

# КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И ФИЛЬТРЫ

## КОМПАНИИ VECTRON INTERNATIONAL

Источники колебаний и частотные фильтры с высокой стабильностью частоты необходимы для любых систем передачи информации, радиолокации, радионавигации, радиосвязи, средств радиотехнических измерений. Одно из наиболее удобных технических решений проблемы стабилизации частоты – применение кварцевых резонаторов на основе объемных или поверхностных акустических волн (Bulk Acoustic Wave, BAW, и Surface Acoustic Wave, SAW, соответственно). Кварцевые устройства стабилизации частоты разрабатываются с 50-х годов прошлого века. Отечественная наука и техника в этой области занимала лидирующие позиции. Достижения научно-технических школ Москвы, Ленинграда, Горького, Омска, Воронежа, Харькова и других центров получили всемирное признание. Сегодня, в связи с интенсивным развитием технологий микроминиатюризации и полупроводниковой электроники, за рубежом появились новые классы узлов и устройств на базе кварцевых резонаторов и устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с характеристиками, которые ранее казались недостижимыми. Ряд зарубежных компаний благодаря агрессивной инновационной политике стали мировыми лидерами в этой области. Пример такой компании – Vectron International [1]. Знакомство с ее продукцией и политикой полезно для оценки достигнутого за рубежом технического уровня и факторов, способствующих этим успехам.

Л. Белов

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОРПОРАЦИИ VECTRON INTERNATIONAL

У корпорации Vectron International (VI) более чем 50-летний опыт работы в области создания источников колебаний с высокой стабильностью частоты. После ряда объединений и реорганизаций благодаря энергичному развитию своего научно-технологического потенциала и расширению географии производств корпорация заняла ведущее положение в мире по разработке и производству источников питания для разнообразных гражданских и военных применений. По данным исследовательской компании iSuppli, в 2003 году доход VI от продажи кварцевых генераторов более чем в три раза превысил доходы любого из ближайших конкурентов [2]. На долю продукции компании VI приходится свыше 10% мирового объема продаж в этом секторе рынка. В 2006 году VI ежемесячно отгружала в среднем 8 млн. изделий. Годовой объем ее продаж составил 220 млн. долл.

Корпорация VI входит в состав крупного международного холдинга Dover Corp. (годовой оборот – 6 млрд. долл.), координирующего деятельность более 50 компаний различного профиля, в том числе DowKey Microwave, K&L Microwave, Dielectric Laboratories, Novacap, Syfer Technology Ltd., Voltronics Corp., Knowles Inc. и другие. В состав самой корпорации VI входят самостоятельные подразделения Vitechnology Express (VITE) [3] и Communication Technique Inc. [4], отделения Norwalk и Mount Holly в США, Whitby в Канаде, Teltow и Neckarbischofsheim в Германии, Neuchatel в Швейцарии, Shanghai в Китае. Корпорация открыла представительства в большинстве европейских стран, Израиле, Японии, Южной Корее, странах Юго-Восточной Азии, Австралии, Индии, Бразилии, Южно-Африканской Республике, а с декабря 2006 года – и в России. Штаб-квартира корпорации находится в Гудзоне (штат Нью-Хэмпшир).

Vectron International производит кварцевые резонаторы, генераторы со стабилизацией частоты кварцевыми или ПАВ-резонаторами, модули переноса частоты стабильных колебаний, средства тактирования систем обработки данных, квар-

цевые и ПАВ частотные фильтры, автогенераторные датчики температуры и вибраций, другие кварцевые компоненты для систем телекоммуникаций, передачи данных, синтеза частот, навигации и измерительного оборудования. Производство почти полностью автоматизировано.

### КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ

Базовые кварцевые резонаторы – пластины пьезокристалла, по толщине которых возбуждаются объемные колебания – различаются по частоте  $f_0$  собственного последовательного резонанса на основной механической моде и по расположению граней резонаторной пластины относительно кристаллографических осей пьезокристалла (срезы AT, SC, IT, FC и др.). VI производит 12 стандартных моделей кварцевых резонаторов с рабочими частотами в диапазоне 2,5–300 МГц (частоты более 40 МГц возбуждаются на высших механических гармониках базового резонатора).

Особенность семейств резонаторов на основе срезов SC, IT и FC – наличие в рабочем интервале температур двух перегибов в температурной зависимости частоты. В сравнении с устройствами других типов кварцевые резонаторы SC-среза характеризуются большей долговечностью, малым временем установления частоты после включения, более высокой добротностью (благодаря чему удается снизить уровень фазового шума генератора вблизи несущей частоты), высокой вибростойкостью. Кроме того, у них выше оптимальная температура стабилизации, что обеспечивает меньшее изменение температуры кристалла в системе стабилизации. Компания VI не продает резонаторы SC-среза и использует их только в собственных генераторах с улучшенными характеристиками.

Интерес представляют резонаторы типа HFF, выполненные по технологии инверсных меза-кристаллов с высокой собственной частотой (High Fundamental Frequency Inverted Mesa Crystals) в виде круглой дисковой мембраны, совершающей колебания по толщине (рис.1). Частота основного резонанса составляет 50–250 МГц.

Для специализированных автогенераторных датчиков, выпускаемых компанией, разработаны высокотемпературные кварцевые резонаторы на основе объемных колебаний на моде с поперечными плоскими горизонтальными акустическими волнами (Shear Horizontal Acoustic Plate Mode, SHAPM). Диапазон рабочих температур резонаторов составляет -55...250°C. По сравнению с традиционными кварцевыми резонаторами у них более высокая резонансная частота, зависимость которой от температуры линейна.

Vectron International выпускает кварцевые резонаторы в металлических или керамических корпусах различных типов – размеров толщиной 13–0,7 мм. Компания предлагает модели с повышенной стойкостью к механическим и радиационным воздействиям, а также резонаторы, способные работать в агрессивной окружающей среде.

