

# Analog Devices: обзор датчиков iMEMS с цифровым выходом

Алексей ВЛАСЕНКО  
alexey.vlasenko@analog.com.ru

Микромеханические датчики iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System), выпускаемые фирмой Analog Devices, давно и прочно утвердились на рынке, в том числе и в России. Первые образцы полностью интегрированных однокристалльных датчиков ускорения (акселерометров) iMEMS были выпущены в 1991 году. Акселерометры iMEMS были разработаны специально для систем безопасности автомобилей, где они применяются для детектирования столкновений и активации подушек безопасности.

## Введение

Сегодня эти акселерометры применяются в качестве инерциальных датчиков в самых разных областях как в промышленной, так и в потребительской электронике. Кроме того, вот уже около 5 лет фирма Analog Devices наряду с акселерометрами выпускает интегральные гироскопы серии ADXRS, также изготовленные по технологии iMEMS. Эти инерциальные датчики позволяют получить информацию об угловой скорости объекта и благодаря малым размерам и низкому энергопотреблению применяются в портативной аппаратуре с автономным питанием, в том числе в беспилотных летательных аппаратах, игровых консолях и системах стабилизации изображения.

В данной статье мы приводим обзор некоторых, наиболее характерных представителей нового семейства акселерометров и гироскопов — высокоинтегрированных при-

боров с цифровым интерфейсом семейства ADIS. В этих приборах помимо собственно датчиков имеются также аналого-цифровые преобразователи, температурные датчики и другие компоненты. Представители данного семейства обладают интерфейсами SPI и без лишних хлопот интегрируются в любую микропроцессорную систему.

## Гироскоп ADIS16100 — датчик угловой скорости в диапазоне $\pm 300^\circ/\text{с}$ с интерфейсом SPI

Одним из таких приборов является гироскоп ADIS16100. Как видно из рис. 1, в этом приборе помимо датчика угловой скорости имеется температурный датчик, источник опорного напряжения, мультиплексор, АЦП и цифровой интерфейс SPI.

Практически все приборы, сделанные по технологии iMEMS, обладают значительны-

ми температурными коэффициентами чувствительности и дрейфом «нуля». Поэтому для получения высоких характеристик по точности в широком диапазоне температур мы настоятельно рекомендуем калибровать прибор в требуемом диапазоне температур с неким приемлемым шагом и использовать эти калибровочные коэффициенты для устранения температурной погрешности. Для этого удобно использовать встроенный датчик температуры.

Альтернативный путь повышения точности — это термостатирование прибора, для чего также может оказаться полезным встроенный датчик температуры. Однако при термостатировании, разумеется, значительно повысится энергопотребление системы в целом, и одно из существенных преимуществ датчиков iMEMS — их низкое энергопотребление — будет потеряно.

Обратите внимание, что в АЦП имеются входы, выведенные наружу, которые можно использовать для оцифровки внешних сигналов.

Основные характеристики гироскопа ADIS16100:

- полностью интегрированный гироскоп на одном кристалле;
- цифровой интерфейс SPI;
- диапазон измеряемой скорости вращения  $\pm 300^\circ/\text{с}$ ;
- величина кода пропорциональна скорости вращения;
- чувствительность  $0,244^\circ/\text{с}/\text{LSB}$  (LSB — единица младшего разряда выходного кода);
- средства самотестирования;
- встроенный температурный датчик;
- два внешних входа АЦП;
- выдерживает ускорение до  $2000\text{ g}$  (при включенном питании);
- однополярное питание  $5\text{ В}$ ;
- корпус  $8 \times 8\text{ мм}$ .

