3-осевые микромеханические акселерометры ADXL345 и ADXL346 с микропотреблением и детектором событий

ГЕННАДИЙ СЫЧЕВ, инженер по применению, «ЭЛТЕХ»

ВВЕДЕНИЕ

Современный рынок промышленных и бытовых устройств предъявляет все большие требования к их функциональности и безопасности использования. Особенно это проявляется там, где у потребителя есть выбор, и при прочих равных выбор, естественно, упадет на устройства с большей функциональностью или с уникальными возможностями.

Компания ADI — лидер в производстве компонентов на основе микромеханических систем — объявила о серийном производстве нового компонента — 3-осевого микромеханического акселерометра ADXL345 с микропотреблением и детектором событий.

К выходу в серийное производство готовится также его функциональный аналог ADXL346, отличающийся меньшими габаритами и более низкой потребляемой мощностью.

Стандартными областями применения для акселерометров являются: навигация, робототехника, системы безопасности в автотранспорте. В последнее время, благодаря снижению стоимости и появлению дополнительных функций, этот список значительно расширился:

– Мониторинг состояния персонала, находящегося в зоне риска: охранников объекта, персонала на транспорте и т.д.
– Датчики контроля вибрации и аварийных состояний в промышленном и бытовом оборудовании.
– Защита персонала на производстве при потере контроля над оборудованием или случайном падении.
– Охранные датчики: открывание дверей, окон, технологических люков.
– Закладные охранные датчики, например, объектов выставки, оборудования, банкоматов.
– Защита электронно-механических устройств и оборудования при свободном падении.
– Управление энергопотреблением и активностью экономичной портативной техники.
– Расширение функциональности диагностической локационной техники — построение пространственной картины измерений.
– Системы ввода информации «человек — компьютер».
– Контроль сохранности грузов при транспортировке.
– Измерение интенсивности нагрузки при занятиях спортом.
– Фототехника.
– Развлекательное оборудование.

В этой статье рассматриваются некоторые возможности применения микромеханических датчиков в целом и ADXL345, ADXL346, в частности.

ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТА ADXL345

Что собой представляет этот компонент?

ADXL345 — это 3-осевой датчик ускорения с возможностью программирования диапазона ускорений из ряда: ±2; ±4; ±8; ±16g.

Кроме того, у ADXL345:

– диапазон рабочих напряжений питания: 2,0…3,6 В;
– ток потребления в рабочем режиме 40…150 мкА, в зависимости от частоты опроса;
– разрешающая способность 10—13 разрядов (при измерении ускорения ±16g);
– рабочий диапазон температур: –40…85°C;
– интерфейс SPI или I^2C;
– корпус LGA размером 3×5×1 мм.

Более подробные характеристики ADXL345 см. в техническом описании [1].

Структурная схема и расположение выводов приведены на рисунке 1, а их назначение — в таблице 1.

Также датчик имеет несколько следующих функциональных особенностей.

– Детектирование и индикация событий:
  - толчок;
  - двойной толчок;
  - свободное падение;
  - наличие активности (ускорения), с выбором осей;
  - отсутствие активности , с выбором осей.
– Два программируемых выхода событий.
– Буфер FIFO глубиной 32 уровня.
– Интерфейс может сигнализировать о событиях: наличие данных, заполнение буфера и переполнение буфера.

