

Инерциальные датчики фирмы Analog Devices

Владислав ГОЛУБ,
к. т. н.
V.Golub@vdmairs.kiev.ua

В статье рассмотрены новые инерциальные датчики компании Analog Devices, в частности — типа IMU, а также методы их оценки при помощи систем, которые разработаны и поставляются фирмой¹.

Автор этой статьи продолжает развивать тему, которая была поднята в ранее опубликованных материалах [1, 2]. Здесь рассматриваются инерциальные датчики фирмы Analog Devices, в частности — многофункциональные датчики в модульном исполнении типа IMU [3–9]. Компания — одна из ведущих по разработке и производству как микроэлектронных датчиков, так и содержащих микроэлектронные и микромеханические устройства. К первым относятся, например, полупроводниковые датчики температуры, в которых используются свойства электронно-дырочных переходов, к другим — инерциальные датчики, измеряющие линейные ускорения (акселерометры и инклинометры) и угловую скорость. Основой для микромеханических устройств является iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System) Motion Signal Processing Technology, технология Analog Devices. Продукция фирмы неоднократно была отмечена на международных выставках. Например, в июне 2010 года датчику ADIS16223 присужден Золотой приз “Best of Sensors Expo” журнала “Sensors” (ранее призы присуждались ADIS16209, ADIS16250 и ADIS16355 серии ADIS16xxx, а также другим датчикам фирмы Analog Devices) [4, 5].

Первыми среди инерциальных датчиков фирмы Analog Devices были микросхемы (ИМС) серии ADXLxxx — аналоговые акселерометры, а затем и инклинометры. Дадим некоторые пояснения. Акселерометры предназначены для измерения ускорения движения. Это может быть перемещение объекта, датчик же включен в состав системы, контролирующей это перемещение. Это могут быть удары и вибрации, обусловленные как эксплуатацией объекта, так и его испытаниями. Это могут быть и другие случаи, при которых возникает ускорение. Измерение ускорения движения производится не непосредственно, а путем измерения ускорения инерции, на которое датчик реагирует. Ускорение движения равно ускорению инерции с обратным знаком.

Ускорение инерции по воздействию аналогично ускорению тяготения (гравитации). В результате акселерометр в равной степени реагирует на ускорение тяготения и на ускорение инерции. Вектор ускорения тяготения направлен вертикально по отношению к поверхности Земли, что дает возможность измерять наклон объекта, на котором установлен датчик. Его показания пропорциональны произведению ускорения тяготения и синуса угла наклона. Акселерометр в данном случае называют инклинометром.

Датчики оптимизируются с точки зрения их назначения, характера воздействия (ударные нагрузки, вибрации, статические измерения углов наклона и др.), величины ускорения, диапазона частот и точности измерений. Об использовании результатов измерений, причем не только ускорений, но и других величин, автор рассказывает далее на примере многофункциональных датчиков типа IMU.

Компании продолжают не только выпускать, но и совершенствовать датчики серии ADXLxxx, причем последние из них — цифровые. В последнее время разработаны ИМС ADXL345 и ADXL346, экономичные 3-осевые акселерометры (последний — с напряжением питания от 1,7 до 2,75 В), с четырьмя диапазонами измеряемых ускорений $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$ и цифровым выходом, а самый новый — ADXL312, с $\pm 1,5g$, $\pm 3g$, $\pm 6g$, $\pm 12g$. Эти датчики предназначены для измерений, связанных с ускорениями как движения (вибрации, удары), так и тяготения (углы наклона), то есть оптимизированы и как акселерометры, и как инклинометры. Новым является также одноосевая ADXL950, измеряющий статические и динамические (до 400 Гц) ускорения в диапазоне до $\pm 70g$.

Следующей серией ИМС стала ADXRxxxx, в которую входят виброгироскопические датчики, предназначенные для измерения угловых скоростей (гироскопы). Действие датчиков угловых скоростей основывается на положениях теоретической механики, в частности — теоремы Кориолиса. Если сердечнику, обладающему физической массой, сообщить механическое движение с линейной скоростью в плоскости, перпендикулярной оси вращения, на него будет действовать

сила инерции, именуемая силой Кориолиса, действующая перпендикулярно векторам обеих скоростей, линейной и вращения, в направлении, обратном направлению вращения. В рассматриваемых датчиках механическим движением, сообщаемым сердечнику, является вибрационное (колебательное) движение. Отсюда и название — виброгироскопические датчики.

