

Датчики малых ускорений компании Freescale Semiconductor

В статье дан краткий обзор датчиков измерения малых линейных ускорений (датчиков ускорения) компании Freescale Semiconductor. Приводятся краткие сведения о принципе работы MEMS-акселерометров и их основных характеристиках. Обзор семейств датчиков ускорения Freescale Semiconductor, а также ряд примеров их применения дают возможность выбрать необходимое семейство датчиков для различных разрабатываемых приборов и устройств.

Александр СЫРОВ
alexandr.syrov@eltech.spb.ru

Freescale Semiconductor впервые вышла на рынок датчиков MEMS (Micro-Electric-Mechanical Systems — микроэлектро-механические системы) в начале 1980-х [3]. Через несколько лет компания представила датчики давления с температурной компенсацией, а затем, в конце 1980-х, начала разрабатывать первые датчики ускорения для рынка автомобильных подушек безопасности.

В настоящий момент Freescale Semiconductor обладает одной из самых широких линеек датчиков на рынке и продолжает развивать это направление. Компания недавно достигла важного этапа своей деятельности: Freescale Semiconductor уже осуществила поставку 1 млрд датчиков.

Основные сферы применения датчиков ускорения

Начиная наш краткий обзор, хотелось бы остановиться, прежде всего, на основных сферах применения датчиков ускорения в различных отраслях.

Применение данных устройств основано на их способности преобразования статического и динамического ускорения в электрическую величину (емкость, сопротивление, напряжение и др.) для дальнейшего использования в различных устройствах, фиксирующих те или иные механические явления.

В таблице 1 представлены некоторые физические явления, параметры которых могут фиксироваться устройствами, в состав кото-

рых входят датчики ускорения. В таблице 1 отмечены области применения датчиков, а также частные задачи, при которых такие явления происходят [2].

Помимо тех применений, которые перечислены в таблице 1, существует еще довольно большой спектр приложений, где используются данные устройства.

Большое количество применений датчиков ускорений, прежде всего, обусловлено переходом от использования чисто механических систем к системам, которые используют для измерения ускорения электрические и механические явления.

Рассмотрим структуру датчиков ускорений и их принцип работы.

Датчики измерения ускорения: принцип работы и классификация

Датчики ускорения преобразуют приложенное к датчику статическое или динамическое ускорение как входную величину. В зависимости от типа прибора в качестве выходной величины используется либо электрический сигнал, либо электрический параметр (C , R). На рис. 1 представлена схема датчика ускорения.

Датчик ускорения состоит из чувствительного элемента (ЧЭ) и подсоединенного к нему преобразователя механического смещения. ЧЭ представляет собой инерциальную массу, закрепленную на упругом подвесе на корпусе датчика.

Принцип работы датчиков ускорения можно описать следующим образом. При воздействии ускорения на датчик чувствительный элемент смещается за счет инерции.

Если акселерометр механический, то смещение чувствительного элемента преобразуется в смещение стрелки прибора. Если в качестве выходной величины используется электрический сигнал, то на выходе преобразователя смещения генерируется электрический сигнал, который далее преобразуется для использования в различных системах автоматического управления.

Таким образом, датчики как приборы для измерения линейных ускорений могут быть классифицированы по различным признакам. Например:

- По виду электрического преобразователя смещения чувствительного элемента: пьезоэлектрический, пьезорезистивный или тензотетрический, емкостной.
- По принципу действия: генераторные и параметрические. Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал. Параметрические датчики осуществляют преобразование в изменение какого-либо электрического параметра (L , C или R).

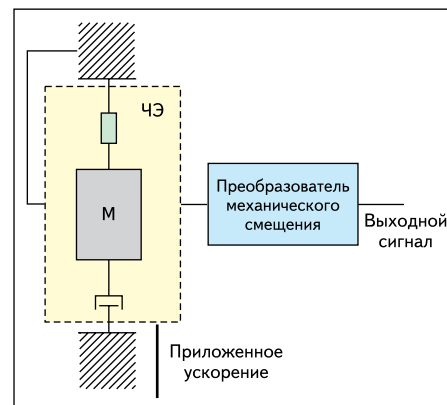


Рис. 1. Схема датчика ускорения

Таблица 1. Применение датчиков ускорения

	Применение	Ускорение
Наклон	Инclinометры, электронные игры, прокрутка теста / интерфейс пользователя, поворот изображения, LCD-проекция, физиотерапия, стабилизация видео- и фотоизображения	1–2g
Движение	Навигация движения объекта, обратная связь с GPS / ГЛОНАСС, приборы защиты от хищения, карты маршрута, защита при свободном падении, защита жесткого диска, отслеживание падений, регистрация падений, управление движением, счисление пути, инерциальные измерительные устройства (Inertial Measurement Unit, IMU)	1–2g
Вибрация	Отслеживание сейсмической активности	1g
	Интеллектуальный электропривод, балансировка и отслеживание вибраций, акустическое оборудование	8–10g
Удар	Шагомеры, ударные выключатели, удары при транспортировке	8–10g, 20–30g
	Воздушные подушки, регистрация падения, черные ящики / регистраторы событий	40–250g

