

# Обзор продукции компании Abracon Corporation: МЭМС-генераторы

Александр КАЗАКЕВИЧ  
kaz@efo.ru

Материал продолжает серию публикаций, посвященных продукции компании Abracon Corporation, которая производит широкий спектр электронных компонентов — решения для тактирования, фильтры, магнетики и радиочастотные устройства. В первой статье [1] приведен обзор резонаторов, выпускаемых компанией Abracon. В данной публикации мы уделим внимание обретающим все большую популярность МЭМС-генераторам.

## МЭМС-генераторы

В общих чертах генератор МЭМС (микро-электро-механическая система) устроен так же, как и кварцевый генератор. Основным отличием является то, что в МЭМС-генераторе в качестве частото задающего устройства используется МЭМС-резонатор вместо кварцевого. Вследствие того что резонансная частота МЭМС-резонатора может существенно зависеть от температуры, нередко требуется та или иная схема коррекции ухода частоты при изменении температуры. К технологическим преимуществам МЭМС-генераторов следует отнести то, что они создаются при помощи традиционных технологий интегральных микросхем, тогда как кварцевые генераторы используют элементы технологии гибридных схем.

Типичная схема МЭМС-генератора показана на рис. 1. Она включает собственно МЭМС-резонатор и цепи генератора, а также может содержать ФАПЧ-синтезатор, регулятор напряжения, температурный сенсор, цепи управления/коррекции и программирования с флэш-памятью. Электро-механическая связь между резонатором и электрическими цепя-

ми, поддерживающими генерацию, обеспечивается двояко:

1. С использованием пьезоэлектрического эффекта. Такой подход требует наличия кварцевых элементов (актюаторов). Достоинством такой конструкции является высокая температурная стабильность (поскольку за нее отвечает температурный дрейф упругих констант кварца, как и в кварцевых резонаторах), обеспечивающая возможность достаточно простой технологической подгонки частоты. Другое преимущество заключается в сильной электро-механической связи и, как следствие, в низких фазовых шумах при прочих равных условиях.
2. Второй подход — использование электростатического взаимодействия, возникающего при заряде обкладок конденсатора, образованного подвижной и неподвижной частями резонатора. Такой подход позволяет исключить кварцевые элементы, при этом, однако, усложняет начальную калибровку и требует компенсации дрейфа в несколько тысяч ppm в промышленном диапазоне температур. Это, так или иначе, предполагает наличие ФАПЧ-синтезатора

с дробным коэффициентом деления. Кроме того, в данном случае электро-механическая связь существенно слабее, поэтому необходимо увеличивать энергопотребление для обеспечения приемлемого уровня фазовых шумов.

В настоящее время оба подхода успешно развиваются, обеспечивая источники тактирования для широкого круга устройств в различных областях применения. Отметим, что специфика МЭМС-технологий создает значительную гибкость при формировании резонатора. Данная технология позволяет формировать разнообразные геометрические формы с разрешением в единицы микрон. Это в конечном итоге обеспечивает повышенную устойчивость к перегрузкам и механическим воздействиям. Кроме того, это позволяет расширить частотный диапазон, а также дает дополнительные возможности калибровки и термокомпенсации.

Таким образом, МЭМС-генераторы являются непосредственной альтернативой кварцевых генераторов. При этом МЭМС-генераторы имеют следующие преимущества:

- большую на 1–2 порядка стойкость к вибрации (рис. 2) и ударам;
- меньшую стоимость при тех же характеристиках;
- устойчивость к механическим воздействиям;
- надежный запуск на выбранной частоте, отсутствие помех.

Возможность формирования резонатора и электрических цепей в рамках одной технологии, кроме того, позволяет программировать в широких пределах частоту генератора, обеспечивает разнообразные возможности компенсации начального смещения, компенсации температурного дрейфа частоты, снижения джиттера и фазовых шумов.