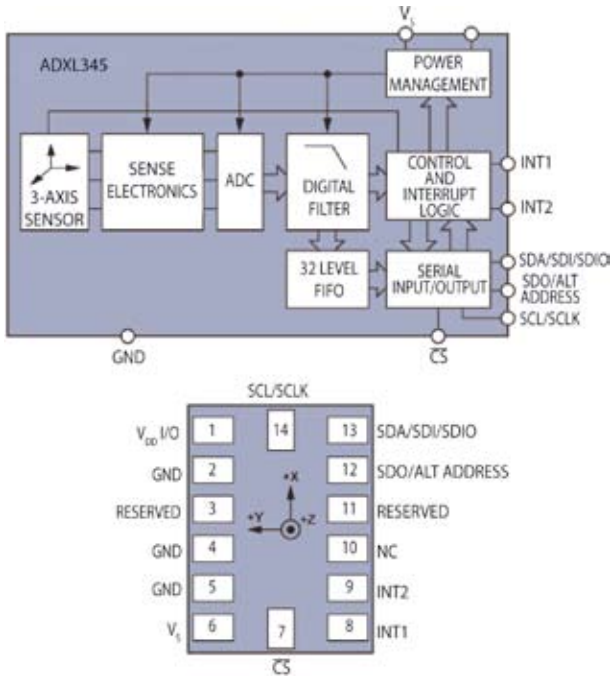

Рис. 1. ***Структурная схема ADXL345 и расположение выводов***

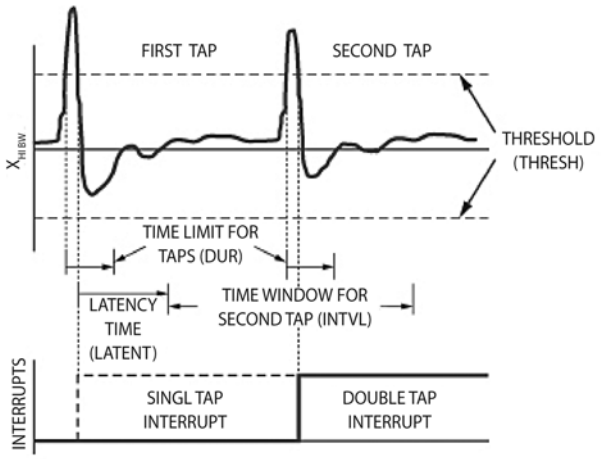

Рис. 2. ***Распознавание легких ударов***

В отличие от ADXL345, у акселерометра ADXL346 корпус LGA размером 3×3×0,95 мм; диапазон рабочих напряжений питания составляет 1,7…2,75 В; имеется функция определения ориентации с возможностью сигнализации о ее изменении.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ*

Распознавание легких ударов

Это событие происходит, в случае если измеренная величина ускорения превысит пороговое значение (хранящееся в регистре THRESH_TAP) на время не более того значения, которое хранится в регистре DUR. При этом будет установлен бит SINGLE_TAP.

Если за первым превышением порога, по истечении времени LATENCY TIME и в течение времени TIME WINDOW FOR SECOND TAP (см. рис. 2), которое определяется регистром WINDOW, последует второе событие, определяемое по описанным выше правилам, установится бит DOUBLE_TAP.

Распознавание активности (ускорения)

Наличие активности определяется, когда величина измеренного ускорения превышает значение, хранящееся в регистре THRESH_ACT.

Таблица. 1. ***Назначение выводов ADXL345***

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	VDD I/O	Питание интерфейса ввода-вывода
2	GND	Должен быть подключен к общему проводу
3	Reserved	Зарезервирован, должен быть подключен к VS или оставаться свободным
4	GND	Должен быть подключен к общему проводу
5	GND	Должен быть подключен к общему проводу
6	VS	Питание
7	$\overline{CS}$	Вход выбора МС, активный низкий
8	INT1	Выход прерывания 1
9	INT2	Выход прерывания 2
10	NC	Не подсоединен
11	Reserved	Зарезервирован, должен быть подсоединен к общему проводу или оставаться свободным
12	SDO/ALT ADDRESS	Выход данных для SPI или выбор адреса для I^2C
13	SDA/SDI/SDIO	Данные для I^2C или вход данных для 4-проводного SPI, или вход и выход данных для 3-проводного SPI
14	SCL/SCLK	Синхронизация для данных

Отсутствие активности обнаруживается, когда величина ускорения в течение времени TIME_INACT меньше значения, хранящегося в регистре THRESH_INACT.

Описанный алгоритм работы соответствует режиму dc-coupled. Прибор также поддерживает режим работы ac-coupled, в котором, в соответствующих случаях, со значениями регистров THRESH_ACT и THRESH_INACT сравнивается модуль разницы между текущим значением ускорения и опорным — значением ускорения в начале события.