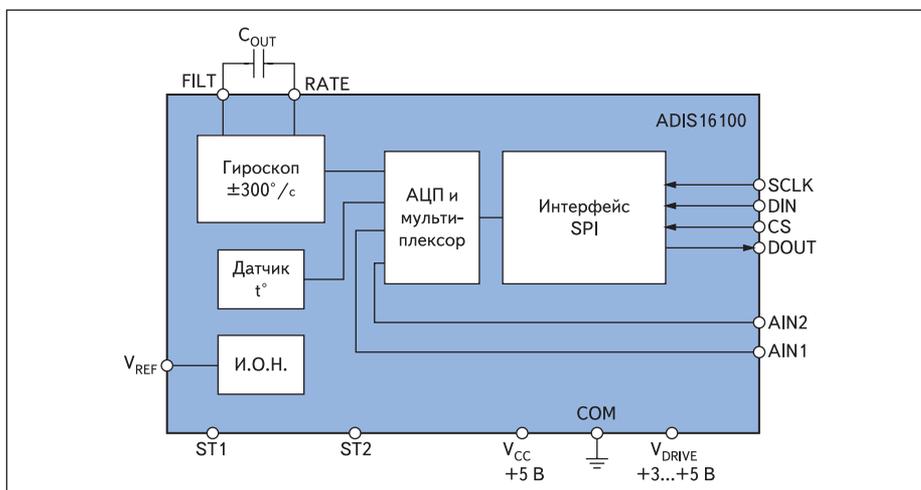


Рис. 1. Структурная схема гироскопа ADIS16100

### Инерциальные трехосевые датчики ADIS16350 и ADIS16355

Очень интересным высокоинтегрированным прибором является прибор ADIS16350 — это трехосевой инерциальный датчик, включающий в себя трехосевой гироскоп и трехосевой акселерометр. Данный прибор представляет собой законченный модуль инерциальной навигации в специальном корпусе, готовый к установке в систему (рис. 2).

Основные характеристики инерциального датчика ADIS16350:

- трехосевой гироскоп с динамическим диапазоном  $\pm 320^\circ/\text{с}$ ;
- встроенный трехосевой акселерометр 10 g;
- полоса частот 350 Гц;
- спектральная плотность шума  $0,05^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$ ;
- разрешающая способность 14 разрядов;
- заводская калибровка усиления и смещения;
- установка параметров цифровой фильтрации и частоты дискретизации;
- программируемая система мониторинга работы прибора;
- дополнительные входы АЦП, ЦАП и входы/выходы общего назначения;
- самотестирование;
- интерфейс SPI;
- напряжение питания +4,75...+5,25 В.

Обратите внимание, что шум гироскопов задан в виде спектральной плотности и имеет размерность  $^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Для получения величины шума в выходном сигнале угловой скорости необходимо интегрировать плотность шума по полосе частот, то есть в данном случае просто умножить значение плотности шума на корень из полосы частот.

Все гироскопы, выпускаемые сегодня фирмой Analog Devices по технологии iMEMS, представляют собой датчики угловой скорости. Но иногда нужно получить значение угла (направления, азимута и т. п.), то есть использовать прибор в качестве гироскопа или авиагоризонта. В таком случае необходимо интегрировать сигнал угловой скорости. Разумеется, при этом погрешность быстро накапливается, и поэтому получение достаточно точной информации о направлении возможно только на коротких промежутках времени, не более нескольких минут в лучшем случае, после чего сигнал направления придется сбрасывать или корректировать. Гироскопы фирмы Analog Devices в таком режиме применяются, например, в автомобильных системах навигации. Они позволяют обеспечить непрерывную навигацию в системах с GPS в ситуациях, когда сигнал спутников утерян на некоторое время.

Трехосевой датчик ADIS16355 аналогичен прибору ADIS16350, но обладает средствами температурной компенсации и обеспечивает более высокую точность в широком диапазоне температур без принятия дополнительных мер со стороны применяющего прибор разработчика.

Таблица 1. Гироскопы и комбинированные приборы iMEMS с цифровым выходом

N	Описание	Диапазон, $^\circ/\text{с}$	Чувствительность, $^\circ/\text{с}/\text{LSB}$	Полоса, Гц	Спектральная плотность шума, $^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$	Потребляемый ток в актином режиме, мА, при VDD = 5 В	Температурный диапазон, $^\circ\text{C}$	Цена*
ADIS16100	Гироскоп	$\pm 300$	0,244	40	0,10	7	-40...+85	\$34,95
ADIS16060	Широкополосный гироскоп	$\pm 80$	0,012	1000	0,04	2,6	-40...+105	\$34,95
ADIS16080	Гироскоп	$\pm 80$	0,098	40	0,05	7	-40...+85	\$34,95
ADIS16250	Программируемый гироскоп	$\pm 80... \pm 320$	0,018	50	0,05	18	-40...+85	\$41,98
ADIS16251	Программируемый гироскоп	$\pm 20... \pm 80$	0,004	50	0,05	18	-40...+85	\$41,98
ADIS16255	Программируемый гироскоп с температурной компенсацией	$\pm 80... \pm 320$	0,018	50	0,05	18	-40...+85	\$55,90
ADIS16350	Трехосевой инерциальный датчик (3 гироскопа + 3 акселерометра)	$\pm 75... \pm 300$	0,018	350	0,05	35	-40...+85	\$275,00
ADIS16355	Трехосевой инерциальный датчик (3 гироскопа + 3 акселерометра) повышенной точности	$\pm 75... \pm 300$	0,018	350	0,05	35	-40...+85	\$359,00

\* В таблице приведены цены на одну микросхему в партии 1000 штук. Указанная цена действует только на территории США. Здесь она приведена в качестве ориентировочной.

