

# Кварцевые и кремниевые генераторы: Golledge и Silicon Labs

Елена ЛАМБЕРТ  
elena@efo.ru

Годовой объем рынка кварцевых генераторов и резонаторов оценивается более чем в \$650 млн (свыше 1,4 млрд штук). Кварцевые генераторы доступны в широком диапазоне частот, типов и размеров корпусов, с различными параметрами стабильности частоты. Кварцевые генераторы и резонаторы поставляют большое количество производителей. Изделия со стандартными параметрами, как правило, находятся на складе у производителя или у дилера. В последние годы в этом сегменте рынка появились альтернативные решения на базе MEMS-резонаторов и кремниевые варианты, например генератор фирмы Silicon Labs Si500. В чем отличия этих устройств?

## Кварцевые генераторы

Кварцевые генераторы изготавливаются на базе кварцевых резонаторов на соответствующую частоту и вспомогательной генерирующей схемы. Производство пьезоэлектрических кварцевых резонаторов состоит из разнохарактерных технологических процессов с использованием разнообразного оборудования и приборов. Кварцевый элемент на определенную частоту имеет установленный размер. Его получают срезом кристалла кварца под определенным углом. Сначала кристаллический элемент шлифуется и полируется, затем осуществляется травление, металлизация, монтаж, настройка, сборка и упаковка в корпус. Производство резонаторов на частоту выше 100 МГц становится сложнее из-за трудностей в изготовлении тонких кварцевых пластин с высокой степенью параллельности рабочих сторон, что сильно влияет на появление резонанса на гармониках вблизи рабочей частоты. Сложность процесса производства приводит к большому количеству отбраковки изделий на разных этапах производства, а также к большим срокам изготовления. Типовой срок изготовления кварцевых генераторов и резонаторов, например, фирмы Golledge составляет от 4 до 12 недель.

## Генераторы на базе МЭМС

МЭМС (micro-electromechanical system, MEMS) — технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. МЭМС-устройства изготавливают на кремниевой подложке, аналогично технологии изготовления однокристалльных интегральных микросхем. МЭМС-

генераторы в некоторых устройствах заменяют кварцевые генераторы.

МЭМС-технологии начали развиваться с 1954 года, когда был открыт пьезорезистивный эффект в материалах Ge и Si. Массовое производство микросхем чрезвычайно дешево, а промышленные технологии, используемые при изготовлении традиционных электромеханических устройств, характеризуются высокой себестоимостью производства при малых размерах механических систем. Этим и обусловлены попытки изготовления как отдельных деталей механической части, так и всего изделия в целом в едином технологическом производственном процессе, что при массовом производстве снижает себестоимость всего электромеханического блока. Кроме того, конечное изделие получается функционально полным, с очень малыми размерами и с минимальным энергопотреблением. В настоящее время, вобрав в себя ноу-хау микроэлектроники, точной механики и ряда других специфических технологий, сформировалась совокупность технологических процессов, позволяющих создавать различные элементы МЭМС-устройств. На этой основе производится широкий спектр миниатюрных устройств различного применения с размерами элементов от нескольких микрон до нескольких миллиметров.

Интеграция МЭМС-резонаторов в структуру интегральной микросхемы требует специальной технологии обработки пластины, что усложняет процесс производства и соответственно увеличивает стоимость конечного изделия. С развитием и совершенствованием технологических процессов производства интегральных микросхем их стоимость снижается. Преимуществами устройств на базе

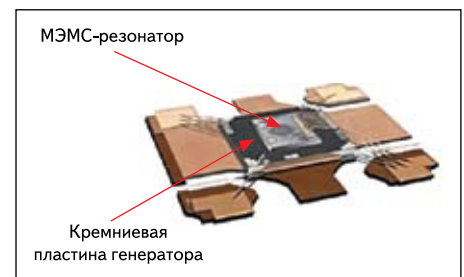


Рис. 1. Генератор на базе МЭМС-резонатора

МЭМС являются компактные размеры, а также устойчивость к ударам и вибрациям. Из недостатков можно отметить относительно узкий диапазон частот, обеспечиваемый такой технологией. Особенности МЭМС-технологии позволяют успешно использовать ее в генераторах, управляемых напряжением, и в программируемых генераторах. Поскольку МЭМС-технология не применяется в генераторах Golledge и Silicon Labs, далее мы рассматривать ее не будем.

