

# Акселерометры Analog Devices. Устройство, применение и непрерывное обновление

Александр КАЗАКЕВИЧ  
alexandr.kazakevich@eltech.spb.ru

**В статье рассказывается об устройстве и применении интегральных акселерометров компании Analog Devices, приводится также информация о линейке датчиков с учетом самых недавних обновлений.**

## Введение

Акселерометры реагируют на ускорение или силу, действующую на сенсорный элемент датчика. Ускорение, статическое или динамическое, возникает под действием силы, ускоряющей датчик, например, вследствие действия гравитации. Следовательно, акселерометры могут применяться для измерения силы, ускорения, вибрации, движения или перемещения, а также положения и угла наклона (инклинометры). Линейка однокристалльных интегральных акселерометров компании Analog Devices Inc. (ADI), выполненных по технологии *i*MEMS, покрывает практически все области применения устройств подобного типа — от систем управления автомобильными подушками безопасности до сотовых телефонов.

Высокие рабочие характеристики, малое энергопотребление, интегрированная функциональность обработки сигнала, возможность калибровки и программирования, миниатюрность, низкая цена — все это делает акселерометры ADI чрезвычайно привлекательными для разработчиков, «закладывающих» эти устройства в новые изделия. Так, согласно самой последней информации, уже

250 млн. единиц акселерометров ADI продано к настоящему времени на различные рынки, включая автомобильный, компьютерный, промышленный. Продукция ADI уже достаточно хорошо известна специалистам, но, благодаря маркетинговой стратегии компании, многочисленные линейки датчиков и прочих интегральных устройств непрерывно обновляются, ориентируясь на новые целевые рынки, поэтому о них всегда можно прочитать что-то новое. Об акселерометрах ADI написано уже достаточно много статей, но чтобы специалистам, впервые применяющим датчики этого типа в своем проекте, не пришлось перерывать горы журналов прошлых лет, автор попытался всю необходимую информацию в сжатой форме отразить в одной статье.

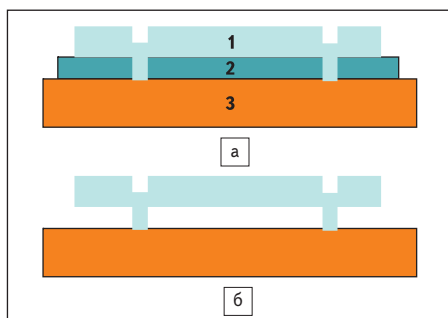
## Технология *i*MEMS

Технология *i*MEMS (integrated MEMS) от Analog Devices представляет собой разновидность технологии MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), позволяющую совмещать на одном кристалле микроэлектромеханические устройства с традиционными электронными элементами интегральных схем.

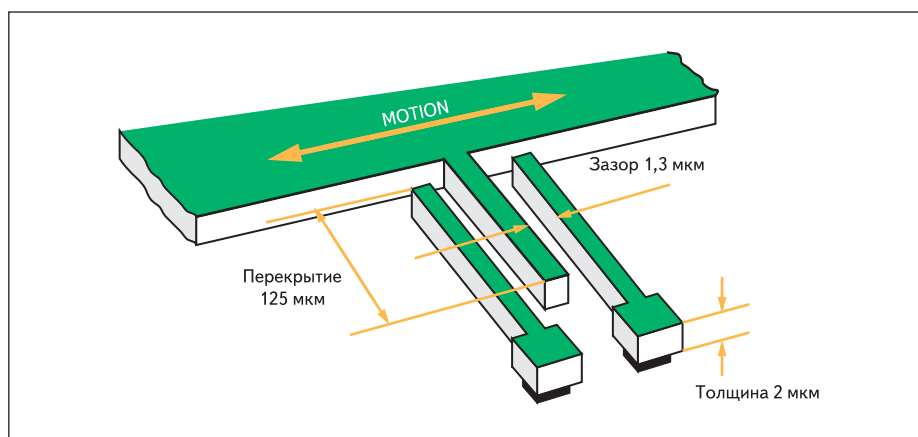
Технология получения поверхностной микромеханической измерительной структуры интегрального датчика проиллюстрирована рис. 1.

На специально отведенный участок кристалла наносится диоксид кремния (так называемый «жертвенный» слой), проводится литография, вскрываются «окна» для подсоединения микромеханического сенсора к электрической схеме и одновременного получения «якорей», удерживающих конструкцию сенсорной части датчика на кремниевой подложке. Далее сверху наращивается слой поликристаллического кремния, затем посредством литографии и травления поликремния создается сенсорная структура. Наконец, травится «жертвенный» слой, и механическая часть датчика готова (рис. 16).