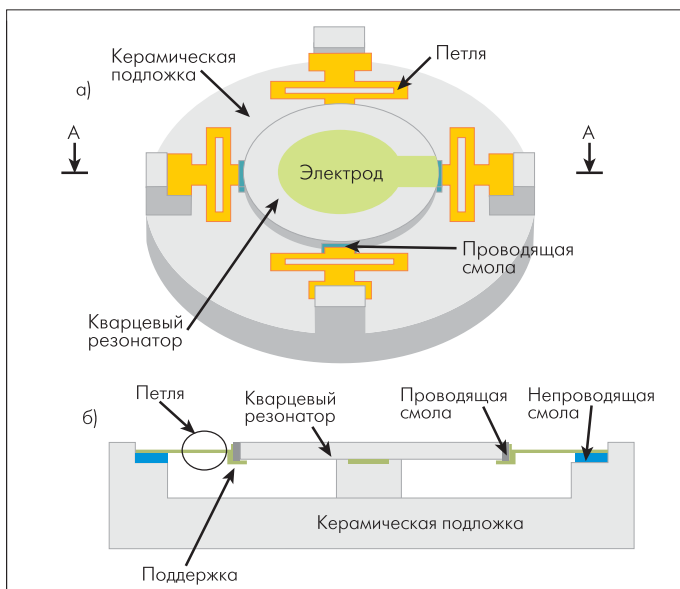


Рис.1. Вид сверху (а) и в сечении AA (б) кварцевого резонатора типа HFF

### КВАРЦЕВЫЕ И ПАВ-ГЕНЕРАТОРЫ

Классификация схем кварцевых и ПАВ-генераторов корпорации VI представлена на рис.2. Кварцевые и ПАВ-генераторы производства VI различаются по частоте, форме и уровню выходного сигнала, по кратковременной, долговременной и температурной нестабильности частоты, по возможностям управления частотой, чувствительности к внешним воздействиям, массогабаритным показателям, энергопотреблению и т.п.

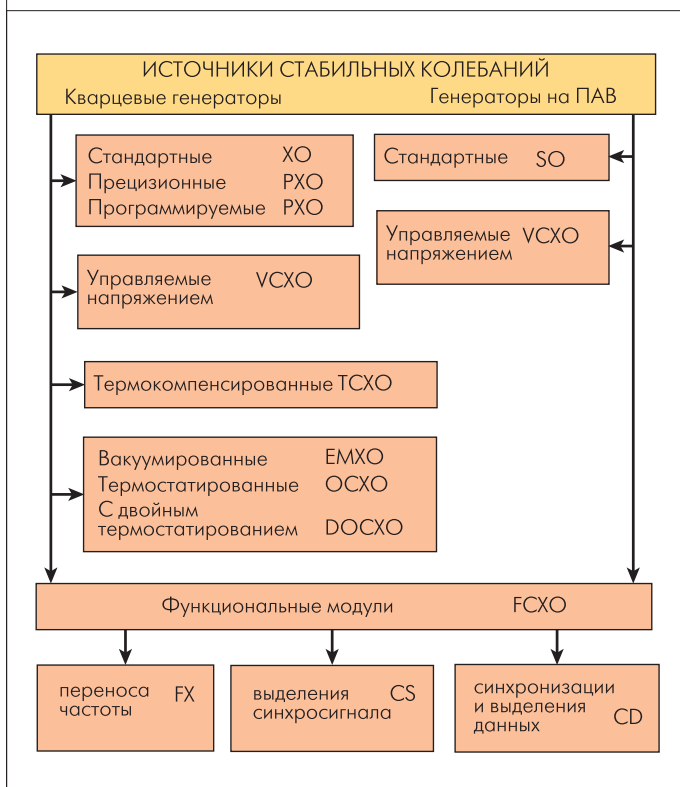


Рис.2. Классификация кварцевых и ПАВ-генераторов компании Vectron International

### СТАНДАРТНЫЕ (БАЗОВЫЕ) ГЕНЕРАТОРЫ

Фирма выпускает 24 модели базовых генераторов с выходными частотами в диапазоне 1–800 МГц (табл.1, рис.3).

Различают следующие группы базовых генераторов:

- **кварцевые генераторы** (Crystal Oscillators, XO), 24 стандартные модели с выходными частотами от 1 до 800 МГц. Выполняются с кварцевыми резонаторами на основной моде, возбуждаемыми на третьей, пятой, иногда – на седьмой или девятой механических гармониках;
- **генераторы на ПАВ** (SAW Oscillators, SO). Имеют повышенные выходные частоты;
- **прецизионные кварцевые генераторы** (Precision Quartz Oscillators, PXO), 28 моделей с выходной частотой 1–2,6 ГГц. Относительная температурная нестабильность частоты  $\pm(3-50)$  ( $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$ );
- **программируемые генераторы** (Programmable Quartz Oscillators, PXO), четыре модели. Значение выходной частоты (1,54–160 МГц) устанавливается при производстве в соответствии с требованиями заказчика.