Сила Кориолиса, действующая на сердечник, обладающий массой, пропорциональна угловой скорости, которая подлежит измерению. Она, как и сила инерции в акселерометре, смещает его, преодолевая действие пружин. Измеряемое смещение сердечника зависит от искомой угловой скорости. В то же время датчик угловых скоростей не реагирует на ускорения, измеряемые акселерометром (инклинометром), так как содержит две секции, имеющие противофазное возбуждение электрических цепей, и дифференциальный съём выходного сигнала. В результате производится суммирование (удвоение) напряжений, пропорциональных силе Кориолиса, и компенсация напряжений, пропорциональных линейным ускорениям. Более подробно об акселерометрах, инклинометрах и гироскопических датчиках угловых скоростей можно прочесть в [1].

Компания также продолжает выпускать и совершенствовать ADXRxxxx, как и датчики предыдущей серии. Новые из них — одноосевые ADXR450, ADXR453 и ADXR652, с диапазонами измеряемых скоростей $\pm 300^\circ/\text{с}$ (первые два) и $\pm 250^\circ/\text{с}$, с цифровым и аналоговым выходами соответственно. Кроме того, ADXR450 и ADXR453 имеют две разновидности, одна из которых — в керамическом корпусе типа LCC_V. Этот корпус, благодаря своей конструкции, обеспечивает как горизонтальный, так и вертикальный монтаж датчика на печатной плате. Отметим, что в AN-1073 [7] дается описание метода монтажа датчиков в подобном корпусе.

И наконец, третья серия — цифровые ADIS16xxx. Вначале это были ИМС простейших акселерометров, инклинометров и датчиков угловых скоростей. В последнее время эта серия пополняется многофункциональными инерциальными датчиками в виде мо-

¹ В статье, с разрешения фирмы Analog Devices, использованы иллюстрации из ее литературных источников. Copyright Analog Devices, Inc. All rights reserve.

дулей типа IMU (Inertial Measurement Unit) [3]. В большинстве своем датчики содержат как 3-осевой акселерометр, так и 3-осевой гироскоп (примером являются новые датчики ADIS16334, ADIS16375 и ADIS16385), а также, дополнительно, — 3-осевой магнитометр (в датчиках ADIS16400, ADIS16405). Наряду со сложными датчиками выпускаются и более простые, среди которых новые ADIS16133, ADIS16135 (1-осевые гироскопы), ADIS16223, ADIS16227 (3-осевые акселерометры) и ADIS16305 (3-осевой акселерометр с 1-осевым гироскопом).

Отметим, что при описании рассматриваемых датчиков встречаются два вида названия — 3-осевой инерциальный датчик, Tri-Axis (Triaxial) Inertial Sensor, и датчик с шестью степенями свободы, Six Degrees of Freedom Inertial Sensor. И то, и другое названия относятся к одним и тем же датчикам, содержащим 3-осевой акселерометр и 3-осевой гироскоп (например, указанные выше датчики ADIS16334, ADIS16375 и ADIS16385). А датчик ADIS16305 — с четырьмя степенями свободы, Four Degrees of Freedom Inertial Sensor.

Инерциальными являются те датчики, действие которых связано с инерцией, а также с тяготением, которые описываются законами механики и связаны с линейными ускорениями и угловыми скоростями [1]. Магнитометр — не инерциальный датчик, но он входит в общий состав модулей ADIS16400 и ADIS16405, так как используется совместно с инерциальными датчиками в системах инерциальной навигации.

Отметим, согласно сказанному выше, что при анализе результатов измерения линейных ускорений, обусловленных движением, следует учитывать воздействие тяготения, на которое датчик ускорений (по своей физической сути) реагирует так же, как и на явление инерции, обусловленное ускоренным движением [1–3]. Что касается измерения угловых скоростей, то в датчиках используются 2-секционные чувствительные элементы (по каждой из осей измерения), в которых обеспечивается компенсация воздействия линейных ускорений и тяготения [10]. Применение же комбинированных датчиков, линейных ускорений и угловых скоростей позволяет избежать влияния тяготения на общий результат измерения [3].

Рассмотрим (в упрощенном представлении) действие и использование датчиков в инерциальной навигационной системе, установленной на подвижном объекте. Из трех датчиков системы основной — акселерометр, измеряющий линейное ускорение. Последнее является суммой двух ускорений — движения (точнее инерции — с обратным знаком) и тяготения. Двойное интегрирование результатов измерения ускорения движения должно обеспечить определение траектории движения объекта и, соответственно, его текущего места нахождения. Однако для этого необходимо