Для каждой оси возможен выбор, будет ли ускорение вдоль нее влиять на обнаружение событий активности (см. описание регистра ACT_INACT_CTL в [1]).

Диагностика состояния свободного падения

Состояние свободного падения детектируется, если величина ускорения меньше значения THRESH_FF в течение времени TIME_FF. Причем, всегда учитываются значения по всем осям, и алгоритм обработки соответствует режиму dc-coupled.

Используя сигнал с датчика, можно определить высоту падения. В простейшем случае достаточно измерить время, в течение которого генерируется событие FREE_FALL. Так например, если событие длится около 300 мс, то

$$S = \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0{,}3^2 = 0{,}45 \text{ м}.$$

Подробнее пример реализации алгоритма на Си см. в [4].

Режимы работы FIFO

Буфер FIFO позволяет снизить вычислительную нагрузку на управляющий МК и предназначен для временного хранения результатов измерения. В ADXL345 буфер имеет глубину в 32 измерения по каждой из осей и может функционировать в одном из следующих четырех режимов.

Bypass Mode — буфер отключен.

FIFO Mode — в случае переполнения буфера новые результаты измерения не сохраняются.

Stream Mode — в случае переполнения буфера самые старые значения заменяются новыми.

Trigger Mode — в этом режиме буфер функционирует аналогично *Stream Mode* до наступления события, определяемого полем trigger bit в регистре FIFO_CTL. После этого в буфере сохраняется число последних значений, определяемое в регистре FIFO_CTL, и дальнейшее функционирование продолжается аналогично режиму *FIFO Mode.*

Рекомендации по использованию FIFO см. в [5].

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Мониторинг состояния персонала или пациентов

Если акселерометр разместить на теле человека, можно реализовать датчик падения, происшедшего, например, в результате потери сознания человеком, нападения, если это охранник, или другого несчастного случая.

Пример кривых, отражающих величину ускорения при падении, показан на рисунке 3. В данном случае падение является не совсем свободным: тело «валится», поэтому характер изменения ускорения по осям отличается от случая свободного падения.

В процессе падения можно выделить несколько стадий.

1. *Начало падения.* При свободном падении эта стадия характеризуется состоянием невесомости. Величина векторной суммы ускорений по всем трем осям близка к нулю. При падении отличном от свободного величина векторной

* Поскольку все доступные пользователю возможности датчика программируются путем записи в соответствующие регистры через последовательный интерфейс, то во избежание путаницы в тексте сохранены оригинальные названия битов и регистров.

суммы ускорений по трем осям не близка к нулю, но меньше 1g. Это первый признак падения (зона 1 на рис. 3).

2. *Столкновение с поверхностью.* По окончании падения происходит столкновение с поверхностью, что наблюдается на графике как резкое увеличение ускорения, вплоть до перегрузки датчика. Это второй признак падения (зона 2 на рис. 3).

3. *Неподвижность.* Человек не может подняться после падения немедленно — какое-то время он неподвижен. Это третий признак падения (зона 3 на рис. 3).

4. *Изменение положения тела после падения.* В результате того, что тело человека изменяет положение после падения, вектор ускорения свободного падения меняет направление по отношению к датчику. Это четвертый признак падения (сравните величины проекций ускорений на оси в зонах 3 и 4 на рисунке 3).

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ВИБРОДИАГНОСТИКА

В случае линейных синусоидальных колебаний их амплитуду достаточно просто вычислить. Как известно из курса физики [8], в случае гармонических синусоидальных колебаний амплитуда ускорения, частота и амплитуда колебаний связаны формулой:

$$X_0 = \frac{a_0}{\omega^2},$$

где X_0– амплитуда колебаний, a_0– амплитуда ускорения, ω – круговая частота колебаний.