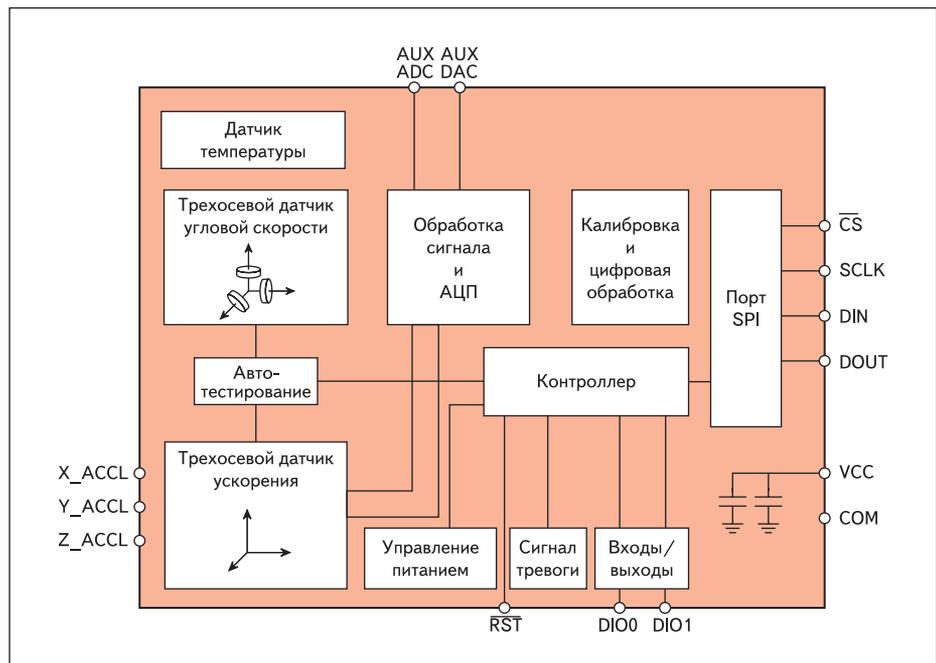


Рис. 2. Структурная схема трехосевого инерциального датчика ADIS16350

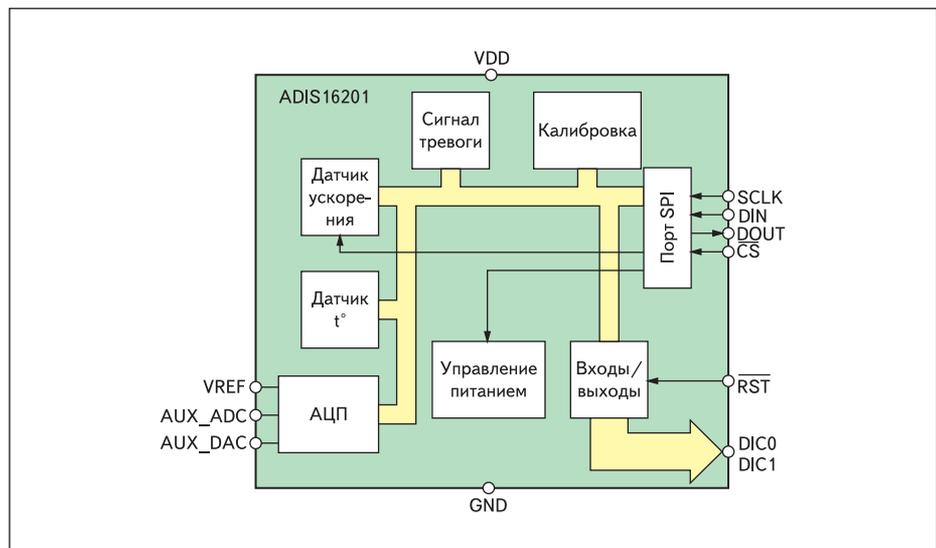


Рис. 3. Функциональная схема акселерометра-инклинометра с цифровым выходом ADIS16201

### Акселерометр-инклинометр ADIS16201 с цифровым выходом величины угла

Интересный представитель серии акселерометров с цифровым выходом — двухосевой акселерометр-инклинометр ADIS16201. Его основные характеристики.