В результате механическая часть датчика включает поликремниевую пластинку, механически соединенную с подложкой при помощи упругих элементов подвеса, удерживаемых «якорями», способную перемещаться в направлении одной степени свободы под действием ускорения. По краям пластинки вытравлены балки, закрепленные на подложке и образующие дифференциальную систему большого числа ячеек парных емкостей. Перемещение подвижной пластинки отно-



**Рис. 1.** Процесс получения микромеханической сенсорной структуры акселерометров ADI:  
а) 1 — сенсорная структура (поликристаллический кремний); 2 — жертвенный слой ( $\text{SiO}_2$ ); 3 — подложка (Si);  
б) то же после травления



**Рис. 2.** Дифференциальная измерительная система на основе парных емкостей с балками, закрепленными на подложке

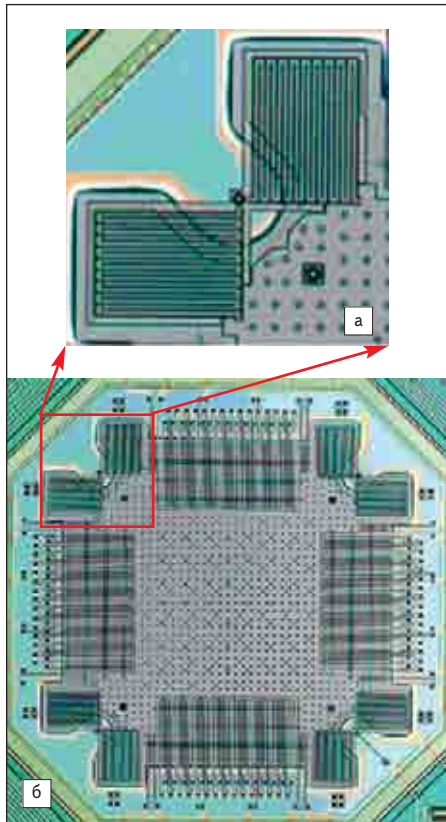


Рис. 3. Оптическое изображение сенсорной части двухосевого акселерометра

нительно этих неподвижных балок позволяет регистрировать ускорение (рис. 2). В отсутствие ускорения емкости в ячейке почти одинаковы, если же ускорение отлично от нуля, пластинка смещается, и баланс емкостей нарушается. Кроме того, возможно наличие дополнительных балочных структур, используемых для смещения механики сенсора внешним напряжением — для проверки функциональности датчика или так называемого самотестирования. На рис. 3 показан совмещенный вариант двухосевого датчика, обеспечивающий чувствительность к ускорениям в двух направлениях, отдельно приведено увеличенное изображение упругой подвески, выполненной для увеличения чувствительности в форме меандра.

### Принцип работы датчика

При воздействии на подвижный элемент сенсора массой  $m$  силы  $F = ma$  возникает смещение  $x$ , пропорциональное ускорению:

$$x = ma/\beta = a/\omega_0^2,$$

где  $\beta$  — жесткость подвески,  $a$  — ускорение смещения сенсора,  $\omega_0$  — собственная частота колебаний сенсора, определяющая чувствительность механической части системы.

На балки, зафиксированные на подложке, подаются электрические сигналы — прямоугольные импульсы различной полярности