Если необходимо определить текущее положение прибора с акселерометром, а движение не является равноускоренным, следует дважды провести интегрирование по времени с учетом начальных значений ускорения свободного падения, положения и скорости, как показано на рисунке 4 [9].

Простейший пример использования акселерометра при вибродиагностике износа механических деталей машин заключается в измерении интенсивности колебаний с некой характерной для данного изделия частотой. Полоса частот ADXL345 ограничена 1600 Гц, что может оказаться недостаточным. В этом случае целесообразнее использовать ADXL001 с полосой частот до 22 кГц и аналоговым выходом.

Встроенный в механический узел датчик в этом случае должен содержать полосовой фильтр и амплитудный детектор с механизмом сигнализации. Для цифровой спектральной фильтрации сигнала с акселерометра вовсе не обязательно заниматься программированием на языках высокого уровня, можно применить МК семейства SigmaDSP® производства ADI. Подробнее об этом семействе см. [17].

Для создания фильтров с использованием SigmaDSP® достаточно приобрести отладочный набор, в состав которого входит полнофункциональная среда визуального программирования с интерфейсом ввода структуры, аналогичным LabView. С ее помощью можно быстро реализовать цифровые фильтры, в т.ч. с управляемыми извне характеристиками. Сигнал с датчика можно непосредственно оцифровать АЦП, входящим в состав SigmaDSP®, а обработанный цифровой поток вывести по последовательному интерфейсу или вновь преобразовать в аналоговый сигнал.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КАРТИНЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Идея этого применения заключается в совместной обработке сигнала системы навигации и системы измерения, датчики которых конструктивно объединены, что позволяет построить пространственную картину измеряемой величины.

Пример 1. Металлоискатель, или функционально аналогичный прибор, в котором имеется датчик интенсивности

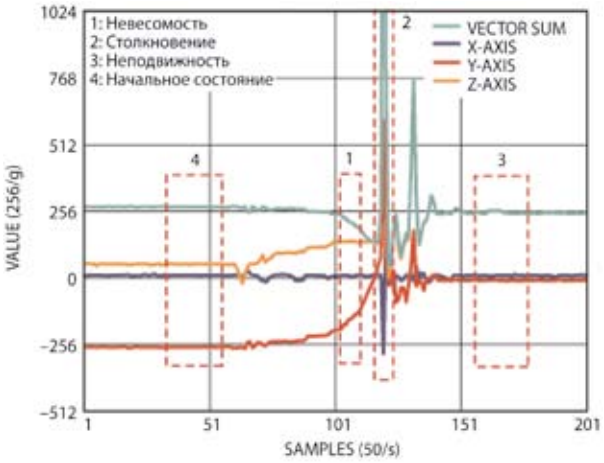

Рис. 3. ***Характер изменения ускорений при не совсем свободном падении***

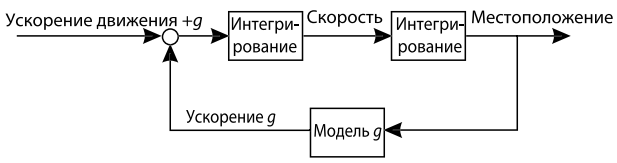

Рис. 4. ***Определение местоположения с использованием акселерометра***

некой физической величины. При перемещении измерительной части, на индикаторе прибора отображается не только текущее значение измеряемой величины, но и положение датчика относительно зарегистрированных минимумов и максимумов сигнала, или его градиентов. Это избавляет оператора от необходимости сравнивать текущие показания интенсивности с максимальными их значениями, анализируя направление перемещения измерительной части в поиске точек минимума и максимума.

Пример 2. Аудиометрия помещений может быть проведена гораздо быстрее, если измерительный микрофон совместить с датчиком перемещения. При этом измерения можно проводить не в точках, а по траекториям, автоматически фиксируя результаты соответствующим программным обеспечением.

ИНТЕРФЕЙСЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Удобство применения бытовой техники имеет решающее значение в условиях конкуренции. Какой бы совершенной ни была та или иная технология, она едва ли станет успешной, если разработчикам не удалось сделать ее использование максимально интуитивным и привлекательным. Помочь завоевать будущего пользователя может применение акселерометров. Уже сейчас на рынке появилось немало устройств с недорогими акселерометрами, как специально ориентированными на использование этой технологии, так и содержащими этот компонент как опцию, благо софт в большинстве устройств можно обновить. Частными случаями такого применения является: изменение ориентации изображения на экране мобильного устройства или ноутбука; учет ориентации изображения в фотоаппарате или фоторамке; управление прокруткой изображения при встряхивании или наклоне мобильного телефона [14, 15]. Некоторые практические рекомендации по обработке данных с акселерометра при реализации интерфейсов можно найти в [16].

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПОРТАТИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Использование акселерометров для защиты носителей данных получило распространение в жестких дисках пор-

тативных компьютеров. Алгоритм, реализующий обнаружение свободного падения, подробно рассмотрен в [10].

Отметим, что поскольку в этом случае требуется выдать информацию до завершения свободного падения, автор статьи рекомендует использовать для детектирования свободного падения суммы квадратов производных ускорения по осям.

КОНТРОЛЬ СОХРАННОСТИ ГРУЗОВ

Не секрет, что большая часть электронной и высокоточной механической аппаратуры резко отрицательно относится к ударам и требует бережного отношения при перевозке и эксплуатации. Как при сервисном обслуживании или перед вводом техники в эксплуатацию определить, были ли нарушены условия транспортировки и хранения? Установив акселерометр в прибор или укомплектовав упаковку электронным самописцем на базе акселерометра, всегда можно будет однозначно дать ответ на этот вопрос, причем в процессе эксплуатации прибора датчик может с успехом выполнять другие описанные выше функции. Акселерометры ADXL345 и ADXL346 прекрасно подойдут на эту роль, т.к. они обладают крайне низким потреблением и способны не только пробудить микроконтроллер при выходе величины ускорения за установленное пороговое значение, но и благодаря режиму работы FIFO *Trigger Mode* способны сохранить данные, отражающие картину происходящего до того, как хост-контроллер будет готов их принять для последующей обработки. Микропрограмме контроллера останется вычислить модуль вектора ускорения и сравнить его с заданным значением для принятия решения о нарушении допустимых условий транспортировки или эксплуатации.

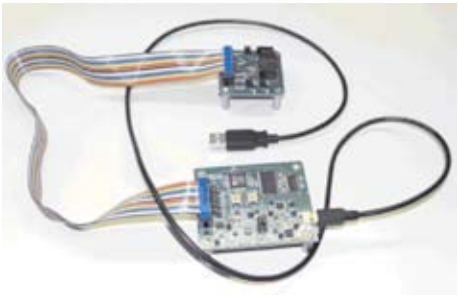

Рис. 5. ***Внешней вид отладочного набора на базе универсальной отладочной платы для инерционных систем***

