

# Программируемые MEMS-генераторы компании SiTime

**Игорь РОМАНИВ**  
ihor.romaniv@gmail.com  
**Назари ТЦИНСКИЙ**  
nazariy@sitime.com  
**Евгений БИРЮКОВ**  
bel@nevael.ru  
**Иван КОМАРОВ**  
kia@nevael.ru

**В статье описано построение и функции генераторов на базе MEMS-резонаторов. Рассмотрены свойства, основные технические характеристики и области применения всего спектра программируемых генераторов фирм SiTime, как выпускаемых, так и перспективных серий и разработок.**

Сейчас сложно найти электронное устройство, где бы не использовались источники опорной частоты или генераторы. Мощное развитие компьютерной и микропроцессорной техники и ее применение в различных сферах жизни человека ведет к постоянному совершенствованию существующих устройств и разработке новых систем и изделий. Согласно повышающимся требованиям к конечным продуктам составные элементы изделия должны обладать лучшими техническими характеристиками, чем уже существующие аналоги. В частности, применение МЭМС-генераторов позволяет использовать более широкий диапазон рабочих частот, уменьшить потребление энергии и массо-габаритные характеристики изделия.

Первые устройства, использующие MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) технологии, появились на рынке в 1965 году. А в 1967 году были опубликованы и первые статьи о MEMS-генераторах. В отличие от широко известных кварцевых генераторов, использование программируемых MEMS-генераторов

позволяет разработчикам, отталкиваясь от технического задания, выбирать основные параметры генераторов — частоту и напряжение питания. Программируемые генераторы позволяют запрограммировать основные характеристики в зависимости от требований заказчика.

Основным элементом таких генераторов является MEMS-резонатор. В начале 2005 года фирма SiTime выпустила прототип резонатора по технологии 2,0 мкм, а уже в конце того же года — по технологии 0,35 мкм. В середине 2006 года начат серийный выпуск MEMS-генераторов SiT8002. В 2008 году фирма SiTime приступила к выпуску шести новых типов генераторов.

Благодаря особенности структуры (рис. 1), а именно наличию МЭМС-резонатора взамен кварцевого, МЭМС-генераторы имеют лучшие технические характеристики, в частности меньшую чувствительность к внешним механическим воздействиям и виброустойчивость.

Программируемый генератор представляет собой стабилизированный синтезатор ча-

стоты. В состав микросхемы входит MEMS-резонатор, генератор опорной частоты, цепь фазовой автоподстройки частоты с программируемыми коэффициентами делителей, блок температурной компенсации частоты и блок программируемого источника питания. Структурная схема программируемого генератора приведена на рис. 1, а его изображение — на рис. 2.

Применение MEMS-генератора позволяет избежать применения внешних компонентов, что дополнительно экономит место на плате. Сейчас фирма SiTime выпускает генераторы с двумя типами резонаторов: 5 и 20 МГц. Цепь фазовой автоподстройки частоты с программируемыми коэффициентами делителей позволяет с точностью в 1 ppm запрограммировать выходную частоту генератора. Блок температурной компенсации дает возможность минимизировать влияние изменения температуры на точность частоты с помощью предварительного определения коэффициентов компенсационного полинома. Блок программируемого источника питания представляет собой трехуровневый параметрический стабилизатор (1,8/2,5/3,3 В).

## Описание и технические характеристики генераторов семейства SiTime

Компания SiTime выпускает следующие серии МЭМС-генераторов частоты — SiT8002, SiT8102, SiT9001, SiT3700 и SiT3800. Перечисленные генераторы имеют ряд общих характеристик, а также ряд особенностей (табл. 1).

Технические характеристики генераторов SiTime:

- напряжение питания: 1,8/2,5/3,3 В;
- температурный диапазон: -40 до +85 °С или от -10 до 70 °С;
- типоразмеры:
  1. 2,5×2,0×0,85 мм;
  2. 3,2×2,5×0,85 мм;
  3. 5,0×3,2×0,85 мм;
  4. 7,0×5,0×0,85 мм.

