



# ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЭМС-ТЕХНОЛОГИИ

## ЧАСТЬ 2. ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

А. Тузов, sensor@ranet.ru

В первой части статьи были рассмотрены инерциальные датчики и модули, выполненные по МЭМС-технологии и обладающие средними для приборов данного класса характеристиками. Такие приборы применяются в системах, критичных к стабильной работе датчиков в жестких условиях эксплуатации (автомобильные системы стабилизации подвески, резервные навигационные приборы для малой авиации и беспилотных летательных аппаратов и др.), где требования к точности измерения параметров движения не очень высоки. Для более точных измерений производители предлагают инерциальные измерительные приборы с улучшенными характеристиками. Рассмотрим некоторые из них.

Один из приборов высокой точности – трехосевой гироскоп STIM202 компании Sensoror Technologies (рис. 1). Он обладает намного лучшими характеристиками по сравнению с "младшими братьями", описанными в первой части статьи (например, одноосевыми гироскопами SAR150 и CRG20-01). Так, увеличено разрешение (с 12 до 24 бит), улучшена стабильность смещения во время работы (0,5 вместо 5–50 %/ч), снижен случайный угловой уход (0,2 вместо 0,8–1 %/ч<sup>1/2</sup>), расширена полоса пропускания (262 вместо 50 Гц). Столь высоких показателей компании Sensoror Technologies удалось добиться в первую очередь за счет ряда уникальных технологических решений, примененных в конструкции гироскопов. Одно из них – запатентованная технология Butterfly (бабочка).

Технология Butterfly, разработанная компанией Sensoror, основана на применении сдвоенной инерциальной массы специальной формы (напоминает бабочку), изготовленной из одного

кристалла кремния. Принцип действия приборов, основанных на технологии Butterfly, такой же, как и у других вибрационных гироскопов. Специальная система возбуждает первичные противофазные колебания инерциальных масс (рис. 2). Если происходит поворот гироскопа, то под действием силы Кориолиса инерциальные массы смещаются в направлении, перпендикулярном плоскости первичных колебаний (см. рис. 2). В результате возникают вторичные колебания, частота которых совпадает с частотой



Рис. 1. Внешний вид гироскопа STIM202

\* Тузов А. Датчики для измерения параметров движения на основе MEMS-технологии. Часть 1. Инерциальные датчики средней точности. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 1, с. 72

первичных. Отклонения инерциальных масс в результате вторичных колебаний измеряются емкостными датчиками и пересчитываются в значения угловых скоростей.

Важная особенность технологии Butterfly заключается в том, что инерциальные массы закреплены на специальных подвесах, поперечное сечение которых сконструировано таким образом, чтобы они изгибались только в плоскости инерциальных масс и соответственно в этой же плоскости происходили первичные колебания. Это позволяет четко разделить плоскости первичных и вторичных колебаний и в результате повысить чувствительность к поперечным смещениям а, следовательно, и точность измерений.

В гироскопе STIM202 используются три чувствительных элемента (сдвоенные инерциальные массы), каждый из которых позволяет определить угловую скорость для одной из осей. Каждый чувствительный элемент гироскопа расположен в специальной конструкции, которая состоит из трех основных слоев. В нижнем слое находится стеклянный кристалл, в нем размещена система возбуждения первичных колебаний и контактные электроды. Средний слой содержит инерциальные массы. Верхний слой представляет собой стеклянный покрывной кристалл. Такая конструкция обеспечивает формирование во внутреннем пространстве гироскопа запечатанной полости низкого давления – это еще одна фирменная технология компании Sonsonog. В этой полости вибрирующие массы защищены от загрязнения и демпфирующего динамического воздействия воздуха, благодаря чему добротность чувствительного элемента очень высока. Для гашения механической вибрации внутри герметичного корпуса прибора каждый

чувствительный элемент гироскопа закреплен в пластиковых демпферных элементах.

Работой гироскопа управляет заказная система на кристалле (ASIC) и 32-х разрядный микроконтроллер STM32F103 компании ST Microelectronics. ASIC управляет системой возбуждения колебаний, принимает сигналы емкостных датчиков, преобразовывает сигналы в цифровую форму, выполняет их обработку. Микроконтроллер обеспечивает интерфейс с внешними устройствами, хранит и задает настройки прибора, в том числе данные калибровки, реализует работу программных цифровых фильтров и др.

Прибор STIM202 может работать в одном из двух режимов – измерения угловых скоростей и измерения текущих углов поворота (интегральный режим).

Гироскопы проходят заводскую калибровку. Измеряются среднеквадратичные значения отклонений при отсутствии вращения и температурные зависимости отклонений. Калибровка выполняется отдельно для каждой оси. Калибровочные коэффициенты хранятся в памяти микроконтроллера гироскопа и используются при обработке данных измерений.

В гироскопе STIM202 предусмотрена также фильтрация для подавления паразитных сигналов, возникающих в результате ВЧ-вибраций, тепловых шумов и др. Для этого применяются программируемые фильтры, частоту среза которых можно менять программно независимо по каждой оси.

Интересен способ измерения температуры чувствительных элементов, применяемый в STIM202. В отличие от более дешевых моделей, где измеряется средняя температура внутри корпуса, в гироскопе STIM202 с высокой точностью измеряется отдельно температура каждого чувствительного элемента. Измерения проводятся по отклонению частоты вибрации инерциальных масс системы Butterfly от задаваемой высокостабильным генератором, возбуждающим эти колебания.

