

Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices

Часть 2

Юрий Петропавловский (г. Таганрог, Ростовская обл.)

В первой части статьи, опубликованной в журнале «Современная электроника» (№ 6-2015), представлена история создания микросхем с интегрированными МЭМС компании Analog Devices. Во второй части приведены параметры и рассмотрены особенности современных аналоговых и цифровых акселерометров и гироскопов, выпускаемых компанией.

СОВРЕМЕННЫЕ МЭМС-ПРОДУКТЫ

В каталоге Analog Devices 2015 года МЭМС-продукты представлены в следующих категориях:

- акселерометры серии ADXLxxx (более 25 типов приборов);
- гироскопы серии ADXRSxxx (13 типов);
- подсистемы МЭМС акселерометров iSensor серии ADIS16xx (12 типов);
- подсистемы МЭМС гироскопов iSensor серии ADIS16xx (9 типов);
- МЭМС инерциальные измерительные модули iSensor серии ADIS16xx (13 типов) [5].

Классификационные параметры акселерометров, гироскопов и подсистем iSensor компании на основе дан-

ных технических описаний (спецификаций) конкретных приборов приведены в таблице (в сводных таблицах на сайте ADI имеются неточности и пробы).

У таблицы есть ряд важных особенностей:

- Диапазон ускорений акселерометров измеряется в единицах g ($g = 9,80665 \text{ м/с}^2$), в подсистемах акселерометров, предназначенных для измерения углов наклона (инклинометрах) – в градусах. Диапазон угловых скоростей гироскопов и подсистем измеряется в градусах на секунду ($^\circ/\text{с}$), знак ускорения, угла наклона и угловой скорости определяет направление соответствующих векторов. Значения ускорений или угло-

вых скоростей, приведённые в таблице через дробь, обычно означают, что они могут выбираться пользователем, однако для некоторых микросхем разные значения параметров определяются их исполнением.

- Шумовые параметры акселерометров компании обычно выражены в единицах спектральной плотности шума – $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$ или $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$, одно значение плотности шума соответствует типовому, два значения плотности шума, приведённые в таблице через дефис, обычно означают типовые параметры для различных осей измерения (X, Y, Z). Для некоторых приборов шум выражается в значениях долей младшего разряда выходного цифрового кода – n LSB rms, большим значениям n соответствует и больший уровень шума. Значения шумовых параметров, выраженные двумя числами через дефис, соответствуют типовым значениям при различных режимах работы прибора или различных осях измерения. Шумовые параметры гироскопов выражены в соответствующих

Классификационные параметры акселерометров, гироскопов и подсистем iSensor компании Analog Devices

Назначение	Тип прибора	Число осей	Диапазон ускорений, угловых скоростей (\pm)	Шумовые параметры	Тип выхода	Чувствительность	Ток потребления	Упит, В	Диапазон температур, $^\circ\text{C}$	Примечания
Акселерометры	ADXL363	3	2/4/8 g	175 – 920 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI (12 бит)	1 – 4 $\text{мг}/\text{LSB}$	0,27 – 13 мкА	1,6 – 3,5	-40...+85	2013 г., с датчиком температуры
	ADXL375	3	200 g	5 $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	49 $\text{мг}/\text{LSB}$	145 мкА	2 – 3,6	-40...+85	2013 г.
	ADXL313	3	0,5/1/2/4 g	150 – 250 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	128 – 1024 LSB/g	170 мкА	2 – 3,6	-40...+105	2013 г.
	ADXL377	3	200 g	2,7 – 4,3 $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	6,5 $\text{мВ}/\text{g}$	300 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2012 г., корпус $3 \times 3 \times 1,45 \text{ мм}$
	ADXL362	3	2/4/8 g	175 – 920 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, (12 бит)	1 – 4 $\text{мг}/\text{LSB}$	1,8 мкА	1,6 – 3,5	-40...+85	2012 г., микромощный
	ADXL350	3	1/2/4/8 g	1,1 – 1,7 LSB rms	SPI, $^\circ\text{C}$	1,95 – 15,63 $\text{мг}/\text{LSB}$	166 мкА	2 – 3,6	-40...+85	2012 г.
	ADXL344	3	2/4/8/16 g	1,5 LSB rms	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 LSB/g	140 мкА	1,7 – 2,75	-40...+85	2012 г., микромощный
	ADXL343	3	2/4/8/16 g	1,1 LSB rms	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 LSB/g	140	2 – 3,6	-40...+85	2012 г.
	ADXL212	2	2 g	500 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	ШИМ	12,5 $\%/g$	0,7 мА	3 – 5,25	-40...+85	2011 г., ШИМ-выход
	ADXL206	2	5 g	110 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	312 $\text{мВ}/\text{g}$	0,7 мА	4,75 – 5,25	-40...+175	2011 г., прецизионный, термостойкий
	ADXL312	3	1,5/3/6/12 g	340 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	43 – 345 LSB/g	170 мкА	2 – 3,6	-40...+105	2010 г.
	ADXL337	3	3 g	175 – 300 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	300 $\text{мВ}/\text{g}$	300 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2010 г., корпус $3 \times 3 \times 1,45 \text{ мм}$
	ADX346	3	2/4/8/16 g	1,1 – 1,5 LSB rms	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 LSB/g	140 мкА	1,7 – 2,75	-40...+85	2010 г., микромощный
	ADXL327	3	2 g	250 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	420 $\text{мВ}/\text{g}$	350 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус $3 \times 3 \times 1,45 \text{ мм}$

