



Александр Маргелов

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МЭМС-ДАТЧИКИ

Емкостные инерциальные датчики ускорения обладают самой высокой точностью измерения и наилучшими потребительскими характеристиками по сравнению с механическими и пьезоэлектрическими аналогами. Сфера их применения включает промышленную электронику, автомобильную электронику, охранные системы, медицинское оборудование. Статья знакомит с принципом действия и достоинствами современных МЭМС-акселерометров компании Freescale Semiconductor.

УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Акселерометры имеют достаточно давнюю историю развития, и наиболее естественной идеей является построение акселерометров на **механических** принципах. Инерциальная масса смещается под действием ускорения и воздействует на тензодатчик. Такие устройства достаточно объемны, имеют низкую воспроизводимость, плохую устойчивость к ударным воздействиям и малую долговечность, что характерно для чисто механических устройств. Значительно лучшими параметрами обладают **пьезоэлектрические** датчики ускорения, в которых физическая деформация кристаллической структуры приводит к изменению ее проводимости. Однако наилучшими характери-

ками обладают **емкостные** полупроводниковые датчики, в которых параллельно движущиеся пластины образуют переменный конденсатор. Преимущества датчиков такого типа, в которых сочетаются достоинства интегральной технологии и емкостного метода измерения, приведены в таблице 1.

Принцип работы емкостного инерциального сенсора показан на рисунке 1.

Три пластины образуют последовательное соединение двух конденсаторов. При этом две крайние жестко закреплены, а центральная может смещаться под действием инерциальных сил. Изменение расстояния между пластинами приводит к изменению емкости обоих конденсаторов. Благодаря многолетнему опыту в разработке, производстве и совершенствова-

Таблица 1. Преимущества емкостных полупроводниковых датчиков

Преимущества полупроводниковых датчиков	Преимущества емкостного метода измерения
Низкая стоимость благодаря массовому производству	Высокая линейность
Возможность осуществления дополнительных функций (самотестирование, изменение диапазона измерения)	Высокая чувствительность
Высокая воспроизводимость	Легко осуществимые самокалибровка и самотестирование
Высокая стойкость к ударным воздействиям и перегрузкам	Легкая реализация цепей обратной связи
Функциональная законченность (сенсор и схема обработки на одном кристалле)	Совместимость с КМОП-технологией
Малые габариты	Широкий диапазон рабочих температур



Технология «Платформа в Корпусе» для стандарта ZigBee®

Компания Freescale Semiconductor представила реализацию однокристалльной платформы для разработки системы на основе стандарта ZigBee®. Данное решение обеспечивает самую низкую потребляемую мощность и высочайшую производительность в отрасли. Платформа MC1322x спроектирована для обеспечения ресурса батареи до 20 лет и превосходит вдвое по этому параметру существующие решения стандарта ZigBee.

Платформа MC1322x компании Freescale, интегрирующая отдельные компоненты системы ZigBee в одном корпусе и сокращающая количество внешних элементов и стоимость системы, выполнена по технологии «Платформа в корпусе» (**Platform in Package™, PiP**). MC1322x содержит 32-разрядный микроконтроллер (МК), приемопередатчик, полностью соответствующий требованиям IEEE 802.15.4, симметрирующее устройство и элементы ВЧ-согласования. Все это размещено в малогабаритном корпусе LGA и избавляет от необходимости использования внешних ВЧ-компонентов. Данная платформа имеет режим TurboLink™, разработанный для увеличения скорости передачи данных между узлами до 2 Мбит/с.

Режим обмена по технологии TurboLink, являясь собственной разработкой компании Freescale, повышает скорость данных до 2 Мбит/с. Данный режим обеспечивает идеальную основу для поддержки таких приложений, как голосовая связь, беспроводные наушники, передача сжатых аудиосигналов, а также передача больших объемов данных.

Приборы MC1322x могут автоматически переключаться между протоколом IEEE 802.15.4 и пакетами технологии TurboLink, что позволяет разработчику пользоваться возможностями высокоскоростного обмена, одновременно управляя и наблюдая за кольцом сети ZigBee.

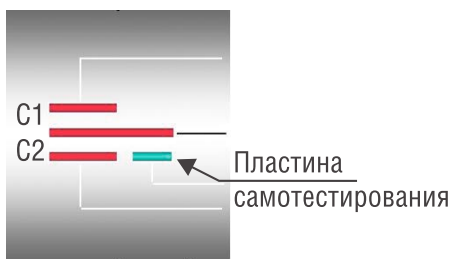


Рис. 1. Структурная схема инерциального датчика



Рис. 2. Конструкция полупроводникового инерциального датчика

нии МЭМС-устройств, компании Freescale Semiconductor удалось осуществить такую микромеханическую систему в едином кристалле. Ее конструкция, под названием G-Cell, приведена на рисунке 2. Она включает в себя четыре пластины из поликристаллического кремния, три из которых образуют обкладки конденсаторов, а четвертая используется для реализации функции самотестирования.