## Кремниевый генератор Si500

Производство генераторов фирмы Silicon Labs серии Si500 основано на стандартном технологическом процессе производства интегральных микросхем (рис. 3). В них отсутствуют механический резонатор, МЭМС-резонатор или ФАПЧ. Кремниевый генератор программируется при производстве на фабрике на определенную частоту (от 0,9 до 200 МГц), тип выходного сигнала и напряжение питания. Благодаря использованию готовых заготовок генераторов процесс изготовления занимает всего около 2 недель.

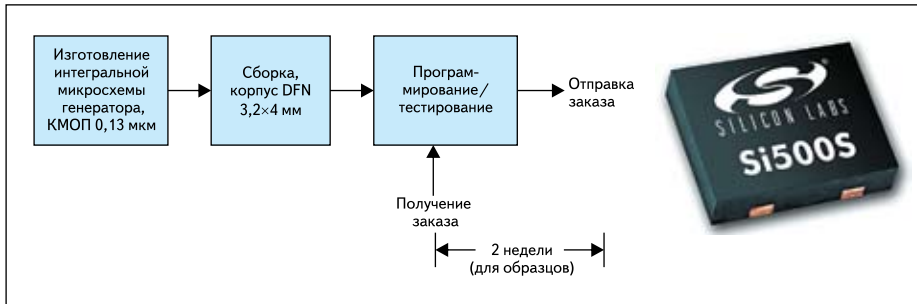


Рис. 2. Процесс производства кремниевого генератора

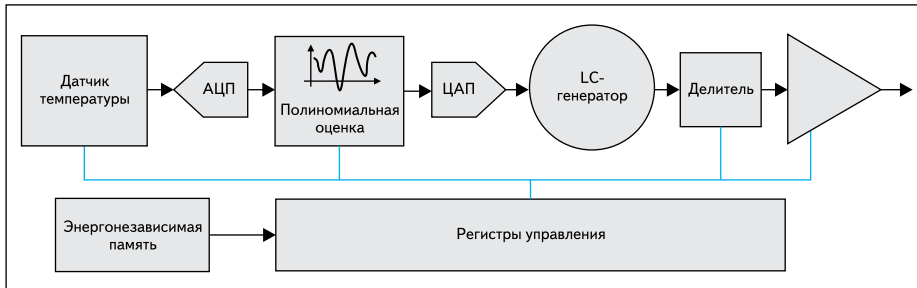


Рис. 3. Блок-схема кремниевого генератора Si500

На рис. 3 представлена блок-схема кремниевого генератора Si500. Основа архитектуры — малощумящий LC-генератор на фиксированную частоту. Используя схемы аналоговой и цифровой обработки сигналов, генератор

в процессе работы корректирует уход частоты в зависимости от рабочей температуры, старения, начальной точности частоты, изменения напряжения питания и изменения выходной нагрузки. Кремниевый генератор поддерживает

любое значение выходного сигнала частоты от 0,9 до 200 МГц. Выбор частоты, тип сигнала, напряжение питания и функция разрешения выхода сохраняются в энергонезависимой памяти. При включении Si500 выполняет самокалибровку по сохраненным параметрам и конфигурируется для работы.

Высокое значение температурной стабильности частоты достигается благодаря динамической компенсации температуры. Устройство имеет встроенный датчик температуры, который при обнаружении изменения температуры динамически подстраивает параметры LC-генератора для поддержки стабильной выходной частоты. Температурная компенсация выполняется оцифровкой сигнала с выхода температурного датчика и подстройкой центральной частоты LC-генератора. Температурный отклик внутреннего генератора калибруется для каждого устройства в процессе выходного контроля.

Выходной буфер Si500 обеспечивает высокое подавление шума. Устройство имеет низкий джиттер.

Из недостатков кремниевых генераторов можно отметить существование только одного типа корпуса (3,2×4 мм), отсутствие поддержки напряжения питания 5 В и невысокую суммарную стабильность частоты.

### Кварцевые генераторы Silicon Labs с цифровой обработкой

Компания Silicon Labs выпускает и кварцевые генераторы с цифровой и аналоговой обработкой сигнала по запатентованной технологии DSPLL (рис. 4). В отличие от традиционных кварцевых генераторов, в которых необходимы различные кварцевые резонаторы для обеспечения требуемой выходной частоты, кварцевые генераторы Silicon Labs используют единственный кварц определенной частоты для обеспечения широкого диапазона выходных частот. Устройства конфигурируются при производстве на широкий диапазон различных характеристик: частоту, напряжение питания, температурную стабильность, тип выхода, что позволяет сократить большие сроки изготовления, связанные с заказными генераторами.