Назначение	Тип прибора	Число осей	Диапазон ускорений, угловых скоростей (\pm)	Шумовые параметры	Тип выхода	Чувствительность	Ток потребления	Упит, В	Диапазон температур, °С	Примечания
Акселерометры	ADXL326	3	16 g	300 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	57 мВ/g	350 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADXL325	3	5 g	250 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	174 мВ/g	350 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADXL345	3	2/4/8/16 g	0,75 LSB rms	SPI, I ² C	32 – 256 LSB/g	140 мкА	2 – 3,6	-40...+85	2009 г.
	ADXL001	1	70/250/500 g	3,3 – 4,25 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	2,2 – 16 мВ/g	2,5 мА	3,135 – 6	-55...+125	2010 г., прецизионный
	ADXL335	3	3 g	150 – 300 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	300 мВ/g	350 мкА	1,8 – 6	-40...+85	2009 г., корпус 4 × 4 × 1,45 мм
	ADXL180	1	50–500 g	2 LSB rms	8–10 бит	0,125 – 5 g/LSB	7,7 мА	5 – 14,5	-40...+125	2008 г., IMEMS, конфигурируемый
	ADXL213	2	1,2 g	160 мкг/ $\sqrt{Гц}$	ШИМ	30%/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+85	2004 г., бюджетный
	ADXL203	2	1,7/5/18 g	110 – 200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	1000 мВ/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+125	2004 г., IMEMS
	ADXL103	1	1,7/5/18 g	110 – 200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	100 – 1000 мВ/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+125	2004 г., IMEMS
	ADXL78	1	35/50/70 g	1,1 – 1,8 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	27/55 мВ/g	1,3 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
	ADXL278	2	35/50/70 g	1,1 – 1,8 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	27/55 мВ/g	2,2 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
	ADXL193	1	120/250 g	3 – 5 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	8 мВ/g	1,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
Гироскопы	ADXRS290	2	100°/с	0,004°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	200 LSB/°/с	7,8 мА	2,7 – 5	-25...+85	2014 г., с малыми шумами
	ADXRS645	1	2000°/с	0,25°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	относительная	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+175	2014 г., вибро- и термостойкий
	ADXRS646	1	250°/с	0,01°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	9 мВ/°/с	4 мА	5,75 – 6,25	-40...+125	2011 г., вибростойкий
	ADXRS800	1	300°/с	по запросу	SPI (16 бит)	по запросу		3 – 5	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ADXRS642	1	250°/с	0,02°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2011 г., вибростойкий
	ADXRS649	1	20 000°/с	0,25°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	0,1 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+125	2010 г., с быстрым стартом
	ADXRS453	1	300°/с	0,015°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	80 LSB/°/с	6 мА	3 – 5,25	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ASXRS450	1	300°/с	0,015°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	80 LSB/°/с	6 мА	3 – 5,25	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ADXRS652	1	250°/с	0,06°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS624	1	50°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	25 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS623	1	150°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	12,5 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS622	1	250°/с	0,06°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2009 г.
	ADXRS620	1	300°/с	0,05°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	6 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	Подсистемы акселерометров	ADIS16229	2	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI + ВЧ	0,3052 мг/LSB	2,5 мкА – 39 мА	3 – 3,6	-40...+85
ADIS16000		2	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI + ВЧ	0,3 – 0,6 мг/LSB	2,5 мкА – 39 мА	3 – 3,6	-40...+85	2013 г., вибродатчик с ВЧ-трансивером
ADIS16228		3	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,3 – 0,6 мг/LSB	40 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2011 г., с БПФ-анализом и памятью
ADIS16210		3	180°, 1,7 g	0,011°/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,1 – 0,21°/LSB	18 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2011 г., инклинометр
ADIS16227		3	70 g	3,3 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1,192 – 2,384 мг/LSB	43 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2010 г., вибродатчики с БПФ и памятью
ADIS16223		2 или 1	70 g	3,3 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	4,76 мг/LSB	43 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2010 г., вибродатчик
ADIS16240		3	19 g	480 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	51,4 мг/LSB	1 мА	2,4 – 3,6	-40...+85	2009 г., датчик ударов
ADIS16209		2	90° и 180°	0,19 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,025°/LSB	36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2008 г., инклинометр
ADIS16203		1	360°	0,037°/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,025°/LSB	11 – 36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2006 г., инклинометр
ADIS16201		2	70°, 1,7 g	22 LSB rms	SPI	0,1°/LSB	11 – 36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2006 г., инклинометр
ADIS16006		2	5 g	200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	256 LSB/g	1,5 мА	3 – 5,25	-40...+125	2006 г.
ADIS16003		2	1,7 g	110 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	820 LSB/g	1,5 мА	3 – 5,25	-40...+125	2005 г.
Подсистемы гироскопов	ADIS16137	1	1000°/с	0,00357°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1/6300°/с/LSB	120 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2013 г., прецизионный
	ADIS16266	1	3500/7500/14 000°/с	0,44°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1,04/2,08/4,17°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2012 г.
	ADIS16136	1	450°/с	0,00357°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,07139°/с/LSB	120 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2011 г.
	ADIS16133	1	1200°/с	0,0122°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,05°/с/LSB	88 мА	4,85 – 5,15	-40...+105	2011 г.
	ADIS16135	1	300°/с	0,0122°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0122°/LSB	88 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2010 г., прецизионный
	ADIS16265	1	80/160/320°/с	0,044°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0183°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2009 г., программируемый
	ADIS16260	1	80/160/320°/с	0,044°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0183°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+125	2009 г., программируемый
	ADIS16060	1	80°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0122°/с/LSB	6,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2008 г., широкополосный
	ADIS16080	1	80°/с	0,05°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,098°/с/LSB	7 мА	4,75 – 5,25	-55...+125	2006 г.