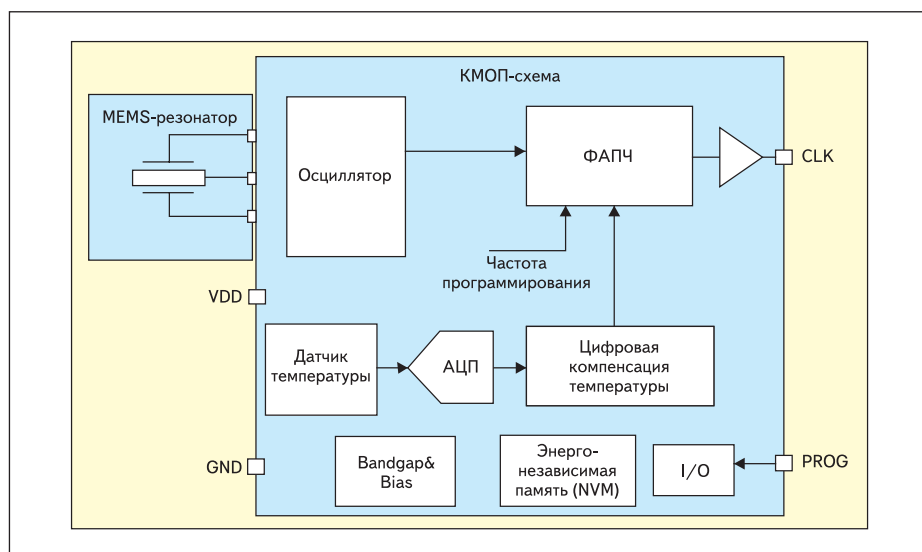


Рис. 1. Структурная схема программируемого МЭМС-генератора

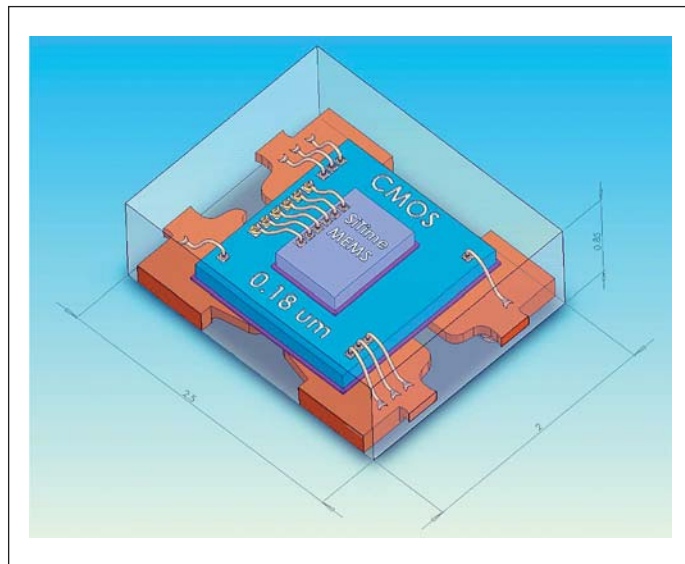


Рис. 2. МЭМС-генератор компании SiTime

Генераторы компании SiTime обладают следующими преимуществами:

- Надежный запуск и иммунитет к интерференции.
- Устойчивость к внешнему механическому воздействию.
- Устойчивость к вибрациям.
- Не нуждаются во внешнем кварце или конденсаторе.
- Защита от статического разряда (порядка 4 кВ).

Программируемый генератор SiT8002 — это первый программируемый генератор корпорации SiTime, вышедший на рынок. Генератор SiT8002 — полнофункциональный аналог популярного генератора SG-8002 компании Epson. Судя по данным, приведенным в таблице 2, генераторы SiTime имеют лучшие шумовые характеристики, меньший размер корпуса (в случае необходимости) и, что наиболее важно, лучшую стоимость по сравнению с традиционными кварцевыми генераторами.

Для разработок, требующих минимальных габаритов, выпускается модифицированная версия генератора SiT8002 — генератор серии SiT8002UT с толщиной корпуса 0,37 мм, этот продукт сейчас является самым тонким в мире генератором (рис. 3).

По сравнению с серией 8002 генераторы 8102 обладают практически на порядок меньшим уровнем джиттера, что расширяет их сферу применения (табл. 3).

Таблица 2. Сравнительная таблица генераторов SiT8002 и SG-8002

Характеристики	SiT8002	SG-8002
Джиттер, пс	150	250
Температурный диапазон, °C	-20...+70 -40...+85	-20...+70 -40...+85
Стабильность частоты	±50 ppm -40...+85 °C	±100 ppm -40...+85 °C
Типы корпусов, мм	2,5×2,0×0,85 3,2×2,5×0,85 5,0×3,2×0,85 7,0×5,0×0,85	3,2×2,5×1,05 5,0×3,2×1,2 7,0×5,0×1,5
Потребление, мВт	12	25

Таблица 1. Сравнительная таблица параметров генераторов SiTime

Генератор	Частотный диапазон, МГц	Точность по частоте, ppm	Преимущества	Применение
SiT8002	1–125	50 или 100	Программируемые на заводе со сроком поставки до 3 недель	Аудио/видеоплееры Портативная бытовая электроника Офисная техника: сканеры, принтеры, копии Автомобильная электроника Промышленная электроника: интерфейсные платы, графические карты
SiT8102	1–200	25, 50 или 100	Джиттер менее 4 пс	Может использоваться в стандартах: • Гигабит Ethernet • 10 гигабит Ethernet • Fiber Channel • Ethernet • SATA • USB 2.0 • PCI-X • CAN 2.0 (Controller Area Network — сеть контроллеров)
SiT9001	1–200	50 или 100	Существенное понижение EMI (порядка -13 дБ на частоте 125 МГц в режиме down spread — 2% относительно режима работы без распределения спектра)	Жидкокристаллические дисплеи Сканеры, принтеры, копии Интерфейсные платы, графические карты Интерфейсы PCI, шины памяти Маршрутизаторы, модемы
SiT3700	1–125	50 или 100	Джиттер менее 10 пс	Телевизионные приставки HDTV-тюнер, дисплеи DVD-R
SiT3800	1–200	50 или 100	Джиттер менее 4 пс	Телекоммуникации (ADSL, VDSL)