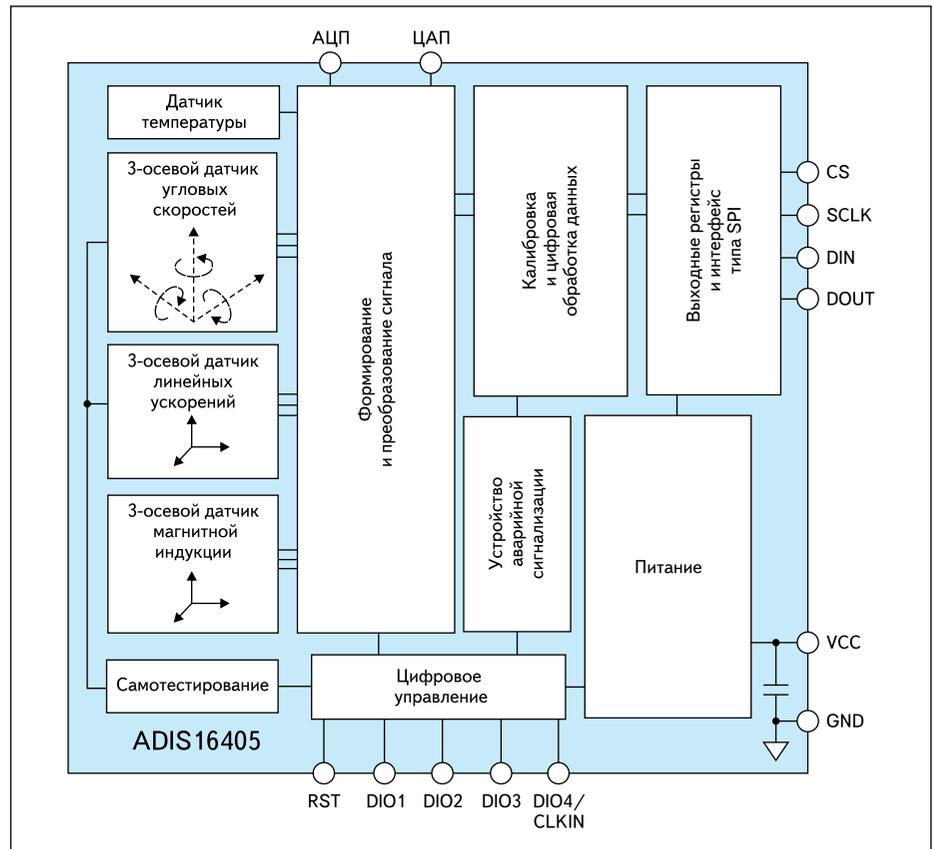


Рис. 1. Структурная схема инерциальных датчиков ADIS16400/405 фирмы Analog Devices с тремя 3-осевыми чувствительными элементами

знать исходное положение объекта и его ориентировку, а также исключить результат измерения составляющей, обусловленной тяготением.

В исходном состоянии, когда, например, объект неподвижен, акселерометр измеряет ускорение тяготения (гравитации), его три составляющие разложены по осям X, Y, Z. По этим трем составляющим определяются углы наклона объекта. Если в составе датчика имеется магнитометр, он определяет исходное направление объекта (например, его оси X) относительно Земли. В программе навигационной системы должна быть «карта» с данными индукции магнитного поля Земли, причем как с учетом магнитных склонений и аномалий, так и высоты относительно уровня моря. Кроме того, карта должна содержать данные ускорения тяготения для тех же точек возможного расположения объекта.

Итак, в исходном состоянии должны быть известны место нахождения объекта, которое сообщается системе (или известно ей по предшествующим данным), и начальное направление предстоящего движения объекта, определяемое самой системой (или сообщаемое ей). Когда объект находится в движении, данные датчика угловых скоростей (гироскопа) интегрируются, и в результате определяются углы наклона (в каждый момент времени). С учетом углов наклона, а также уточняющих данных карты опреде-

ляется вектор ускорения тяготения (относительно объекта). Последний вычитается из общего вектора ускорений, измеряемых акселерометром. Разность векторов — это ускорение движения (с обратным знаком относительно ускорения инерции), которое, как уже сказано, после двойного интегрирования определяет траекторию движения объекта. Траектория «наносится» на карту, ее может наблюдать оператор объекта, и она может передаваться на пункт наблюдения посредством радиосвязи.

На рис. 1 приведена структурная схема модулей ADIS16400/405, содержащих три 3-осевых датчика — для измерения угловых скоростей и линейных ускорений объекта, а также индукции магнитного поля окружающей среды. Указанные, а также другие модули содержат цифровые преобразователи данных измерений (16 бит для ADIS16375, ADIS16385 и 14 бит для остальных датчиков), интерфейс типа SPI и, кроме того, датчик температуры, канал вспомогательных 12-разрядных АЦП и ЦАП и другие устройства.