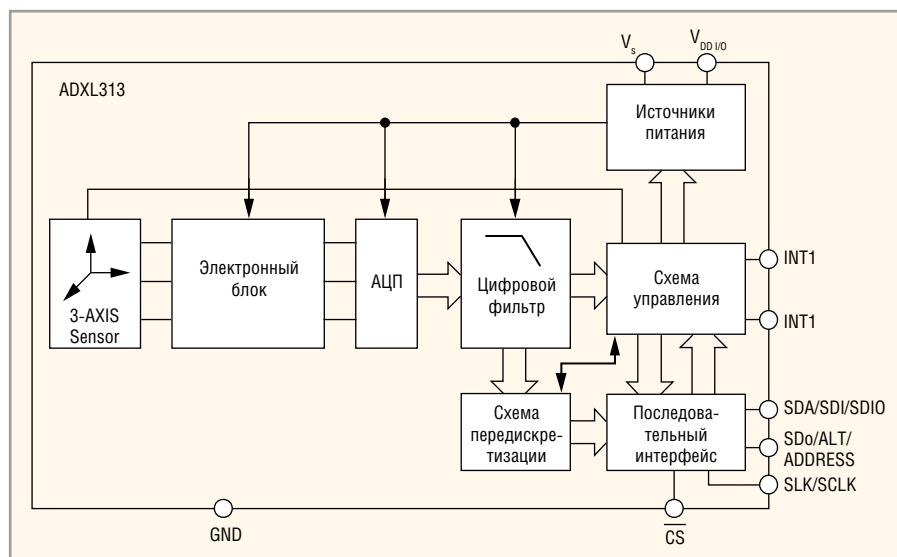


Рис. 14. Структура микросхемы ADXL313

единицах спектральной плотности шума – градус/секунда/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ($^{\circ}/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$).

- Тип выхода. Выходные сигналы аналоговых акселерометров и гироскопов обычно представлены в виде напряжения, зависящего от соответствующих измеряемых параметров. Выходные сигналы ШИМ акселерометров представляют собой последовательность импульсов, коэффициент заполнения которых зависит от величины измеряемого ускорения. Выходные сигналы цифровых приборов представляются обычно в виде вариантов (3 или 4 шины) интерфейса SPI с различной разрядностью. Некоторые приборы одновременно с SPI имеют интерфейсы I²C, а подсистемы акселерометров ADIS16000/16229 оснащены трансиверами для радиосвязи в диапазоне 902,5–927,5 МГц, приборы предназначены для организации беспроводных сетей датчиков ускорения.
- Чувствительность аналоговых акселерометров, представленных в таблице, имеет размерность мВ/г (некоторых приборов – %/г), аналоговых гироскопов – мВ/°/с. Чувствительность цифровых акселерометров в основном выражена в единицах LSB/g, однако она может определяться и параметром, называемым масштабным коэффициентом (Scale Factor), измеряемым в единицах mg/LSB, где LSB – единица младшего разряда выходного кода. Например, в техническом описании цифрового акселерометра ADXL363 приведены значения масштабного коэффициента и в единицах mg/LSB и LSB/g. Чувствительность цифровых гироско-

пов выражается в единицах LSB/°/с, цифровых инклинометров – °/LSB, цифровых подсистем гироскопов – °/с/LSB. Для ряда микросхем чувствительность выражена двумя числами (через дефис), что означает возможность её изменения в указанных пределах путём программирования.