**Таблица 1. Параметры базовых кварцевых и ПАВ-генераторов**

Модель	Диапазон частот, МГц	Логический уровень или вид выходного сигнала	Габариты, мм
VCC6-Q <sup>1</sup>	270–800	LVPECL	5×7×1,5
C1300 <sup>2</sup>	1–800	ACMOS, TTL, LVPECL	14×9×4
VCC1 <sup>3</sup>	1,5–190	TTL, CMOS	5×7×1,8
VCD2-203 <sup>4</sup>	10–52	PECL	9×14×5
XO-400 <sup>5</sup>	15–250	PECL	20×13×10
SO-502	300–1350	Sinewave, LVPECL	9×14×4,5

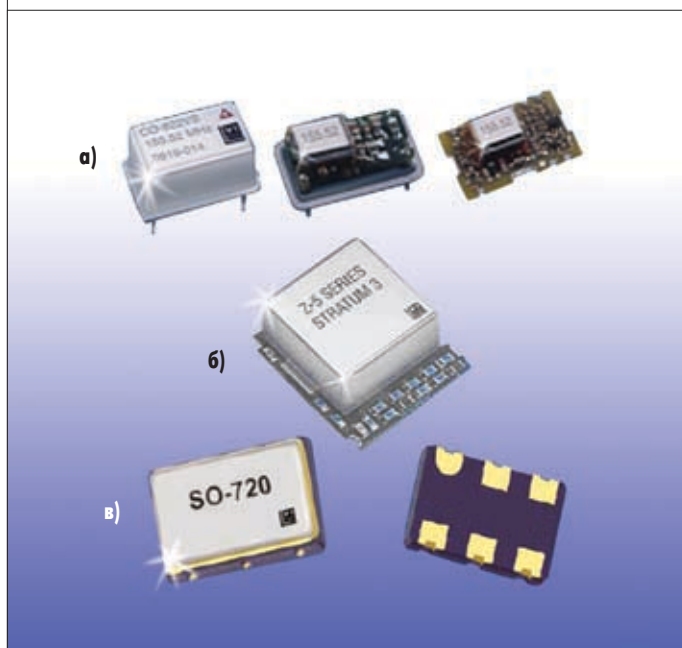
*Примечание.* 1 – выходной буферный усилитель, дифференциальные выходы, режим отключения генератора от нагрузки; 2 – защита от воздействия внешних электромагнитных полей; 3 – напряжение питания 1,8 В; 4 – трехстабильный режим; 5 – сверхмалый уровень дрожания фронта.

Диапазон рабочих температур большинства моделей стандартных генераторов составляет -40...85°C. Некоторые рассчитаны на температуру до 125°C. В генераторах низких частот (до 10 кГц) используются встроенные делители частоты, в генераторах более высоких частот (до 800 МГц) – кварцевые резонаторы, возбуждаемые на механических гармониках, ПАВ-резонаторы, встроенные умножители частоты. Назначение большинства кварцевых генераторов – тактирование процессов в цифровых схемах (Clocks). Поэтому выходной сигнал моделей, как правило, имеет трапециевидальную форму с определенными логическими уровнями (PECL, TTL, HCMOS, LVDS и др.). Нагрузочная способность выходных каскадов достигает 16 мА. В ряде моделей предусмотрена функция программного отключения генератора от последующей схемы или установки сигнала в любое из трех стабильных состояний (логический «0», логическая «1», отключение с высоким импедансом), что облегчает тестирование последующей цифровой схемы. Форма выходного сигнала некоторых моделей – синусоидальная (sinewave) с мощностью до 7–20 дБмВт на нагрузке 50 Ом. Для тактовых

генераторов нормируются: среднеквадратический уровень и период флуктуаций фронта (джиттер) (по умолчанию – в полосе 12 кГц–20 МГц), несимметрия формы (45/55–49/51%) и длительность фронта выходного сигнала, а также длительность выбега частоты после включения (5–10 мс).

Генераторы поставляются в малогабаритных керамических или металлических герметичных корпусах. Некоторые модели – в виде модулей с SMA-разъемом. Ряд моделей имеет встроенный выходной буферный каскад с повышенной нагрузочной способностью.

Гарантированная относительная нестабильность частоты за 10 лет модели VCD2-203 в корпусе для поверхностного монтажа составляет не менее  $\pm 20$  ppm в диапазоне температур -40...85°C при допустимых вариациях всех параметров. Потребляемый ток – 50 мА. Модель ПАВ-генератора SO-720 может быть изготовлена на одну из 40 стандартных частот в диапазоне 150–800 МГц. С дифференциальных выходов снимаются инвертированные сигналы с LVPECL или LVDS уровнями и длительностью фронтов не более 500 пс. Микросхема допускает переключение формы выходного сигнала с синусоидальной (выходная мощность до 10 дБмВт) на LVPECL. Встроенная схема умножения частоты позволяет повышать частоту выходного сигнала до 1330 МГц. Нестабильность частоты не превышает  $\pm 50$  ppm в температурном диапазоне -40...+85°C; старение – не более 10 ppm за 10 лет. Модель отличается сверхмалым джиттером – 0,1 пс. Спектральная плотность мощности (СПМ) фазового шума составляет -130 дБ/Гц на частоте 622 МГц при отстройке 10 кГц. В модели SO-502 гарантируется джиттер 0,035 пс и СПМ фазового шума -160 дБ/Гц на несущей частоте 1 ГГц при отстройке 1 МГц. Напряжение питания генератора 3,3 В, потребляемый ток – 55 мА. Габариты корпуса – 5×7,5×2 мм.



**Рис.3. Генераторы классов XO (а), PXO (б) и SO (в)**

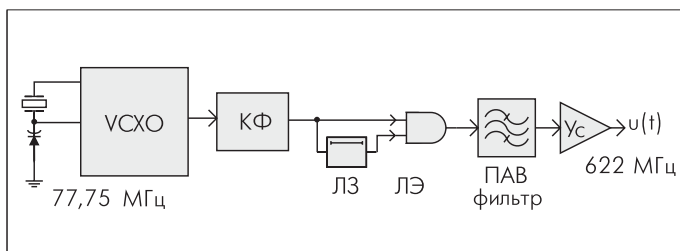
## ГЕНЕРАТОРЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЕМ

Управляемые по частоте напряжением генераторы классов VCXO (Voltage Controlled Crystal Oscillators) и VCSO (Voltage Controlled SAW Oscillators) предназначены для работы в источниках колебаний фиксированной частоты, сигналы которых синхронизируются системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) по фазе колебаний внешнего источника. Изделия этого типа (49 моделей класса VCXO и 10 моделей класса VCSO) составляют ~32% всех моделей генераторов компании VI. Чтобы обеспечить возможность изменения напряжением частоты в пределах до  $\pm 150$  ppm (табл.2) с линейностью модуляционной характеристики  $\pm(5-20)\%$  и полосой частот по цепи управления 1–500 кГц, в колебательную цепь генераторов встроены варикапы. Компания выпускает генераторы, формирующие колебания с частотой от 32 кГц до 1488 МГц со среднеквадратическим уровнем джиттера 0,1–300 пс в полосе 12 кГц–80 МГц.