На рис. 2 показан общий вид конструкции модулей ML-24-4, ML-24-6, ML-20-1, ML-24-2 и ML-24-5, используемых для датчиков типа IMU. Корпус ML-20-1 имеет 14 выводов во внешнем соединителе, остальные — по 24. Принадлежность того или иного типа корпуса конкретному датчику показана в таблице. Габаритные размеры корпусов (максималь-

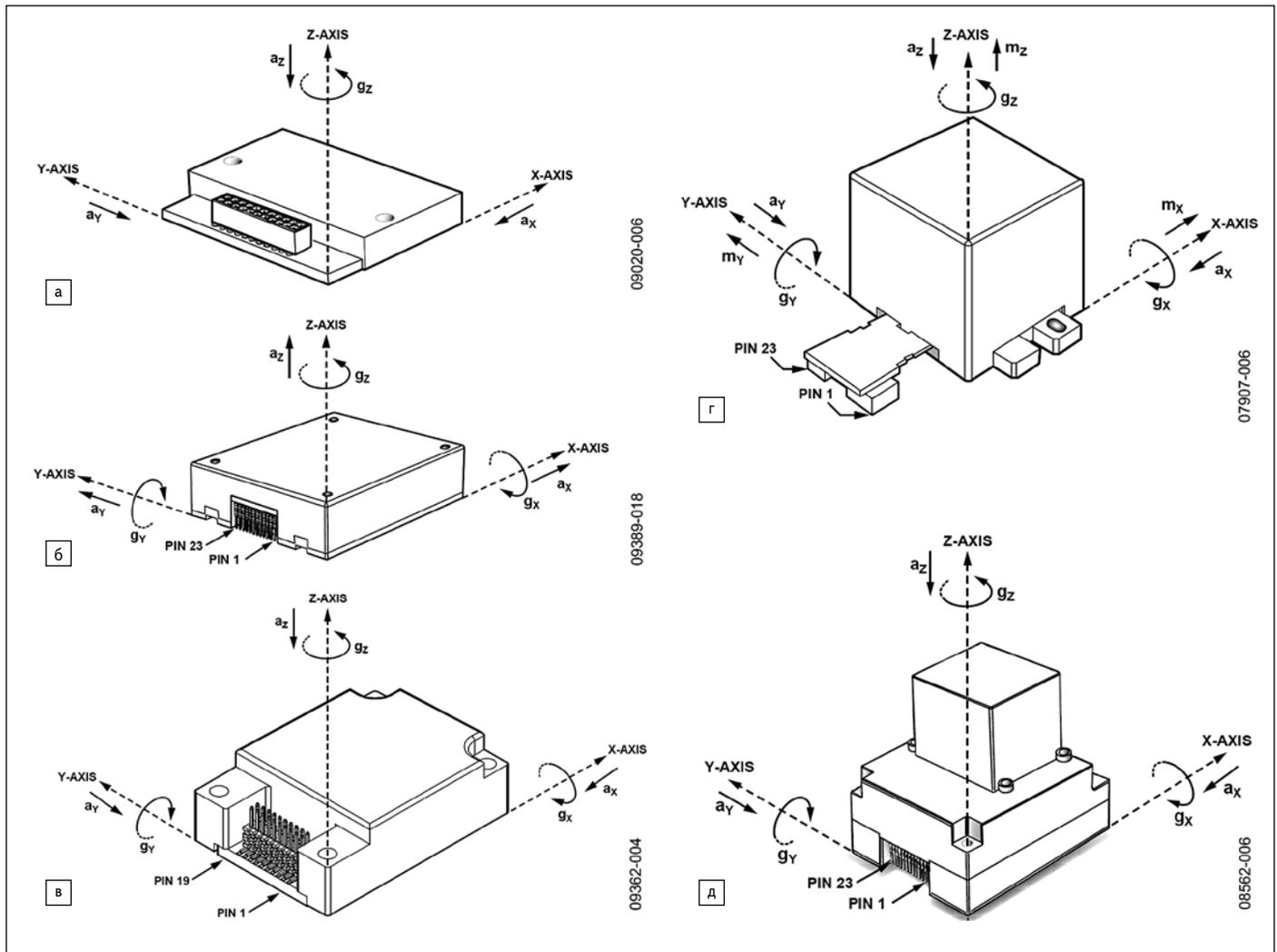


Рис. 2. Корпуса инерциальных датчиков типа IMU — серий ADIS163xx и ADIS164xx фирмы Analog Devices: а) ML-24-4; б) ML-24-6; в) ML-20-1; г) ML-24-2; д) ML-24-5

ные, в мм): 31,25×23,25×8, 44,25×47,25×14,25, 24,15×32,7×10,8, 31,9×38×23,5 (23,5×23×23,5 без фланца и кабеля) и 35,9×47,5×39,3, соответственно перечисленным выше типам корпусов. В таблице приведены и другие данные датчиков серий ADIS163xx и ADIS1640x.

