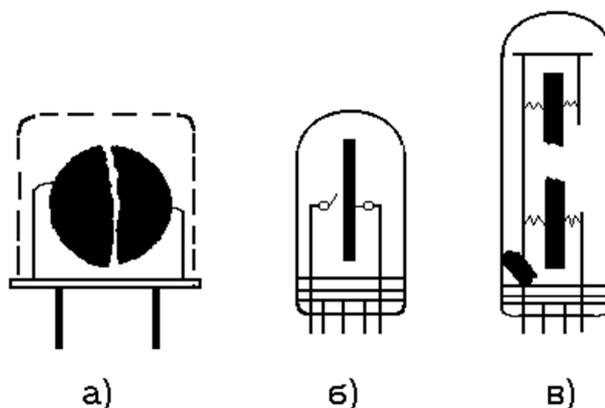


Рис. 3. Виды отказов кварцевых резонаторов после виброиспытаний: а) трещина в кристалле; б) отрыв траверс; в) разрушение кристалла

2 Анализ типов кварцевых резонаторов

Кварцевые резонаторы можно классифицировать по следующим характерным признакам: назначение резонатора, диапазоны частот, стабильность частоты, жесткость условий эксплуатации, виды колебаний и срезы пьезоэлементов, конструктивные данные. Далее рассмотрим каждый из этих типов подробнее [10-12].

Назначение. По назначению резонаторы обычно разделяют на генераторные резонаторы (предназначены для генераторов) и фильтровые резонаторы (предназначены для фильтров). Так же выделяют класс резонаторов-датчиков.

Генераторные резонаторы. Их в свою очередь подразделяют на: генераторы фиксированных частот, термокомпенсированные генераторы, генераторы ударного возбуждения. Они предназначены для получения колебаний фиксированной частоты с высокой температурной и временной стабильностью, низким уровнем фазовых шумов. Конструкция кварцевых генераторов была приведена в предыдущей главе (рис. 1).

Принцип действия кварцевых генераторов заключается в следующем: к электродам кварцевого генератора прилагается внешнее напряжение. Оно вызывает деформацию кварцевой пластинки, что приводит к появлению электрического заряда на поверхности кварца. Это называется пьезоэлектрическим эффектом. В результате этого механические колебания кварцевой пластины сопровождаются синхронными с ними колебаниями заряда на её поверхности, и наоборот.

Для кварцевых генераторов задается отклонение рабочей частоты от номинального значения. Значение эквивалентного сопротивления указывается максимально допустимым. Такие эквивалентные параметры как индуктивность, емкость и параллельная емкость не нормируются.

Кварцевые генераторы используют для измерения времени, в качестве стандартов частоты. Они широко применяются в цифровой технике, выполняя функцию генераторов тактовых импульсов.

Фильтровые резонаторы. Так же кварцевые резонаторы применяются в схемах для фильтрации электрических сигналов. Они обладают меньшими габаритами и меньшей стоимостью и в сотни раз более высокой добротностью по сравнению с другими колебательными контурами. Одиночные кварцевые резонаторы редко используются в кварцевых фильтрах. Существует более эффективное решение для использования кварцевых фильтров. На одной кварцевой пластине напыляется две пары электродов, которые образуют два резонатора, связанные между собой акустически. Внешний вид кварцевой пластинки с подобной конструкцией приведен на рисунке 4.

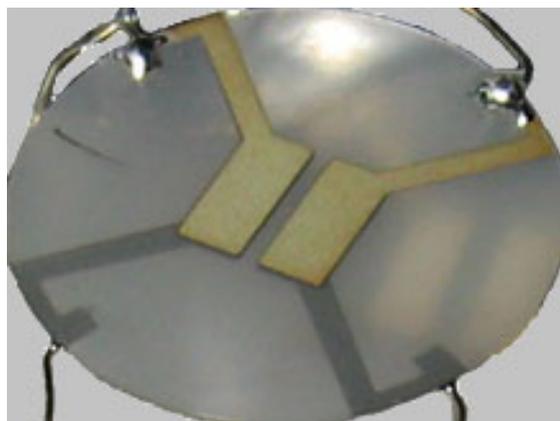


Рис. 4. Внешний вид кварцевой пластинки, используемой в кварцевых фильтрах

Такая конструкция получила название кварцевой двойки. Простейший кварцевый фильтр состоит из одной двойки (кварцевый фильтр второго порядка). Кварцевые фильтры четвертого порядка выполняются из двух двоек, восьмого порядка соответственно из четырех.

На рисунке 5 представлена эквивалентная схема кварцевой двойки.

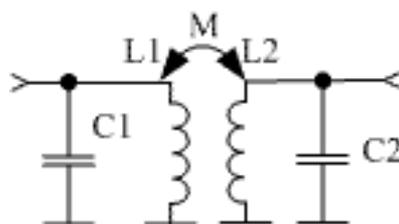


Рис. 5. Двухконтурная схема фильтра, эквивалентная кварцевой двойке

Для кварцевых фильтров задается отклонение частоты последовательного резонанса от номинального значения. Значение эквивалентного сопротивления указывается максимально допустимым. Такие эквивалентные параметры как индуктивность, емкость и параллельная емкость точно нормируются [13]. Нормируется ослабление побочных резонансов в пределах заданной полосы частот.

