

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МЭМС-ДАТЧИКИ И МОДУЛИ ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

ОБЗОР НОВИНОК

А.Бекмачев, к.т.н., ЗАО "Радиант-Элком", sensor@ranet.ru

Обзор посвящен новым акселерометрам, гироскопам и инерциальным измерительным модулям, которые применяются для стабилизации и управления подвижными объектами, в пилотажном и навигационном оборудовании.

ПРОДУКЦИЯ SILICON SENSING SYSTEMS, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ



Компания Silicon Sensing совсем

недавно праздновала 100-летнюю годовщину выпуска своего первого электромеханического гироскопа, сконструированного Элмером Сперри. За прошедший век предприятие сохранило и упрочило свое положение среди ведущих производителей и поставщиков компонентов для систем навигации и управления движением. В новое тысячелетие компания вошла, обладая современными полупроводниковыми технологиями и солидным набором инерциальных датчиков и модулей на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС).

Среди продукции Silicon Sensing необходимо особо отметить линейку массовых недорогих миниатюрных гироскопов PinPoint CRM, выполненных на основе пьезокерамического вибрирующего кольца. Сборка из чувствительного элемента и блока обработки сигнала размещена в герметичном металлокерамическом корпусе для обеспечения вибрационной и ударной стойкости. Наличие цифрового (SPI) и аналогового интерфейсов, широкая полоса пропускания, низкие собственные шумы, возможность измерять угловые скорости до 1200–2700 °/с расширяют область применения гироскопов: от управления электросамокатами Segway до простейшего пилотажного оборудования. Существенным преимуществом серии CRM является наличие нескольких типов корпусов с различным положением чувствительного элемента: в плоскости микросхемы, перпендикулярно и с наклоном 20°, что позволяет потребителю устанавливать эти микросхемы без применения дополнительных адаптеров, но с одним из трех углов чувствительного элемента

относительно плоскости печатной платы. Семейство гироскопов PinPoint (табл.1) в настоящее время включает модели CRM100, CRM200 и CRM120, а также их вибростойкие версии CRM102 и CRM202.

Для ускорения ОКР и интеграции гироскопов в новые изделия Silicon Sensing выпускает макетные платы 400046-0100, 400046-0200, 400046-0300 с заранее установленными гироскопами, электронными компонентами, перемычками для формирования различных режимов работы и готовыми контактными площадками для подключения к внешним интерфейсам. Очень часто потребители используют такие платы в качестве OEM-компонентов для встраивания в собственные изделия.

Стремясь к лидерству на рынке инерциальных датчиков и систем, компания Silicon Sensing не могла оставить без внимания компоненты для измерения параметров линейного движения. Итогом целенаправленной научной разработки и совершенствования собственной технологии МЭМС-компонентов стал выпуск семейства 2-компонентных сборок прецизионных акселерометров емкостного типа Gemini CAS200 (табл.2) в компактных металлокерамических корпусах. Чувствительный элемент изготовлен по технологии кремний-на-стекле, структура из кристаллического кремния расположена в полости между двух стеклянных пластин. Блок из двух ортогональных акселерометров вместе со специализированным управляющим контроллером помещен в наполненный азотом частично вакуумированный металлокерамический корпус размером 10,4×6,0×2,2 мм, поскольку такая конструкция лучше противостоит конденсации влаги в корпусе в сравнении с пластиковыми корпусами, применяемыми другими производителями