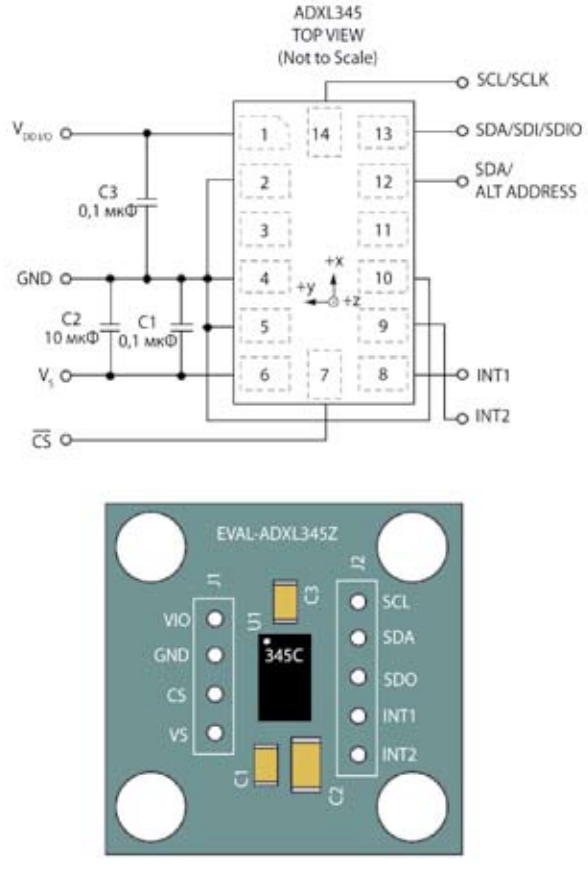

Рис. 6. ***Схема и внешний вид мини-набора разработчика***

Возможный алгоритм работы микропрограммы хост-контроллера следующий.

1. Зафиксировать текущие значения ускорения по осям.
2. В зависимости от предъявляемых условий, настроить пороги как сверху, так и снизу.
3. Перевести МК в спящий, а акселерометр – в экономичный режим.
4. Ожидание прерывания от акселерометра.
5. При поступлении сигнала прерывания начать непрерывное считывание данных с акселерометра.
6. Считать данные и вычислить модуль вектора ускорения.
7. Проверить на превышение допустимой величины; при необходимости сохранить результат проверки.
8. Проверить на установившееся значение. Если состояние не меняется, перейти к п. 1, иначе см. п. 6.

Для полноты информации необходимо указать, что для данного применения имеется специализированный компонент ADIS16240, способный отслеживать пиковые значения суммы квадратов измерений, полученных по всем трем осям. В сравнении с ADXL345, ADXL346, это готовый модуль с диапазоном измерений ±19g, однако его стоимость приблизительно на порядок выше.

СРЕДСТВА РАЗРАБОТЧИКА

Для разработки устройств с использованием акселерометров и оценки их возможностей Analog Devices выпускает специальные наборы. Для ADXL345 доступны наборы двух видов — на базе универсальной оценочной платы для инерциальных систем, внешний вид которого представлен на рисунке 5, и мини-набора разработчика (см. рис. 6).

Отладочный набор на базе универсальной оценочной платы для инерциальных систем включает в себя:

– микропотребляющий акселерометр ADXL345;

– универсальную материнскую плату для инерциальных систем;

– специфическую для каждого акселерометра дочернюю плату;

– стандартный USB-кабель для питания набора и передачи данных;

– графическую пользовательскую среду для ПВМ.

Плата большего размера обеспечивает интерфейс ввода полученных от акселерометра данных и функционирует также с другими акселерометрами производства ADI. При переходе на другой тип акселерометра достаточно приобрести дочернюю плату под интересующий тип этого датчика.

Поставляемое в комплекте программное обеспечение позволяет изменять содержимое внутренних регистров ADXL345 при помощи графического интерфейса, задавая, таким образом, режим работы акселерометра, и производить захват информации о движении с отображением ее в виде графиков на экране ПВМ. Вид графического интерфейса ПО показан на рисунке 7.

Мини-набор предназначен для подключения акселерометра к системе сбора данных разработчика и упрощения задачи монтажа в процессе оценки возможностей датчика.

Оценочные средства и образцы МК можно заказать в ООО «ЭЛТЕХ».

ВЫВОДЫ

Применение акселерометров в современной технике позволит значительно расширить функциональные возможности существующей аппаратуры и создать приборы с уникальными характеристиками. В ряде случаев применение акселерометров позволит сэкономить рабочее время операторов, использующих оборудование с датчиками движения, и ресурс самого оборудования. Применение акселерометров в промышленности и на производстве позволит повысить безопасность персонала и сэкономить денежные средства на периодическом обслуживании.