Законченный инерциальный датчик Freescale Semiconductor представляет собой не только чувствительный элемент G-Cell,

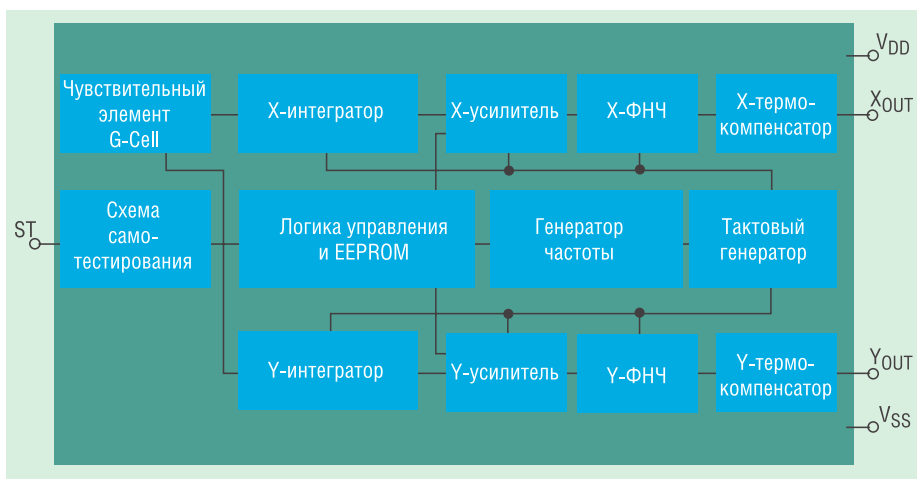


Рис. 3. Упрощенная схема двухосевого датчика ускорения Freescale Semiconductor

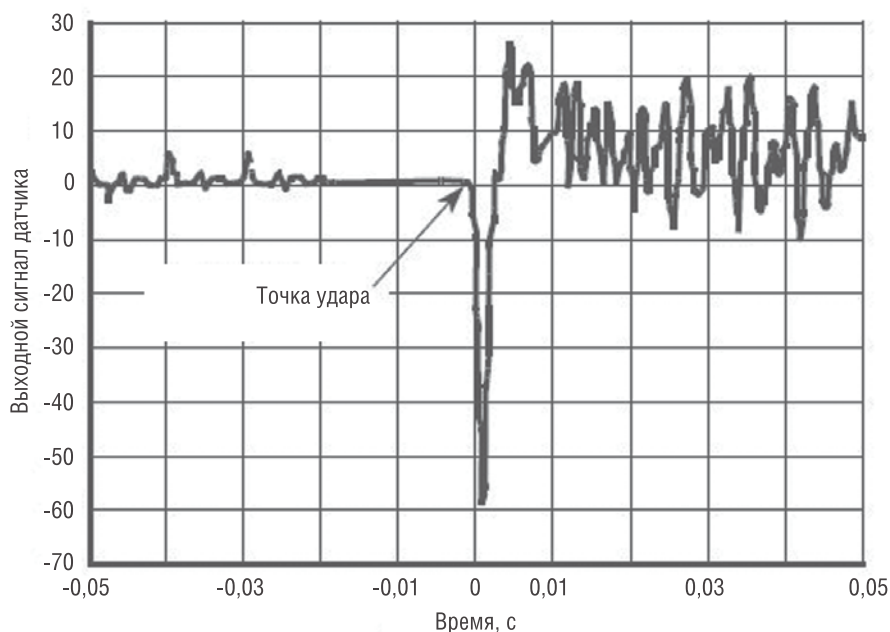


Рис. 4. Типовая форма импульса на выходе инерциального датчика при ударном воздействии (взять из документа по пейджеру)

но и интегрированную в тот же кристалл довольно сложную схему обработки сигнала, упрощенный вариант которой приведен на рисунке 3 на примере двухосевого датчика ускорения.