Таблица 1. Основные характеристики гироскопов PinPoint и макетных плат



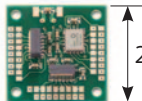


		PinPoint CRM100, CRM102	PinPoint CRM200, CRM202
Наименование			
Тип корпуса		LCC17 5,7×4,8×1,2 мм	LCC18 6,3×5,5×2,7 мм
Способ подключения		Пайка	
Дрейф нуля (систематическая ошибка), °/ч		24–40; 80	
Диапазон измерений	SPI, °/с	±75; ±150; ±300; ±900; ±1200; ±2700	
	аналоговый, °/с	±75; ±150; ±300; ±900; ±1200; ±2700	
Дрейф нуля в температурном диапазоне	SPI, °/с	±3	
	аналоговый, °/с	±3	
Случайный угловой уход, °/√ч		0,28	
Чувствительность (масштабный коэффициент)	SPI, LSB/°/с	96; 48; 24; 8	
	аналоговый, мВ/°/с	[0,012; 0,006; 0,003; 0,001]×Vdd/3 В/°/с	
Температурное смещение чувствительности	SPI, %	±1–3; 36	
	аналоговый, %	±1–3; 36	
Нелинейность чувствительности	SPI, %	0,16–0,2	
	аналоговый, %	0,06–0,2	
Собственный шум (СКЗ), SPI, °/с		0,018–0,025	
Полоса пропускания, Гц		5–160	
Диапазон рабочих температур, °С		–40–105; –20–85	
Стойкость к ударам, г		500 (1 мс) / 10000 (0,1 мс)	
Стойкость к вибрации (СКЗ), г		12 (в полосе 10–5000 Гц)	
Время включения, с		0,25–1	
Напряжение питания, В		2,7–3,6	
Потребляемый ток, мА		5	
Масса, г		0,1	
Макетные платы			
400046-0300 (CRM100 и 2xCRM200)		400046-0100 (CRM100)	400046-0200 (CRM200)
 <div>25 мм</div>		 <div>12 мм</div>	 <div>12 мм</div>



Рис.1. Расположение датчиков в гибридной сборке CMS300

Линейка акселерометров в настоящее время состоит из 5 моделей (от CAS211 до CAS215), перекрывающих диапазон измерений от 0,85 до 96 g. По аналогии с апробированным на миниатюрных гироскопах семейства CRM техническим решением, для каждой из базовых моделей предусмотрена комплементарная пара с ортогональным расположением блока чувствительных элементов (от CAS291 до CAS295). Этот набор компонентов позволяет не только создавать компактные измерительно-управляющие системы на плате, но и обеспечивать горячее резервирование или взаимную коррекцию показаний. Едва появившись на рынке, акселерометры CAS200 уже успешно конкурируют с продукцией других производителей благодаря высоким линейности и стабильности, незначительным собственным шумам, широкой полосе пропускания, наличию аналогового и цифрового выхода, встроенному термодатчику, расширенному диапазону рабочих температур, малой потребляемой мощности и низкой удельной стоимости.

Следуя концепции поддержки пользовательских разработок, производитель для каждой из моделей семейства предлагает макетную плату CAS2xx-02-0300 размером 24×36 мм с краевым многоконтактным разъемом для подключения к аппаратуре управления и сбора данных. Цена платы с компонентами весьма незначительно превышает цену самого датчика, что оказывается приятным сюрпризом для разработчика.

Логичным развитием освоенных технологий явилось создание фирмой семейства комбинированных датчиков (инерциальных измерительных модулей) Orion CMS300/CMS390 (табл.3). Удачно сочетая собственные проверенные ранее технические решения, производитель разместил в металлокерамическом корпусе размером 10,4×6,0×2,2 мм гироскоп с осью

чувствительности Z и два акселерометра с осями чувствительности X и Y. В итоге получился функционально законченный гибридный блок, способный выполнять функции системы курсовой устойчивости для наземного транспорта. Логичным продолжением этой концепции стал парный модуль с ортогональным расположением аналогичного блока датчиков. Применение такой пары позволяет создавать весьма недорогие многоосевые системы управления движением с горячим резервированием внутри блока. Компоновка чувствительных элементов в корпусе CMS300 показана на рис.1.

Основные отличительные особенности комбинированных датчиков семейства Orion: только цифровой выход, высокая точность и стабильность, широкая полоса пропускания, высокая стойкость к воздействию ударов и вибраций, расширенный диапазон рабочих температур, возможность индивидуально конфигурировать диапазон измерений и полосу пропускания для каждого канала гироскопа и акселерометра, малая потребляемая мощность, низкая удельная стоимость.