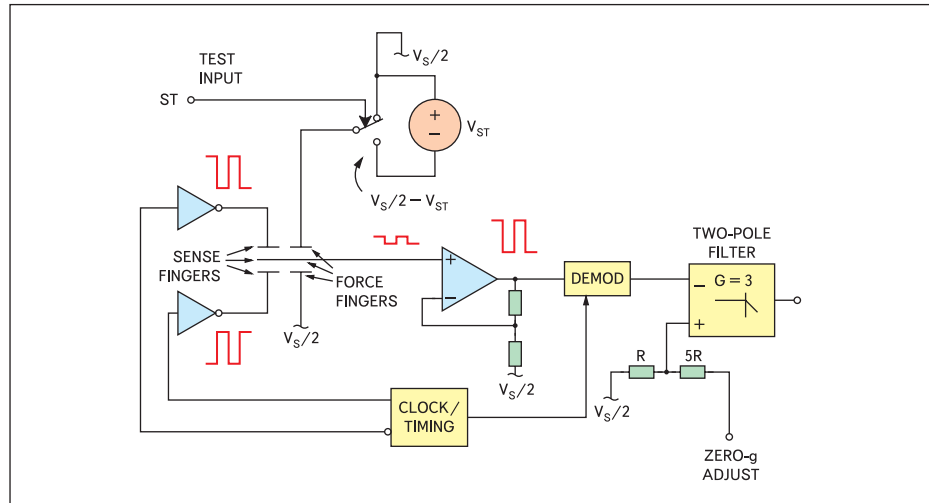


Рис. 4. Схема обработки сигнала датчика

в противофазе (рис. 4). При отсутствии ускорения смещение механики отсутствует и емкости равны, поэтому выходной сигнал переменного напряжения, снимаемый с подвижной пластины, также практически равен нулю (всегда присутствует малое ненулевое смещение). При наличии ускорения баланс емкостей нарушается, и появляется переменный сигнал.

При малых смещениях подвижной части электрический сигнал пропорционален величине смещения, которое, в свою очередь, пропорционально ускорению. В акселерометрах ADI полученный сигнал, как правило, детектируется в схеме синхронного демодулятора и усиливается. Необходимо учитывать, что при подаче напряжения между балками возникают электростатические силы, которые тем больше, чем больше разбаланс емкостей. Поэтому для предотвращения нежелательного возбуждения сенсора и уменьшения шумов частота электрического сигнала, подаваемого на емкости, выбирается существенно больше собственной частоты колебаний сенсора.

Типичное значение резонансной частоты акселерометра редко превышает 10 кГц, частоты подаваемого сигнала — 100 кГц. Выходным сигналом преобразователя после соответствующей обработки сигнала с сенсорной части является напряжение, линейно связанное с величиной ускорения или сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при котором ускорение также пропорционально отношению длительности импульса к периоду последовательности. В линейке интеллектуальных датчиков семейства ADIS существуют также варианты с цифровым выходным сигналом, передаваемым по последовательному SPI-интерфейсу.

### Применение акселерометров

Области применения акселерометров определяются их основными параметрами,

а также их соотношением. Важнейшими параметрами акселерометра являются диапазон измеряемых ускорений, чувствительность, выражаемая обычно как отношение сигнала в вольтах к ускорению, нелинейность в процентах от полной шкалы, шумы, температурные дрейфы нуля (смещения) и чувствительности.

В ряде случаев существенной характеристикой оказывается собственная частота колебаний сенсора  $\omega_0$  или резонансная частота  $f_0$ , определяющая рабочую полосу частот датчика. В большинстве применений важны температурный диапазон и максимально допустимые перегрузки — характеристики, связанные с условиями эксплуатации датчиков.

Определяющими параметрами, влияющими на точность определения ускорения, являются дрейфы нуля и чувствительности (в основном температурный), а также шумы датчика, ограничивающие порог разрешения устройства. Чувствительность датчика зависит от резонансной частоты механической подсистемы, а также качества электронного преобразователя.

Изменение чувствительности с температурой связано в основном с изменением коэффициента упругости. Температурный дрейф нуля обусловлен изменением коэффициента упругости, тепловым расширением и технологическими погрешностями изготовления сенсора. Изменение параметров электронной части датчика под действием температуры, как правило, существенно меньше.

### Шумы

Общий уровень шумов акселерометра складывается из шумов микромеханического сенсора и шумов электронной части устройства. Вследствие небольшой массы сенсора существенный вклад в общий уровень шумов вносит составляющая, обусловленная его тепловыми колебаниями. Приравняв тепловую энергию шумов к энергии колебаний сенсора:

$$\beta A^2/2 = \beta a^2/\omega_0^4 = kT/2;$$

$$\text{или } a^2 = \omega_0^2 kT/2m,$$

где  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура,  $a$  — среднеквадратичное ускорение,  $A$  — амплитуда колебаний.

Выражение дает среднеквадратичное значение шумов во всем спектральном диапазоне. Шум часто характеризуется спектральной плотностью (точнее, величиной, пропорциональной корню спектральной плотности энергии шумов). Если считать шум равномерно распределенным от 0 Гц до частоты резонанса  $f_0$ , то спектральная плотность шумов  $n_f$  будет равна:

$$n_f = (a^2/f_0)^{1/2} = (\pi\omega_0 kT/m)^{1/2}.$$

Необходимо также учесть, что значительная часть шумов сосредоточена вблизи резонанса, где спектральная характеристика колебаний сенсора имеет подъем, обратно пропорциональный коэффициенту затухания  $\gamma$ , который имеет смысл величины, обратной времени уменьшения амплитуды в  $e$  раз при импульсном воздействии. С учетом этого спектральная среднеквадратичная плотность шумов в области частот значительно ниже резонансной запишется следующим образом:

$$n_f = (\pi\gamma kT/m)^{1/2}.$$

Для  $\gamma = 0,2\omega_0 = 0,2 \times 2\pi \times 5 \times 10^3 \text{ с}^{-1}$  и  $m = 10^{-10}$  кг получаем  $n_f = 88,4 \text{ мкг}/(\text{Гц})^{1/2}$ . Среднеквадратичное значение ( $rms$ ) определяет по существу пороговую чувствительность — минимальный сигнал, который можно измерить. Для получения устойчивого сигнала «без дрожания» порогом шумов следует считать значение размаха шумового сигнала ( $p-p$ ,  $peak-to-peak$ ). Кроме того, на суммарную величину шумов влияет диапазон рабочих частот  $\Delta f$ . Общая среднеквадратичная величина шума  $N_{rms}$  связана со спектральной плотностью шумов  $N_f$  соотношением (при использовании фильтра НЧ первого порядка):

$$N_{rms} = N_f(1,6 \times \Delta f)^{1/2}.$$

Для гармонического сигнала его размах (удвоенная амплитуда) отличается от среднеквадратичного значения в  $2 \times (2)^{1/2}$  раза. Для шума это отношение представляет собой вероятностную величину. Для белого гауссова шума размах будет лежать в пределах среднеквадратичного значения, умноженного на 6, с вероятностью 0,994:

$$N_{p-p} = 6 \times N_{rms}.$$

Уровень шумов практически определяет разрешение по ускорению для данной измерительной системы. Отношение диапазона измерений к уровню шума дает число эффективных значений. Например, для ADXL203

среднеквадратичный шум в полосе частот 10 Гц составит  $88,4 \text{ мкг}/(\text{Гц})^{1/2} \times (1,6 \times 10 \text{ Гц})^{1/2} = 0,354 \text{ мг}$ , размах шума  $0,354 \times 6 = 2,12 \text{ мг}$  и число эффективных отсчетов «без дрожания» при аналого-цифровом преобразовании —  $3,4/2,12 \times 10^{-3} \approx 1600$  ( $3,4 \text{ г}$  — диапазон измеряемых ускорений).

### Нелинейность

Емкость конденсатора нелинейно зависит от смещения сенсора, линейно связанного с ускорением. В том случае, если сигнал сенсора пропорционален изменению емкостей, относительная нелинейность (отношение нелинейной составляющей изменения емкости к линейной) при смещении обкладок конденсатора  $x$ , находящихся на расстоянии  $d$ , составит  $x/d$ . Это означает, что при смещении 10 нм ( $d = 1,3 \text{ мкм}$ ) нелинейные искажения будут порядка 1%. В этом случае, кроме значительной нелинейности, существенно ограничивается также динамический диапазон акселерометра.

Инженерам компании Analog Devices удалось значительно уменьшить нелинейность акселерометра благодаря тому, что сигнал ускорения пропорционален смещению, а не изменению емкости. Это достигается способом возбуждения (сигналы в противофазе) и снятию сигнала напряжения (а не изменения заряда). В результате максимальные нелинейные искажения датчиков ускорения iMEMS составляют доли процентов и, кроме того, расширен динамический диапазон.

### Влияние температуры

Датчики, изготовленные по технологии MEMS, весьма чувствительны к изменению температуры. С изменением температуры меняется коэффициент упругости подвески, и, следовательно, чувствительность сенсора; кроме того, имеет место смещение нуля. Для достижения максимальной точности измерений эти изменения необходимо учитывать.

К счастью, для каждого сенсора зависимость чувствительности и смещения нуля является воспроизводимой, поэтому один из путей решения проблемы — калибровка датчика в необходимом диапазоне температур (рис. 5). При этом удобно наличие естественного «опорного ускорения»  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ , соответствующего силе тяжести. Оно меняется от 9,789 до 9,823 в зависимости от географического положения, на полюсе Земли оно больше, на экваторе минимально.

Линейное приближение температурной зависимости легко компенсировать схемотехнически, более точный учет может потребовать использования микроконтроллера. Другой вариант решения проблемы — встраивание датчика температуры, что заметно упрощает использование подобного подхода.

