

МЭМС-генераторы для промышленного применения

Василий ЧЕРВИНСКИЙ
cvm@forso.ru

Тактовые генераторы — неотъемлемая часть современных радиоэлектронных приборов. Области промышленного применения генераторов — медицинская электроника и системы жизнеобеспечения, метрология и автоматизация производственных процессов, связь и транспорт, аэрокосмическая промышленность и военная техника — диктуют жесткие требования к тактовым генераторам. В первую очередь это стабильность частоты при воздействии повышенной и пониженной температуры, вибрации и других внешних факторов.

Введение

Традиционно для стабилизации тактовой частоты использовались кварцевые и пьезо-керамические резонаторы [1, 2]. Сегодня на смену им пришли МЭМС-генераторы, обеспечивающие высокую стабильность и надежность при малых габаритах и низком энергопотреблении.

МЭМС-генератор — это, по существу, микросхема, объединяющая в одном корпусе резонатор и синтезатор частоты (рис. 1).

MEMS-резонаторы имеют линейные размеры менее 500 мкм и высоту менее 200 мкм, что делает их на 90% меньше, чем кварцевые резонаторы. На рис. 2 в одном масштабе показаны самый маленький керамический ре-

зонатор для поверхностного монтажа (слева) и МЭМС-резонатор.

Благодаря миниатюрности МЭМС-генератор особенно подходит для мобильных устройств.

Один из лидеров рынка МЭМС-генераторов, компания SiTime, предлагает МЭМС-генераторы для промышленного применения, обладающие непревзойденными характеристиками.

Микрогабариты

SiTime позиционирует свои изделия как замену кварцевым генераторам. Благодаря малым размерам МЭМС-генераторы занимают меньше места на плате, чем кварцевые

резонаторы, и могут быть установлены на их площадке. Стандартные размеры МЭМС-генераторов SiTime выбраны из соображений простоты модернизации радиоэлектронной аппаратуры и имеют следующие величины (Д×Ш): 2×1,6; 2,5×2; 3,2×2,5; 5×3,2; 7×5 мм.

Компания выпускает МЭМС-генераторы в корпусах типов CSP: 1508; QFN: 2016, 2520, 3225, 5032, 7050; SOT23-5: 2928; SMD: 3225, 5032, 7050.

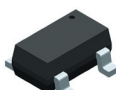
Стабильность тактовой частоты

В таблице приведены основные характеристики МЭМС-генераторов семейства SiT20xx от SiTime. Особое внимание следует обратить на относительную стабильность частоты, которая включает начальное отклонение при изготовлении, уход из-за старения в течение первого года, температурную нестабильность, уход из-за колебаний напряжения питания и влияния нагрузки. Стабильность частоты измеряется в ppm (part per million — 10^{-6} от номинальной частоты).

Например, уход частоты генератора SiT2020BM-S1 с номинальной частотой 100 МГц не превысит 2 кГц (20 ppm) в диапазоне температур $-55...+125$ °C.

Также компания выпускает МЭМС-генераторы с нестабильностью до $\pm 0,05$ ppm на частоты до 220 МГц и ± 10 ppm на частоты до 725 МГц.

Таблица. Характеристики семейства SiT20xx

Наименование	Частота, МГц	Стабильность частоты, ppm	Напряжение питания, В	Диапазон рабочих температур, °C	Тип и размеры корпуса
SiT2018	1–110	±20 ±25 ±50	1,8 или 2,5–3,3	–40...+105 или –40...+125	 (2,9×2,8)
SiT2019	115–137				
SiT2020	1–110				
SiT2021	119–137				