Отладочные платы CMS300-02-0302 и CMS390-02-0302 имеют уже привычный размер 24×36 мм, не требуют аппаратного конфигурирования и позволяют производить программную настройку режимов работы по встроенному интерфейсу SPI.

Отличительной особенностью команды Silicon Sensing является поддержание обратной связи с клиентами, это позволяет оперативно решать возникающие у потребителей технические проблемы, а сама компания приобретает глубокое понимание потребностей рынка, что позволяет концентрировать усилия на прорывных направлениях. В настоящий момент наиболее ожидаемое событие – анонс коммерческих изделий на основе самого современного чувствительного элемента индукционного типа SGH03 с увеличенной добротностью – поколение VSG3^{QMAX}. Предполагается, что гироскоп CRS39-03 (рис.2) с SGH03 "на борту" сможет обеспечить дрейф нуля не более 0,08–0,1°/ч, уже позволяющий реализовать функцию указания на северный полюс; показатель случайного ухода не более $0,0083\text{--}0,015^\circ/\sqrt{\text{ч}}$ (дисперсия Аллана) и собственный шум в состоянии покоя не более 0,01°/с, что вполне сопоставимо с характеристиками волоконно-оптического гироскопа. Диапазон измеряемых угловых скоростей $\pm 25^\circ/\text{с}$. Конструкция разработана с учетом возможности установки блока в цилиндрические приборные отсеки внутренним диаметром 25 мм.

По габаритам, интерфейсу и прочим функциональным характеристикам CRS39-03 полностью

соответствует своему предшественнику – гироскопу CRS39-01, уже применяемому в геофизическом оборудовании и путеизмерительной аппаратуре на железнодорожном транспорте.



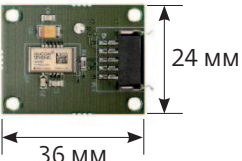
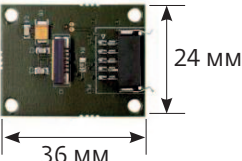
Еще одно событие, запланированное на 2014 год – начало серийного выпуска нового семейства 6-компонентных инерциальных измерительных модулей DMU10 (рис.3), которые призваны заместить

"долгожителя" DMU02. В новом модуле применено 3 комбинированных датчика семейства Orion, 3 оси гироскопа имеют диапазон измерения по $\pm 300^\circ/\text{с}$, 3 оси акселерометра обеспечивают измерения в диапазоне $\pm 10\text{ g}$, дополнительно в модуле установлено 2 независимых датчика температуры. Впервые в изделиях Silicon Sensing обмен данными организован по интерфейсу RS422. Благодаря новой

Таблица 2. Основные характеристики 2-осевых акселерометров семейства Gemini CAS200 и отладочных средств для них

Наименование		Gemini CAS200 (CAS211/291, 212/292, 213/293, 214/294, 215/295)	
			
Тип корпуса		LCC14 10,4×6,0×2,2 мм	
Способ подключения		Пайка	
Интерфейс		Аналоговый; SPI	
Диапазон измерений, g		$\pm 0,85$; $\pm 2,5$; ± 10 ; ± 30 ; ± 96	
Дрейф нуля в температурном диапазоне, мг		± 50 ; ± 50 ; ± 50 ; ± 150 ; ± 500	
Чувствительность (масштабный коэффициент)	LSB/g	33 500; 11 000; 2 800; 1 050; 300	
	mB/g	1 150; 375; 96; 36; 10	
Температурное смещение чувствительности, %		1,2	
Нелинейность чувствительности (от полной шкалы), %		0,5; 0,5; 2,0; 2,0; 2,0	
Собственный шум (СКЗ), $\text{мкг}\sqrt{\text{Гц}}$		50; 150; 150; 350; 1200	
Полоса пропускания, Гц		170/250	
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$		-40–125	
Стойкость к ударам, g		1000 (полусинусоид. 1 мс)	
Коэффициент сглаживания вибраций, $\text{мг}/\text{г}^2$		0,15; 0,15; 0,15; 0,1; 0,1 (случайн. в полосе 20–20 000 Гц)	
Время включения, с		0,01–0,02	
Напряжение питания, В		2,7–3,6	
Потребляемый ток, мА		3–5	
Масса, г		0,4	
Макетная плата CAS2xx-02-0302			