В акселерометрах зачастую предусмотрена встроенная возможность самокалибровки (самотестирования). Для этого создаются специальные группы балок, подобных тем, которые отвечают за выходной сигнал акселерометра. При приложении постоянного напряжения  $U$  между этими балками, расположенными на расстоянии  $d$ , возникнет сила электростатического притяжения  $F$ , эквивалентная наличию определенной внешней силы или ускорения:

$$F = -\partial W/\partial d = \epsilon S U^2/(2d^2),$$

где  $\epsilon$  — абсолютная диэлектрическая проницаемость,  $S$  — площадь перекрытия балок,  $W$  — энергия плоского конденсатора. Прикладываемое напряжение обычно стабилизировано и слабо зависит от температуры. Идея самокалибровки заключается в том, что при изменении температуры выходной сигнал ускорения и выходной сигнал в зависимости от калибрующего смещения меняются пропорционально, так как оба они одинаково зависят от коэффициента упругости подвески.

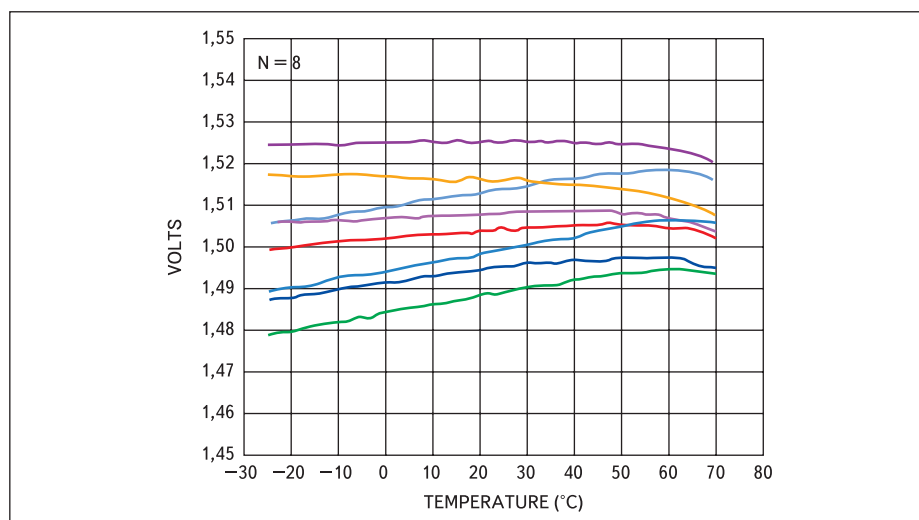


Рис. 5. Зависимости выходного напряжения 8 случайно взятых датчиков ADXL330 от температуры при нулевом сигнале ускорения

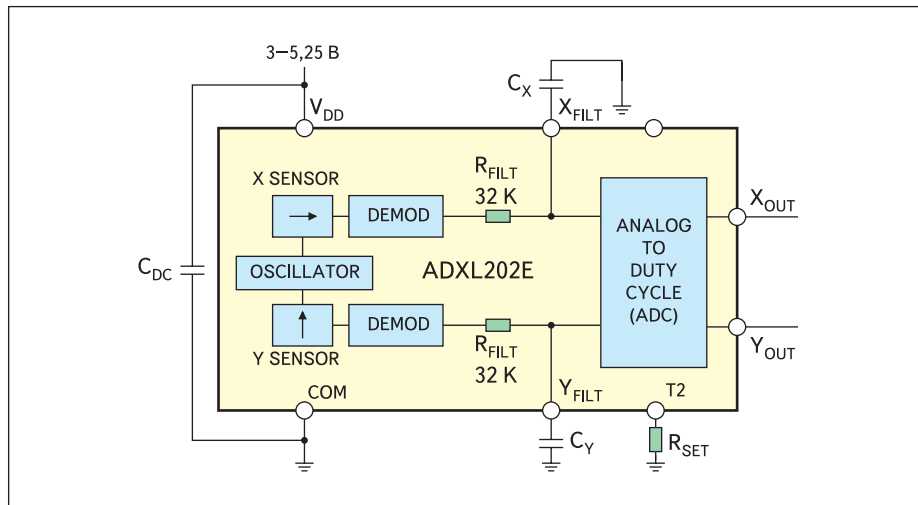


Рис. 6. Включение емкостей фильтра нижних частот (CX и CY)

Существует режим измерений с непрерывной калибровкой, когда калибровочные импульсы подаются периодически в течение всего процесса измерений. При этом необходимо учитывать уменьшение диапазона измерений на величину размаха калибровочного сигнала (и реальный сигнал, и калибровочный, действуя на один и тот же сенсор, суммируются).