Диапазоны частот. Твердо установленной классификации по диапазонам частот, по существу, нет. Тем не менее в технической литературе принято различать низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и СВЧ резонаторы. Границы для низкочастотных резонаторов принимают до 400 кГц, для среднечастотных 400 – 1000 кГц, для высокочастотных 1 – 100 МГц, для СВЧ – свыше 100 МГц.

Стабильность частоты. Стабильность частоты автогенератора является одной из важнейших его характеристик, которая в значительной степени определяет надежность и бесперебойность работы электронной аппаратуры.

Поскольку стабильность частоты зависит от многих внешних факторов, возникают известные трудности для четкой классификации по стабильности. Принято различать две группы резонаторов: прецизионные (довольно стабильные) и обычные (широкого применения).

Жесткость условий эксплуатации. Немаловажной характеристикой кварцевых резонаторов является жесткость условий, в которых кварцевый резонатор будет эксплуатироваться.

В соответствии с [10] резонаторы должны быть стойкими к воздействию механических факторов (линейное ускорение, пиковое ударное ускорение, синусоидальная вибрация и т.п.) в соответствии с ГОСТ 25467. Резонаторы должны быть стойкими к воздействию климатических факторов (атмосферное пониженное давление, повышенная/пониженная температура среды, смена температур и т.п.) в соответствии с ГОСТ 25467 и ГОСТ 27124.

Значения всех приведенных выше параметров устанавливаются в технических условиях.

Виды колебаний и срезов. По видам колебаний различают резонаторы изгибных, крутильных, продольных и сдвиговых колебаний. Разновидности этих колебаний определяются частотными размерами пьезоэлектриков:

- для изгибных колебаний - это колебания по ширине или по толщине
- для крутильных - колебания по длине
- для продольных - колебания по длине, по ширине или по толщине
- для сдвиговых - колебания по ширине (контурные) или по толщине.

Кварцевые резонаторы различаются не только по виду колебаний пьезоэлементов, но и по их форме. Каждой форме пьезоэлементов кварцевых резонаторов соответствует один или несколько видов колебаний:

- пьезоэлементам прямоугольной формы – продольные и поперечные колебания, колебания сдвига по контуру и толщине, колебания изгиба.
- пьезоэлементам круглой формы и линзам – продольные и поперечные колебания, колебания сдвига по толщине.

- брускам (стержням) квадратного или близкого к квадратному поперечного сечения – колебания изгиба или кручения.

Конструктивные данные. Резонаторы принято классифицировать по форме, размерам и материалу корпусов, а также по расположению, числу, форме, размерам и назначению выводов, наличию отвода от металлического корпуса. На рисунке 6 представлены примеры кварцевых резонаторов с разными типами исполнений корпуса.

Корпуса различают герметичные и негерметичные. Последние используются в устаревших типах резонаторов. Герметичные резонаторы делятся на газонаполненные и вакуумные. К конструктивной классификации следует отнести число полюсов резонатора, а также число рабочих частот для так называемых многочастотных резонаторов.

На рисунке 7 представлена итоговая классификация кварцевых резонаторов.