Таблица 3. Основные характеристики комбинированных инерциальных датчиков Orion CMS300/CMS390 и отладочных средств для них

		Orion CMS300	Orion CMS390
Наименование			
Состав		Гироскоп + 2-осевой акселерометр	
Тип корпуса и габариты в мм		LCC12 10,4×6,0×2,2	LCC12 10,4×6,7×2,7
Способ подключения		пайка	
Интерфейс		SPI	
Диапазон измерений	акселерометр, g	±2,5; ±10	
	гироскоп, °/с	±150; ±300	
Дрейф нуля в температурном диапазоне	акселерометр, мг	±30; ±75	
	гироскоп, °/с	±1,75; ±1	
Чувствительность (масштабный коэффициент)	акселерометр, LSB/g	12 800; 3200	
	гироскоп, LSB/°/с	204,8; 102,4	
Температурное смещение чувствительности	акселерометр, %	<±2,5; ±1	
	гироскоп, %	<±2; ±1	
Нелинейность чувствительности	акселерометр, %	<±0,5; <±0,12	
	гироскоп, %	<±0,17; <±0,10	
Собственный шум (СКЗ)	акселерометр	2 мг; 1 мг	
	гироскоп, °/с	0,1; 0,06	
Полоса пропускания	акселерометр, Гц	45; 62; 95; 190	
	гироскоп, Гц	45; 55; 90; 117	
Диапазон рабочих температур, °C		-40–125	
Стойкость к ударам, g		95 (полусинусоид., 6 мс)	
Стойкость к вибрации (СКЗ), g		8,85 (в полосе 10–5000 Гц)	
Время включения, с		0,15–0,30	
Напряжение питания, В		3,15–3,45	
Потребляемый ток, мА		8	
Масса, г		0,4; 0,6	
Средства поддержки разработчиков		макетная плата	
		CMS300-02-0302	CMS390-02-0302
			

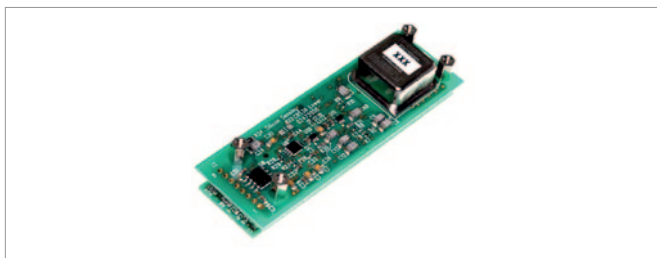


Рис.2. Прототип гироскопа CRS39-03

компонентной базе, DMU10 будет отличаться низким уровнем энергопотребления. Модуль доступен в двух вариантах: бескорпусной DMU10-01 – OEM-плата габаритными размерами 22×37×11 мм и DMU10-02 в прочном анодированном алюминиевом корпусе с габаритами 25×45×16 мм.

ПРОДУКЦИЯ SENSOROR AS, НОРВЕГИЯ



Норвежский производитель полного цикла впервые представил линейку "тактических" гироскопов STIM в 2010 году*. К настоящему времени на основе базового 3-осевого блока гироскопов STIM210 (табл.4) компания создала полноценный инерциальный измерительный модуль STIM300 (табл.4) с 9 чувствительными элементами для измерения параметров вращательного и линейного движения и продолжает наращивать свое присутствие в отраслях, требующих исключительной надежности конструкции, точности и стабильности показаний.