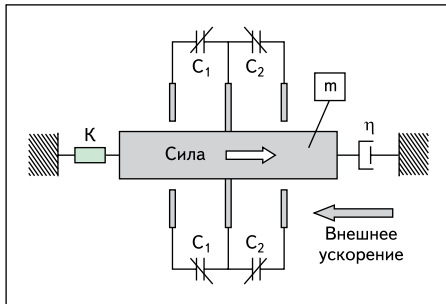


Рис. 2. Схема емкостного датчика ускорения

- В зависимости от типа выходного электрического сигнала: с аналоговым выходом, с цифровым выходом.

Помимо перечисленных признаков, можно отметить еще множество других. Но мы не будем на них подробно останавливаться, поскольку это выходит за рамки нашего обзора.

Большой популярностью в настоящее время пользуются датчики ускорений, сделанные по технологии MEMS.

Для технологии MEMS наиболее перспективными оказались тензометрические и емкостные датчики, которые оказалось возможным сформировать в поверхностных и объемных структурах кремниевой пластины. Все эти датчики в настоящее время разрабатываются различными компаниями, эти устройства занимают собственные ниши в разных областях применения [2].

Пленочные пьезоэлектрические датчики ускорения выполняются на основе многослойной пьезоэлектрической полимерной пленки. Датчики этого типа имеют плохую повторяемость характеристик в серийном производстве, высокую чувствительность к изменению температуры и давления. Они самые простые и дешевые.

Более точными являются поверхностные емкостные датчики и объемные интегральные датчики. Как раз о емкостных генераторных датчиках для измерения малых ускорений компании Freescale Semiconductor мы расскажем подробнее. Сразу оговоримся, что под малыми ускорениями будем считать диапазон ускорений до $20g$, где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Емкостные MEMS датчики ускорения

В настоящее время применение емкостных датчиков в промышленной и бытовой электронике обусловлено рядом преимуществ датчиков данного типа. Прежде всего, отметим высокую точность и воспроизводимость измерений, защиту от перегрузок и прочность, высокий КПД, малые габариты, широкий диапазон рабочих температур.

Рассмотрим принцип работы емкостных датчиков ускорения. Схематическое изображение датчика представлено на рис. 2.

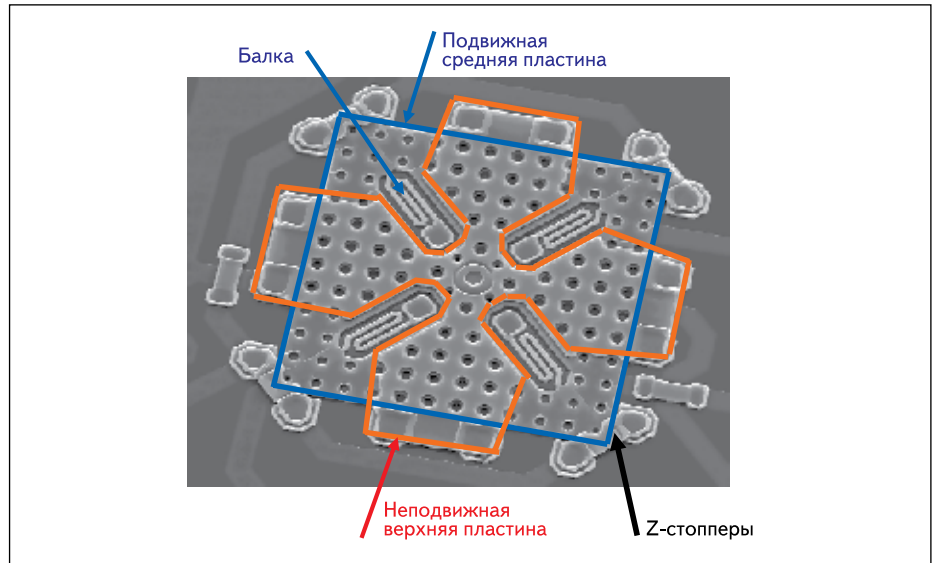


Рис. 3. Конструкция чувствительного элемента G-Cell

Внутри датчика находится элемент, у которого имеется две жестко закрепленные крайние пластины и одна центральная пластина, прикрепленная к инерциальной массе, которая может сдвигаться под действием инерциальных сил, вследствие упругого соединения. Расстояние между пластинами при этом изменяется, что приводит к изменению емкости между пластинами. Таким образом, схематично данную структуру можно представить в виде последовательного соединения двух конденсаторов с эквивалентными емкостями C_1 и C_2 . Емкость одного из них уменьшается, а другого — увеличивается в соответствии с выражением [2]:

$$C = (A \times \epsilon) / D,$$

где A — площадь пластины; ϵ — диэлектрическая постоянная; D — расстояние между пластинами.