Кварцевые генераторы Si570 и Si598 на любую частоту программируются по интерфейсу I<sup>2</sup>C. Блок-схема генератора Si598 представлена на рис. 5.

Сравнить характеристики перечисленных устройств можно с помощью таблицы 1.

Параметры конкретных моделей генераторов с напряжением питания 3,3 В приведены в таблице 2.

В таблицу 2 включено популярное семейство генераторов компании Golledge. У генераторов Golledge существуют версии с низким энергопотреблением (до 0,5 мкА), работающие в расширенном температурном диапазоне (–55...+125 °С), с быстрым временем запуска (типичное значение 0,2 мс для GXO-3332).

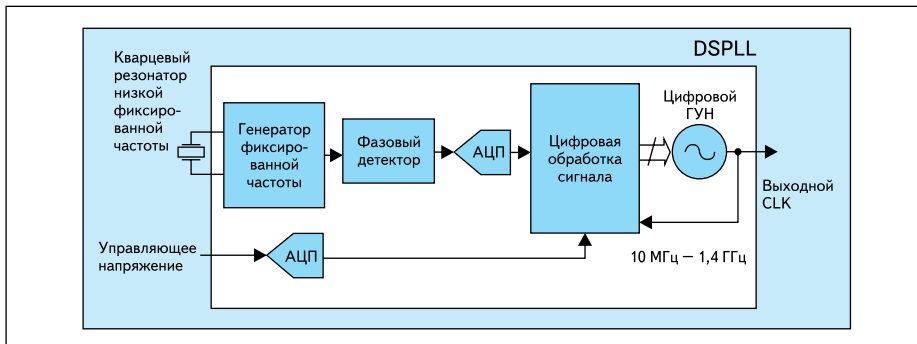


Рис. 4. Блок-схема кварцевого генератора Silicon Labs с цифровой обработкой

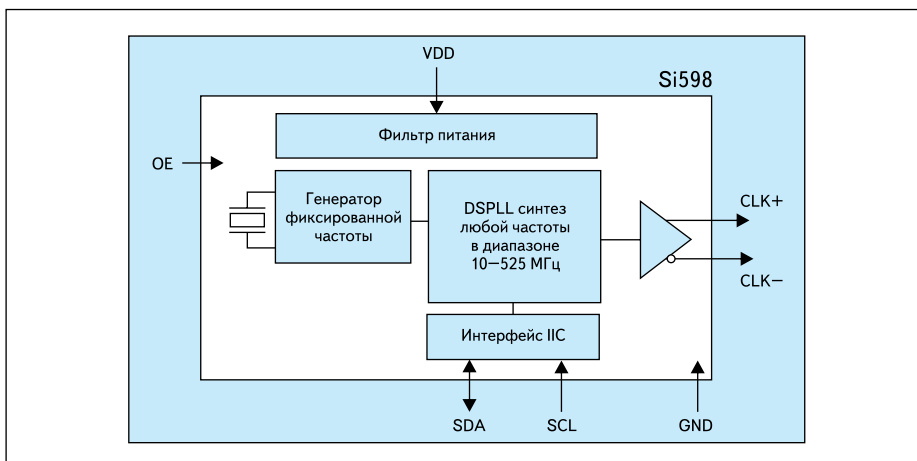
Рис. 5. Блок-схема кварцевого генератора Si598 с программированием по интерфейсу I<sup>2</sup>C

Таблица 1. Основные отличия разных типов генераторов

Параметр	Кварцевые генераторы Golledge	Кремниевые генераторы Silicon Labs Si500	Кварцевые генераторы Silicon Labs Si53/57/59 с цифровой обработкой
Напряжение питания, В	1,8–5	1,8–3,3	
Частота, МГц	0,5–270	0,9–200	10–1400 (имеются генераторы с 2, 4 выходами разных частот и генераторы на любую частоту)
Нестабильность, ppm	±10–100	±100, ±150	±20–100
Тип выходного сигнала	CMOS	LVPECL, Low Power LVPECL, LVDS, HCSL, Dual Output CMOS, Differential CMOS, Dual Output SSTL, Differential SSTL	CMOS, LVPECL, LVDS, CML
Тип корпуса	Различные	Только 3,2×4 мм	Только 5×7 мм
Рабочий температурный диапазон, °С	0...+70, –10...+60, –10...+70, –40...+85, –55...+125	0...+70, 0...+85	–40...+85
Сроки изготовления	4–12 недель	4–6 недель	4–6 недель