Такие компании как NovAtel Inc. и LiDAR USA (Fagerman Technologies, Inc.) уже сообщили об интегрировании STIM300 в свои системы позиционирования и картографирования. Важным новшеством, реализованным начиная с модели STIM300 Rev. D, является программно управляемая компенсация линейной составляющей для гироскопов GYRO G-COMP. В результате удалось добиться снижения смещения уровня нулевого сигнала гироскопа под влиянием линейного ускорения с 15 до 1°/ч/г и улучшить значение масштабного коэффициента (линейности) с $400 \cdot 10^{-6}/g$ до $30 \cdot 10^{-6}/g$. Меню настройки параметров компенсации включает 4 раздела: стандартные и пользовательские фильтры и их комбинации отдельно для каждой из осей. Еще одним изменением, расширившим функциональные возможности модуля, стала возможность назначения пользователем произвольной скорости обмена данными по интерфейсу RS-422, что открыло путь для интеграции STIM300

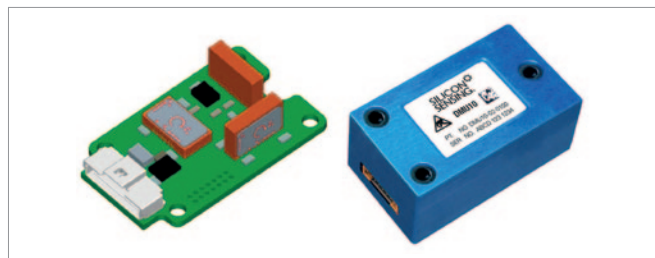


Рис.3. Внешний вид прототипов инерциальных измерительных модулей DMU10-01 и DMU10-02

в системы с ограниченным по скорости потоком телеметрических данных.

Существенному обновлению подвергся и модельный ряд. Вместо единственной ранее модели, потребитель теперь имеет возможность заказать наиболее подходящую для своих задач конфигурацию:

- STIM300 $\pm 400^\circ/c$; ± 2 , ± 5 , ± 10 , ± 30 , ± 80 g или
- STIM300 $\pm 800^\circ/c$; ± 5 , ± 10 , ± 30 , ± 80 g.

Необходимо отметить, что для линейки STIM300 $\pm 800^\circ/c$ в отдельных случаях может потребоваться экспортное лицензирование.

В качестве дополнения, повышающего удобство работы с модулями, Sensoror в 2014 году начинает поставки компактного универсального кабеля со встроенным преобразователем интерфейса для подключения STIM210 и STIM300 к порту USB переносного компьютера на скорости не менее 921,6 Кбит/с. Обновленный отладочный набор STIM210/STIM300 Evaluation Kit USB (рис.4) на базе кабеля мод. 84593 не требует предварительной установки драйверов при работе в среде ОС Windows – необходимое программное обеспечение на компьютере, подключенном к глобальной сети, будет установлено автоматически.

ПРОДУКЦИЯ XSSENS TECHNOLOGIES B.V., НИДЕРЛАНДЫ



Инновационная компания Xsens традиционно сильна в разработке и внедрении программного обеспечения (ПО) для систем регистрации движения. Архитектура выпускаемых фирмой инерциальных модулей 4-го поколения – линейки MTi-10 и MTi-100 (табл.5) – позволяет пользователю самостоятельно обновлять прошивки для расширения функциональных возможностей либо создавать свои программные блоки для взаимодействия с модулями на основе бесплатно предоставляемых производителем фрагментов исходного кода. Сами модули MTi, помимо 3 гироскопов и 3 акселерометров, могут содержать электронный магнитный компас и датчик давления воздуха. Модель

* ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 1 и 2011, №1

Таблица 4. Гироскопы и инерциальные модули Sensorog





Наименование	STIM210	Инерциальные модули STIM300		
	1-, 2-, 3-осевой гироскоп	3-осевой гироскоп	3-осевой акселерометр	3-осевой измеритель наклона (инклинометр)
				