В связи с тем, что сдвиг центральной пластины очень мал, таковым является и изменение емкости (порядка 10...15 Ф). Поэтому лучше измерять разницу между емкостями двух конденсаторов. Ток подается поочередно на каждый из конденсаторов сенсора G-Cell в течение фиксированного временного интервала. При этом

напряжение на выходе интегратора, обратно пропорциональное емкости конденсатора, фиксируется в блоке хранения и сравнения. Сигнал на выходе последнего пропорционален разности емкостей. Далее сигнал поступает на ФНЧ, который ограничивает его высокочастотные составляющие, и усиливается еще одним усилителем, который одновременно обеспечивает температурную компенсацию. Для примера на рисунке 4 приведена типовая форма импульса на выходе инерциального датчика с номинальным диапазоном ± 40 g при

Таблица 2. Основные технические характеристики инерциальных датчиков Freescale Semiconductor

Наименование	Чувствительные оси	Рабочий диапазон, g	Чувствительность, мВ/g	Полоса частот, Гц	Упит, В	Ипит, мА	Траб, °С	Тип корпуса
MMA7260Q	XYZ	±1,5; 2,0; 4,0; 6,0 задаются пользователем	800; 600; 300; 200 зависит от диапазона	XY: 350 Z: 150	2,2...3,6	0,5	-20...85	QFN16
MMA7261Q	XYZ	±2,5; 3,3; 6,7; 10 задаются пользователем	480; 360; 180; 120 зависит от диапазона	XY: 350 Z: 150	2,2...3,6	0,5	-20...85	QFN16
MMA6270Q	XY	±1,5; 2,0; 4,0; 6,0 задаются пользователем	800; 600; 300; 200 зависит от диапазона	XY: 350	2,2...3,6	0,5	-20...85	QFN16
MMA6280Q	XZ	±1,5; 2,0; 4,0; 6,0 задаются пользователем	800; 600; 300; 200 зависит от диапазона	X: 350 Z: 150	2,2...3,6	0,5	-20...85	QFN16
MMA6260Q	XY	±1,5	800	50	2,7...3,3	1,2	-20...85	QFN16
MMA6261Q	XY	±1,5	800	300	2,7...3,3	1,2	-20...85	QFN16
MMA6262Q	XY	±1,5	800	150	2,7...3,3	2,2	-20...85	QFN16
MMA6263Q	XY	±1,5	800	900	2,7...3,3	2,2	-20...85	QFN16
MMA2260D	X	±1,5	1200	50	5,0 ±0,25	2,2	-40...105	SOIC16
MMA1260D	Z	±1,5	1200	50	5,0 ±0,25	2,2	-40...105	SOIC16
MMA1270D	Z	±2,5	750	50	5,0 ±0,25	2,1	-40...105	SOIC16
MMA1250D	Z	±5,0	400	50	5,0 ±0,25	2,1	-40...105	SOIC16
MMA1220D	Z	±8,0	250	250	5,0 ±0,25	5,0	-40...125	SOIC16
MMA6231Q	XY	±10,0	120	300	2,7...3,3	2,2	-20...85	QFN16
MMA6233Q	XY	±10,0	120	900	2,7...3,3	2,2	-20...85	QFN16
MMA3201D	XY	±40,0	50	400	5,0 ±0,25	8,0	-40...125	SOIC16
MMA2201D	X	±40,0	50	400	5,0 ±0,25	5,0	-40...125	SOIC16
MMA2202D	X	±50,0	40	400	5,0 ±0,25	5,0	-40...125	SOIC16
MMA3202D	XY	±20/±100	19/38	400	5,0 ±0,25	8,0	-40...125	SOIC16
MMA2204D	X	±100	20	400	5,0 ±0,25	5,0	-40...125	SOIC16
MMA1213D	Z	±50	40	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA1210D	Z	±100	20	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA1211D	Z	±150	13	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA2301D	X	±200	10	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA1212D	Z	±200	10	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA2300D	X	±250	8	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16
MMA1200D	Z	±250	8	400	5,0 ±0,25	4,5	-40...125	SOIC16

ударном воздействии вдоль чувствительной оси.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНЕЙКА

На сегодняшний день производственная линейка датчиков ускорения Freescale Semiconductor насчитывает несколько десятков наименований, перекрывающих диапазоны от ±1,5 g до ±250 g и способных, в зависимости от модели, проводить измерения по одной, двум или трем осям. Датчики имеют стандартный пропорциональный аналоговый выход по напряжению, что очень удобно для подключения к АЦП. Резонансная частота чувствительного элемента много выше частоты среза встроенного ФНЧ, поэтому она никак не влияет на рабочую характеристику датчика.