В качестве чувствительного элемента для трехосевых датчиков компания Freescale Semiconductor применяет свою микромеханическую систему «батутной» конструкции — элемент G-Cell, представленный на рис. 3.

G-Cell включает в себя четыре пластины из поликристаллического кремния, три из которых образуют обкладки конденсаторов, а четвертая используется для самотестирования.

Для фиксации изменения емкости применяется источник тока с заданной длительностью импульса. Напряжение, снимаемое с конденсатора, в данном случае обратно пропорционально его емкости. Величина изменения этого напряжения достаточно мала, что обусловлено малым сдвигом центральной пластины. Поэтому осуществляют измерение разности между емкостями двух конденсаторов, а затем выполняют усиление данного сигнала.

Таким образом, генераторный датчик с емкостным чувствительным элементом преобразует линейные ускорения в совокупность электрических сигналов. Датчики могут иметь одну или несколько осей чувствительности.

Типовые схемы управления микроэлектронными датчиками ускорения содержат следующие блоки: блоки переключения конденсаторов, динамической фильтрации, ОУ, цифровую логику и ППЗУ, хранящее данные калибровки, осуществляемой при изготовлении датчика. Упрощенная структура схемы управления для трехосевого датчика ускорения с аналоговым выходом приведена на рис. 4. На этом рисунке помимо структуры также обозначены питающие входы датчика (V_{DD} , V_{SS}), сигнальные выходы по трем осям (X_{OUT} , Y_{OUT} , Z_{OUT}). Помимо стандартных функций датчики ускорения также имеют ряд функциональных особенностей: выбор диапазона измерения и режима работы/сна, самотестирование и другие. Эти особенности более детально будут описаны позднее, а пока отметим назначение входов датчика:

- g-Select. Логический вход для выбора того или иного диапазона измерения ускорения.
- Sleep. Данный логический вход предназначен для перевода датчика в режим пониженного энергопотребления.
- Self Test. Логический вход для самотестирования и проверки нормального функционирования работы датчика.

Одним из последних достижений в области совершенствования структуры датчика стало введение в его состав АЦП. При этом удалось разгрузить микроконтроллер от операций преобразования данных в АЦП.

Кроме того, выходной сигнал цифрового датчика менее подвержен влиянию помех. Блок-схема трехосевого цифрового датчика ускорения представлена на рис. 5.

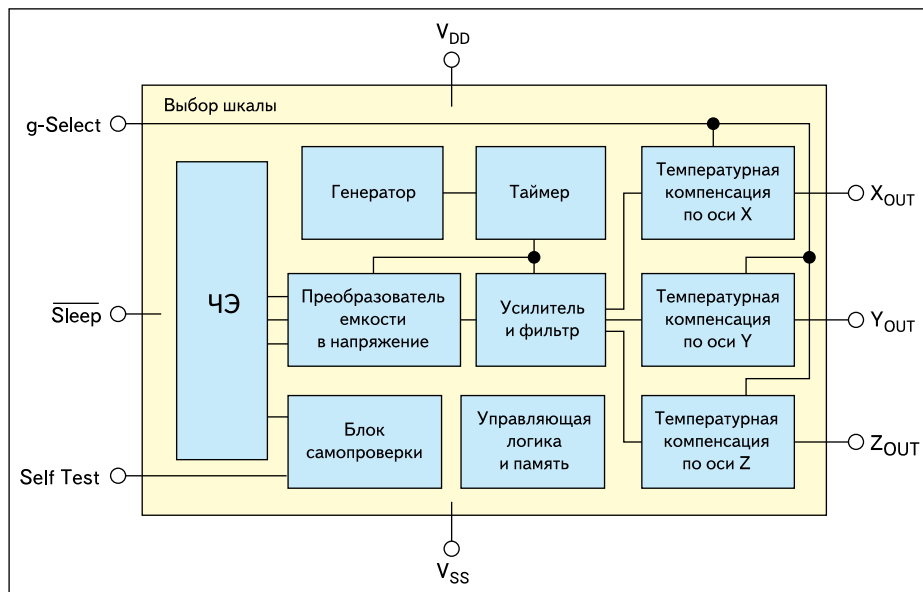


Рис. 4. Блок-схема трехосевого аналогового датчика ускорения

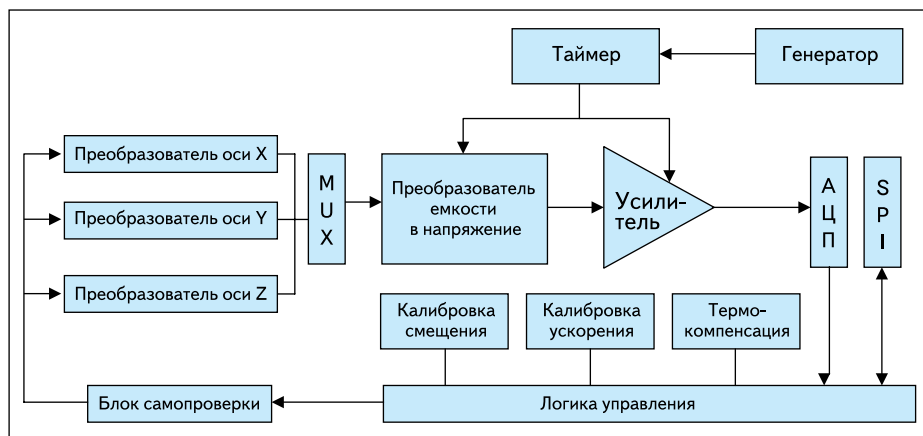


Рис. 5. Блок-схема трехосевого цифрового датчика ускорения

Основные характеристики семейства 3-осевых емкостных MEMS датчиков ускорения компании