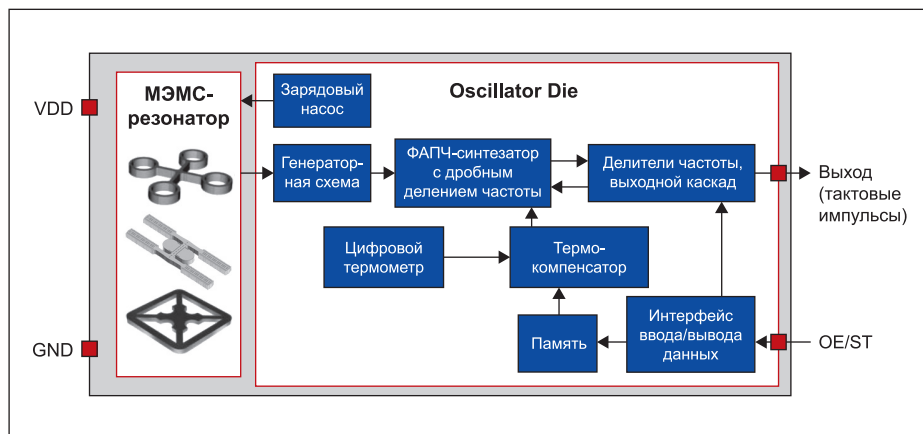


Рис. 1. Функциональная схема МЭМС-резонатора

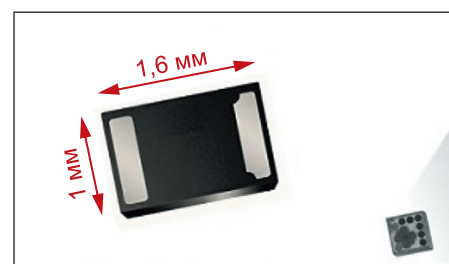


Рис. 2. Керамический и МЭМС-резонаторы

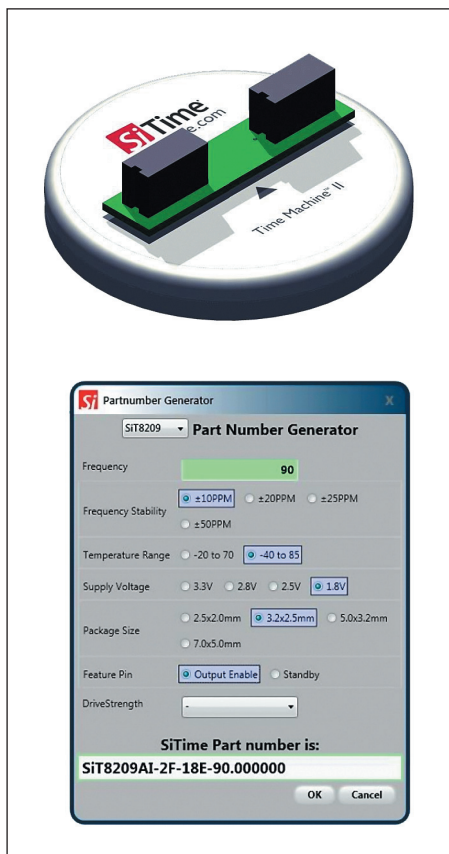


Рис. 3. Программатор и интерфейс программы

Таким образом, по стабильности частоты МЭМС-генераторы вполне могут заменить кварцевые и тем более керамические резонаторы.

Гибкая конфигурация

На протяжении десятилетий длительный срок изготовления кварцевых резонаторов с промышленными параметрами «под заказ» был ахиллесовой пятой кварцевой промышленности. Например, резонатор на частоту 72 320 кГц для передатчиков популярного диапазона LPD433 приходилось ожидать многие недели после заказа. Положение изменилось, когда появились МЭМС-генераторы.

В марте 2020 года компания SiTime объявила о доступности МЭМС-генераторов в течение 48 ч по всему миру. За счет чего удалось достичь таких успехов?

Генераторы SiTime имеют программируемую архитектуру, которая позволяет настраивать несколько параметров устройства, включая выходную частоту (с точностью до шести десятичных знаков), стабильность частоты и напряжение питания в пределах рабочего диапазона прибора. Компания серийно выпускает обширный ассортимент универсальных генераторов на разные диапазоны, которые хранятся на складах и в кратчайший срок программируются дистрибьюторами под конкретные требования заказчика.

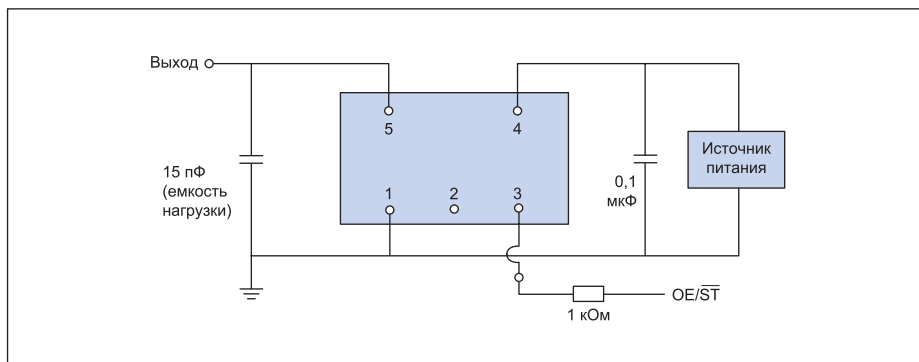


Рис. 4. Схема подключения МЭМС-генератора SiT2018B

Стремясь еще более сократить этот срок, компания SiTime разработала способ программирования генераторов в «полевых условиях», то есть у заказчика.