- 12-разрядный цифровой код на выходе;
- динамический диапазон  $\pm 1,7$  g;
- 10-разрядный код от температурного датчика;
- программируется посредством цифрового интерфейса: чувствительность, смещение, частота отсчетов, АЧХ;
- программируются уровни срабатывания сигнала Alarm;
- имеются встроенные средства самотестирования;
- имеется режим отключения (shutdown);
- высокоскоростной интерфейс SPI;
- дополнительный 4-разрядный порт;
- 12-разрядный ЦАП, 12-разрядный АЦП;
- напряжение питания 3–3,6 В;
- рабочий температурный диапазон от  $-40$  до  $+125$  °C;
- корпус LGA 9×9 мм.

Прибор имеет массу полезных достоинств, в том числе встроенный температурный датчик, внешние входы АЦП и средства самотестирования. Но, пожалуй, самое уникальное заключается в том, что этот прибор выдает цифровой код, соответствующий углу наклона, а не просто проекции ускорения силы тяжести на ось чувствительности, как это свойственно обычным акселерометрам (рис. 4).

Возможность получить цифровой код, соответствующий значению угла, делает данное устройство более удобным в применении и освобождает процессор от пересчета значения ускорения в значение угла, то есть от вычисления арксинуса. ■

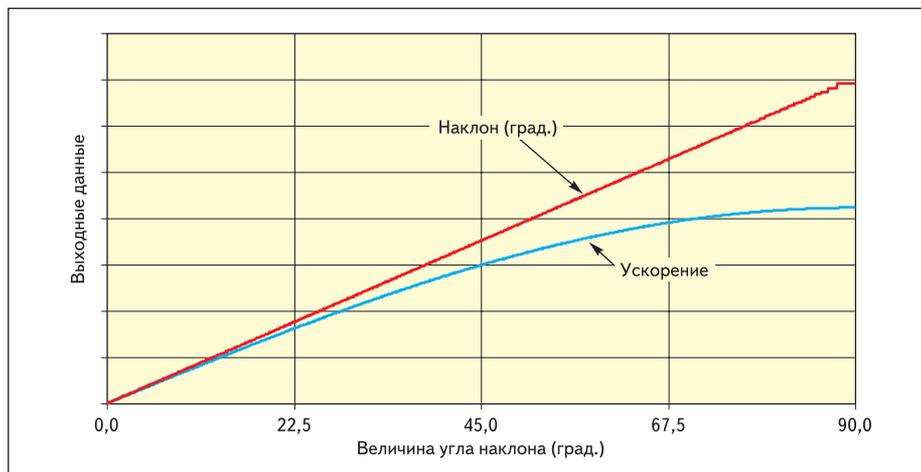


Рис. 4. Зависимость ускорения от угла наклона инклинометра

Таблица 2. Акселерометры и инклинометры iMEMS с цифровым выходом

N	Описание	Чувствительность**	Потребляемый ток в активном режиме, мА, при VDD = 3,3 В	Температурный диапазон, °C	Цена*
ADIS16003	Двухосевой акселерометр на диапазон $\pm 1,7$ g	1,2 mg/LSB	1,4	$-40...+125$	\$17,75
ADIS16006	Двухосевой акселерометр на диапазон $\pm 5$ g	3,9 mg/LSB	1,4	$-40...+125$	\$17,75
ADIS16201	Программируемый двухосевой акселерометр/инклинометр	0,463 mg/LSB (0,1°/LSB)	11	$-40...+125$	\$23,75
ADIS16203	Программируемый одноосевой акселерометр/инклинометр	0,025°/LSB	11	$-40...+125$	\$23,75
ADIS16204	Программируемый акселерометр для больших значений ускорения — датчик ударов	17,125 mg/LSB	12	$-40...+105$	\$20,95
ADIS16209	Прецизионный двухосевой акселерометр/инклинометр	0,244 mg/LSB (0,025°/LSB)	11	$-40...+125$	\$34,40

\* В таблице приведены цены на одну микросхему в партии 1000 штук.

Указанная цена действует только на территории США. Здесь она приведена в качестве ориентировочной.

\*\* Чувствительность приведена в mg/LSB, где  $1 \text{ mg} = \text{g}/1000 = 0,0098 \text{ м}/\text{с}^2$ , LSB — единица младшего двоичного разряда.

### Литература

1. Власенко А. Интегральные гироскопы iMEMS + датчики угловой скорости фирмы Analog Devices // Электронные компоненты. 2003. № 2.
2. Власенко А. Инклинометр на базе микроконвертора ADuC845 и акселерометра ADXL103 фирмы Analog Devices // Компоненты и технологии. 2006. № 6.
3. [www.analog.com/iMEMS](http://www.analog.com/iMEMS)