



## НАСТРОЙКА МОЗЖЕЧКА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ: ИСПЫТАНИЯ МЭМС – АКСЕЛЕРОМЕТРОВ, ГИРОСКОПОВ, ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Матвей Резников  
test@ostec-group.ru

### РОСТ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА. РОСТ ЗНАЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

В последние годы развитие, производство и внедрение МЭМС-датчиков и инерциальных систем вышло на полноценный промышленный уровень<sup>1</sup>. Мобильные телефоны, игровые консоли, фото- и видеокамеры, средства навигации, стабилизационные платформы промышленного оборудования – все эти устройства сегодня используют МЭМС-акселерометры и гироскопы. Это подтверждается увеличением доходов ведущих мировых производителей.

Объем продаж одного из мировых лидеров, корпорации STMicroelectronics, в 2011 году превысил 600 млн долларов. Таким образом, в период трудностей в экономике, продажи увеличились на 175% (по сравнению с 2008 г.).

Тенденции развития современных электронных устройств выражаются в том, что с каждым годом объемы и области применения миниатюрных, но столь значимых элементов (рис. 1, 2) будут расширяться, ведь все чаще от работы МЭМС-датчиков и инерционных систем зависит здоровье, а подчас и жизнь человека.

В связи с этим на первый план выходит задача обеспечения элементов высокой навигационной надежности, стабильности работы при повышенных линейных нагрузках и воздействии температуры.

Таблица 1 Динамика доходов основных производителей МЭМС продукции для сектора бытовой электроники и мобильных устройств Источник: Александр Райхман. STMicroelectronics – мировой лидер в производстве датчиков движения// Новости электроники № 2, 2009

Производитель	Доход с продаж в 2006, млн долл.	Доход с продаж в 2007, млн долл.	Доход с продаж в 2008, млн долл.	Прирост в 2007-2008, %	Доминирующий тип МЭМС-продукции
STMicroelectronics	~30,6	~96,8	~221,2	128	Акселерометры, гироскопы
Epson Toyocom	~13,2	~35,9	~62,2	73	Гироскопы и МЭМС-генераторы
Avago Technologies	~103,9	~143,5	~210,9	47	Пьезоакустические МЭМС-фильтры
Knoles	~82,8	~93,7	~119,8	28	МЭМС-микрофоны

<sup>1</sup> МЭМС - микроэлектромеханические системы

Испытания традиционных полупроводниковых устройств проводятся по электрическим параметрам, а МЭМС-элементам требуется также физическое воздействие (в случае инерционных датчиков это высокоточное перемещение). Функциональные испытания МЭМС-элементов специализированы, каждый класс устройств требует применения испытательной системы, способной обеспечить необходимое воздействие. От производителей испытательных стендов требуется понимание особенностей влияния работы стендов на ис-

**С 2010 года эксклюзивным партнером ЗАО Предприятие Остек в области поставок оборудования и решений для испытаний изделий на воздействие линейного ускорения и настройки инерциальных навигационных систем является швейцарская компания Acuitas GmbH. Инженеры и руководители компании обладают более чем 25 летним опытом проектирования и производства поворотных столов, имитаторов движения для испытаний инерционных навигационных систем и датчиков, систем слежения, блоков наведения, иной аппаратуры специального и общего назначения**



Рис. 1 МЭМС-датчик

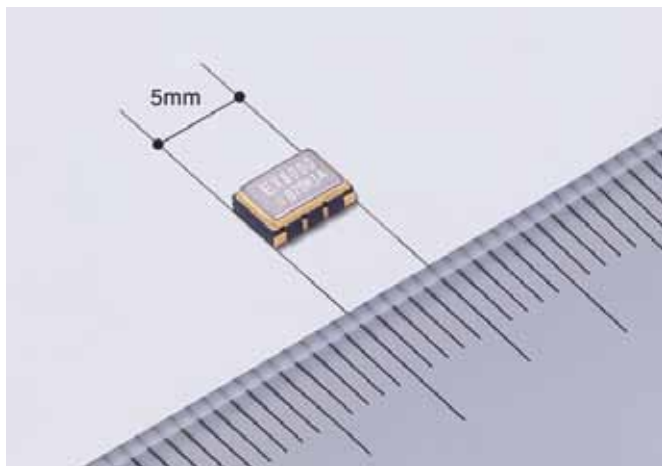


Рис. 2 МЭМС-датчик движения Epson XV-8000

пытуемое изделие, навыков интерпретации результатов измерений. Далее мы рассмотрим оборудование для проведения испытаний на воздействие линейного ускорения двух основных групп изделий – МЭМС-датчиков и инерциальных навигационных систем.