Программирование рабочей частоты осуществляется с помощью персонального компьютера и программатора (рис. 3).

Процесс программирования занимает несколько секунд и, помимо частоты и других настроек, позволяет задать функцию управляющего контакта.

Микропотребление

Тактовые генераторы МЭМС отличаются экономичностью. Так, генератор SiT2018B потребляет не более 4,7 мА при напряжении питания 3,3 В (на рабочей частоте 20 МГц).

Схема подключения МЭМС-генератора (рис. 4) содержит управляющий контакт с программируемыми функциями OE/ST, предназначенный для управления энергопотреблением.

Функция OE (Output Enable) позволяет выключать выходной каскад генератора, при этом потребляемый ток снижается до 3,5 мА. Поскольку задающий генератор продолжает работать, время включения выходного сигнала не превышает 1 мкс. Функция ST предназначена для перевода в режим ожидания (Standby), в котором задающий генератор отключается и потребляемый ток не превышает 8,5 мкА. Это очень важно для приборов с батарейным питанием, в частности для медицинской аппаратуры индивидуального мониторинга. Время выхода из режима ожидания и установления выходного сигнала составляет несколько миллисекунд.

Электромагнитная совместимость

Во многих применениях, таких как видеокамеры, дисплеи, многофункциональные принтеры, и других важно минимизировать уровень электромагнитного излучения, источником которого служит тактовый генератор.

Но самой серьезной проблемой электромагнитная совместимость (ЭМС) становится в медицинской электронике. Помехи мо-

гут привести к сбоям в работе медицинских устройств, что чревато опасными последствиями. Стандарты ЭМС, такие как IEC 60601-1-2, обязательны в большинстве стран мира и предписывают нормы на устойчивость радиоэлектронной аппаратуры к электромагнитным помехам от внешних источников, а также ограничение уровней собственных излучений. Экранирование и фильтрация являются общими методами, используемыми для минимизации электромагнитных помех, но экран занимает место на плате устройства и увеличивает его стоимость. Кроме того, зачастую невозможно экранировать все медицинское оборудование.

Оба типа проблем ЭМС (помехоустойчивость и излучение собственных помех) в генераторах MEMS существенно снижены благодаря миниатюрности и могут быть дополнительно уменьшены за счет правильного программирования.

Выходной сигнал генераторов MEMS является основным источником непрерывного электромагнитного излучения. Как известно, частотный спектр сигнала прямоугольной формы состоит из основного тона, а также из набора высших гармоник. Снижение уровня энергии, исходящей от генератора, представляется эффективным методом уменьшения помех. Это может быть достигнуто с помощью генераторов с растянутым спектром или с помощью программируемого снижения выходной мощности до необходимого и достаточного уровня.

В качестве примера на рис. 5 показаны графики снижения амплитуды гармоник тактовой частоты за счет программируемого увеличения времени нарастания trise выходных импульсов.

Стойкость к вибрации и ударам

При эксплуатации радиоэлектронное оборудование для транспорта подвергается вибрациям и ударам. Кварцевые резонаторы представляют собой консольные структуры, чувствительные к механическим воздействиям. Механические колебания кварцевых кристаллов приводят к модуляции частоты тактового генератора, а удары могут выве-

сти его из строя. Резонаторы МЭМС существенно меньше подвержены механическим воздействиям, поскольку их масса в тысячи раз меньше. На рис. 6 показаны результаты сравнительных испытаний генератора SiTime и кварцованных генераторов двух известных производителей на воздействие синусоидальной вибрации с частотой до 1000 Гц. В ходе испытаний измерялась вибрационная чувствительность, равная отношению ухода частоты к вызвавшему его ускорению, причем уход выражается в миллиардных долях номинальной частоты (parts per billion, ppb), а ускорение в единицах ускорения свободно-го падения — в g ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

Генератор MEMS производства SiTime превзошел другие устройства в 10–100 раз.

Еще более убедительно генераторы SiTime доказали свое преимущество в испытаниях на ударном стенде. Они выдержали удары с ускорением до 50000g, в то время как кварцованные генераторы выходили из строя при ускорении 100–1500g.

Фазовые шумы, или джиттер

Очень важным фактором, определяющим потенциальное быстродействие радиоэлектронных устройств, является джиттер — паразитная фазовая модуляция сигнала тактовой частоты. Джиттер оценивают как время отклонения фронтов тактовых импульсов от идеального положения. Различают пиковый джиттер — максимальное отклонение, и среднеквадратический. Чересчур большой джиттер приводит к рассинхронизации узлов радиоэлектронных систем. Генераторы SiTime отличаются весьма малыми значениями джиттера. В качестве примера можно привести семейство генераторов SiT9120, SiT9121 и SiT9122, которые перекрывают диапазон частот 1–625 МГц и способны обеспечить нестабильность частоты менее 10 ppm при температурах $-40...+85 \text{ }^\circ\text{C}$.