Акселерометры производства ADI просты в применении, доступны для заказа, обеспечены необходимой для разработчика технической документацией и оценочными средствами, что, несомненно, сократит время проектирования изделия с использованием этих акселерометров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техническое описание компонента. www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf.*
2. *Пресс-релиз//www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/adxl345/products/1_19_09_ADIS_MEMS_Motion_Sensor_Delivers/press.html.*
3. *Краткий перевод на сайте ООО «ЭЛТЕХ»//ww.eltech.spb.ru/news.html?nid=650.*
4. *Определение состояния свободного падения//www.analog.com/library/analogdialogue/archives/43-07/fall_detector.html, www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1023.pdf.*
5. *Использование буфера FIFO//www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1025.pdf.*
6. *Сайт, посвященный вибродиагностике//www.vibration.ru.*
7. *Акселерометры: фантазии и реальность//www.analog.com.ru/Public/ADXL.pdf.*
8. *Курс физики//window.edu.ru/window_catalog/files/r61416/physics.pdf.*

Рис. 7. ***Окно, отображающее графики величин ускорений по осям чувствительности***

9. *Инерциальная навигация//www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/aviaciya_i_kosmonavtika/INERTSIALNAYA_NAVIGATSIYA.html.*
10. *Альманах//www.eltech.spb.ru/pdf/almanah/alm_2007_1_7.pdf.*
11. *Ю.Г. Мартыненко. Инерциальная навигация//Соросовский образовательный журнал. №8. 1998 г.//www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9808_102.pdf.*
12. *Интерпретация измерений ускорений в инерциальной навигации//www.ioffe.rssi.ru/journals/jtf/2004/05/p134-135.pdf.*
13. *Книги и пособия издательства ИТМО: http://books.ifmo.ru/?out=stat&id=1.*
14. *3D news//www.3dnews.ru/tags/%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80.*
15. *Новостной портал MobileDevice.ru: http://www.mobiledevice.ru/bounce-boing-voyage-nokia-Mobile-prilozhenie-igra-akselerometr-d.aspx.*
16. *Принципы разработки ПО для iPhone с использованием акселерометра//http://habrahabr.ru/blogs/macosxdev/65148.*
17. *Страница семейства цифровых сигнальных процессоров SigmaDSP®//www.analog.com/en/embedded-processing-dsp/sigmadsp/processors/index.html.*

НОВОСТИ СВЕТОТЕХНИКИ

| NEMA ОБСУЖДАЕТ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯРКОСТЬЮ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ | Американская ассоциация NEMA («Национальная ассоциация производителей электрооборудования») приняла документ LSD 49-2010 — техническое описание под названием Solid State Lighting for Incandescent Replacement — Best Practices for Dimming.

В этом новом документе, разработанном секцией твердотельной осветительной техники NEMA, предложены рекомендации по регулировке яркостью и разработке твердотельных источников света для замены ламп накаливания с резьбовым цоколем.

Главная цель этого документа — обеспечить координацию между производителями средств управления, источников питания и светодиодных модулей для достижения требуемых рабочих характеристик и упорядочения выпуска продукции на рынке. Эта секция также приступила к работе над другим, связанным с LSD 49-2010, стандартом NEMA.

Представители Департамента энергетики США активно участвуют в деятельности рабочей группы NEMA, сознавая важность вопросов совершенствования параметров твердотельной осветительной техники, которая получает все больший спрос на рынке.

«Эти рекомендации направлены на улучшение эксплуатационных характеристик изделий и повышение степени удовлетворенности потребителей твердотельными источниками света, приходящими на смену такой массовой продукции как лампы с резьбовым цоколем, — заявил Роберт Хик (Robert Hick), председатель секции и представитель компании Leviton Manufacturing. — Рынок совершит еще один шаг в сторону применения твердотельных источников света, а спрос на новые разработки повысится. Реализация принципа взаимозаменяемости продукции и упорядочение ее выпуска способствуют росту доверия со стороны рынка и снижению стоимости изделий, что, в свою очередь, выгодно и производителям, и потребителям».

С документом LSD 49-2010 «Solid State Lighting for Incandescent Replacement — Best Practices for Dimming», можно ознакомиться на веб-сайте ассоциации. Другие документы серии NEMA LSD представляют технические описания балластных разъединителей, датчиков занятости и фотолюминесценцентных сигнализационных панелей.

www.russianelectronics.ru