## ИСПЫТАНИЯ И КАЛИБРОВКА МЭМС-ДАТЧИКОВ И ГИРОСКОПОВ

Прецизионные центрифуги являются одним из эффективных решений для тестирования, калибровки МЭМС и средств измерения инерции в широких диапазонах перегрузок (рис. 3). Диапазон ускорений до 60 g и максимальная нагрузка 30 кг позволяют проводить испытания изделий различных типов и габаритов, требующих мониторинга и измерения ответственных параметров.

Испытания проводят следующим образом. Изделия крепятся на столе-сателлите (1). Контр-вращающийся стол может быть синхронизован с вращением главной оси (2) для защиты объекта испытаний от чрезмерных нештатных скоростей вращения. Главная ось оборудования и ось-сателлит оснащены бесщеточными двигателями прямой передачи момента и оптическими датчиками положения высокого



Рис. 3 Прецизионная центрифуга НРС-4С3-600 производства швейцарской компании Acuitas GmbH

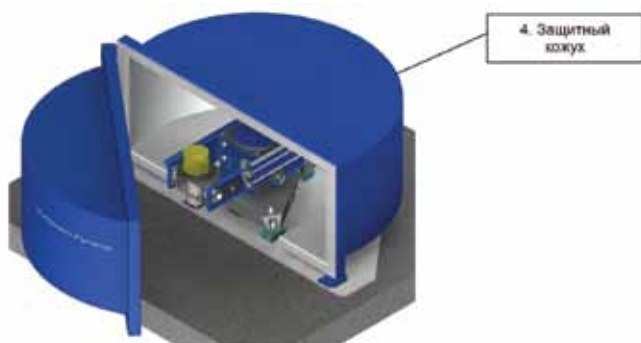


Рис. 4 Прецизионная центрифуга НРС-4С3-600 с защитным кожухом



Рис. 5 Бортовая авионика, включающая ИНС

разрешения. Обе оси контролируются по скорости. Комплексный модуль широтно-импульсного (ШИМ) усилителя/контроллера управляется оператором через сенсорный графический интерфейс, который позволяет удаленно работать с испытательной системой с внешнего компьютера.

Во время проведения испытаний неизбежно возникновение погрешностей, главными источниками которых являются:

- погрешности угловой скорости из-за сбоя работы сервопривода и датчика положения;
- погрешности определения действительного радиуса между главной осью и осью стола-сателлита из-за изначальной ошибки измерения или его изменений в процессе работы;
- погрешности из-за неустойчивого крепления испытуемого изделия.

Конструкция прецизионной центрифуги обеспечивает постоянный контроль всех параметров испытания и сообщает о возможных ошибках.

Наиболее серьезной составляющей погрешности для прецизионного измерения ускорения является неточность в определении радиуса. Номинальный радиус плеча (расстояния между главной осью и осью стола сателлита) измеряется калиброванным микрометром с точностью  $\pm 0,005$  мм. Изменения в расположении испытуемого изделия измеряются и регистрируются лазерным интерферометром. Устройство определяет изменения радиуса, в т.ч. из-за воздействия температуры или нагружения, параллельность/соосность оси-сателлита и главной оси.

При установке центрифуга должна быть выровнена и сбалансирована для корректной работы. Анкерное устройство (3) оснащено датчиками нагрузки, измеряющими баланс стрелы: подвижные контр-веса (4) обеспечивают точную балансировку нагруженной стрелы. Во время работы контролируется сила реакции в точках крепления, в случае чрезмерного нагружения центрифуга отключается и приводится в состояние безопасной остановки.

При работе с оборудованием необходимо использовать защитный кожух (рис. 4), ограждающий оператора от ненадежно закрепленных элементов. Корпус кожуха также предотвращает появление воздушных завихрений в рабочей зоне, которые могут стать причиной возникновения мгновенных погрешностей скорости.



Рис. 6 Трехосевой испытательный стенд TES-6V\_TM (1) производства швейцарской корпорации Acuitas GmbH, совмещенный с температурной камерой (2)