#### Частотные свойства акселерометров

Частотный диапазон акселерометра определяется собственной частотой сенсора  $\omega_0$ . Частотная характеристика (без учета потерь энергии колебаний) определяется зависимостью вида:

$$A(\omega) = A_0 / (\omega_0^2 - \omega^2),$$

где  $A_0$  — сигнал датчика при постоянном воздействии. Соответственно, граница полосы по уровню 3 дБ  $\omega_{3\text{ дБ}}$  будет выражена как:

$$20 \lg (\omega_0^2 / (\omega_0^2 - \omega_{3\text{ дБ}}^2)) = 3,$$

то есть  $\omega_{3\text{ дБ}} = 0,54\omega_0$ .

Следует отметить, что датчик может использоваться при более высоких частотах, чем  $\omega_{3\text{ дБ}}$ , особенно в узкой полосе частот. При этом необходим учет изменения чувствительности с частотой. Измерения ускорения редко ведутся во всем частотном диапазоне. Можно выделить низкочастотные приложения (с верхней граничной частотой 10–100 Гц) и динамические, когда выделяется сигнал в полосе более высоких частот.

Специализация датчика по применению позволяет искусственно ограничить полосу рабочих частот, что приводит к существенному снижению суммарного шума. В динамических приложениях часто используется ограничение частоты снизу (например, RC-цепочкой, где емкость является разделяющей), что устраняет проблему смещения нуля.

Диапазон частот настраивается при помощи соответствующего аналогового фильтра или с использованием цифровой фильтрации. Пример построения аналогового фильтра показан на рис. 6. Фильтр образуется RC-цепочкой  $R_{\text{FILT}}$  и  $C_{X,Y}$ . Типичные зависимости чувствительности и фазового сдвига при различных емкостях в цепи фильтра нижних частот показаны на рис. 7.

#### Линейка акселерометров Analog Devices и их применение

Компания Analog Devices выпускает широкий спектр акселерометров (табл. 1). Существуют акселерометры с одной, двумя и тремя осями чувствительности, рассчитанными на максимальное ускорение от 1,5 до 250 g. Существуют версии с коммерческим и промышленным диапазоном рабочих температур.

Семейство ADXL — это базовые устройства, в которых сенсор и электроника реализованы на едином кристалле. Серия ADXL3xx

позиционируется для массового применения, ADXL1xx и ADXL2xx предназначаются для использования в автоэлектронике (автомобилестроении), промышленности и при создании устройств специального назначения.

Акселерометры ADIS представляют собой однокристалльные высокочастотные устройства с цифровым выходом SPI (12 или 14 бит) и встроенным датчиком температуры.

Как упоминалось выше, при выборе акселерометра необходимо иметь в виду диапазон измеряемых ускорений (табл. 2), требуемое разрешение, температурную стабильность и частотный диапазон. Для устройств, работающих в специальных условиях, необходимо также учитывать диапазон рабочих температур и величину максимально допустимой перегрузки.

Акселерометры можно использовать в любом устройстве, работа которого связана с перемещением, наклоном, вибрацией. Приведем некоторые типичные применения акселерометров ADI:

- **Автомобилестроение.** Одно из наиболее массовых приложений для акселерометров в настоящее время. Датчики ускорения используются в данном случае в целях безопасности — при превышении максимально допустимого ускорения срабатывает система безопасности (подушки безопасности). Кроме этого они используются в противотуманных системах — как измерители угла наклона и вибраций. В первом случае используются датчики диапазона порядка 35–50 g и выше, во втором — более чувствительные (1–5 g), причем чувствительные и к статическому ускорению; измерение высокочастотных вибраций также может потребовать несколько больший диапазон. Акселерометры могут использоваться и для кратковременной навигации при отсутствии GPS-сигнала, а также для диагностики автомобиля.