Отметим, что датчик ADIS16355, недавно получивший приз, как и другие датчики серии ADIS1635x, уже считается устаревшим, что свидетельствует о развитии датчиков данного направления. Как уже отмечалось, самые новые из датчиков IMU — ADIS16305, ADIS16334, ADIS16375 и ADIS16385. Последние три из них являются наиболее совершенными из числа датчиков с шестью степенями свободы, а ADIS16305 — наиболее простым (из общего числа датчиков типа IMU), с четырьмя степенями. Новыми являются также ADIS16133 и ADIS16135, одноосевые гироскопы (± 1200 и $\pm 300^\circ/\text{с}$), и ADIS16223 и ADIS16227, 3-осевые акселерометры ($\pm 70g$), не относящиеся к IMU, но также выпускаемые в корпусах модулей — типа ML-24-3 и ML-14-2 (с 24 и 14 выводами) соответственно. В последнее время вновь выпущены также Data Sheets на датчики ADIS1636x.

Отметим, что применение модульной конструкции обусловлено сложностью датчиков (например, в ADIS1640x — три 3-осевых датчика в одном корпусе). Можно предположить, что из числа датчиков трех видов максимальными размерами обладает 3-осевой гироскоп. Но в то же время следует отметить, что новый датчик ADIS16334, несмотря на то, что содержит 3-осевой гироскоп, обладает уже, в отличие от других датчиков, плоской конструкцией и, соответственно, меньшими размерами (модуль ML-20-1 на рис. 2в).

На рис. 2 показано расположение осей датчиков — X, Y и Z, а также измеряемых величин — линейных ускорений a_x, a_y, a_z , угловых скоростей g_x, g_y, g_z и магнитной индукции m_x, m_y, m_z . И еще: показанные на рис. 2г векторы магнитной индукции имеют отношение только к датчикам с магнитометром — ADIS1640x. Отметим также, что линейные ускорения и угловые скорости имеют противоположную направленность относительно векторов X, Y и Z. Последнее обусловлено тем, что, как уже говорилось, направление сил инерции, на которые реаги-

рует датчик, противоположно направлениям измеряемых ускорений и скоростей.

На рис. 3 в обобщенном виде показан канал преобразования сигналов, пропорциональных (по каждой из осей) линейному ускорению и угловой скорости, используемый в данном случае в новом датчике ADIS16334. Аналогичные каналы используются и в других датчиках. В каждом канале (рис. 3) после чувствительного элемента включен аналоговый ФНЧ с частотой среза 330 Гц. Причем для каждого из трех каналов акселерометра — это ФНЧ первого порядка, а для каналов гироскопа — второго порядка, с частотами полюсов 404 и 757 Гц. Затем — АЦП и цифровые фильтры двух типов.

Первый из них — это 2-каскадный КИХ-фильтр с окном Бартлетта [11], другой — усредняющий децимирующий фильтр [12]. Функции выходного сигнала фильтров показаны на том же рис. 3. Частота считывания на выходе АЦП, ее исходное значение, $f_T = 819,2$ бит/с. На выходе децимирующего фильтра частота понижается (в зависимости от программирования), например, до $f_D = f_T/N_D = 51,2$ бит/с, где $N_D = 2^D = 16$,