Одним из достоинств этих датчиков является пропорциональный выход (т.е. выходное смещение при нулевом ускорении и, соответственно, чувствительность линейно изменяются в зависимости от напряжения источника питания). Его наличие очень важно для ответственных применений, например, блока развертывания фронтальных подушек безопасности в автомобиле. Если напряжение питания упадет на 10%, то выходное напряжение датчика должно снизиться также на 10%. Учитывая, что общий бортовой источник питания датчика и АЦП в системе обеспечивает такую пропорциональность, результирующий код ускорения в любой момент времени остается точным. Так, даже если напряжение питания во время столкновения будет

изменяться, микроконтроллер все же сможет принять решение о развертывании подушки.

Инерциальные датчики Freescale Semiconductor выпускаются в SOIC- и QFN-корпусах повышенной прочности и герметичности и выдерживают ударные воздействия с ускорением 500g при включенном питании и 2000g без питания.

В таблице 2 приведены основные технические характеристики всех доступных на сегодняшний день акселерометров компании. Первые четыре модели в таблице — новейшие разработки. Их главная особенность в том, что они являются четырехдиапазонными. Нужный диапазон измерения устанавливается подачей определенной комбинации логических уровней на два управляющих входа датчи-

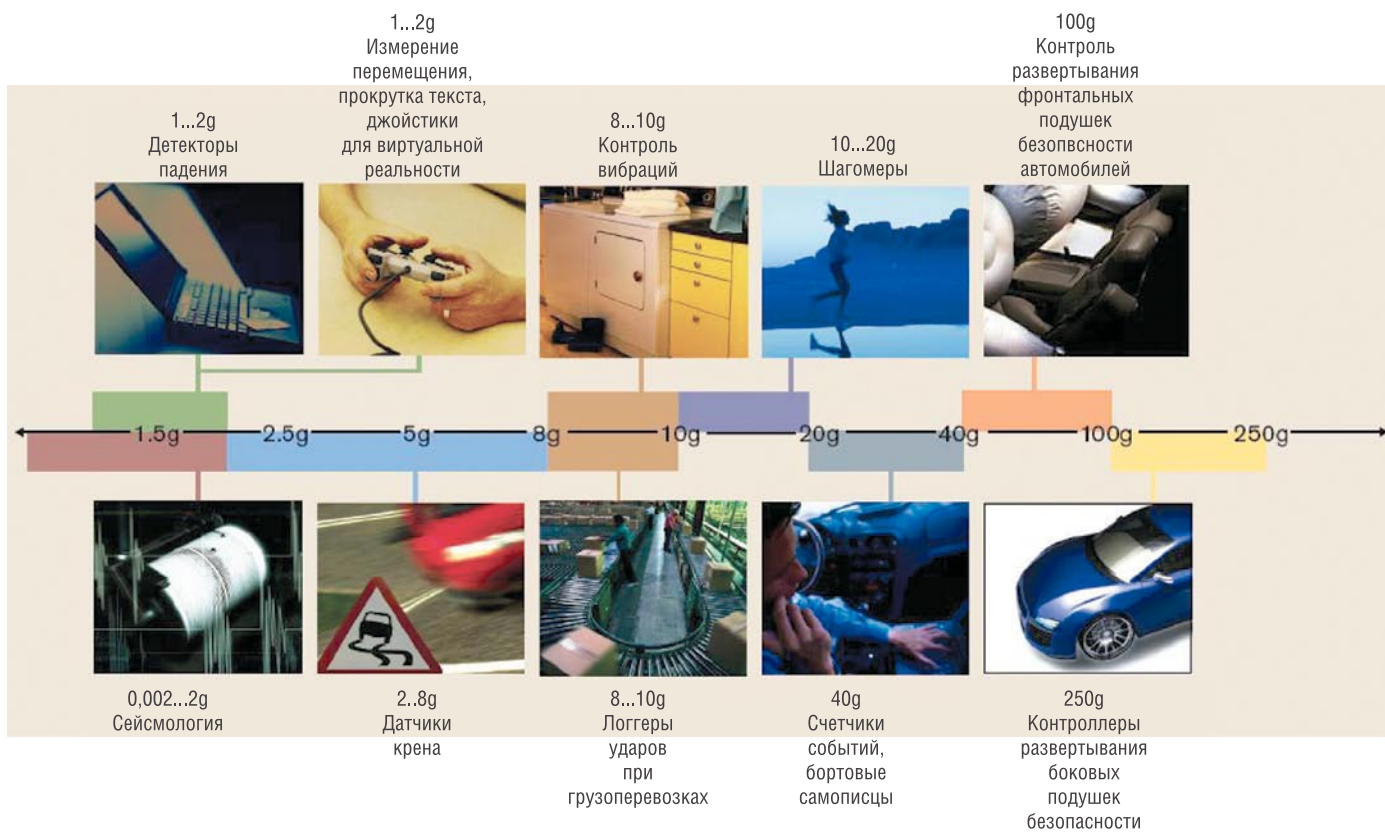


Рис. 5. Свойственные различным применениям рабочие диапазоны акселерометров Freescale Semiconductor

ка. При этом он распространяется на все чувствительные оси.