Среднеквадратический джиттер у этих генераторов составляет 0,6 пс.

Важная особенность — дифференциальный выход. Это улучшает синхронизацию удаленных узлов системы и уменьшает электромагнитное излучение.

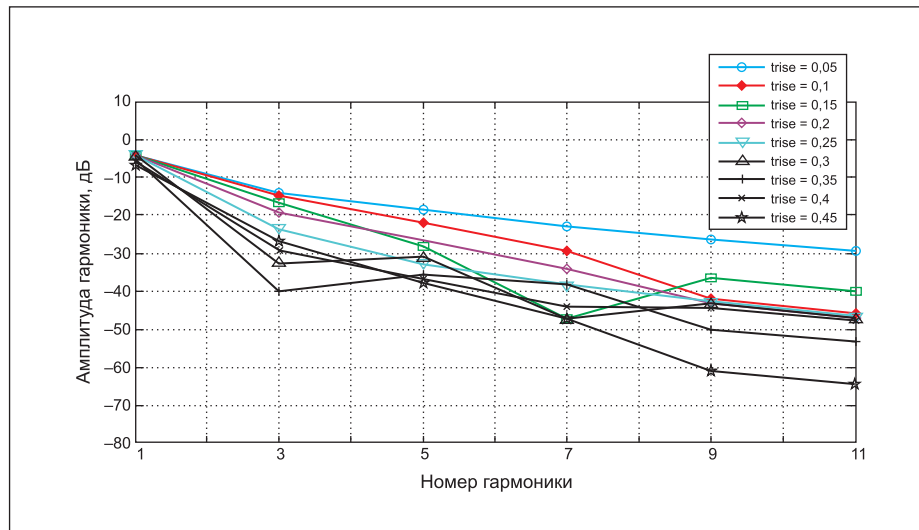


Рис. 5. Зависимость амплитуды гармоник от времени нарастания тактового импульса

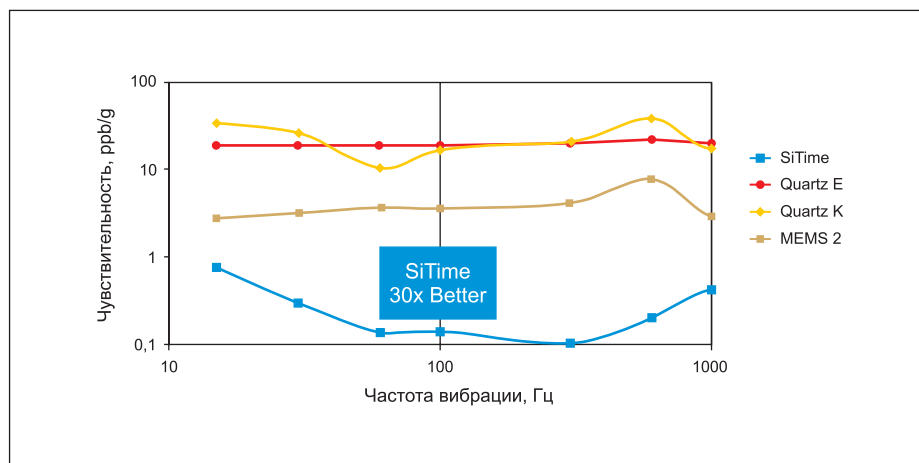


Рис. 6. Чувствительность к воздействию вибрации

Надежность

Возможно, одно из самых больших преимуществ МЭМС-генераторов состоит в исключительной надежности. Компания SiTime зафиксировала всего два отказа на 1 млн выпущенных генераторов. Это лучший показатель в отрасли, и он меньше в сотни раз, чем у кварцевых резонаторов.

Заключение

МЭМС-генераторы уверенно заменяют кварцевые благодаря сочетанию таких преимуществ, как:

- минимальные габариты;
- стабильность частоты;
- программирование пользователем — ускоренная разработка новых устройств;
- более высокая надежность: наработка на отказ более 1 млрд ч против 25 млн ч;
- электромагнитная совместимость, позволяющая снизить уровень электромагнитных помех без модернизации платы и металлического экрана;
- стойкость к ударам и вибрации.

Литература

1. Иванов Ю., Никонов А., Котюков А. Использование прецизионных генераторов в аппаратуре стандарта 5G // Современная электроника. 2019. № 3.
2. Левашов Ю. Керамические резонаторы // Компоненты и технологии. 2003. № 3.