Высокие (до 800 МГц) значения выходной частоты генераторов, управляемых напряжением, достигаются за счет применения схемы выделения гармоники высокой кратности из колебаний генератора на ПАВ или на кварцевом резонаторе (рис.4). Как показано на рис.4, колебания управляемого напряжением генератора VCXO поступают на каскад формирования (КФ). Каскад с линией задержки (ЛЗ) и логическим элементом (ЛЭ) формирует короткий прямоугольный импульс. Узкополосный фильтр на ПАВ выделяет из спектра импульса нужную гармонику высокой кратности, сохраняя низкий уровень дрожания фронта, присущий базовым колебаниям. Выходной ограничивающий усилитель (Ус) или логический элемент окончательно формирует выходные двухуровневые колебания.

В генератор модели VS-750 компании VI встроены две переключаемые линии задержки на ПАВ, задающие стабильные значения выходной частоты. Время переключения не превышает 4 мс. Полоса управления частотой при фиксированном положении переключателя составляет 500 кГц.

В модель V-Туре встроены ограничитель и буферный усилитель по цепи управляющего напряжения, а также буферный



**Рис.4. Схема умножения частоты колебаний базового управляемого напряжением кварцевого генератора модели VC-700&VS-720**

трехстабильный усилитель выходного сигнала. Уровень СПМ фазового шума составляет -115 дБ/Гц на несущей частоте 35 МГц при отстройке на 1 кГц. Полоса частот по цепи управления – 10 кГц. Диапазон рабочих температур составляет -40...85°C. Напряжение питания 3,3 В, потребляемый ток 12 мА.

Модель C5260 отличается пониженным уровнем температурной нестабильности  $\pm 15$  ppm в диапазоне -20...70°C. Старение генератора за первый год составляет  $\pm 3$  ppm, каждый последующий год – не более 1 ppm. Отклонение от линейности модуляционной характеристики не превышает 10%; уровень джиттера в полосе 10 кГц–20 МГц – не более 1 пс; время выбега частоты после включения – 1 мс. Напряжение питания 3,3 В, потребляемый ток 30 мА. Масса – 2 г.

Уровень СПМ фазового шума кварцевых генераторов с фиксированной настройкой низкий при больших (более 1 МГц) отстройках от несущей частоты невелик. Введение управителя частотой ухудшает этот показатель для средних отстроек. СПМ моделей класса VCXO производства компании VI составляет -115 дБ/Гц при отстройке на 100 Гц, т.е. уровень фазового шума весьма мал (рис.5).

Для автогенераторных датчиков температуры разработаны высокотемпературные управляемые кварцевые генераторы модели H-Туре. Летом 2006 года выпущена модель TVC400DAL-Gxx.xxx. Она рассчитана на частоту 10–25 МГц и работу в диапазоне температур -55...180°C с нелинейностью модуляционной характеристики 20% в полосе частот управления 0–1 кГц.

**Таблица 2. Параметры управляемых напряжением генераторов**

Модель	Класс	Диапазон частот, МГц	Вид выходного сигнала	Диапазон перестройки, ppm	Управляющее напряжение, В	Габариты, мм
VC710 <sup>1</sup>	VCXO	80–200	LVPECL	$\pm 50$	0–3	5×7×1,8
V-Туре <sup>2</sup>	VCXO	1,5–75	CMOS, TTL	$\pm 150$	0–3	5×7×1,8
J-Туре <sup>3</sup>	VCXO	1–250	TTL, CMOS, PECL	$\pm 100$	0–3	9×14×4
S-Туре <sup>4</sup>	VCXO	1–65	TTL, CMOS	$\pm 100$	0–3	8×8×3
CO-286WW <sup>5</sup>	VCXO	400–1200	Sinwave	$\pm 200$	0–6	50×25×5
C5260 <sup>6</sup>	VCXO	1–160	LVPECL	$\pm 200$	0–3	7×5×2,3
VS-750 <sup>7</sup>	VCSO	500–850	LVPECL	$\pm 50$	0–3	5×7,5×2,5
H-Туре <sup>8</sup>	VCXO	10–25	CMOS, HCMOS/AMOS	$\pm 50$	0–3	12,6×20×5

*Примечание.* 1 – резонатор HFF со сверхмалым джиттером; 2 – герметичный керамический корпус; 3 – трехстабильный выход, малый фазовый шум; 4 – программируется TTL- или CMOS-выход; 5 – повышенная выходная частота, синусоидальный выходной сигнал мощностью до 13 дБмВт, старение 2 ppm за год; 6 – низкий фазовый шум (-135 дБ/Гц при отстройке 1 кГц); 7 – переключение двух частот, отключаемый выход, дифференциальные выходные сигналы; 8 – высокотемпературный (до 180° C).