- В графе «Примечания» указаны годы выпуска первых редакций технических описаний (спецификаций) приборов. БПФ – анализ на основе быстрого преобразования Фурье.

Рассмотрим особенности некоторых перспективных МЭМС приборов с расширенным диапазоном рабочих температур более подробно.

АКСЕЛЕРОМЕТРЫ СЕРИИ ADXL

ADXL313 – трёхосевой цифровой акселерометр с интерфейсами SPI (3 и 4 шины) и I²C. Прибор в миниатюрном корпусе LFCSP размерами 5 × 5 × 5 мм отличается чрезвычайно низким токопотреблением – 30 мкА в режиме измерения и 0,1 мкА в режиме ожидания. Измерение ускорений осуществляется с высоким разрешением (13 бит), выходные данные представлены в 16-разрядном двоичном дополнительном коде. Микросхемы отличаются низким уровнем шума – 150 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$ по осям X и Y, 250 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$ по оси Z. Фиксированное разрешение 10 бит и чувствительность 1024 LSB/g для любого диапазона ускорений, ширина полосы пропускания могут быть установлены пользователем. Прибор также обеспечивает измерение углов наклона с точностью 0,1°, а в режиме передискретизации по запатентованной 32-уровневой техно-

логии FIFO (First in First out) – с точностью до 0,025°.

Структура и назначение выводов микросхемы приведены на рисунке 14. Основные области применения: системы автомобильной сигнализации, системы помощи водителю при трогании на подъёме (HSA – Hill Start Aid), системы электронных стояночных тормозов, рекордеры данных («чёрные ящики»). Микросхемы могут работать в диапазоне температур –40...+105°C, выдерживают удары с ускорением до 10 000 g, нечувствительны к электростатическим зарядам и коротким замыканиям любых выводов на корпус.

ADXL206 – двухосевой (X, Y) термостойкий акселерометр с гарантированной наработкой 1000 часов при температуре +175°C, выполненный в керамическом корпусе SBDIP размерами 13 × 8 × 3 мм. Прибор предназначен для ориентации систем геологоразведки, измерения вибраций, высокотемпературных промышленных приложений и обеспечивает разрешение 1 mg (0,06°) на частоте 60 Гц. Структура микросхемы приведена на рисунке 15. МЭМС-датчик ускорения выполнен по технологии iMEMS, полосы пропускания каналов X и Y определяются ёмкостью внешних конденсаторов C_x, C_y и могут быть установлены в пределах 0,5 Гц – 2,5 кГц. При нулевом ускорении выходное напряжение каналов составляет 2,5 В ±0,025 В (при U_{пит} = 5 В) и отличается высокой стабильностью, дрейф «нуля» в пересчёте на ускорение не превышает ±10 mg в диапазоне температур –40...+175°C.

ADXL001-xxx – одноосевые прецизионные аналоговые акселерометры с высокой резонансной частотой (22 кГц) МЭМС-датчика. Приборы выполнены по технологии iMEMS пятого поколения в керамических корпусах LCC/E-8-1 и выпускаются в трёх исполнениях с диапазоном ускорений ±70 g (ADXL001-70), ±250 g (ADXL001-250) и ±500 g (ADXL001-500). Структура микросхем приведена на рисунке 16. Приборы отличаются высокими эксплуатационными характеристиками и широкой полосой пропускания (от постоянного тока до 32 кГц). Отклонения от линейности переходной характеристики не превышает ±0,2% во всём диапазоне измеряемых ускорений. Полностью дифференциальная обработка сигналов обеспечивает эффективную защиту от электромагнитных излучений и радиочастотных помех. Микросхемы

выдерживают ускорения до 4000 g, диапазон рабочих температур составляет $-55...+125^{\circ}\text{C}$, что позволяет применять их в ответственных медицинских, промышленных и военных приложениях.

Гироскопы серии ADXRS

ADXRS645 – термостойкий аналоговый гироскоп, структура которого представлена на рисунке 17, имеет гарантируемую наработку 1000 часов при температуре $+175^{\circ}\text{C}$. Вертикально ориентированный керамический корпус прибора позволяет измерять угловые скорости как в плоскости Pitch, так и Roll. Микросхемы выдерживают удары до 10 000 g и вибрации в широком диапазоне частот. Воздействие вибраций с уровнем до 25 g rms в диапазоне частот 50 Гц – 5 кГц вызывает выходной отклик не более $0,0006^{\circ}/\text{c/g}$, а линейные перемещения прибора по любым осям вызывают выходной отклик не более $0,1^{\circ}/\text{c/g}$. Основные области применения микросхемы: контроль направления при бурении отверстий в геологоразведке и промышленные измерения при экстремальных температурах. Поскольку вывод TEMP микросхемы подключён к внутреннему терморезистору (25 кОм при $T = 25^{\circ}\text{C}$), его можно использовать для недопущения перегрева прибора, например при бурении скважин на большой глубине.