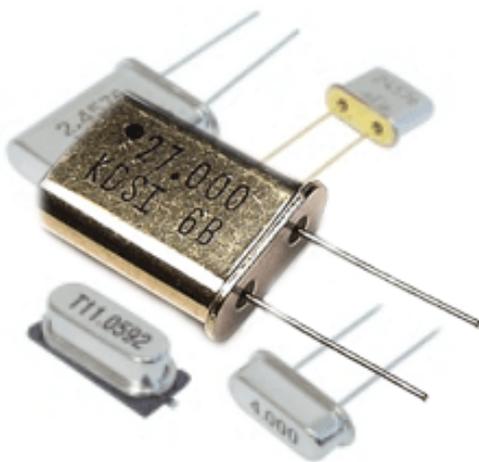


Рис. 6. Разные типы исполнения корпуса кварцевых резонаторов

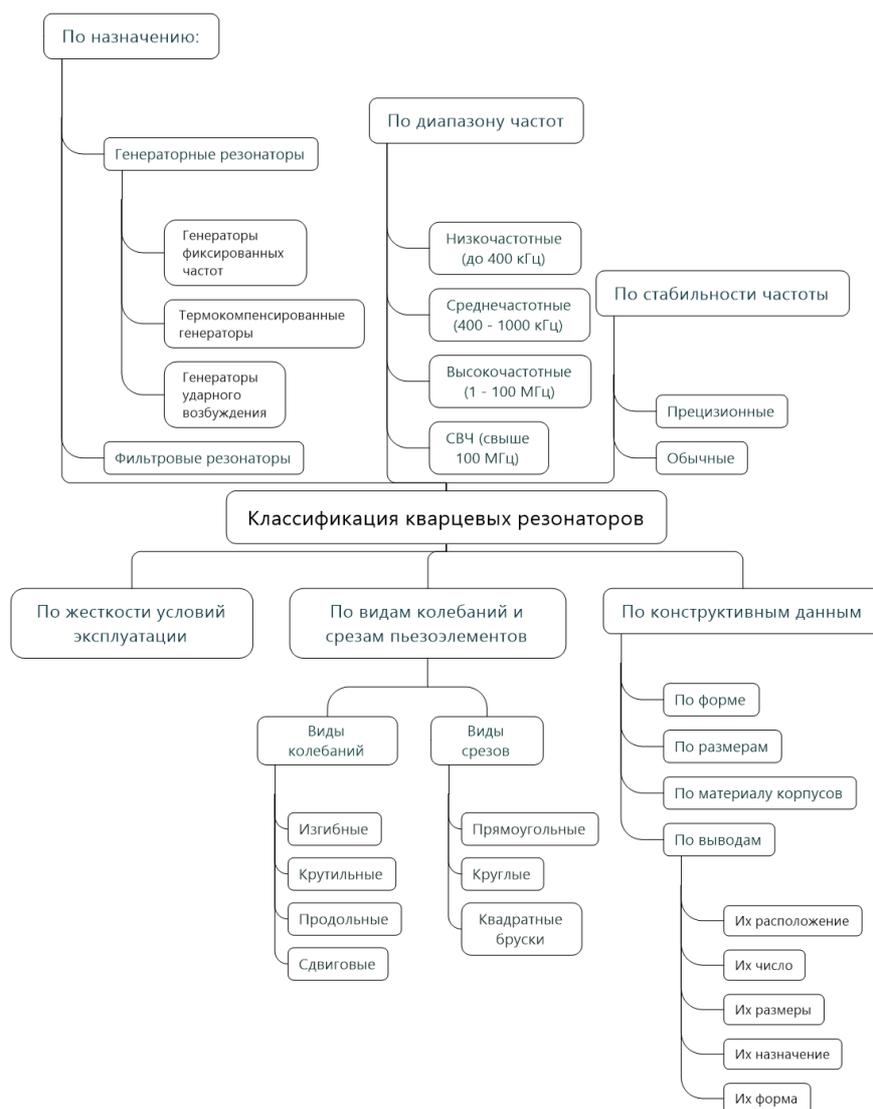


Рис. 7. Классификация кварцевых резонаторов с позиции их виброустойчивости

Заключение

Кварцевые резонаторы получили широкое распространение в электронной аппаратуре. Они применяются в кварцевых полосовых фильтрах, применяются как тактовые генераторы импульсов. Одним из самых популярных видов резонаторов являются резонаторы, применяемые в часовых схемах.

Кварцевые резонаторы имеют большое число технических характеристик, чем и обусловлено такое большое число типов этих приборов.

Для обеспечения надежной работы электронных устройств в целом необходимо уделять внимание обеспечению виброустойчивости и вибропрочности кварцевых резонаторов, которые часто являются «слабым звеном» устройства.

Список литературы

- [1] Чеканов А.Н., Маркелов В.В., Кадыков Г.Г. Автоматизация расчетов тепловых режимов с помощью ЭВМ. Расчет тепловых режимов при естественной и принудительной конвекции. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1983. 35 с.
- [2] Парфенов Е.М., Усачов В.П., Резчикова Е.В. Методы защиты электронной аппаратуры от механических и акустических воздействий. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1987. 45 с.
- [3] Чеканов А.Н. Расчеты конструкций ЭВА и РЭА на механические воздействия. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1980. 37 с.
- [4] Власов А.И., Зотьева Д.Е., Евдокимов В.С., Ревзин Г.Г., Феоктистов Д.В. Гибридная система управления малыми беспилотными летательными аппаратами // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 8. С. 15-24.
- [5] Чеканов А.Н. Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры. М.: Кнорус, 2012. 440 с.
- [6] Власов А.И., Журавлева Л.В., Резчикова Е.В. и др. Онтология наноинженерии // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 12-1 (19). С. 50-67.
- [7] Глюкман Л.И. Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1981. 232 с.
- [8] Плонский А.Ф. Кварцевые резонаторы. М.: Государственное энергетическое издательство, 1954. 95 с.
- [9] Власов А.И., Пустовалов В.А. Универсальный комплекс настройки частоты кварцевых генераторов и пьезоэлектрических фильтров // Датчики и системы. 2014. № 12. С. 46-51.
- [10] Андросова В.Г., Банков В.Н., Дикиджи А.Н., Ильичев В.А., Караульник А.Е., Поздняков П.Г., Рахманинов С.В., Федотов И.М., Христофоров В.Н. Справочник по кварцевым резонаторам / под ред. Позднякова П.Г. М.: Связь, 1978. 288 с.
- [11] Кварцевые резонаторы. Режим доступа: <http://digteh.ru/Sxemoteh/filtr/quartz/> (дата обращения 16.12.2015).
- [12] ГОСТ 23546-84. Резонаторы пьезоэлектрические. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2). Введ. 1986-01-01. М.: Издательство стандартов, 1995. 30 с.
- [13] Адамова А.А., Резчикова Е.В., Шахнов В.А. и др. Проведение научных экспериментов в наноинженерии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. 129 с.