Основной характеристикой, определяющей применение акселерометров в различных устройствах, является диапазон измеряемого ускорения.

Помимо диапазона измеряемого ускорения среди основных характеристик, определяющих рабочий диапазон датчиков ускорения, можно отметить диапазоны напряжения питания, потребляемых токов и рабочих температур.

Аналоговые датчики ускорения имеют статическую передаточную характеристику, похожую на характеристику ОУ. Выходным сигналом является напряжение, пропорциональное ускорению, приложенному к датчику ускорения. В цифровых датчиках ускорения выходной сигнал характеризуется численным значением кода, соответствующим определенной величине приложенного уско-

рения. Как правило, в качестве цифрового интерфейса используются типовые интерфейсы: I²C или SPI.

Кроме основных характеристик, датчики ускорения характеризуются параметрами, которые определяют качество их работы. Типы этих параметров определяются для различных датчиков, как аналоговых, так и цифровых. Рассмотрим типы этих характеристик для акселерометров с различным типом выходного сигнала.

Смещение при нулевом ускорении

Как правило, смещение является обычной характеристикой при измерении как отрицательных, так и положительных величин ускорений. В датчиках с аналоговым выходом эта величина численно равна напряжению смещения, а в датчиках с цифровым выходом — значению кода при нулевом ускорении.

Чувствительность

Чувствительность датчика ускорения определяется как выходной сигнал, со-

ответствующий ускорению в один g. Соответственно, для датчиков ускорения с аналоговым выходом это будет напряжение (мВ/g), а для датчиков с цифровым выходом — это значение кода (LSB/g). Например, при чувствительности измерения 308 мВ/g, диапазоне измерения $\pm 4g$ и смещении при нулевом ускорении 1,4 В диапазон выходного сигнала будет составлять: $(1,4 \pm 0,308 \times 4)$, то есть 0,168–2,632 В. Чувствительность зависит, прежде всего, от технологии производства. Помимо технологии, чувствительность определяется также пределом измерения ускорения, напряжением питания в аналоговых датчиках и разрядностью цифровой части — в цифровых.

Поперечная чувствительность

Помимо основной чувствительности, имеется еще и величина поперечной чувствительности, которая определяется выходным сигналом при подаче входного ускорения по направлениям, перпендикулярным основной оси. Она задается в процентах от полного диапазона выходного сигнала (%FS, где FS — Full Scale, полный диапазон).

Температурные характеристики

С изменением температуры изменяется и сигнал датчика. К этому можно отнести как изменение смещения при нулевом ускорении, так и изменение величины чувствительности. Первая ошибка указывается в эквивалентном смещении на один градус Цельсия, а вторая — в процентах от максимального входного сигнала на один градус Цельсия.

Пусть датчик с диапазоном измерения $\pm 1,5g$ имеет температурный дрейф нуля — $2 \text{ mg}/^\circ\text{C}$, температурную ошибку чувствительности $0,03\%/^\circ\text{C}$, смещение при нулевом ускорении 1,4 В и чувствительность 800 мВ/g при температуре окружающей среды 25°C . При изменении температуры до 85°C смещение при нулевом ускорении составит: $1,4 + 0,002 \times (85 - 25) \times 0,800 = 1,496 \text{ В}$. При внешнем ускорении 1,5g и температуре окружающей среды 85°C величина выходного сигнала составит: $1,496 + 1,5 \times 0,800 + 0,0003 \times 1,5 \times (85 - 25) = 2,723 \text{ В}$.

Нелинейность

Отклонение характеристики от линейной. Измеряется в процентах от полного диапазона выходного сигнала.

Частота среза

Помимо усилителя, обеспечивающего увеличение чувствительности, цепи согласования в аналоговых датчиках содержат еще фильтр низких частот, который гарантирует, что тактовая частота цифровой ИС или механический резонанс не повлияют на выходной сигнал.

Данный параметр также справедлив и для цифровых датчиков (в ряде случаев его может заменять такой параметр, как частота отсчетов).