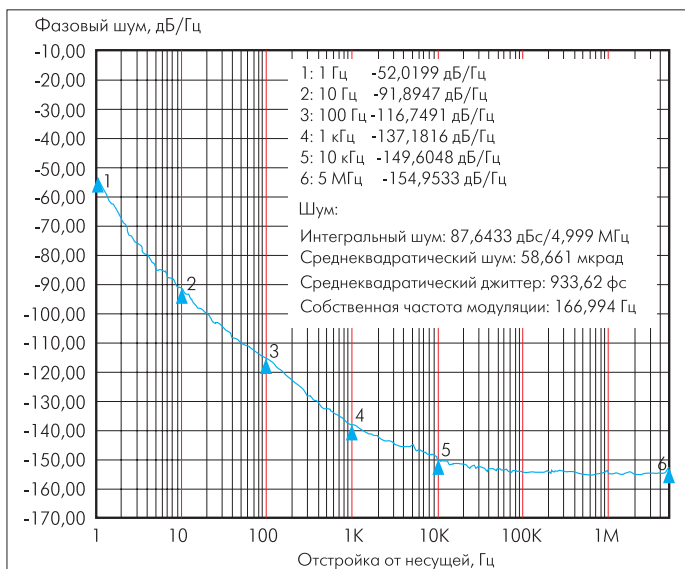


Рис.5. Характеристика СПМ фазового шума VCS4 вблизи частоты 2,5 МГц

### ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Термокомпенсированные генераторы (Temperature Controlled Crystal Oscillators, TCXO) содержат датчик температуры, варикап и систему автоматического регулирования, корректирующую частоту генерации при изменении температуры кристалла. Поэтому генераторы класса TCXO отличаются повышенной стабильностью частоты (табл.3). Для снижения эффекта старения кварца до  $\pm 1$  ppm/год и  $\pm 10$  ppm/сутки ( $1 \text{ ppm} = 10^{-9}$ ) используются пьезокристаллы со специальным углом среза и/или встроенный стабилизатор напряжения питания. Во многих моделях предусмотрена возможность механической и/или электрической коррекции уходов частоты. Корпорация VI выпускает 32 серии TCXO-генераторов с выходными частотами от 10 кГц до 900 МГц.

В этом классе генераторов можно выделить модель TC-210 (Z5), удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к точности частоты генераторов стандарта Stratum 3 [5]. Старение генератора – не более 4 ppm за 20 лет, выбег частоты после включения не превышает 10 мс.

Таблица 3. Параметры высокостабильных кварцевых генераторов

Модель	Класс	Диапазон частот, МГц	Вид выходного сигнала	Габариты, мм
EX-380 <sup>1</sup>	EMXO	10–80	Sinewave, HCMOS	13×21×7,6
C2310 <sup>2</sup>	TCXO	6,4–800	Sinewave, HCMOS, PECL	9×14×6
C2400 <sup>2,3</sup>	TCXO	10–200	Sinewave, HCMOS	13×21×7
Z5 (6825) <sup>4,6</sup>	TCXO	12,8	LSTTL	25×29×10
C4400 <sup>5</sup>	OCXO	10–160	Sinewave, HCMOS	13×21×10
C4600 <sup>6</sup>	OCXO	5–40	Sinewave, HCMOS	28×38×15
C4700 <sup>7</sup>	DOCXO	4–15	Sinewave, HCMOS	50×40×19

Примечание. 1 – пониженная чувствительность к колебаниям давления, влажности, ускорению; 2 – низкий фазовый шум; 3 – герметичное исполнение; 4 – фиксированная частота; 5 – в корпусе для поверхностного монтажа, малое время выбега частоты после включения (2 мин), электрическое управление частотой  $\pm 3$  ppm; 6 – низкий уровень старения; 7 – ультравысокая температурная стабильность ( $\pm 0,2$  ppm в интервале 0...70°C).

### ВАКУУМИРОВАННЫЕ И ТЕРМОСТАТИРОВАННЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Вакуумированные миниатюрные кварцевые генераторы (Evacuated Miniature Crystal Oscillators, EMXO's) характеризуются пониженным уровнем старения и чувствительностью к давлению и влажности окружающей среды. В термостатированных генераторах (Oven Controlled Crystal Oscillators, OCXO) предусмотрена автоматическая стабилизация температуры резонатора и других частотно-задающих элементов при изменении температуры внешней среды. К классу OCXO относится до 21% всей номенклатуры продукции компании VI. Фирма ежемесячно отгружает около 4,5 тыс. таких генераторов. В прецизионных генераторах DOCXO (Double Oven Controlled Crystal Oscillators) применяется двойное термостатирование (наряду с выбором оптимального угла среза кварца и стабилизацией напряжения питания). В таких генераторах выбег частоты после включения составляет несколько минут (выбег частоты лучших стандартов составляет 5–6 мин).

В генераторе EMXO модели EX-380 используется третья механическая гармоника кварца SC-среза. Температурная стабильность генератора –  $\pm 75$  ppb в диапазоне -40...85°C, чувствительность к ускорениям – 1 ppb/g. Время выбега частоты не превышает 1 мин; старение – не более 0,1 ppm за первый год и не более 1 ppm за 10 лет.

Предмет особой заботы разработчиков микросхем OCXO – обеспечение малого времени восстановления (Restabilisation) значения частоты генератора после выключения и последующего включения электропитания термостата. В модели EX-380 этот параметр не превышает 2 мин. Модель C4600 отличается низким уровнем старения:  $\pm 1$  ppm за сутки,  $\pm 100$  ppb за первый год и  $\pm 50$  ppb за каждый последующий год.