ПРИМЕНЕНИЕ

Среди многочисленных автомобильных применений акселерометров наиболее типичным является система воздушных подушек безопасности. В таких системах акселерометры применяются, чтобы определить серьезность аварии и необходимость разворачивания подушки. Вместе с этим акселерометры могут использоваться, чтобы определить рыскание автомобиля, движение под большими уклонами или потерю тяги. В этом случае датчики устанавливаются на передаче, рулевой тяге и колесах автомобиля. При потере тяги или управления автомобилем, микроконтроллеры используют данные акселерометров, чтобы определить направление и положение автомобиля и внести коррективы. Еще одним очень распространенным применением в автомобильной области являются противоугонные системы, в которых инерциальные датчики детектируют качание и удары по охраняемому автомобилю.

Несмотря на то, что основным назначением инерциальных датчиков является измерение ускорения, эти датчики все же больше чем акселерометры. Способные измерять наклон, движение, положение, силу ударов и вибрацию, они осуществили прорыв во многих других отраслях, среди которых бытовая, промышленная, компьютерная, геодезическая, строительная и медицинская техника:

- Автомобильная электроника:**
 - Подушки безопасности;
 - Датчики критического крена;
 - Краш-тесты;
 - Динамический контроль;
 - Тормозная система;
 - Противоугонная система;
 - Адаптивная подвеска.
- Промышленная/гражданская электроника:**
 - Инклинометры;
 - Защита жестких дисков PC;
 - MP3-проигрыватели;
 - Электронные компасы;
 - Эргономичный инструмент;
 - Стабилизаторы изображения;
 - Прокрутка текста в PDA;
 - Манипуляторы для систем виртуальной реальности;
 - Охранные системы;

- GPS-навигаторы;
- Логгеры событий/черные ящики;
- Контроль погрузки/выгрузки товара;
- Ударные выключатели;
- Акустическое оборудование;
- Контроль осанки;
- Сейсмографы;
- Робототехника.

Медицинская/спортивная электроника:

- Физиотерапевтическое и реабилитационное оборудование;
- Шагомеры;
- Спортивно-медицинское оборудование;
- Спортивное диагностическое оборудование.

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

Для быстрой оценки характеристик той или иной модели инерциального датчика, а также ускорения выхода продукта на рынок, Freescale Semiconductor предлагает целое семейство демонстрационных и отладочных модулей, а на сайте компании можно найти множество готовых решений для реализации самых распространенных применений (изме-

Таблица 3. Популярные средства отладки для инерциальных датчиков Freescale Semiconductor

KIT3109MMAx2x0Q	RD3112MMA7260Q	RD3152MMA7260Q
		
<p>Данная плата предназначена для оценки характеристик и разработки устройств с использованием инерциальных датчиков в корпусе QFN16 с переключаемыми диапазонами измерения MMA7260Q, MMA7261Q, MMA6270Q и MMA6280Q.</p>	<p>Отладочный модуль STAR с интерфейсом RS-232 в комплекте с программным обеспечением для PC дает пользователю дополнительные возможности в визуальной оценке ключевых характеристик трех-осевого акселерометра MMA7260Q и в ускорении проектирования.</p>	<p>Беспроводной ZigBee™ отладочный модуль ZSTAR с USB интерфейсом представляет собой улучшенную версию популярного модуля STAR, предназначенного для визуализации характеристик и отладки устройств с применением трех-осевого акселерометра MMA7260Q.</p>

рение ударов, вибраций и крена) со схемотехнической и программной поддержкой. Для ознакомления в таблице 5 приводятся несколько вариантов оценочных модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.И Панфилов, В.С.Иванов. Датчики фирмы Motorola.
2. Sensor devices databook.// www.freescale.com.

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: sensors.vesti@compel.ru.



ДАТЧИКИ
лучшие решения
от лидера МЭМС-технологий



Датчики давления

± 2,5 КПа...1,0 МПа

Датчики ускорения

- ±1,5...± 250 g
- 1-, 2- и 3-осевые модели
- регулировка чувствительности

Датчики присутствия/прикосновения

- 9 чувствительных электродов
- поддержка до 28 сенсорных площадок
- возможность удаленного мониторинга

Специализированные ИМС для систем пожарного оповещения

- готовое решение в одной микросхеме
- возможность объединения в сеть
- поддержка ионизационных и оптических датчиков