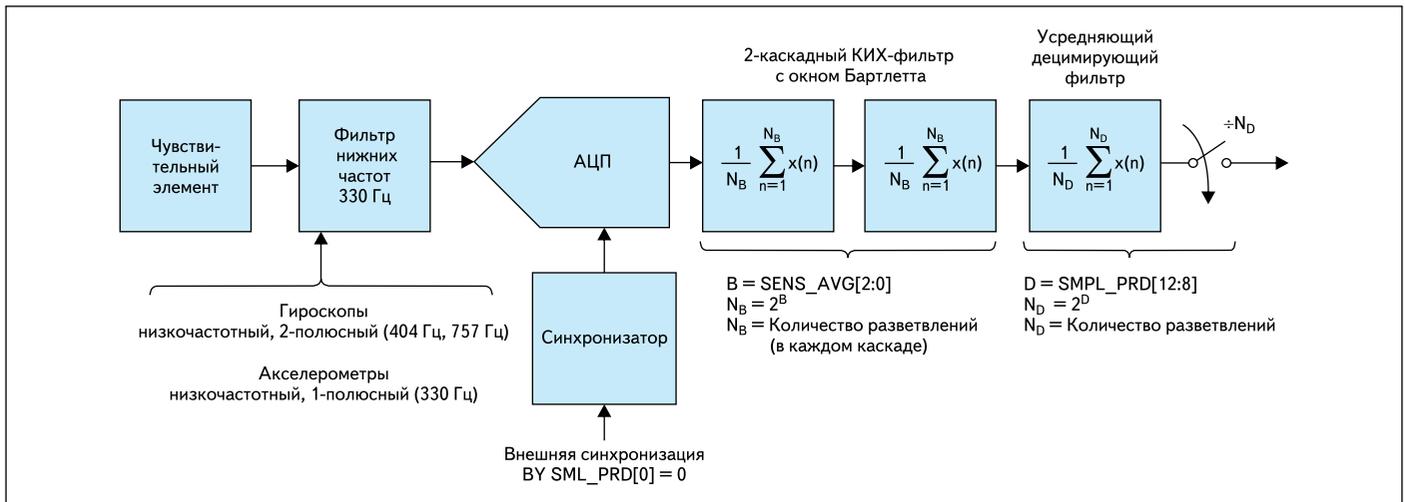


Рис. 3. Канал преобразования сигналов угловых скоростей и линейных ускорений инерциального датчика ADIS16334 фирмы Analog Devices

$D = 4$ при полосе частот аналогового сигнала до 25 Гц. N_D — это количество разветвлений на входе фильтра, каждое из которых отличается величиной вносимой задержки, увеличиваемой на каждые $1/f_s$. Коэффициенты передачи для каждого разветвления одинаковы и равны $1/N_D = 1/16$ (для $N_D = 16$). Первый из фильтров (2-каскадный, с окном Бартлетта) также программируется. Отметим, что $f_T = 1024$ бит/с и 2,46 кбит/с — для ADIS16385 и ADIS16375 соответственно.

Помимо приведенных в таблице данных, датчики, являясь измерительными устройствами, характеризуются точностными параметрами. Это погрешность измерения по каждой из осей, погрешность юстировки осей в пределах каждого датчика (акселерометра, гироскопа или магнитометра) и между датчиками, а также относительно корпуса.

Указанные и другие данные датчиков приводятся в Data Sheets [6]. Отметим некоторые из них на примере новых датчиков ADIS16334 и ADIS16385. Точность расположения осей акселерометра и гироскопа относительно корпуса — в пределах $\pm 0,5^\circ$, между осями акселерометра — в пределах $\pm 0,1^\circ$, осей гироскопа относительно оси Z акселерометра — в пределах $\pm 0,05^\circ$. Подобными данными обладают и другие новые датчики, например ADIS16375 (точность расположения осей акселерометра в последнем — в пределах $\pm 0,035^\circ$), а также ADIS16400 и ADIS16405, дополнительно характеризующиеся нормами для магнитометра: $0,5^\circ$ относительно корпуса и $0,25^\circ$ между осями магнитометра. Норма относительно корпуса дается для каждой разновидности датчика в составе одного модуля. Но приводится и более жесткая норма, указанная выше, — относительно оси Z акселерометра.

Существенны и такие данные — общий рабочий диапазон температур и «калибровочный», для которого гарантируются нормы параметров [6]. Диапазоны температур показаны в таблице. Есть определенная закономер-

ность между ними и обозначениями датчиков. Последним цифрам 0, (2 и 4), (5 и 7) в обозначениях соответствуют калибровочные температуры $+25^\circ\text{C}$, $-20\dots+70^\circ\text{C}$, $-40\dots+85^\circ\text{C}$ соответственно. А предпоследним цифрам (0, 5 и 7), (3, 6 и 8) — диапазоны рабочих температур $-40\dots+85^\circ\text{C}$, $-40\dots+105^\circ\text{C}$. Сказанное относится к датчикам серии ADIS163xx, а для датчиков ADIS1640x (ADIS16400, ADIS16405) несколько иначе: рабочий диапазон составляет $-40\dots+105^\circ\text{C}$ при тех же калибровочных $+25^\circ\text{C}$, $-40\dots+85^\circ\text{C}$.

Отметим также, что ADIS163xx — это датчики, содержащие акселерометры и гироско-

пы, а ADIS164xx дополнительно содержат еще и магнитометры. А такие более простые новые датчики, как ADIS16133, ADIS16135 и ADIS16223, ADIS16227, — это одноосевые гироскопы и 3-осевые акселерометры соответственно (последние — для измерения вибрационных ускорений) [6]. Первые из них имеют калибровочный диапазон температур $-40\dots+85^\circ\text{C}$ и рабочий $-40\dots+105^\circ\text{C}$, а вторые — температуру калибровки $+25^\circ\text{C}$ и рабочий диапазон $-40\dots+125^\circ\text{C}$.