В модели C4700 класса DOCXO используются два вложенных друг в друга термостата и кварцевый резонатор SC-среза типа HC-37/U. На основной частоте 5 МГц старение генератора не превышает 30 ppb за первый год. СПМ фазового



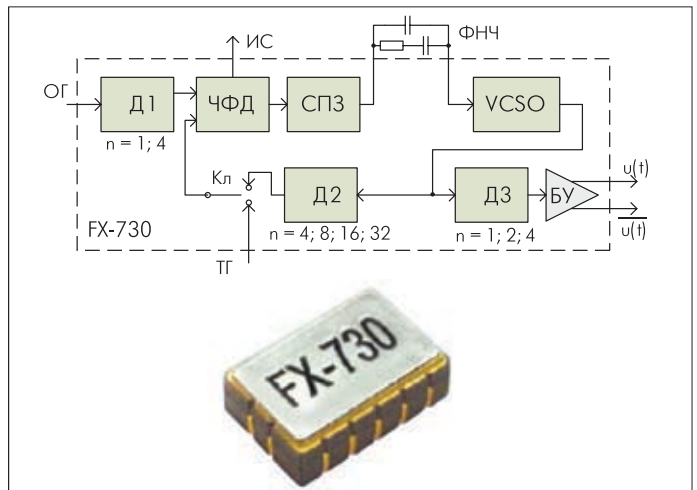
шума составляет -140 дБ/Гц при отстройках выше 10 кГц. В генераторе предусмотрена возможность механической и электрической коррекции номинала частоты. Такой генератор по показателям кратковременной нестабильности **заменяет рубидиевый стандарт частоты**. При этом он значительно меньше и дешевле квантово-механических стандартов.

В число генераторов класса ОСХО компании входят модели с пониженной чувствительностью одновременно к нескольким внешним факторам. Например, максимальные уходы частоты в модели С4999А1 с учетом начальной калибровки и эффекта старения за первый год не превышают  $\pm 25$  ppb при любых допустимых дестабилизирующих воздействиях (при изменении температуры в диапазоне -40...85°C, при колебаниях напряжения питания). Максимальная чувствительность частоты к линейным ускорениям по ортогональным осям не превышает 0,2 ppb/g.

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ

Функциональные модули FCXO (Frequency Controlled Crystal Oscillators) позволяют расширить возможности устройств формирования сигналов с высокой стабильностью по частоте или по времени. Корпорация Vectron International выпускает 15 моделей с входной частотой 8 кГц–850 МГц и выходной частотой от 100 кГц до 850 МГц. Модули содержат все узлы системы ФАПЧ и обеспечивают режимы переноса стабильной частоты (Frequency Translation, FT), выделения тактовой частоты (Clock Smoothing, CS), синхронизации и выделения данных (Clock and Data Retiming, CD) (табл.4, рис.6). В функциональных модулях входной сигнал с дрожанием фронта или с составляющей шума поступает на вход встроенного фазового детектора, а на выходах выделяются импульсы тактовой частоты и/или демодулированная информационная последовательность принимаемых символов. Отношение частот входного и выходного сигналов – дробно-рациональное. Модули обеспечивают очень малый джиттер выходного сигнала, высокую стабильность, малое время синхронизации, сигнал сбоя синхронизации. Они предназначены для систем стандартов SONET/SDH, ATM, DWDM, xDSL и др.

По сути, генератор класса FCXO – это микромодуль прямого синтезатора частоты и ФАПЧ с фиксированным коэф-



**Рис.6. Структурная схема (а) и внешний вид (б) преобразователя частот FX-730: Д1, Д2, Д3 – делители частоты, ЧФД – частотно-фазовый детектор, СПЗ – схема подкачки заряда (Charge Pump), ФНЧ – внешние элементы фильтра нижних частот; БУ – буферный усилитель; КЛ – ключ, ИС – выход на индикатор синхронизма; ОГ – генератор опорного сигнала; ТГ – генератор тактового сигнала**

фициентом деления частоты подстраиваемого генератора, встроенными узлами управляемого генератора, дискриминатором и внешней цепью обратной связи.

Рассмотрим в качестве примера модель FX-730. Эта микросхема формирует два инвертированных выходных колебания  $u(t)$  и  $\bar{u}(t)$  с уровнями LVPECL или LVDS и с дискретными значениями частоты повторения в диапазоне 125–850 МГц. Выходные колебания синхронизированы по фазе с внешними опорными колебаниями уровней LVCMOS или LVPECL, частота которых может находиться в пределах 19,44–850 МГц. Внешние опорные колебания с частотой ниже 19,44 МГц могут подключаться на вход ТГ, ключ КЛ в этом случае переводится в нижнее положение, а клемма  $\bar{u}(t)$  соединяется с входом ОГ. Подстраиваемый генератор VCSO с линией задержки на ПАВ отличается сверхнизким уровнем собственного дрожания фронта (0,12 пс в полосе 50 кГц–80 МГц). Максимальная длительность фронта выходного сигнала 400 пс; несимметрия 45/55%; диапазон рабочих температур -40...85°C. Потребляемый ток составляет 100 мА, напряжение источника питания -3,3 В. Микросхема поставляется в герметичном, монтируемом на поверхность корпусе размером 5×7,5×2,5 мм.

**Таблица 4. Параметры преобразователей частоты стабильных колебаний (FCXO)**

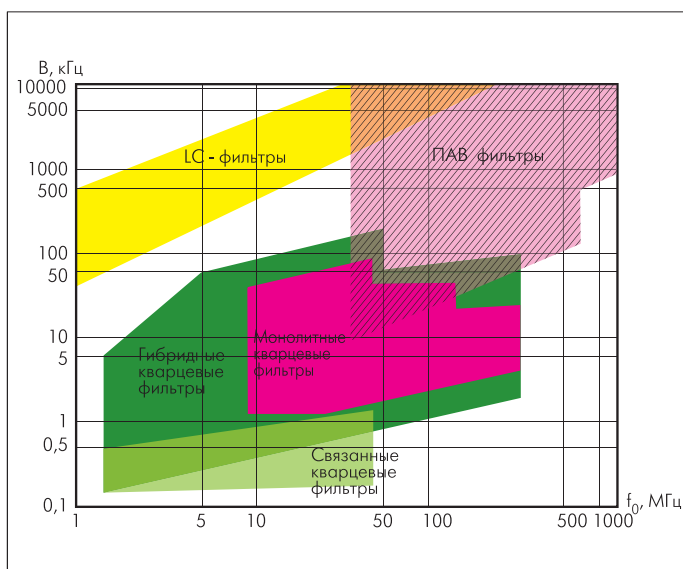
Модель	Режимы функционирования			Число входов/ выходов	Диапазон частот, МГц		Тип выходных сигналов	Габариты, мм
	FX	CS	CD		входных	выходных		
FX-730	+	+	-	1/1	0,008–850	125–850	LVDS	5×7×2
CD-700	+	+	+	1/2	0,008–78	0,1–78	CMOS	5×7×2
FX-424	+	+	-	4/1	0,008–470	1,5–850	LVPECL	13×20×5
TRU-050	+	+	+	1/2	0,008–78	0,1–78	CMOS	-
FX-200	+	+	-	2/2	0,008–170	200–800	PECL	25×30×6
С3430	+	-	-	1/1	10–700	10–700	TTL, LVPECL	1×20×6