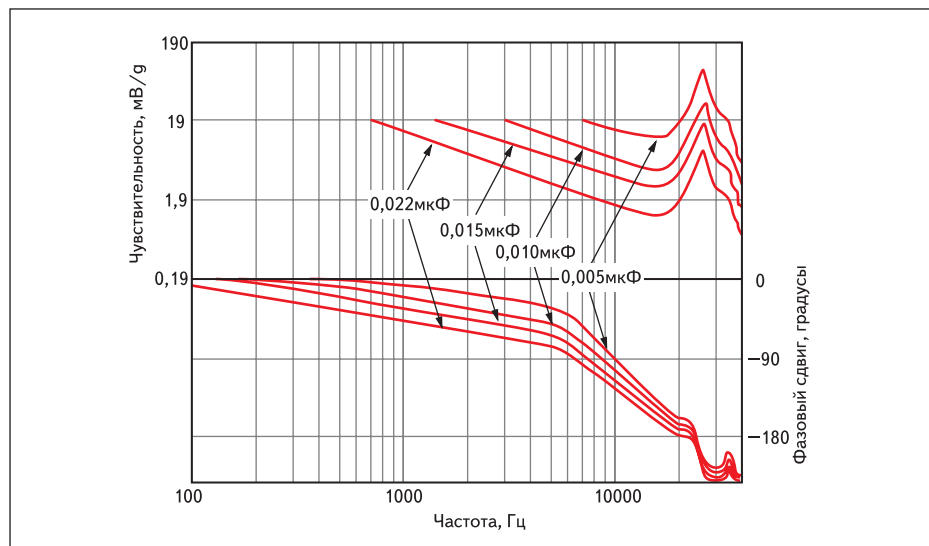


Рис. 7. Типичные спектральные характеристики чувствительности /MEMS акселерометра при различных значениях корректирующих емкостей



Таблица 1. Сравнительные технические данные текущей линейки акселерометров компании Analog Devices

	Число осей	Диапазон	Чувствительность	Выход	Частота резонанса, кГц	Плотность шумов, $\mu\text{g}/(\text{Гц})^{1/2}$	Напряжение питания, В	Температурный дрейф чувствительности	Температурный дрейф нуля	Диапазон рабочих температур, °C
ADXL103	1	$\pm 1,7$ g	1000 мВ/г	Аналоговый	5,5	110	3÷6	$\pm 0,3\%$ **	$\pm 0,1$ мг/°C	-40÷125
ADXL203	2	$\pm 1,7$ g	1000 мВ/г	Аналоговый	5,5	110	3÷6	$\pm 0,3\%$ **	$\pm 0,1$ мг/°C	-40÷125
ADXL204	2	$\pm 1,7$ g	620 мВ/г	Аналоговый	5,5	170	3÷6	$\pm 0,3\%$ **	$\pm 0,15$ мг/°C	-40÷125
ADXL213	2	$\pm 1,2$ g	30%/г	ШИМ	5,5	160	3÷6	$\pm 0,3\%$ **	$\pm 0,25$ мг/°C	-40÷85
ADXL330	3	$\pm 3$ g	300 мВ/г	Аналоговый	5,5	280 (X,Y) 350 (Z)	1,8÷3,6	$\pm 0,015\%$ /°C	$\pm 1$ мг/°C	-25÷70
ADXL320	2	$\pm 5$ g	174 мВ/г	Аналоговый	5,5	250	2,4÷6	0,01%/°C	$\pm 0,6$ мг/°C	-20÷70
ADXL321	2	$\pm 18$ g	57 мВ/г	Аналоговый	5,5	320	2,4÷6	0,01%/°C	$\pm 2$ мг/°C	-20÷70
ADXL322	2	$\pm 2$ g	420 мВ/г	Аналоговый	5,5	220	2,4÷6	0,01%/°C	$\pm 0,5$ мг/°C	-20÷70
ADXL323	2	$\pm 3$ g	300 мВ/г	Аналоговый	1,6	280	1,8÷5,25	0,015%/°C	$\pm 0,6$ мг/°C	-25÷70
ADXL311	2	$\pm 2$ g	174 мВ/г	Аналоговый	6	300	2,4÷5,25	$\pm 0,02\%$ /°C	$\pm 1$ мг/°C	0÷70
ADXL202	2	$\pm 2$ g	12,5%/г	ШИМ	10	200	3÷5,25	$\pm 0,5\%$	2,0 мг/°C	-40÷85
ADXL210	2	$\pm 10$ g	4,0%/г	ШИМ	10	200	3÷5,25	$\pm 0,5\%$	2,0 мг/°C	-40÷85
ADXL78	1	$\pm 35$ g $\pm 50$ g $\pm 70$ g	55 мВ/г 38 мВ/г 27 мВ/г	Аналоговый	24*	1,100 1,400 1,800	4,75÷5,25	$\pm 5\%$ **	$\pm 200$ мВ** $\pm 150$ мВ** $\pm 150$ мВ**	-40÷105
ADXL193	1	$\pm 120$ g $\pm 250$ g	18 мВ/г 8 мВ/г	Аналоговый	24*	3,000 5,000	4,75÷5,25	$\pm 5\%$ **	$\pm 125$ мВ**	-40÷105
ADXL278	2	$\pm 35$ g/ $\pm 35$ g $\pm 50$ g/ $\pm 50$ g $\pm 70$ g/ $\pm 35$ g	55/55 мВ/г 38/38 мВ/г 27/55 мВ/г	Аналоговый	24*	1,100 1,400 1,800	4,75÷5,25	$\pm 5\%$ **	$\pm 150$ мВ**	-40÷105
ADIS16003	2	$\pm 1,7$ g	1,2 мг/МЗР	SPI	5,5	110	3÷5,25	$\pm 8$ МЗР**	$\pm 0,14$ МЗР/°C	-40÷125
ADIS16006	2	$\pm 5$ g	3,9 мг/МЗР	SPI	5,5	200	3÷5,25	$\pm 0,3\%$ **	$\pm 0,1$ МЗР/°C	-40÷125
ADIS16201	2 акселерометр/ инклинометр	$\pm 1,7$ g	0,463 мг/МЗР (0,1 °C/МЗР)	SPI	5,5	0,37 МЗР/(Гц) <sup>1/2</sup>	3÷3,6	0,005%/°C	$\pm 0,082$ МЗР/°C	-40÷125
ADIS16203	1 каналный 360° инклинометр	360°	0,025 °C/МЗР	SPI	5,5	0,37 МЗР/(Гц) <sup>1/2</sup>	3÷3,6	—	—	-40÷125
ADIS16204	2	X: $\pm 70$ g Y: $\pm 37$ g	X: 17,125 Y: 8,407 мг/МЗР	SPI	24	1800	3÷3,6	—	—	-40÷125