Тип корпуса, масса	Прочный алюминиевый 44,8×38,6×21,5 мм; 55 г; IP67			
Способ подключения	15-выв. micro-Dsub			
Интерфейс	RS422; 1,843 Мбит/с			
Компонент	Гироскоп		Акселерометр	Измеритель наклона
Частота опроса, макс.,Гц	2000			
Дрейф нуля (систематическая ошибка) , °/ч	0,5 (дисперсия Аллана)		0,05 mg	0,06 mg
Диапазон измерений, %с	±400 (динам. перегрузка до 5000)		±10 (до 80) g	±1,7 g
Дрейф нуля на температурном диапазоне	9–10°/ч (СКЗ)		±2 mg (СКЗ)	±2 mg (СКЗ)
Случайный угловой уход	0,15 (дисперсия Аллана) °/√ч		0,06 м/с/√ч	0,08 м/с/√ч
Чувствительность (масштабный коэффициент)	24 бита, 0,22°/ч		24 бита, 1,9 мкг	24 бита; 0,2 мкг
Температурное смещение чувствительности, %	±0,05		±0,03	±0,05
Нелинейность чувствительности	±25...±50 ppm		±100 ppm	±500 ppm
Полоса пропускания, Гц	16; 33; 66; 131; 262			
Диапазон рабочих температур, °С	–40–85			
Стойкость к ударам, g	1500 (полусинусоид., 0,5 мс)			
Стойкость к вибрации (СКЗ), g	MIL-STD-810 E 514.4 (в полосе 20–2 000 Гц)			
Время включения, с	1/<5			
Напряжение питания, В	4,5–5,5			
Потребляемый ток, мА	300		400 макс.	
Отладочный набор	STIM210/STIM300 Eval. Kit USB		STIM210/300 Eval. Kit PCI	
				



Рис.4. Новый универсальный кабель для STIM210/STIM300 Evaluation Kit USB

MTi-G-700 имеет интегрированный приемник сигналов спутниковой системы навигации GPS, что повышает точность определения положения и направления за счет взаимной коррекции данных, получаемых от инерциального блока датчиков и спутникового канала.

В 2014 году для поддержки пользователей и разработчиков систем управления движением компания Xsens выпустила для среды ОС Windows обновленную и расширенную версию программного пакета MT Software Suite версии 4.2.1, которая включает следующие программные блоки:






- MT Manager – программа для конфигурирования и управления модулями MTi, а также для записи данных.
 - MT SDK – комплект средств для разработки собственного ПО, содержащий следующие компоненты.
 - XsensDeviceApi.dll (XDA) – библиотека динамической компоновки DLL языка C.
 - Исходные файлы XDA – преобразователь для языков C и C++.
 - Пример исходного кода для MATLAB, DLL C, DLL C++ и данных типа shared object.
 - Magnetic Field Mapper executable (GUI) and MFM SDK – исполняемый модуль (графический пользовательский интерфейс) и программный отладочный набор для калибровки встроенного электронного компаса.
 - Firmware Updater – универсальная программа обновления прошивки для всех моделей инерциальных модулей Xsens (требует сеансного подключения к глобальной сети).
 - Комплект документации в электронном виде.
- Основные функциональные блоки MT Software Suite доступны также и для Linux. Начиная с версии 4.2.1, в модулях MTi можно реализовать интерфейс RS485 и сохранить точность определения





Таблица 5. Инерциальные модули Xsens

	MTi-10 IMU, MTi-20 VRU, MTi-30 AHRS			MTi-100 IMU, MTi-200 VRU...		
	Гироскопы	Акселерометры	Магнитометр (AHRS, GPS/INS)	Гироскопы	Акселерометры	
Диапазон измерений	450°/с	50 м/с ²	±80 мкТл	450°/с	50 м/с ²	
Смещение нуля	18°/ч	40 мкг	–	10°/ч	40 мкг	
Повторяемость смещения нуля (1 год)	0,2–0,5°/с	0,03–0,05 м/с ²	–	0,2–0,5°/с	0,03–0,05 м/с ²	
Полоса пропускания (–3дБ)	415 Гц	375 Гц	–	450 Гц	375 Гц	
Плотность шума	0,03–0,05°/с/√Гц	80–150 мкг/√Гц	200 мкГн/√Гц	0,01–0,015°/с/√Гц	80–150 мкг/√Гц	
Линейность (полной шкалы)	0,0001	0,0003	0,001	0,0001	0,0003	
Точность по крену и тангажу, статика/динамика	0,4/1,5°	–	–	0,2–0,25°/0,3–1,0°	–	
Точность по рысканию (AHRS, GPS/INS)	1,0°	–	–	1,0°	–	
Диапазон рабочих температур	–40–85°С					
Напряжение питания	4,5–34 В или 3,3 В					
Интерфейс	RS-232/RS-422/UART/USB					
Корпус	MTi-OEM: плата 37×33×12 мм, 11 г, 24-контактный соединитель		MTi: анодированный алюминий 57×42×23 мм, 52 г, IP67, соединитель с цанговым фиксатором (push-pull) 9-конт.			
						