### Параметры МЭМС-генераторов

Поскольку каждый МЭМС-генератор включает резонатор, актуальны все параметры ре-

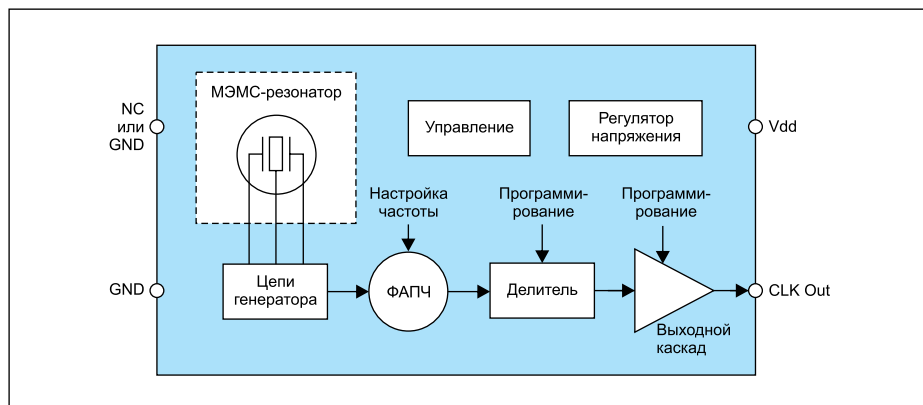
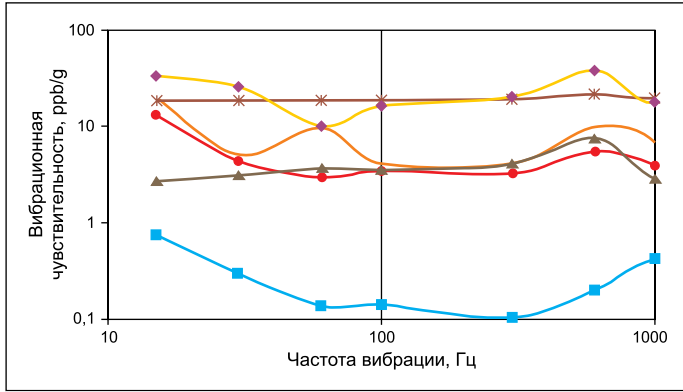
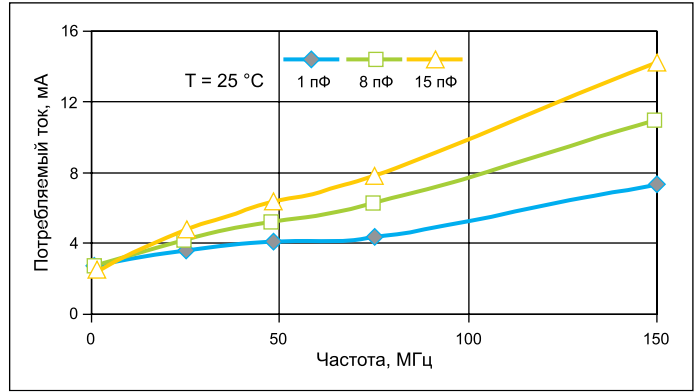


Рис. 1. Блок-схема типичного МЭМС-генератора



**Рис. 2.** Сравнение влияния вибрации на стабильность МЭМС-генераторов Abracon (обозначено синим цветом) и кварцевых генераторов пяти различных производителей. Синусоидальная вибрация с амплитудой 4g в трех перпендикулярных направлениях



**Рис. 3.** Зависимость тока потребления от выходной частоты (серия ASxM) при различных нагрузках

зонаторов, касающиеся его рабочей частоты, ее стабильности и рабочей температуры. Эти параметры подробно описаны в первой статье цикла [1]. С учетом того что в данном случае мы имеем дело с законченным генератором, добавляется ряд существенных характеристик:

- напряжение питания (В). С учетом того что частота в общем случае существенно зависит от напряжения питания, выпускаются генераторы с широким диапазоном напряжений (например, 1,8–3,6 В), которые имеют встроенный линейный регулятор напряжения, и генераторы с узким интервалом входных напряжений (обычно  $\pm 5 \dots 10\%$ ) без встроенного регулятора;
- ток потребления (обычно мА для генераторов мегагерцевого диапазона и мкА для генераторов килогерцевого диапазона), как правило, линейно повышается с ростом частоты. Снижение джиттера и фазовых шумов выходного сигнала связано с необходимостью увеличения потребляемого тока;
- время запуска/startup time (мс) — особенно актуально для устройств с ограниченным энергетическим бюджетом;
- параметры выходного сигнала — напряжения высокого/низкого уровней, время фронта/спада;
- джиттер (пс). Часто приводится среднеквадратичный джиттер или джиттер от пика до пика.