ADXRS646 – этот высокостабильный гироскоп выполнен по такой же схеме, как и предыдущий (см. рис. 17), однако корпус CBGA размерами 7×7 мм ориентирован горизонтально, что позволяет измерять угловые скорости в плоскости Yaw. Прибор обеспечивает подавление откликов, вызванных вибрацией (не более $0,0001^{\circ}/\text{g}$) и линейными перемещениями ($0,015^{\circ}/\text{c}$) с уровнем до 25 g в диапазоне 50 Гц – 5 кГц. За

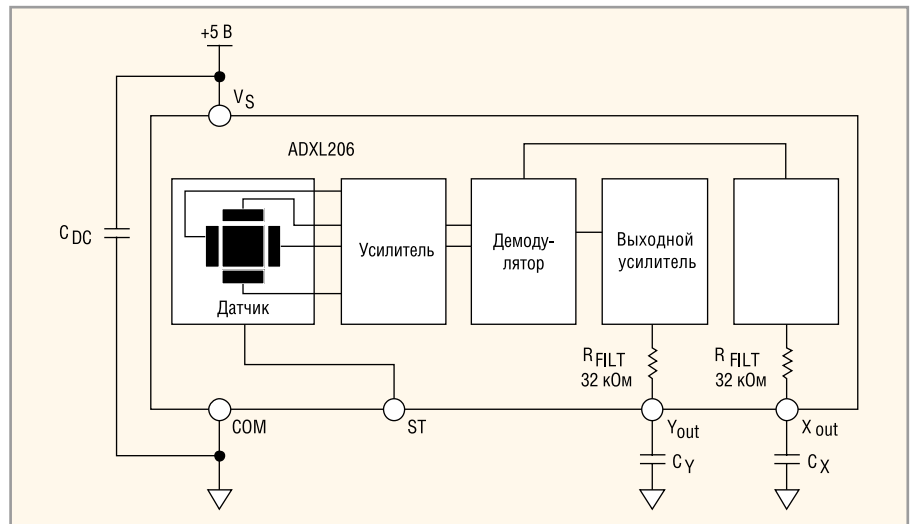


Рис. 15. Структура микросхемы ADXL206

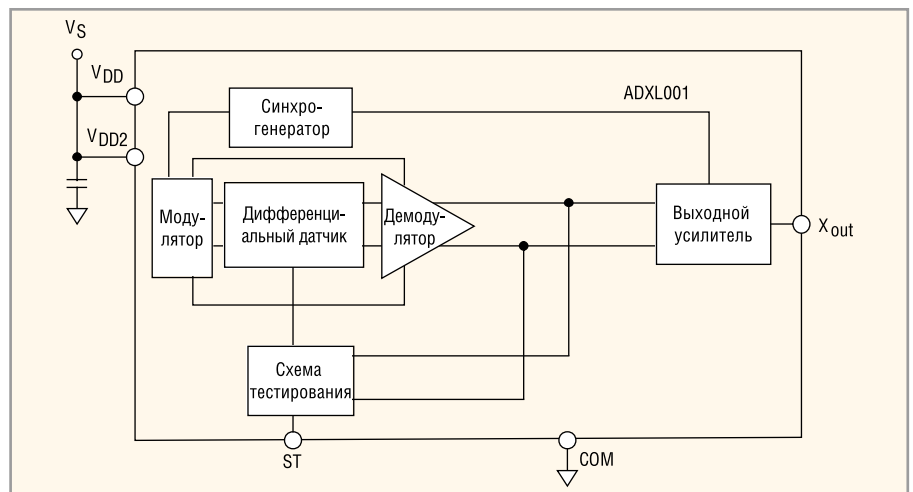


Рис. 16. Структура микросхемы ADXL001

исключением диапазона температур ($-55...+125^{\circ}\text{C}$), показатели стойкости к воздействиям внешней среды такие же, как и у предыдущего прибора.

ADXRS649 – структура и назначение выводов микросхемы соответствуют показанным на рисунке 17, однако она также, как и предыдущая, выполнена в горизонтально ориентирован-

ном керамическом корпусе CBGA габаритами 7×7 мм, что обеспечивает измерение угловых скоростей в плоскости Yaw в диапазоне до $\pm 50\,000^{\circ}/\text{c}$. Прибор отличается быстрым запуском (не более 3 мс) и высокой стойкостью к вибрациям (параметры как у ADXRS645), показатели стойкости к воздействию внешней среды аналогичны показателям

AUTEX Ltd.