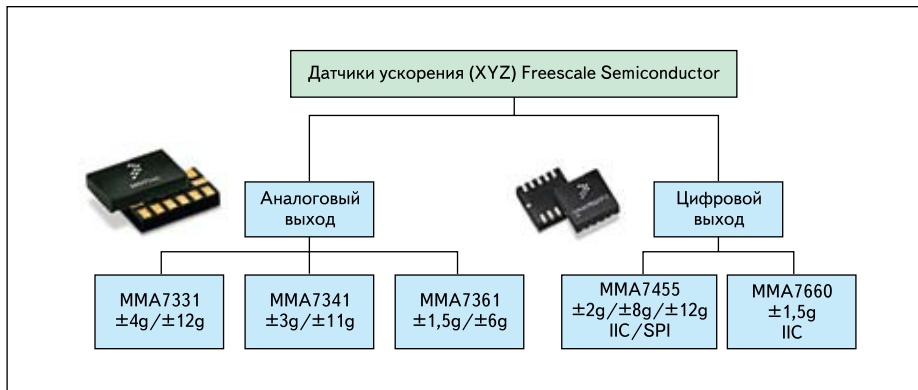


Рис. 6. Семейства трехосевых датчиков ускорения

Таблица 2. Основные характеристики трехосевых аналоговых датчиков ускорения

Наименование характеристик	Семейство eMercury ⁽⁶⁾⁽⁷⁾		
	MMA7331	MMA7341	MMA7361
Диапазон ускорений, g	±4/±12	±3/±11	±1,5/±6
Чувствительность, мВ/g (LSB/g)	308/83,6	440/117,8	800/206
Типовое значение смещения при нулевом ускорении, В	1,4 ⁽¹⁾	1,65 ⁽²⁾	1,65 ⁽²⁾
Разброс смещения при нулевом ускорении, В	1,316÷1,484 ⁽¹⁾	1,551÷1,749 ⁽²⁾	1,485÷1,815 ⁽²⁾
Температурный дрейф нуля ⁽³⁾ , мг/°C		±2,0	
Температурная ошибка чувствительности ⁽³⁾ , %FS/°C		±0,03	
Частота среза по осям XY, Гц		400	
Частота среза по оси Z, Гц		300	
Температурный диапазон, °C	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Потребляемый ток в активном режиме, мкА	400 ⁽⁴⁾	400 ⁽⁵⁾	400 ⁽⁵⁾
Потребляемый ток в спящем режиме, мкА	3 ⁽⁴⁾	3 ⁽⁵⁾	3 ⁽⁵⁾
Спектральная плотность мощности RMS (0,1 Гц – 1 кГц), мкВ/√Гц		350	
Нелинейность выходного сигнала по осям X, Y, Z, %FS		-1,0...1,0	
Поперечная чувствительность, %		-5,0...5,0	

Примечания. (1) Измерено при напряжении питания 2,8 В и температуре окружающей среды 25 °C.

(2) Измерено при напряжении питания 3,3 В и температуре окружающей среды 25 °C.

(3) Измерено при минимальном диапазоне измерения ускорения.

(4) При напряжении питания 2,8 В.

(5) При напряжении питания 3,3 В.

(6) Напряжение питания — 2,2–3,6 В.

(7) Тип корпуса — LGA.

Таблица 3. Основные характеристики трехосевых цифровых датчиков ускорения

Наименование характеристик	Ion ⁽⁶⁾	Tron ⁽⁶⁾
	MMA7455	MMA7660
Тип выхода	I ² C/SPI	I ² C
Диапазон ускорений, g	±2/±4/±8	±1,5
Разрядность, бит	8/10 ⁽¹⁾	6
Чувствительность для диапазонов ±2g (8 бит)/±4g (8 бит)/±8g (8 бит)/±8g (10 бит), LSB/g	64/32/16/64	21,33
Типовое значение смещения при нулевом ускорении для режимов с разрядностью 8/10 бит ⁽²⁾ , кол-во отсчетов	128/512	0
Разброс смещения при нулевом ускорении для режимов с разрядностью 8/10 бит ⁽²⁾ , кол. отсчетов	107–149/491–533	-3...3
Температурный дрейф нуля по осям X/Y/Z ⁽³⁾ , мг/°C	–	-1,3/1,5/-1,0
Температурная ошибка чувствительности ⁽³⁾ , %FS/°C	–	±0,01
Частота отсчетов, Гц	125/250	1–120 ⁽³⁾
Температурный диапазон, °C	-40...+85	-40...+85
Потребляемый ток в активном режиме ⁽⁵⁾ , мкА	400	47–294 ⁽⁴⁾
Потребляемый ток в спящем режиме ⁽⁵⁾ , мкА	2,5	2/0,4 ⁽⁷⁾
Нелинейность выходного сигнала по осям X, Y, Z	-1...1%FS	±1 отсчет
Поперечная чувствительность, %	-5...5	±1
Тип корпуса	LGA	DFN

Примечания. (1) Для диапазона ±8g имеется два режима с разрядностью выходного сигнала 8 и 10 бит.

(2) Измерено при напряжении питания 2,8 В и температуре окружающей среды 25 °C.

(3) Доступно 8 режимов частот отсчетов: 1/2/4/8/16/32/64/120 Гц.