**МЭМС-генераторы семейства ASxM**

Маркировка генераторов Abracon начинается с букв AS. Кроме того, МЭМС-генераторы содержат в названии литеру M. Для того чтобы уменьшить размеры таблиц, в названии серии ASxM мы обозначили литеры, маркирующие размер корпуса, общим символом “x” (табл. 1). Это возможно потому, что Abracon выпускает один и тот же генератор в различных стандартных корпусах. Так, серия ASDM означает МЭМС-генератор с малым потреблением в корпусе 2,5×2 мм. Кроме того, вслед за обозначением корпуса и литерой M может быть указана литера, маркирующая исполнение генератора, например ASFLMB — МЭМС-генератор со встроенным регулятором напряжения (регулятор напряжения маркируется литерой V) в корпусе 5×3,2 мм.

В рамках данного семейства доступны генераторы с температурной стабильностью 25, 50, 100 ppm (ASxM) и 10, 25, 50 ppm (остальные).

**Таблица 1.** Обозначение размеров генераторов

Обозначение (x)	Размер, мм
KJ	1,54×0,84×0,6
K	2×1,2×0,6
A	2×1,6×0,75
D	2,5×2×0,75
E	3,2×2,5×0,75
T	3,5×3×0,75
FL	5×3,2×0,75
V	7×5×0,9

Маркировка ASxM относится к базовой версии, имеющей КМОП-выход и отличающейся минимальным энергопотреблением (рис. 3). Типичный ток потребления при выходной частоте 20 МГц составляет 3 мА. Генераторы серии ASxMB имеют встроенный стабилизатор напряжения, характеризуются повышенной стабильностью и расширенным диапазоном температур. Серия ASxMP включает повышенные частоты, дифференциальный выход и низкий джиттер. Среднеквадратичный джиттер тактового импульса составляет менее 1 пс. В серии ASxMDC присутствует два выхода с разными частотами (выпускается только в корпусе 2,5×2 мм, 6 выводов). Доступны две стандартные модификации с выходными частотами 125/125 МГц и 25/125 МГц, а также конфигурации по заказу пользователя. Основные параметры генераторов семейства ASxM представлены в таблице 2.

**МЭМС-генераторы семейства ASTM**

В семействе ASTM также предлагаются генераторы с различной функциональностью. Имеются версии с температурным дрейфом 100 ppm (ASTMLPT) и 10, 20, 25, 50 ppm (остальные). Отличительной чертой серии является доступность частот до 625 МГц. Генераторы выпускаются в корпусах стандартных размеров, начиная с минимального 2×1,6 мм. Функциональные особенности маркируются набором литер, следующим непосредственно после названия семейства:

- LP — с низким энергопотреблением (рабочий ток менее 4 мА при частоте 20 МГц);
- HT — высокотемпературное исполнение (диапазон рабочих температур до  $-55 \dots +125$  °C);
- UPC — высокое качество выходного сигнала (низкий джиттер), LVCMOS (низковольтный КМОП) выход;
- UPLD — высокое качество выходного сигнала (низкий джиттер), LVDS (низковольтный дифференциальный) выход;

**Таблица 2.** МЭМС-генераторы семейства ASxM

Наименование	Диапазон частот, МГц	Напряжение питания, В	Выходной сигнал	Рабочие температуры, °C	Температурная стабильность, ppm	Корпус, мм
ASxM	1–150	1,8, 2,5, 2,8, 3, 3,3	LVC MOS	0...+70 -20...+70 -40...+85	$\pm 25$ $\pm 25$ $\pm 25$	2,5×2 3,2×2,5 5×3,2 7×5 4 вывода
ASxMB	1–150	1,8–3,3	LVC MOS	0...+70 -20...+70 -40...+85 -40...+105	$\pm 10$ $\pm 10$ $\pm 10$ $\pm 10$	2,5×2 3,2×2,5 5×3,2 7×5 4 вывода
ASxMP	10–460	2,25–3,6	LVC MOS LVDS LVPECL HCSL	-20...+70 -40...+85 -40...+105 -55...+125	$\pm 10$ $\pm 10$ $\pm 25$ $\pm 25$	2,5×2 3,2×2,5 5×3,2 7×5 6 выводов
ASDMDC	2,3–170	2,25–3,6	LVC MOS	-20...+70 -40...+85 -40...+105 -55...+125	$\pm 10$ $\pm 10$ $\pm 10$ $\pm 25$	2,5×2 6 выводов