Таблица 2. Характеристики генераторов с напряжением питания 3,3 В

Параметр	Кварцевый генератор Golledge GXO-7531	Кремниевый генератор Silicon Labs Si500S	Кварцевый генератор Silicon Labs Si530 с цифровой обработкой
Частота, МГц	0,5–125	0,9–200	10–945 (для КМОП-выхода до 160 МГц), ряд частот до 1,4 ГГц
Нестабильность, ppm	±20; ±25; ±50; ±100	±100; ±150	±20; ±31,5; ±61,5
Джиттер			
фазовый	0,95 пс (40 МГц)	1,5 пс	0,3 пс
периодический		2 пс	2 пс
Тип выходного сигнала	CMOS	CMOS, SSTL	LVPECL, LVDS, CML, CMOS
Время запуска (максимальное значение), мс	10	2	10
Энергопотребление, мА	10 (0,5–14,9 МГц) 15 (15–29,9 МГц) 20 (30–39,9 МГц) 25 (40–49,9 МГц) 0 (50–59,9 МГц) 35 (60–79,9 МГц) 45 (80–99,9 МГц) 50 (100–125 МГц)	17,7 (40 МГц) 21,5 (200 МГц)	60–90
Розничная стоимость, USD	от 1,4	от 1,8	от 8,7

## Заключение

Благодаря развитию технологий КМОП для аналоговых и цифровых сигналов кремниевые генераторы, такие как Si500, становятся конкурентными с генераторами, которые традиционно используют кристалл кварца или MEMS-резонатор. Отказавшись от использования механического резонатора, можно значительно улучшить надежность их работы, например, с точки зрения устойчивости к удару и вибрациям, а также с точки зрения времени запуска генератора. К тому же процесс производства Si500 позволяет получить короткие и предсказуемые

сроки производства по сравнению с традиционными кварцевыми генераторами.

Кремниевые генераторы дают возможность получить высокие значения частоты — до 200 МГц, обеспечивают хорошие значения джиттера, широкий выбор уровней выходного сигнала, позволяют получить любое, в том числе нестандартное, значение частоты. При этом выбор габаритных размеров генератора ограничен одним корпусом, а суммарная нестабильность частоты больше, чем у стандартных кварцевых или цифровых генераторов. Следует добавить, что кремниевые генераторы в настоящее время не предназначены для работы при от-

рицательных температурах. Silicon Labs планирует выпустить новые версии, работающие в температурном диапазоне –40...+85 °С и имеющие суммарную нестабильность ±50 ppm, а также расширить ассортимент корпусов.

Кварцевые генераторы Golledge выпускаются в широком ассортименте типоразмеров и характеристик, имеется возможность выбора необходимого параметра, например малого энергопотребления, расширенного температурного диапазона (–55...+125 °С), миниатюрного корпуса (до 2,6×2,1×0,9 мм) и т. д. Кварцевые генераторы — это стандартная продукция, которую выпускает множество производителей, и, следовательно, на стандартные, широко распространенные частоты на рынке всегда можно найти склад и альтернативу. По стоимости кварцевые генераторы имеют преимущество, в том числе благодаря их массовому использованию, что снижает стоимость единичного изделия.

Кварцевые генераторы с цифровой обработкой фирмы Silicon Labs дают лучшее значение джиттера, позволяют получать для некоторых типов выходного сигнала наибольшее возможное значение частоты по сравнению с традиционными кварцевыми или кремниевыми генераторами. Из недостатков можно отметить высокое энергопотребление и большую стоимость. Кварцевые генераторы Silicon Labs целесообразно использовать в сложных системах, для которых одновременно требуется несколько значений рабочих частот и низкие значения джиттера. ■

## Литература

- [http://www.golledge.com/docs/products/osc\\_sm/gxo7531.htm](http://www.golledge.com/docs/products/osc_sm/gxo7531.htm)
- [http://www.golledge.com/docs/products/osc\\_sm/osc\\_sm.htm](http://www.golledge.com/docs/products/osc_sm/osc_sm.htm)
- <http://www.silabs.com/products/clocksoscillators/pages/default.aspx>Miscellaneous>Silicon Oscillator White Paper>