(4) Потребление тока различается в зависимости от частоты отсчетов: 47/49/54/66/89/133/221/294 мкА.

(5) При напряжении питания 2,8 В.

(6) Напряжение питания — 2,4–3,6 В.

(7) Потребление в режиме ожидания (при активном интерфейсе I²C, при выключенном аналоговом питании) — 2 мкА, в режиме OFF (при выключенном аналоговом питании и неактивном интерфейсе I²C) — 0,4 мкА.

Резонансная частота чувствительного элемента

При входных сигналах с такой частотой колебания чувствительного элемента могут усиливаться за счет резонанса, что надо учитывать в разработке.

Динамические характеристики

Из динамических характеристик можно отметить следующие: время возврата из состояния насыщения в рабочую область, время включения, время возврата из режима пониженного энергопотребления. Наряду с этими характеристиками имеется еще и целый ряд иных динамических характеристик, которые определяют режимы работы датчика.

Шумовые характеристики

Данные параметры более актуальны для датчиков с аналоговым выходом. Здесь стоит отметить спектральную плотность мощности на выходе датчика, которая характеризует белый шум, наложенный на полезный сигнал на выходе датчика.

Характеристики цифрового интерфейса

Прежде всего, это тип интерфейса: I²C или SPI. И, соответственно, все характеристики, которые связаны с данными интерфейсами (скорость передачи данных/частота, уровни входных напряжений и токов, время инициализации и др.)

Кроме перечисленных, имеется целый ряд параметров, которые не требуют детального объяснения, но которые необходимо учитывать в разработке готового устройства: это рабочий диапазон напряжения питания, величина выходной емкости, выходное сопротивление, токи потребления в активном режиме и режиме standby, температурный режим и др.

И наконец, это предельные характеристики: предельно допустимое ускорение, максимальный диапазон электрических напряжений, неразрушающая высота падения, допустимый диапазон температуры хранения. Выход за предельно допустимые параметры может привести не только к отклонению от гарантированных значений параметров, но и к повреждению датчика.

Таким образом, датчики ускорения обладают довольно широким спектром характеристик, которые необходимо учитывать при разработке того или иного устройства. Компания Freescale Semiconductor предлагает аналоговые и цифровые трехосевые датчики ускорения с диапазоном измеряемого ускорения до 12g, классификация семейств которых представлена на рис. 6.

В таблицах 2 и 3 представлены основные характеристики для рассматриваемых датчиков ускорения компании Freescale Semiconductor.

Из характеристик, представленных в таблице 2, обратите внимание на следующие:

- Избирательный диапазон измерения.

- Низкое энергопотребление: 400 мкА в активном режиме.
- Наличие режима сна: 3 мкА.
- Невысокий температурный дрейф.

Сочетание в данных датчиках таких преимуществ, как низкое электропотребление, избирательная чувствительность, невысокие шумы выходного сигнала, а также ряда дополнительных функций позволяет реализовывать на их основе разнообразные устройства, в которых ключевым преимуществом является высокая точность и низкое энергопотребление. К ним можно отнести, например, мобильные устройства, в которых решаются такие задачи, как определение наклона, мониторинг движения и счисление пути.

Использование цифровых датчиков дает фиксированное ограничение по разрядности и, соответственно, точности измерений, но избавляет от необходимости установки схемы фильтрации и преобразования выходного сигнала. Во множестве применений, где не требуется высокая точность измерений, это является одним из ключевых преимуществ. Помимо этого, отметим следующие особенности цифровых датчиков ускорения Freescale Semiconductor:

- Программируемый диапазон измерения для MMA7455.
- Низкое энергопотребление: 47 мкА при частоте отсчетов 1 Гц для датчика MMA7660.
- Наличие режима ожидания (2 мкА) и OFF-режима для MMA7660 (0,4 мкА) и режима сна для MMA7455 (2,5 мкА).
- Избирательная частота отсчетов для оптимизации энергопотребления для MMA7660.
- Избирательная чувствительность для диапазона измерения $\pm 8g$: 16 или 64 бит — для датчика MMA7455.
- Различные режимы для обнаружения наклона, движения, свободного падения и пр.

Данные особенности позволяют использовать такие датчики в разнообразных мобильных и стационарных устройствах защиты от кражи, игровых манипуляторах, для детектирования определения свободного падения, коррекции координат положения объекта, в электронных компасах.

Функциональные особенности датчиков ускорения Freescale Semiconductor

Как было отмечено ранее, у датчиков Freescale Semiconductor имеется ряд функциональных особенностей, применение которых позволит добиться лучшего качества конечного устройства. Активация данных функций осуществляется либо подачей сигнала высокого уровня на логический вход аналогового датчика, либо записью определенного значения в соответствующий регистр в цифровом датчике.

Режим пониженного энергопотребления

Перевод датчика в режим пониженного энергопотребления. Применяется в мобильных приложениях, которые являются критичными к энергопотреблению.

Выбор диапазона измерения

Данная функция предназначена для выбора того или иного диапазона измерения и, соответственно, выбора чувствительности измерения линейного ускорения.