Таблица 3. МЭМС-генераторы семейства ASTM







Наименование	Диапазон частот, МГц	Напряжение питания, В	Выходной сигнал	Рабочие температуры, °С	Температурная стабильность, ppm	Корпус, мм
 ASTMnTx	1–137	1,8, 2,5, 2,8, 3, 3,3	LVC MOS	–40...+105 –40...+125 –55...+125	±20 ±20 ±20	2×1,6 2,5×2 3,2×2,5 5×3,2 7×5 4 вывода
 ASTMLPx	1–137	1,8, 2,5, 2,8, 3, 3,3	LVC MOS	–20...+70 –40...+85	±20 ±20	2×1,6 2,5×2 3,2×2,5 5×3,2 7×5 4 вывода
 ASTMLPn	1–110	1,8, 2,5, 2,8, 3, 3,3	LVC MOS	–20...+70 –40...+85	±100 ±100	3,5×3 4 вывода
 ASTMUPCx	1–220	1,8, 2,5, 2,8, 3, 3,3	LVC MOS	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	2,7×2,4 3,2×2,5 5×3,2 7×5 4 вывода
 ASTMUPLDx	1–625	2,5, 3, 2,25–3,63	LVDS	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	3,2×2,5 5×3,2 7×5 6 выводов
 ASTMUPLPx	1–625	2,5, 3, 2,25–3,63	LVPECL	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	3,2×2,5 5×3,2 7×5 6 выводов

Таблица 4. Обозначение типа выхода

Обозначение (y)	Тип выхода
C	LVC MOS
HC	HCSL*
LP	LVPECL
LV	LVDS
LC	LVC MOS/LVDS
HLP	HCSL/LVPECL
HLV	HCSL/LVDS
LVP	LVDS/LVPECL

**Примечание.**

\*HCSL — высокоскоростная логика с токовым (дифференциальным) выходом.

- UPLP — высокое качество выходного сигнала (низкий джиттер), LVPECL (низковольтный позитивный эмиттерно-связанный выход). Среднеквадратичный джиттер для исполнений UPC, UPLD и UPLP не превышает 2 пс. Генераторы семейства ASTM представлены в таблице 3. За литерами, обозначающими функциональность, следуют литеры, означающие размер корпуса (как и прежде, указан символ “x”).

**МЭМС-генераторы семейства ASEMC/ASEMD**

МЭМС-генераторы семейства ASEMC/ASEMD отличаются возможностью управления частотой при помощи комбинации входных логических уровней. В серии ASEMC предусмотрена возможность задать четыре выходные частоты на одном выходе, в серии ASEMD — восемь частот на двух выходах. Доступны два стандартных набора частот, также есть возможность определения частотной конфигурации заказчиком. Кроме того, имеется управление временем фронта и спада импульса. Выход может быть КМОП, а также дифференциального типа. Выпускаются в 14-выводном корпусе 3,2×2,5 мм. Генераторы этой серии

имеют различную конфигурацию выходов, для краткости обозначим литеры, их определяющие, символом “y” (табл. 4). При этом в имеющихся два выхода генераторах ASEMD доступны версии с различной комбинацией типов выходного сигнала. Например, генератор серии ASEMD с комбинацией выходов LVC MOS/LVDS будет иметь полное обозначение ASEMDLC. Основные характеристики генераторов семейства ASEMC/ASEMD сведены в таблицу 5.

**МЭМС-генераторы ASTM килогерцевого диапазона**

Предлагаются «часовые» генераторы с характерной для часовых резонаторов стабильностью 75 и 100 ppm в миниатюрных корпусах 2×1,2 и 1,54×0,84 мм (табл. 6). Доступна также версия с частотой по заказу пользователя — от 1 до 32 768 Гц. Кроме того, предлагается термокомпенсированная версия ASTM TXK с начальным отклонением частоты ±5 ppm и температурной стабильностью во всем диапазоне температур также ±5 ppm.