\* — у акселерометров ADXL78, ADXL193, ADXL278 имеется бесшелевый фильтр низких частот 400 Гц

\*\* — во всем интервале рабочих температур

Таблица 2. Диапазон измеряемых ускорений

	Ускорение
Ускорение силы тяжести	1 g = 9,81 м/с <sup>2</sup>
Ускорение, возникающее при движении человека, g	0÷2
Максимальное переносимое человеком ускорение, g	10
Типичные ускорения при аварии (наземный транспорт), g	5÷20
Ускорение, действующее на твердый предмет, упавший со стола на пол, g	100÷3000

- **Авионика.** Датчики ускорения широко используются в системах управления летательными аппаратами, а также в космических системах. Измеряются и вибрации, и квазистатические ускорения.
- **Промышленность.** Широчайшее поле для использования акселерометров. Любого транспорт, подъемное оборудование, устройства безопасности, системы стабилизации положения, тестовые стенды и многое другое. Применяются датчики любого диапазона.
- **Бытовая техника.** Акселерометры применяются и могут значительно больше применяться во многих видах бытовой техники. Например, для уменьшения вибраций (стиральной машины и др.).
- **Системы защиты от падения.** Резкое изменение ускорения наблюдается сразу после начала падения, что дает возможность перевести систему в наиболее безопасное состояние. Типичный пример — защита жесткого диска в ноутбуках или других мобильных устройствах. Во время падения происходит парковка магнитной головки жесткого диска.



Рис. 8. Интерфейсная плата ADISEVAL с присоединенной отладочной платой ADIS16201/PCB (показана красной стрелкой)

- **Медицина и спорт.** Акселерометры применяются в системах диагностики, тренажерах, шагомерах и др.
- **Устройства ввода информации.** Датчики ускорения используются в наладонниках, устройствах ввода для компьютерных игр, мобильных телефонах и т. д.

#### Средства разработки

Для облегчения разработки прикладной задачи на основе устройств семейства iMEMS предназначены оценочные комплекты (ADXLxxxEV), содержащие необходимое минимальное количество внешних компонентов, требуемых для работы с изделием. Средства разработки для акселерометров серии ADIS включают плату с обвязкой и разъемами, а также интерфейсную плату ADISEVAL

для соединения с персональным компьютером через параллельный порт (рис. 8).

#### Заключение

Разработанные изначально для автомобильных систем развертывания подушек безопасности, акселерометры iMEMS стремительно расширяют область применения. Этому способствует совершенствование технологии, позволяющее получать более экономичные, недорогие и надежные устройства. Акселерометры становятся все более привлекательными для широкого спектра новых разработок.

Дополнительная информация об акселерометрах Analog Devices — на сайте производителя [www.analog.com](http://www.analog.com) в разделе «iMEMS and Sensors».