Производитель датчиков, фирма Analog Devices, уделяет большое внимание вопросу ознакомления потребителей с датчиками

Таблица. Характеристики инерциальных датчиков типа IMU (серии ADIS163xx и ADIS164xx) фирмы Analog Devices

Тип датчика ¹	Данные датчиков							Корпус датчика ²	Data Sheets	
	Акселерометр		Виброгироскоп		Магнитометр		Диапазоны температур, °C			
	Количество осей	g	Количество осей	°/с	Количество осей	Гс	Калибровочный			Рабочий
ADIS1630xAAMLZ										
ADIS16300AMLZ	3	±3	1	Прим. 3	—	—	+25	-40...+85	ML-24-4	Rev. A, 4/09
ADIS16305AMLZ							-40...+85			Rev. 0, 7/10
ADIS1633xBMLZ										
ADIS16334BMLZ	3	±5	3	Прим. 3	—	—	-20...+70	-40...+105	ML-20-1	PrB, 11/10
ADIS1635xAAMLZ										
ADIS16350AMLZ							+25			Rev. B, 9/09
ADIS16355AMLZ	3	±10	3	Прим. 3	—	—	-40...+85	-40...+85	ML-24-2	
ADIS16354AMLZ		±1,7					-20...+70			Rev. A, 11/09
ADIS1636xBMLZ										
ADIS16360BMLZ		±18					+25			Rev. C, 8/10
ADIS16365BMLZ							-40...+85			
ADIS16362BMLZ	3	±1,7	3	Прим. 3	—	—	-20...+70	-40...+105	ML-24-2	Rev. B, 12/09
ADIS16364BMLZ		±5								Rev. C, 8/10
ADIS16367BMLZ		±18		Прим. 4			-40...+85			Rev. 0, 1/10
ADIS1637xAAMLZ										
ADIS16375AMLZ	3	±18	3	±300	—	—	-40...+85	-40...+85	ML-24-6	Rev. 0, 10/10
ADIS1638xBMLZ										
ADIS16385BMLZ	3	±5	3	Прим. 3	—	—	-40...+85	-40...+105	ML-24-5	Rev. A, 8/10
ADIS1640xBMLZ										
ADIS16400BMLZ							+25			
ADIS16405BMLZ	3	±18	3	Прим. 3	3	±2,5	-40...+85	-40...+105	ML-24-2	Rev. B, 7/09

Примечания:

- 1 Датчики ADIS16350/4/5 считаются устаревшими. В новых разработках рекомендуется применять другие из числа тех, что приведены в таблице.
- 2 Датчики с цифрами 24 и 20 в обозначении модуля — с 24 и 16 выводами соответственно. Вторая цифра — отличительный номер конструкции модуля.
- 3,4 Переключаемые диапазоны угловых скоростей ± 75 , ± 150 , $\pm 300^\circ/\text{с}$ и ± 300 , ± 600 , $\pm 1200^\circ/\text{с}$ соответственно.

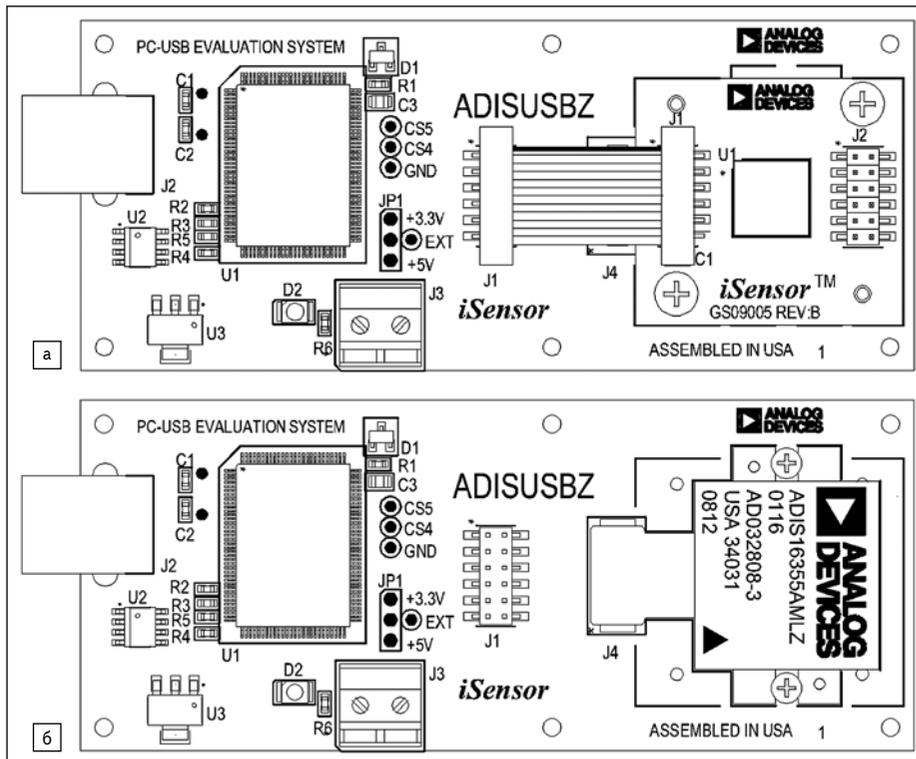


Рис. 4. а) Плата ADISUSBZ системы PC-USB Evaluation System с установленными на ней датчиками: ИМС с оценочной платой; б) модуль IMU в корпусе ML-24-2

и оценке их возможностей. Поэтому наряду с датчиками компания предоставляет средства проверки: простейшие — оценочные интерфейсные платы и более сложные — оценочные системы ADISEVAL и ADISUSBZ, а также программное обеспечение к ним (Evaluation Software) [13–15].