Определение нулевого ускорения

Активизация логического выхода при фиксации нулевого ускорения по всем осям. Применяется в качестве дополнительного сигнала, который может быть заведен на вход микроконтроллера (МК), как внешнее прерывание для активации защиты устройства при свободном падении.

Самотестирование

Эта диагностическая функция предполагает проверку целостности механической и электрической частей датчика. Она необходима в тех применениях, в которых должна гарантироваться работоспособность и целостность всей системы на протяжении всего времени использования. Также данную функцию можно использовать при проверке правильности монтажа датчика на печатную плату. Когда функция активирована, электростатическая сила, приложенная к каждой оси, вызывает смещение чувствительного элемента. Величины типовых смещений при активизации функции указаны в документации на датчики.

Определение порогов и импульсов линейного ускорения

Как правило, этот режим отличается от обычного режима измерения датчика тем, что датчик определяет возникновение конкретного события и выдает соответствующий сигнал на МК. Соответственно, возможно определение следующих событий:

- Приложенное ускорение больше установленного значения.
- Приложенное ускорение меньше установленного значения.
- Фиксация появления одного импульса приложенного ускорения.
- Фиксация появления двух импульсов приложенного ускорения.

Этот режим может использоваться при определении таких событий, как фиксация движения или свободного падения.

Выбор частоты отсчетов

В ряде случаев нет необходимости постоянно использовать активный режим работы с максимальной частотой отсчетов и, соответственно, с максимальным током потребления. В периоды ожидания частота отсчетов может быть снижена, и, следовательно, может быть снижен ток потребления.

Эта функция, прежде всего, ориентирована на устройства, где необходимо снизить ток потребления.

Автопробуждение

Эта функция используется совместно с функцией выбора частоты отсчетов и также направлена на снижение энергопотребления. При необходимости снизить потребление микросхемы данная функция автоматически снижает частоту отсчетов при отсутствии движения в течение заданного периода времени, а при фиксировании начала движения автоматически повышает частоту отсчетов до заданного уровня.

Оценочные платы

Для оценки характеристик датчиков и для ускорения этапа разработки Freescale Semiconductor разрабатывает и производит оценочные платы. Сейчас компания выпускает различные типы оценочных плат, начиная с простейших, на которых установлен датчик с разведенными выводами на DIP-разъемы, и заканчивая беспроводными модулями обмена информацией на частотах 2,4 ГГц или 433 МГц, в которых используются трансиверы и микроконтроллеры, а также датчики ускорения собственного производства.

Примеры использования таких плат описываются в статьях по применению (Application Notes, AN). Статьи содержат информацию о таких применениях, как измерение углов наклона объекта [4], обнаружение свободного падения [5], счисление пути [6], и других задачах, которые стоят перед разработчиками. В данных описаниях содержится детальная информация о необходимых расчетах, практические рекомендации по проектированию устройств, примеры исходного кода на языке программирования C.

Помимо вышеперечисленного, в статьях и документации имеются примеры подключения датчиков ускорения с цифровыми и аналоговыми интерфейсами (рис. 7–9). На рис. 7 представлен пример подключения цифрового датчика MMA7455 по интерфейсу SPI. Как видно на рис. 7, в этой схеме объединены цифровое и аналоговое питание (DVdd_IO, AVdd), выведены стандартные сигналы интерфейса SPI (CLK, MISO, MOSI, CS). Помимо этого, выведены 2 сигнала внешних прерываний (INT2, INT1), которые используются для выдачи прерываний при достижении установленных порогов и импульсов приложенного линейного ускорения.

На рис. 8 приведен пример подключения цифрового датчика MMA7455 по интерфейсу I²C. Данная схема отличается от предыдущей только подключением по цифровому интерфейсу со своими стандартными сигналами (SCL, SDA) и отдельной шиной питания, к которой подтянута шина I²C.