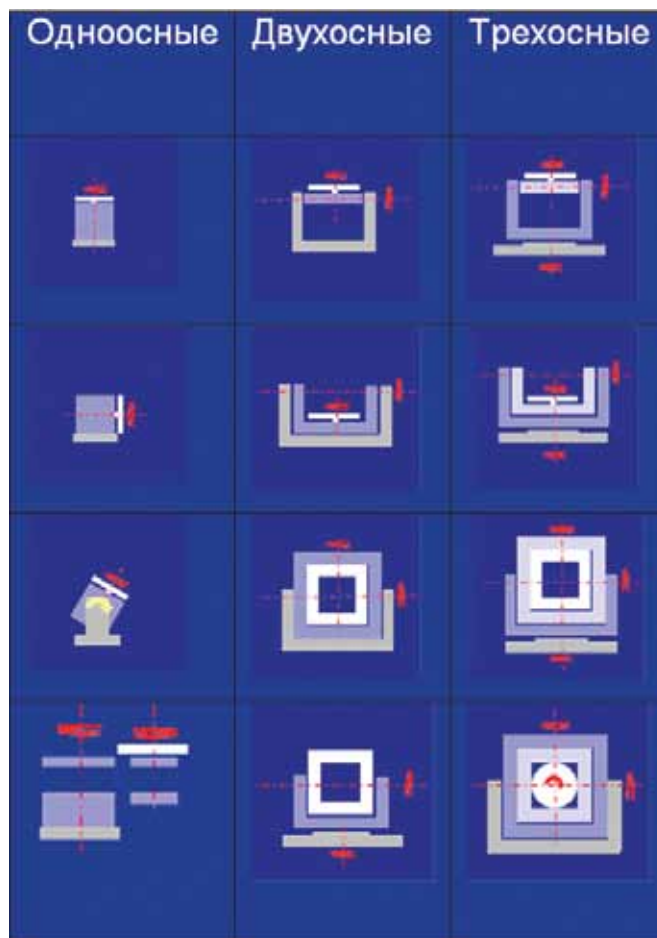
## УСПЕШНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ И НАСТРОЙКЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ИНС)

Инерциальные навигационные системы – автономные бортовые системы (рис. 5), в которых вычислительные комплексы и гироскопы создают опорную систему координат, а акселерометры, измеряя ускорения по соответствующим осям, позволяют определить скорости движения. Результаты измерений обрабатываются компьютером, который выдает сигналы системам автоматического управления полетом и на навигационные индикаторы. Своими функциональными возможностями ИНС хорошо дополняют радионавигационные средства. Особенно важна роль таких систем в условиях, когда нельзя рассчитывать на «подсказки» со стороны: полет ракет, длительные перелеты самолетов и летательных аппаратов в местах отсутствия качественной наземной сети радиостанций, движение морских судов и подводных лодок в плохих метеоусловиях. Применение систем глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС) также увеличило спрос на встроенные независимые навигационные приборы, которые задействованы сегодня во многих областях промышленности и жизни благодаря своей доступности, легкости в обслуживании, экономически эффективным вычислительным мощностям. Испытательные системы симуляции физических воздействий (имитаторы движения, стенды Скорсби), такие как движение, ускорение и температура наиболее эффективно сохраняют время и инвестиции при разработке, калибровке и настройке инерциальных систем и датчиков, систем навигации, наведения и слежения. Испытательные системы применяются как для калибровочных или измерительных приборов, так и для имитации требуемых условий окружающей среды (рис. 6).

При калибровке или проведении измерений имитаторы движения, как правило, значительно превосходят объекты анализа по точности позиционирования, созданию/реализации прецизионного движения и ускорения. Испытательные системы используются в качестве эталонных, и погрешности их работы часто могут не учитываться. Многообразие возможных применений испытательных систем и имитаторов реализуется во множестве вариантов исполнения стендов.

Отличия в оборудовании легко заметны по механической структуре (таблица 1). В ответ на требования инженеров и заказчиков, специалисты компании Acuitas GmbH разработали модульную систему испытательных стендов и имитаторов движения. Степени угловой свободы, расположение осей и конструкция механического интерфейса с испытуемым изделием проектируются с учетом возможной многократной адаптации к требуемым схемам воздействия с минимальными изменениями конструкции. В таблице 1 схематически представлены основные возможные механические компоновки поворотных модулей. Данный принцип обеспечивает выгодное соотношение стоимости и реализуемых характеристик.

Силовая и управляющая электроника обеспечивают работу в широких диапазонах, они компактны по размерам, располагаются



вблизи механических приводов. Требующие немедленной обработки сигналов сервопривод и управляющие средства используют устройства обработки данных в реальном времени. Большинство испытательных систем и имитаторов движения управляются программным обеспечением (ПО), основанным на LabView. ПО может легко внедряться/объединяться пользователем с применяемыми им средствами обработки данных. Это позволяет создать гибкий, многоцелевой инструмент для измерения, калибровки, анализа и испытаний комплексных инерциальных систем и микроэлектромеханических сборок или одиночных датчиков.

Масштабы применения МЭМС-датчиков и инерциальных навигационных систем будут увеличиваться постоянно, поэтому обеспечение качества такой продукции становится все более актуальным и важным. Сегодня уровень развития современных стендов испытания изделий на воздействие линейного ускорения позволяет проводить на предприятии полный цикл испытаний, настройки и калибровки МЭМС-элементов и средств навигации. ■