- Поставка электронных компонентов ANALOG DEVICES Inc. и информационная поддержка проектов

- Проведение международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применение - DSPA”

- Консультации по цифровой обработке сигналов, проектированию и программированию устройств на базе DSP

 ANALOG
DEVICES

AUTEX Ltd.

117997, Россия, г. Москва,
ул. Профсоюзная, д.65
Тел. +7(495)334-77-41
Факс +7(495)334-91-51

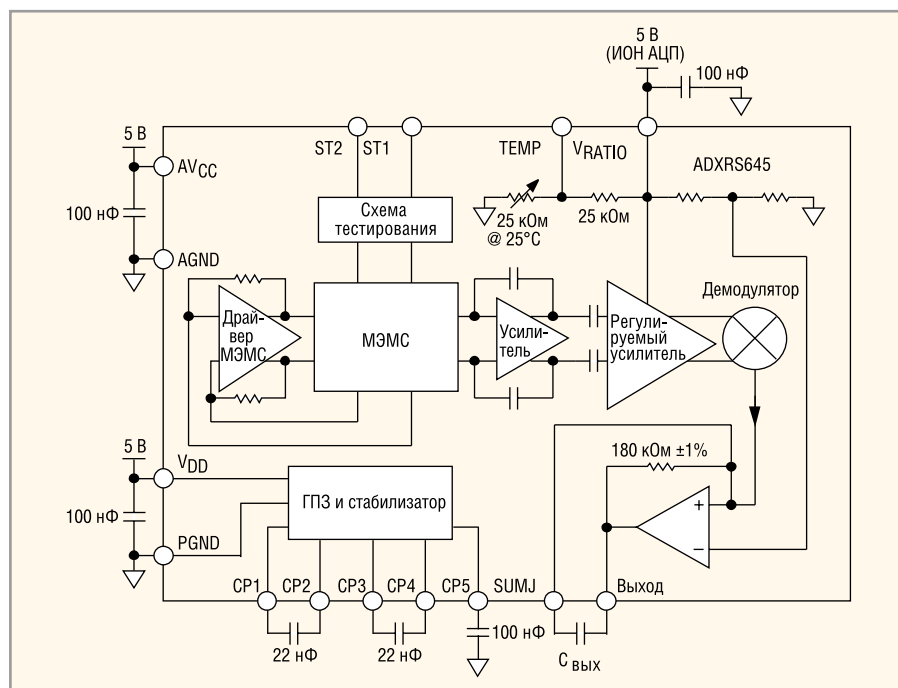


Рис. 17. Структура микросхемы ADXR645

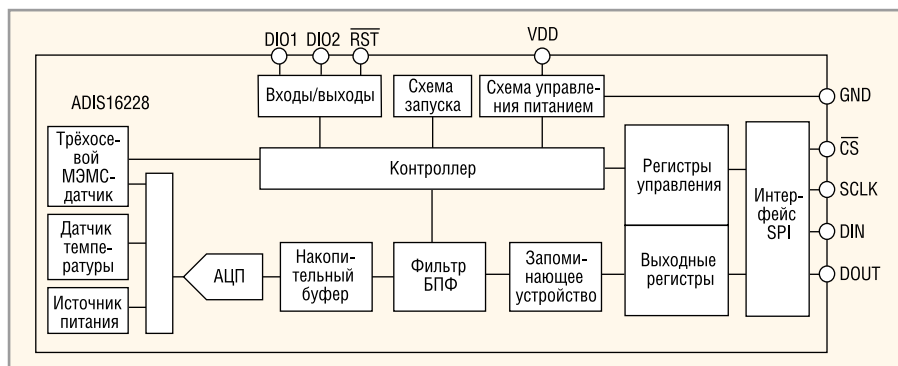


Рис. 18. Структура подсистемы ADIS16228

ADXR646. Небольшой потребляемый ток микросхемы (3 мА) в сочетании с быстрым запуском обеспечивает длительную работу микросхемы при питании от батарей, например, при питании от двух элементов CR2032 микросхема может работать три месяца.

Во всех рассмотренных выше гироскопах используются встроенные источники питания с поддержкой «виртуального нуля», равного половине напряжения питания. То есть при изменении напряжения питания пропорционально изменяется выходное напряжение, соответствующее нулевому ускорению. Внутренний стабилизатор напряжения выполнен по схеме с подкачкой заряда внешних конденсаторов, подключаемых к выводам CP1-CP5.

ПОДСИСТЕМЫ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ СЕРИИ ADIS

В подсистемы акселерометров кроме МЭМС-датчиков ускорения и аналоговых схем обработки сигналов включе-

ны дополнительные цифровые устройства: АЦП, схемы интерфейсов, тактирующие схемы, память, цифровые сигнальные процессоры, микропроцессоры и другие цифровые устройства.