**Программируемые МЭМС-генераторы**

Компания Abracon предлагает и программируемые версии МЭМС-генераторов, до-

Таблица 5. МЭМС-генераторы семейства ASEMC/ASEMD











Наименование	Диапазон частот, МГц	Напряжение питания, В	Выходной сигнал	Рабочие температуры, °С	Температурная стабильность, ppm	Корпус, мм
 ASEMCC	10–170	2,25–3,6	LVC MOS	–20...+70 –40...+85 –40...+105 –55...+125	±10 ±10 ±10 ±25	3,2×2,5 14 выводов
 ASEMcy	10–460	2,25–3,6	HCSL, LVDS, LVPECL	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	3,2×2,5 14 выводов
 ASEMDC	10–170	2,25–3,6	LVC MOS	–20...+70 –40...+85 –40...+105 –55...+125	±10 ±10 ±10 ±25	3,2×2,5 14 выводов
 ASEMDy	10–460	2,25–3,6	HCSL, LVDS, LVPECL	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	3,2×2,5 14 выводов
 ASEMDy	2,3–460	2,25–3,6	LVC MOS/LVDS, HCSL/LVPECL, HCSL/LVDS, LVDS/LVPECL	–20...+70 –40...+85	±10 ±10	3,2×2,5 14 выводов

Таблица 6. МЭМС-генераторы ASTM килогерцевого диапазона

Наименование	Диапазон частот, кГц	Напряжение питания, В	Выходной сигнал	Рабочие температуры, °С	Температурная стабильность, ppm	Корпус, мм
 ASTMK	0,001–32,768	1,5–3,63	LVC MOS	–10...+70 –40...+85	±75 ±100	2×1,2 1,54×0,84 4 вывода
 ASTMK06	32,768	1,5–3,63	LVC MOS	–10...+70 –40...+85	±75 ±100	2×1,2 4 вывода
 ASTMKH	32,768	1,5–3,63	LVC MOS	–10...+70 –40...+85	±75 ±100	2×1,2 4 вывода
 ASTMKJ	32,768	1,5–3,63	LVC MOS	–10...+70 –40...+85	±75 ±100	1,54×0,84 4 вывода
 ASTMTXK	32,768	1,5–3,63	LVC MOS	0...+70 –40...+85	±5 ±5	1,54×0,84 4 вывода

ступные во всех исполнениях серии ASxM, кроме двухканальной ASxMDC.

В названии программируемых версий МЭМС-генераторов Abracon обычно содержится обозначение BLANK — например, ASDMB-BLANK или ASDMB-BLANK-LR. Литеры L и R во втором случае означают температурный диапазон (–40 ... +85 °С) и температурную стабильность (25 ppm). Для программирования доступен набор MEMSPEED PRO II OSCILLATOR PROGRAMMER (артикул для заказа MEMSPeetProII Oscillator Programmer),



Рис. 4. Набор для программирования MEMSPEED PRO II OSCILLATOR PROGRAMMER



Рис. 5. Набор с адаптером 2,5×2 мм ASDMB-ADAPTER-KIT

представленный на рис. 4. В наборе предусмотрен программатор, USB-кабель, антистатический пинцет и USB-накопитель с программным обеспечением.

Для программирования потребуется также адаптер под определенный корпус генератора. Так, для генераторов размерами 2,5×2 мм понадобится набор ASDMB-ADAPTER-KIT (рис. 5), включающий собственно адаптер и 50 незапрограммированных образцов ASDMB-BLANK (диапазон рабочих температур –40...+85 °С, стабильность 25 ppm).

### Заключение

Итак, МЭМС-генераторы являются перспективным решением для тактирования, имеющим в сравнении с традиционными кварцевыми генераторами ряд преимуществ.

Компания Abracon предлагает большой выбор МЭМС-генераторов — с широким диапазоном частот, различной точности и функциональности. Доступны генераторы в разных корпусах, включая самые миниатюрные. Предлагаются и программируемые версии МЭМС-генераторов, а также средства программирования. Мы надеемся продолжить серию статей, посвященных продукции компании Abracon Corporation. Дополнительную информацию можно найти по ссылкам [2, 3]. ■

### Литература

1. Казакевич А. Обзор продукции компании Abracon Corporation // Компоненты и технологии. 2015. № 5.
2. [www.abracon.com](http://www.abracon.com)
3. [www.efo.ru/doc/Abracon/Abracon.pl?7068](http://www.efo.ru/doc/Abracon/Abracon.pl?7068)