### КВАРЦЕВЫЕ И ПАВ-ФИЛЬТРЫ

Частотные фильтры с высокой селективностью необходимы в устройствах преобразования частоты, узлах обеспечения требований электромагнитной совместимости, устройствах приема сигналов с частотным разделением каналов и др. Они находят применение в системах связи, передачи данных, в телевидении, автомобильной и медицинской аппаратуре. Сочетания полосы прозрачности фильтров разного типа и средней частоты  $f_0$  представлены на рис.7, характеристики некоторых моделей – в табл. 5.

Монолитные кварцевые фильтры MCF (Monolithic Crystal Filters) компании (380 моделей с центральной частотой 10,5–172 МГц) представляют собой систему, содержащую от двух до 12 связанных электрически или механически кварцевых резонаторов. ПАВ-фильтры компании VI (около 500 моделей с центральной частотой 35–2670 МГц) выпускаются в различных конфигурациях на подложках из ниобата или танталата лития. Они отличаются широким диапазоном значений центральной частоты, высокой эквивалентной добротностью (до 8000), повышенными значениями допустимой входной высокочастотной мощности (до 27 дБмВт), низкими потерями в полосе прозрачности, малой неравномерностью коэффициента передачи и группового запаздывания в рабочей полосе частот, слабой температурной зависимостью параметров, малыми габаритами компонентов (рис.8).

Компания VI также изготавливает фильтры в соответствии с техническими требованиями заказчика. Кроме того,



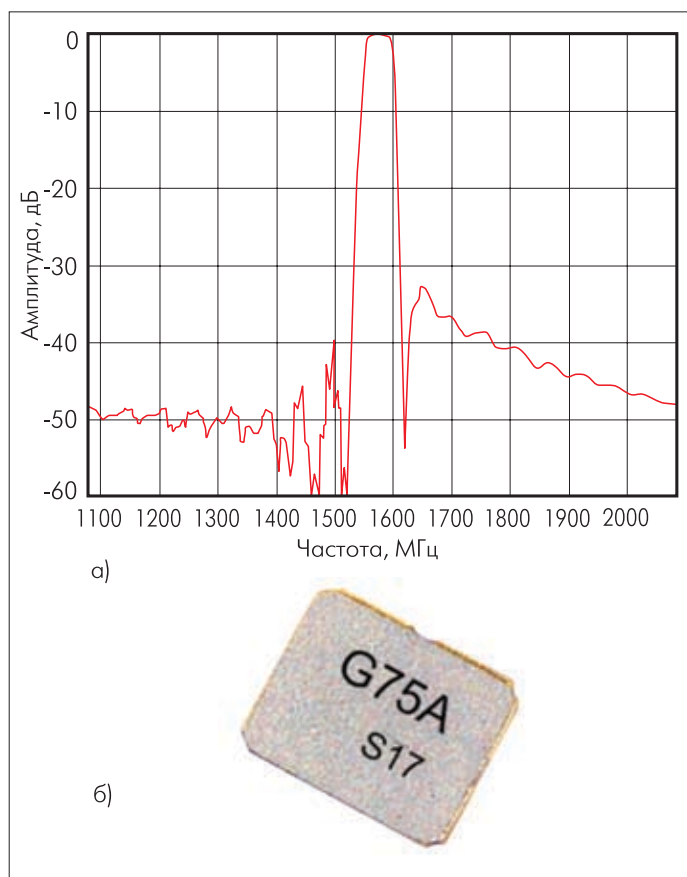
**Рис.7. Средняя частота и полоса пропускания частотных фильтров, выполненных по различной технологии**

VI предлагает четыре модели частотных дискриминаторов на основе монолитных кварцевых фильтров со встроенным операционным усилителем (стандартные значения средней частоты 10,7 и 21,4 МГц), а также полосно-заграждающие фильтры (стандартные значения средней частоты 78,6 и 127,0 МГц).

Для контроля параметров газовой или жидкой окружающей среды – температуры, вязкости, давления, уровня вибраций, влажности и др. – фирма VI выпускает автогенераторные датчики. С помощью кварцевых резонаторов или ПАВ-фильтров

**Таблица 5. Параметры частотных фильтров**

Модель	Назначение	Тип	Средняя частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Потери, дБ	Габариты, мм
QF1.4-L0235/05	Измерительное оборудование	Кварц	1,4	±0,00035	5	76×26×29
MQF130...180-1500/B	Измерительное оборудование	Кварц	130,0–160,0	±7,50	6,5	6×3×3
MQF172.5-1200/01	Измерительное оборудование	Кварц	172,5	±6,00	3,0	8×8×3
TFS35A	Военная аппаратура	ПАВ	35,1	1,7	17	14×7×3
TFS52	Измерительное оборудование	ПАВ	52,0	0,27	6,5	21×13×3
TFS70Y	Полосовые фильтры средств сотовой связи	ПАВ	70,0	0,07	6	13×6×3
TFS121	Системы беспроводной связи	ПАВ	121,5	0,05	5	11×5×3
TFS155	Пейджеры	ПАВ	155,5	0,02	5	11×5×3
TFS208	Базовые станции GSM-стандарта	ПАВ	208,0	0,8	3,5	9×5×2,5
TFS420A	Беспроводные системы WLL	ПАВ	420,0	10,0	24	7×5×2,5
TFS869	Беспроводные соединения типа Keyless Entry	ПАВ	869,0	2,0	3	4×4×2
TFS1960	Микротелефонные трубки компании Professional Sound Corporation	ПАВ	1960,0	60,0	4,1	3×3×2