Характеристики гироскопа STIM202 приближаются по точности к волоконнооптическим гироскопам (ВОГ). При этом расходы на подключение и использование приборов STIM202 ниже, а общая конструкция измерительных систем, где они используются, – проще. Кроме того, приборы, выполненные по МЭМС-технологии, менее «капризны» к условиям окружающей среды, более компактны и долговечны.

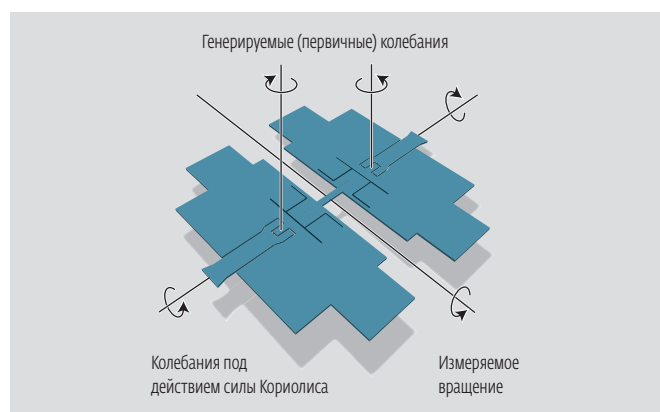


Рис. 2. Принцип действия системы Butterfly

## Основные технические характеристики гироскопов компании Sensoror Technologies

Параметр	STIM202	STIM210	STIM300
Напряжение питания, В	4,5...5,5		
Рабочая температура, °С	-40...85		
Масса, г	55	50	Нет данных
Максимальный удар, g	5000		
Частота выборки, измерений/с	1000	2000	2000
Полоса пропускания (-3 dB), Гц (регулируется)	262		
Время запуска, с	10	1	1
Изменение начального смещения выходного сигнала гироскопа в зависимости от температуры, °/ч	±30	±10	±10
Стабильность смещения во время работы, °/ч	0,5		
Случайный угловой уход, °/ч <sup>1/2</sup>	0,2	0,15	0,15
Изменение начального смещения выходного сигнала акселерометра в зависимости от температуры, g·10 <sup>-3</sup>	-	-	±2
Нестабильность начального смещения, g·10 <sup>-3</sup>	-	-	0,05
Скорость случайного ухода, м/с/ч <sup>1/2</sup>	-	-	0,06
Диапазон измерений ускорения, g	-	-	±2...±100

Компания Sensoror разработала отладочный комплект (evaluation kit) для подключения гироскопа STIM202 к персональному компьютеру с операционной системой Windows. С помощью этого комплекта пользователь может тестировать основные характеристики гироскопа и изменять его настройки. Комплект состоит из двух кабелей (переходник USB-RS422/RS485 компании National Instruments и переходник между стандартным 9-контактным разъемом RS-422 и ответной частью для подключения к STIM202). Через эти кабели производится опрос гироскопа, управление им и подача питающего напряжения. Но применение интерфейса USB существенно ограничивает быстродействие гироскопа и приводит к потере части данных его измерений, что ведет в итоге к нарастанию ошибок измерения угловой скорости. С этими проблемами уже сталкивались некоторые российские разработчики, тестировавшие STIM202 на предмет применимости в новых разработках. Для более эффективного лабораторного исследования гироскопа STIM202 компания Sensoror рекомендует подключать его через интерфейсные платы (например, производства компании

National Instruments), подключаемые к слоту PCI персонального компьютера.

Первые экземпляры гироскопа STIM202 были произведены в начале 2010 года, после чего в прошивку прибора был внесен ряд изменений, улучшающих его точностные характеристики и расширяющих функциональные возможности. Но и на этом компания Sensoror не остановила свои разработки. В ближайшее время она готовится к началу производства ряда новых моделей инерциальных датчиков и других приборов. Один из них – трехосевой гироскоп STIM210 (см. таблицу 1). Это модифицированная версия гироскопа STIM202, отличающаяся более высокой точностью и производительностью, а также в 10 раз меньшим временем запуска. Последний параметр крайне важен для мобильных систем быстрого развертывания, таких как системы прицеливания и пуска. Производство этого гироскопа должно начаться летом 2011 года.

Еще один новый прибор – измерительный модуль STIM300 (см. таблицу). В нем совмещены гироскоп – такой же, как в STIM210 – и три высокоэффективных акселерометра. Начало серийного выпуска STIM300 запланировано на осень 2011 года.

Третий прибор – одноосевой МЭМС-гироскоп с повышенной точностью SAR500. Он способен с хорошей точностью измерять скорость вращения Земли, определяя при этом точное направление на север, что делает позиции ВОГ еще более шаткими. Прибор начнут производить в начале 2012 года.

Сегодня описанные в статье приборы являются одними из лучших МЭМС-датчиков в своем классе. Все больше разработчиков авиационной, космической и военной техники применяют их в новых разработках вместо традиционных ВОГ и механических гироскопов. Компания Sensorog Technologies, со своей стороны, постоянно работает над улучшением характеристик приборов, их удешевлением и налаживанием массового производства.

\* \* \*

Дополнительную информацию по описанным в статье приборам можно получить в компании «Радиант-Элком», являющейся официальным дистрибьютором данной продукции в России и СНГ.