ADIS16228 – трёхосевой анализатор вибраций с обработкой в частотной области на основе БПФ (быстрое преобразование Фурье) и возможностью записи нескольких выборок. Структура прибора представлена на рисунке 18, внешний вид на плате – на рисунке 19 (габариты 24 × 15 × 15 мм без шлейфа). Прибор может с успехом использоваться в портативной виброизмерительной аппаратуре, предназначенной, например, для диагностики и мониторинга подшипников качения, зубчатых передач, гидроагрегатов ГЭС, систем конвейеров на горных разработках и на многих других объектах, подвергающихся воздействию вибраций. На рисунке 20 приведена блок-схема системы непрерывного мониторинга круто-наклонного конвейера КНК-270, установленно-

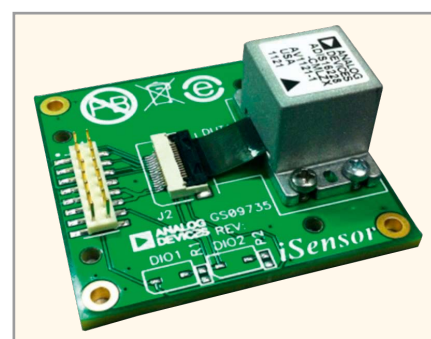


Рис. 19. Подсистема ADIS16228

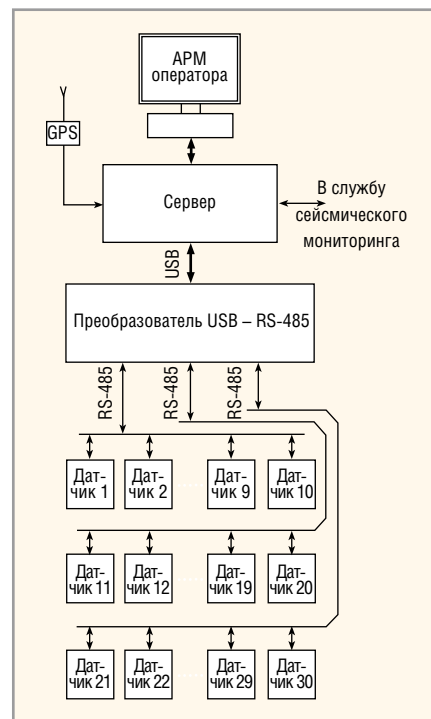


Рис. 20. Блок-схема системы КНК-270

го на карьере Мурунтау (Узбекистан), состоящая из аппаратно-программного комплекса для ЭВМ, который обрабатывает, создаёт и хранит базу данных сигналов от датчиков. В качестве датчиков в системе мониторинга использованы микросхемы ADIS16228, ADIS16229 и ADIS16000 [5].

Основные особенности и параметры прибора ADIS16228, не приведённые в таблице:

- равномерная частотная характеристика в диапазоне до 5 кГц;
- возможность записи выборок при заданных пользователем настройках;
- цифровая регулировка диапазона измерений;
- режим ручного захвата для сбора данных во временной области;
- режим внешнего запуска, управление по интерфейсу SPI, таймеру и запуск от внешнего сигнала;
- программируемый децимирующий фильтр с одиннадцатью настройками коэффициента децимации;

- потоковый режим реального времени со скоростью 20,48 kSPS по одной оси;
- режим захвата данных со скоростью 20,48 kSPS по всем осям;
- вещественный алгоритм БПФ, 512 точек по трём осям;
- различные варианты окна: прямоугольное, окно Ханнинга, с плоской вершиной;
- программируемое усреднение БПФ (до 256 усреднений);
- память на 14 выборок БПФ по трём осям.

ADIS16229 (см. рис. 21а), ADIS16000 (см. рис. 21б) – беспроводные МЭМС-системы измерения вибраций для удалённого контроля промышленного оборудования. В системы входят беспроводные узлы датчиков вибрации iSensor ADIS16229, в которые интегрированы двухосевые цифровые измерители ускорения на основе ёмкостных МЭМС, и схемы обработки сигналов в частотной и временной областях.

В качестве шлюза выступает беспроводной узел приёмника ADIS16000, обеспечивающий приём и обработку данных от удалённых узлов ADIS16229, которых может быть до шести единиц. Обмен данными осуществляется с помощью протокола беспроводной связи, разработанного ADI. Управление шлюзом производится через интерфейс SPI. Главным преимуществом разработанной компанией системы является непрерывность мониторинга удалённых станков, насосов, турбин, конвейеров, компрессоров, двигателей и другого промышленного оборудования. Это, в свою очередь, позволяет операторам сложных промышленных систем оперативно реагировать на нештатные ситуации и предотвращать поломки и аварийную остановку различных агрегатов и тем самым избежать связанных с ними больших затрат.

Радиообмен между датчиками и шлюзом осуществляется в нелицензируемом ISM-диапазоне 862–928 МГц (в России 864–865 МГц и 868,7–869,2 МГц). В отличие от анализатора вибраций ADIS16228, в рассматриваемом узле ADIS16229 используется двухосевой МЭМС-датчик ускорения. Остальные параметры и возможности по большей части такие же.