**Рис. 8. АЧХ (а) и внешний вид (б) ПАВ-фильтра (средняя частота 1575 МГц, полоса 2 МГц, потери в полосе прозрачности 1,5 дБ, габариты 2,5×2 мм)**

датчики преобразуют контролируемую физическую величину в изменение частоты автоколебаний. При этом частота измеряется с очень малой погрешностью. Датчики компании VI в виде миниатюрных таблеток или пленок находят применение в самых разнообразных устройствах – от автомобильных систем и промышленного оборудования до биомедицинских приборов. Основные их достоинства – высокие вибро- и коррозионная стойкость, большая долговечность, невысокая цена, возможность работы в агрессивных средах с температурой до 250°C.

Для измерения изменений температуры разработаны узкополосные частотные фильтры с почти постоянным температурным коэффициентом частоты в диапазоне от -55 до 180°C. Например, температурный коэффициент датчика TFS868 на основе ПАВ-фильтра на частоту около 868 МГц с добротностью 8000 составляет -36 ppm/K. Выпускаются модели управляемых напряжением генераторов на диапазон рабочих температур -55...180°C.

Большинство датчиков представляют собой заказные узлы, выполняемые по техническим требованиям заказчиков.

### **ПРОДУКЦИЯ ВОЕННОГО И КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Интерес представляет и продукция VI военного и космического назначения. Это – несколько серий кварцевых резонаторов на частоту 1,3–260 МГц, 12 моделей тактовых генера-

торов (на 1 кГц–100 МГц), 43 модели стандартных кварцевых и ПАВ-генераторов (на частоту от 1 Гц до 1350 МГц), 14 моделей управляемых напряжением генераторов VCXO и VCXO (на 1–1350 МГц), генераторы TCXO и OCXO, модули FCXO, а также кварцевые и ПАВ-фильтры, предназначенные для жестких условий эксплуатации. Вибростойкость резонаторов достигает 0,03 ppb/g, старение – менее 30 ppb/год; диапазон рабочих температур генераторов – от -55 до 125°C; их радиационная стойкость – 100 рад. Эта продукция отвечает требованиям военных стандартов MIL-PRF-55310 к вибростойкости, ударопрочности, воздействию скачков и циклических изменений температуры, давления и влажности окружающей среды и др.

В феврале 2007 года компания VI совместно с Discera Inc. объявила о выпуске новой серии тактовых генераторов с кремниевыми МЭМС-резонаторами на частоты 1–125 МГц. Нестабильность частоты генераторов в диапазоне температур -40...85°C составляет 50 ppm, джиттер – 7 пс, выбег частоты – 10 мс, потребляемый ток от источника на 3,3 В – менее 16 мА. Генераторы отличаются исключительно высокими ударостойкостью (30000g) и вибростойкостью, а также отсутствием эффекта старения. По цене они сопоставимы с обычными кварцевыми генераторами. Монтируются в керамический (VMC2) или пластиковый (VMP2) корпус размером 5×3,2×1 мм.



## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Высокое качество продукции корпорации Vectron International обеспечено не только рядом конструкторско-технологических находок, но и автоматизацией производства, а также многоступенчатым контролем параметров. В технологическую цепочку полностью автоматизированных операций подгонки частоты резонатора, монтажа, пайки, термокомпенсации, искусственного старения, вакуумирования или герметизации микромодулей, входят до девяти постов ручного контроля и измерений. В частности, при серийном производстве генераторов класса ОСХО на одной плате монтируются до 42 заготовок разных типов. Все заготовки одновременно обрабатываются в помещениях класса чистоты 100 и 100К и проходят автоматизированные цифровые измерения. На заключительных стадиях плата без участия оператора распиливается на отдельные составляющие, которые затем монтируются в стандартные корпуса и проходят финальный контроль с сертификацией качества в соответствии со стандартами ISO 9001, ISO 14000, QS 9000, TS 16949.

Генераторы и гибридные модули компании Vectron International выполняются на многослойных подложках из  $Al_2O_3$ , AlN, BeO. Они могут быть интегрированы с логическими элементами в герметичные и влагостойкие микромодули. Керамические корпуса изготавливаются по высокотемпературной (HTCC) или низкотемпературной (LTCC) технологиям. Материал подложек и корпусов выбирается с учетом его тем-

пературных свойств. В соответствии с особыми техническими требованиями заказчика компания выпускает микромодули в корпусах типа LCC, CQFP, Side Brazed.

Фирмой успешно решены проблемы контроля производства прецизионных кварцевых генераторов с высокой стабильностью частоты, с помощью специальных методик и калиброванных измерительных средств, по своим возможностям на порядок превосходящих традиционное оборудование.

---

По соотношению "качество – объем продаж" разнообразных источников колебаний со стабильной частотой компания VI – одна из лучших в мире. Современные кварцевые генераторы и фильтры производства Vectron International можно приобрести у официального представителя компании на российском рынке – фирмы РАДИОКОМП [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. [www.vectron.com](http://www.vectron.com)
2. [www.dovercorporation.com](http://www.dovercorporation.com)
3. Applied Market Intelligence – исследования мирового рынка электронной продукции. – [www.isuppli.com](http://www.isuppli.com)
4. Technology Express – [www.viteonline.com](http://www.viteonline.com)
5. Communication Techniques Inc. – [www.cti-inc.com](http://www.cti-inc.com)
6. РАДИОКОМП – радиокomпоненты мировых производителей // [www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)