Отладочный набор, ПО разработчика	Набор MTi-x0-DK, включая MT SDK			Набор MTi-x00-DK, включая MT SDK		
	 					

...MTi-300 AHRS, MTi-G-700 GPS/INS		MTw			
Магнитометр (AHRS, GPS/INS)	Датчик давле- ния (GPS/INS)	Гироскопы	Акселерометры	Магнитометр	Датчик давле- ния
±80 мкТл	300–1100 мбар	1200°/с	160 м/с ²	±150 мкТл	300–1100 мбар
–	–	20°/ч	–	–	100 Па/год
–	–	–	–	–	–
–	–	150 Гц	150 Гц	60 Гц	–
200 мкГн/√Гц	0,01 мбар/√Гц	0,05°/с/√Гц	0,003 г/√Гц	150 мкГн/√Гц	0,85 Па/√Гц
0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,0005
–	–	0,5/2°	–	–	–
–	–	1,0°	–	–	–
–40–85°C		–10–60°C			
4,5–34 В или 3,3 В		встроенная батарея Li-ion, заряд 1 ч / разряд 3,5 ч / режим ожидания 200 ч			
RS-232/RS-422/UART/USB		ISM 2,4 ГГц, IEEE 802.15.4 PHY, 20–50 м			
MTi-G-700: анодированный алюми- ний 57×42×23 мм, 55 г, IP67, соеди- нитель с цанговым фиксатором (push-pull) 9-конт. + коаксиальный		MTw: пластик 58,7×34,5×14,5 мм, 27 г (батарея 9 г)			
					
Набор MTi-G-700-DK, включая MT SDK		Набор MTw-DK-Lite, включая MT SDK			
		 			

Таблица 6. Акселерометры Colibrys

Функциональное назначение	Модель	Тип корпуса	Диапазон измерений, г	Дрейф нуля, мг	Стабильность нуля в течение года (при 1000 г), типовое, мг	Чувствительность (массштабный коэффициент), мВ/г	Нелинейность, %	
Датчик вибрации	MS7002.3	TO8 $\varnothing 15,55 \times 3,9$	± 2	< 10	2 (6000 г)	500 ± 4	$< 0,8$	
	MS7010.3		± 10	< 50	10 (6000 г)	100 ± 1	$< 0,9$	
Акселерометр	MS8002.D	LCC48	± 2	< 10	1,5	1000 ± 8	$< 0,8$	
	MS8010.D	$14,2 \times 14,2 \times 2,4$ мм	± 10	< 50	7,5	200 ± 2	$< 0,9$	
	MS8030.D		± 30	< 150	22	$66,6 \pm 1$	$< 0,9$	
	MS8100.D		± 100	< 500	75	20 ± 1	< 1	
Датчик наклона (инклинометр)	MS9001.D	LCC20 $8,9 \times 8,9 \times 3,2$ мм 	± 1	< 5	0,15	2000 ± 8	$< 0,7$	
Акселерометр	MS9002.D		± 2	< 10	0,3	1000 ± 8	$< 0,8$	
	MS9005.D		± 5	< 25	0,75	400 ± 4	$< 0,8$	
	MS9010.D		± 10	< 50	1,5	200 ± 2	$< 0,9$	
	MS9030.D		± 30	< 150	4,5	$66,6 \pm 1$	$< 0,9$	
	MS9050.D		± 50	< 250	7,5	40 ± 1	$< 0,9$	
	MS9100.D		± 100	< 500	15	20 ± 1	< 1	
	MS9200.D		± 200	< 1000	30	10 ± 1	< 1	
Датчик вибрации	VS9002.D	LCC20 $8,9 \times 8,9 \times 3,2$ мм 	± 2	< 10	1,5 (6000 г)	1000 ± 8	$< 0,8$	
	VS9005.D		± 5	< 25	3,75 (6000 г)	400 ± 4	< 1	
	VS9010.D		± 10	< 50	7,5 (6000 г)	200 ± 2		
	VS9030.D		± 30	< 150	22 (6000 г)	$66,6 \pm 1$		
	VS9050.D		± 50	< 250	37,5 (6000 г)	40 ± 1		
	VS9100.D		± 100	< 500	75 (6000 г)	20 ± 1		
	VS9200.D		± 200	< 1000	150 (6000 г)	10 ± 1		
Датчик наклона (инклинометр)	RS9002.B	LCC20 $8,9 \times 8,9 \times 3,2$ мм 	± 2	< 10 ($< 0,1$ за 48 ч)	$< 0,5$	1000 ± 8	$< 0,8$	
Акселерометр	RS9010.B		± 10	< 50 ($< 0,5$ за 48 ч)	< 2	200 ± 2	$< 0,9$	