Подсистемы гироскопов серии ADIS

ADIS16133 – прецизионный датчик скорости по углу рыскания, выпол-

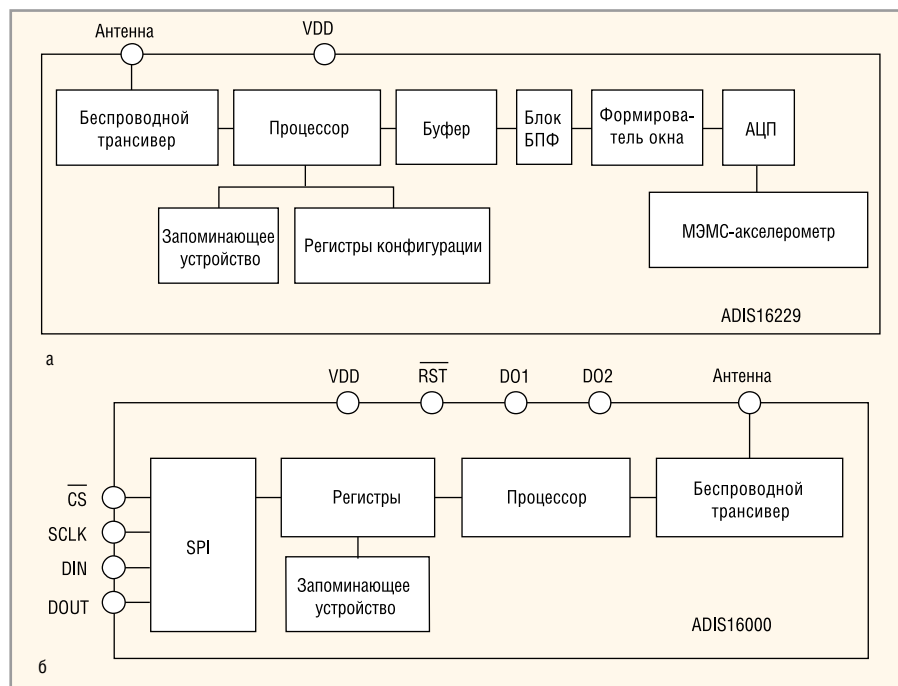


Рис. 21. Беспроводные МЭМС-системы измерения вибраций для удалённого контроля промышленного оборудования: а – структура подсистемы ADIS16229, б – структура шлюза ADIS16000

ненный в виде модуля размерами 44 × 35,6 × 13,8 мм. Прибор обеспечивает функционирование и сбор данных в автономном режиме и не требует внешних команд конфигурирования. Возможно автоматическое и ручное управление коррекцией смещения. Стабильность смещения в установившемся состоянии составляет примерно 6°/час (11°/час в диапазоне температур –40...+85°С). Время запуска не превышает 180 мс, а время восстановления из режима сна – не более 4,7 мс. Модуль производит оцифровку данных с частотой 2048 отсчётов в секунду и имеет фильтр усреднения/децимации, применение которого позволяет оптимизировать соотношение между шириной полосы пропускания и уровнем шума. Последовательный периферийный интерфейс SPI и набор внутренних регистров упрощают доступ к настройкам конфигурации и откалиброванным измерениям датчика во встраиваемых процессорных платформах. Основные области применения: прецизионные измерения, стабилизация и управление платформами, навигация промышленных транспортных средств, измерения при бурении скважин, робототехника.

Аналогичную конструкцию и присоединительные размеры имеют и цифровые датчики угловой скорости ADIS16135, ADIS16136 и ADIS16137 (см. таблицу). Чувствительность и смещение всей цепочки обработки сиг-

нала рассматриваемых датчиков подвергаются заводской калибровке в диапазоне температур –40...+85°С. В результате каждый экземпляр модулей обладает собственными уникальными формулами коррекции, обеспечивающими высокую точность измерений после его установки в систему. Эта заводская калибровка позволяет полностью исключить процедуру системной калибровки в некоторых системах и значительно упростить её в остальных случаях.

Компания выпускает и более сложные измерительные системы на основе МЭМС-датчиков, однако особенности их устройства и функционирования требуют отдельного рассмотрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol27.
2. www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol37.
3. www.bulgari-istoria-2010.com.
4. 9K720 Искандер-SS-26 STONE. www.bulgari-istoria-2010.com/booksBG/9K720%20ISKANDER.pdf. С. 24.
5. www.analog.com/ru/index.html.
6. Холикулов Э.Х., Султанов К.С., Исмаилов Х.М., Логинов П.В. Составляющие элементы системы мониторинга вибрации и колебаний КНК-270. Горный вестник Узбекистана. 2014. № 1. С. 62. www.ngmk.uz/vestnik/vest_archive/2014/56.pdf.