Рекомендуемую схему подключения аналогового датчика к микроконтроллеру можно

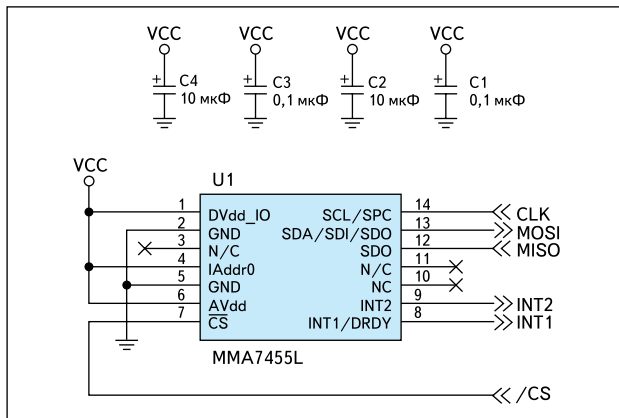


Рис. 7. Пример подключения датчика по SPI-интерфейсу

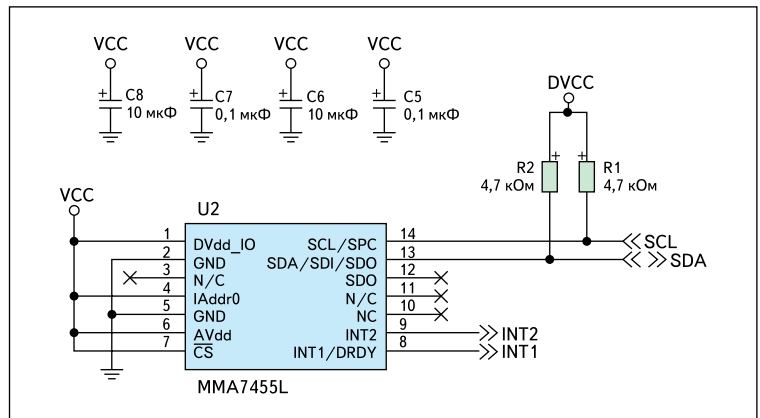


Рис. 8. Пример подключения датчика по I2C-интерфейсу

найти на рис. 9. Все логические входы и выходы подключены напрямую к микроконтроллеру, что предоставляет возможность выбора диапазона измерения (g -Select), активировать режим сна (Sleep) и функцию самотестирования (Self Test), а также зафиксировать состояние, при котором ускорения по всем осям равны нулю ($0g$ -Detect). По выходным цепям (X_{OUT} , Y_{OUT} , Z_{OUT}) рекомендуется устанавливать конденсаторы для уменьшения шума от внутреннего фильтра на переключаемых конденсаторах.

Эта статья носит обзорный характер и, естественно, не включает в себя всю необходимую информацию о датчиках ускорения Freescale Semiconductor и о проектировании устройств на их основе. Дополнительную информацию читатели могут найти на сайте производителя www.freescale.com, а также в онлайн-семинарах на сайте компании «Элтех» [7].

При выборе того или иного датчика ускорения, прежде всего, необходимо руководствоваться диапазоном измеряемого ускорения и требуемым типом выходных сигналов. Цифровые датчики ускорения, в отличие от аналоговых датчиков, как правило, используются в тех приложениях, где не требуется тщательной настройки для получения высокой точности измерений. С другой

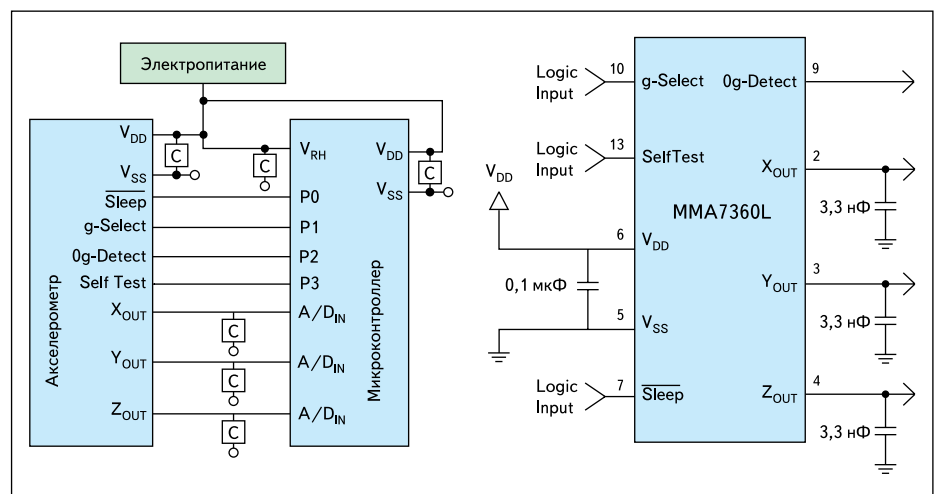


Рис. 9. Рекомендуемая схема подключения датчика с аналоговым выходом к контроллеру

стороны, цифровые датчики ускорений обладают большей функциональностью, чем аналоговые, и их применение, во-первых, позволяет избавиться от необходимости реализации схем фильтрации, масштабирования и преобразования, а, во-вторых, позволяет разгрузить микроконтроллер от необходимости выполнения дополнительных функций, таких как определение превышения порога, обнаружение импульса и пр.

Благодаря хорошему качеству и довольно низкой цене (по сравнению с аналогами, которые выпускают конкуренты) датчики Freescale Semiconductor могут применяться для создания надежных качественных устройств серийного производства. А наличие готовых оценочных комплектов и детальной информации по применению позволит ускорить процесс разработки и создать конкурентоспособное устройство в короткие сроки.

Литература

- <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=0112691118>
- Архипов А. М., Панфилов Д. М., Иванов В. С. Датчики Freescale Semiconductor. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.
- <http://www.memsnet.org/mems/what-is.html>
- http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3107.pdf?fsrch=1
- http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3151.pdf?fsrch=1
- http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3397.pdf?fsrch=1
- http://www.eltech.spb.ru/webinar_record.html?id=4