	Полоса пропускания (-3 дБ), Гц	Спек- тральная плотность шумов, мкВ/√Гц	Резо- нансная частота, кГц	Диа- пазон рабочих темпе- ратур, °С	Отладочная плата
	≥800	7	1,4	-40-125	-
	≥650	7	3,7		
	0...≥200	18	1,4	-55-125	EVBA-MS8xxx.D 
	0...≥100		3,7		
	0...≥200		6,3		
			15		
	0...≥100	18	-	-55-125	EVBA-MS9xxx.D 
			1,4		
			2,9		
			3,7		
			6,3		
			11		
			15		
			26		
	≥800	25	1,3	-55-125	EVBA-VS9xxx.D 
	≥1700		1.1		
	≥2400		2		
	≥3000		4		
			5,1		
			7,2		
			11		
	>200	30 мкг/√Гц	-	-55-125	EVBA-RS9xxx.D 
	>200	150 мкг/√Гц	-		

положения на прежнем уровне после потери сигнала глобальной спутниковой навигационной системы GPS (для MTi-G-700).

ПРОДУКЦИЯ COLIBRYS (SWITZERLAND) LTD., ШВЕЙЦАРИЯ



Этот знаменитый швейцарский разработчик и производитель полного цикла в области МЭМС-датчиков с 2013 года входит в состав группы Sagem (Safran). В январе 2014 года компания сообщила о переезде в Ивердон-Ле-Бен, где построен новый комплекс зданий, включающий штаб-квартиру и производственные помещения общей площадью 3750 м². Российские потребители знакомы, прежде всего, с высокостабильными, малощумящими акселерометрами Colibrys (табл.6), способными работать в при температуре от -55 до 125°С с сигналами от 1 до 200 g и выдерживать ударные воздействия, достигающие 6000 g и даже 20 000 g (модель HS8030.D).

В 2014 году фирма намерена объявить технические характеристики акселерометров сейсмического класса, которые заменят снятые с производства модели SiFlex SF1600, SF2006 и SF3600. Ожидается, что это будет датчик с цифровым интерфейсом и следующими характеристиками (СКЗ означает среднеквадратичное значение):

диапазон измерений ±5 g;
динамический
диапазон..... >120 дБ;
полоса
пропускания 0,1-300 Гц;
значение
шума 0,3 мкг(СКЗ)/√Гц;
нелинейность < 0,005%
от полной шкалы.

В будущем мы планируем публиковать отчеты о результатах опытной эксплуатации новых изделий, рассмотренных в данной статье. ●