Рис. 3. Генератор SiTime SiT8002UT

Таблица 3. Характеристики генератора SiT8102

Стандарт	Частота, МГц	Измерения в полосе	Фазовый джиттер (rms), пс
FibreChannel	106,25	637 кГц – 10 МГц	1,3
Gigabit Ethernet	125	1,875–20 МГц	0,5
SATA/SAS	75	900 кГц – 7,5 МГц	0,73

МЭМС-генераторы серии SiT8102 компании SiTime предназначены для применения в высокоскоростных последовательных устройствах передачи данных, а также в промышленном и коммерческом оборудовании. В состав генератора входит МЭМС-резонатор, схема ФАПЧ, датчик температуры, АЦП и энергонезависимая память.

Готовые приборы предлагаются в QFN-корпусе. Генератор может быть запрограммирован по заказу на любую частоту в диапазоне от 1 до 200 МГц (стабильность ±25, ±50, ±100 ppm) вне зависимости от внешних механических воздействий.

Генераторы серии SiT9001 — это новейшая разработка компании SiTime. Обладая преимуществами серии SiT8102, они, в то же время, обеспечивают понижение EMI (Electromagnetic Interference). Например, для несущей частоты 100 МГц оно составляет -13 дБ. Приведем режимы распределения спектра, относительно несущей частоты, поддерживаемые генератором:

- Center Spread Modulation: ±1%, ±0,5%, ±0,25%.
- Down Spread Modulation: -2%, -1%, -0,5%.

SiT3700 и SiT3800 — это генераторы, управляемые напряжением (ГУН).

Общие свойства, характерные для этих генераторов:

- Линейный диапазон ГУНа: ±240 ppm, ±60 ppm.
- Диапазон напряжения подстройки частоты: от 0 до 1,6 В для всех напряжений питания.

Преимущества:

- Надежный запуск и увеличенный иммунитет к интерференции.
- Устойчивость к механическому удару: до 50 000 g.
- Устойчивость к вибрации: до 70 g.
- Программирование и изготовление: до 1 000 000 шт. в течение трех недель.
- Не нуждается во внешнем кварце или конденсаторе.
- Защита от статического разряда до 4 кВ.

### Перспективы развития MEMS-генераторов

Во втором полугодии 2008 года фирма SiTime планирует приступить к выпуску новых серий MEMS-генераторов: SiT9002 и SiT8003. Генератор SiT9002 представляет собой генератор с низким значением джиттера (<1 пс) и частотным диапазоном от 1 до 220 МГц и от 240 до 800 МГц (избранные частоты). Напряжение питания генератора составляет 1,8; 2,5 или 3,3 В. Ток потребления без нагрузки — менее 17 мА. Температурный диапазон — от -40 до +85 °C или от -10 до +70 °C. Геометрические размеры: 2,5×2,0×0,85 мм; 3,2×2,5×0,85 мм; 5,0×3,2×0,85 мм и 7,0×5,0×0,85 мм. Широкое применение таких генераторов возможно в опволоконных системах, устройствах PCI-E стандарта.

Для разного рода электронной аппаратуры с ограниченным током потребления предлагается использовать генератор SiT8003. При отсутствии нагрузки ток потребления составляет менее 3 мА. Частотный диапа-

зон — от 1 до 200 МГц. Точность —  $\pm 50$  ppm или  $\pm 100$  ppm. Джиттер составляет 12 ps rms. Напряжение питания генератора — 1,8; 2,5 или 3,3 В. Температурный диапазон — от  $-40$  до  $+85$  °С или от  $-10$  до  $+70$  °С. Геометрические размеры:  $2,5 \times 2,0 \times 0,85$  мм;  $3,2 \times 2,5 \times 0,85$  мм;  $5,0 \times 3,2 \times 0,85$  мм и  $7,0 \times 5,0 \times 0,85$  мм.

### Выводы

Учитывая современные требования к электронной аппаратуре по потреблению энергии и массо-габаритным характеристикам, начинающая свое активное развитие МЭМС-технология приходится как нельзя кстати, позволяя разработчикам получать более совершенные изделия, имеющие меньшую стоимость и лучшие технические характеристики. ■

### Литература

1. [www.sitime.com](http://www.sitime.com)
2. Описание и техническая документация МЭМС-генератора SiT8002  
<http://www.sitime.com/products/sit8002.php>
3. Описание и техническая документация МЭМС-генератора SiT8102  
<http://www.sitime.com/products/sit8102.php>
4. Альтшуллер Г. Б., Елфимов Н. Н., Шакулин В. Г. Кварцевые генераторы. Справочное пособие. М.: Радио и связь, 1984.
5. Альтшуллер Г. Б. Управление частотой кварцевых генераторов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Связь, 1975.