Соответственно, для каждого из датчиков фирма Analog Devices предоставляет оценочную интерфейсную плату, которая дает возможность включить датчик, ознакомиться с ним и оценить его. Оценочная плата ADIS16385/PCBZ, например, состоит из двух частей — печатной платы с тремя разъемами (один для датчика и два внешних) и жестко установленного на ней (без кабеля) датчика ADIS16385. Конструкция платы обусловлена конструкцией датчика, которая показана на рис. 2в. Другие оценочные платы, напри-

мер для датчиков ADIS16305 и ADIS1636х, согласно рис. 2а, б, имеют другую, но однотипную печатную плату, с которой ADIS1636х соединены своим кабелем, а ADIS16305 — отдельным (внешним) кабелем с двумя разъемами. Подчеркнем, что датчик числится в составе оценочной платы, в связи с чем печатная плата отдельно (без датчика) не поставляется.

Фирма Analog Devices выпускает также более сложную плату, одну и ту же для всех датчиков, — Evaluation System ADISUSBZ [14], поставляемую без датчика. Плата (или, как следует из ее названия, — система) показана на рис. 4, на котором видно, как датчики, имеющие разные конструкции, подсоединяются к ней. На рис. 4а показано подключение более простых датчиков, ИМС серий ADIS160xx, ADIS161xx и ADIS162xx, — вместе с интерфейсной платой в качестве промежуточной, а на рис. 4б — модулей IMU серий ADIS163xx и ADIS1640х в корпусе ML-24-2.

Существует еще одна система — Evaluation System ADISEVAL [13], но для ИМС ADIS16xx, ADIS161xx и ADIS162xx. Система ADISUSBZ предназначена для подключения к USB-порту компьютера, а ADISEVAL — к параллельному порту. Подключение датчиков к оценочным платам и указанным двум системам наглядно показано в [13, 14].

Для обеспечения проверки датчиков предназначены программы, поставляемые в составе 350ES.zip и 405ES.zip [15]. Одна из программ предназначена для модулей ADIS1635х и ADIS1636х, другая — для ADIS1640х. ■

Литература

1. Голуб В. Датчики ускорений и угловых скоростей: новые ИМС и модули фирмы Analog Devices // Электронные компоненты — Украина. 2009. № 5–6.
2. Голуб В. Инерциальные датчики типа IMU фирмы Analog Devices // Электронные компоненты — Украина. 2010. № 9–10.
3. Власенко А. Новые инерциальные датчики IMU семейства iSensor // Компоненты и технологии. 2010. № 3.
4. Analog Devices' Award Winning iSensor Technology: Highly Integrated and Programmable Motion Sensor Processing for Industrial Applications.
5. Analog Devices' Press Releases: about ADXRS450, May 11, 2010; about ADIS16135, ADIS15385, Jun. 9, 2010; about ADIS16223, Jun. 14, 2010; about ADXRS453, Sep. 29, 2010; about ADIS16227, Nov. 9, 2010; about ADIS16334, ADIS16375, Nov. 9, 2010 (www.analog.com).
6. Analog Devices' Data Sheets: ADXL312, Rev. PrC, 11/10; ADXL345, Rev. A, 4/10; ADXL346, Rev. 0, 5/10; ADXRS450, Rev. PrA, 4/10; ADXRS453, Rev. PrA, 7/10; ADXRS652, Rev. A, 7/10; ADIS16133, Rev. 0, 9/10; ADIS16135, Rev. 0, 4/10; ADIS16223, Rev. 0, 6/10; ADIS16227, Rev. 0, 10/10; ADIS16300, Rev. A, 4/09; ADIS16305, Rev. 0, 7/10; ADIS16334, Rev. PrB, 2010; ADIS16360/ADIS16365, Rev. C, 8/10; ADIS16362, Rev. B, 12/09; ADIS16364, Rev. C, 8/10; ADIS16367, Rev. 0, 1/10; ADIS16375, Rev. 0, 10/10; ADIS16385, Rev. A, 8/10; ADIS16400/ADIS16405, Rev. B, 7/09.
7. Analog Devices' Application Notes: AN-1041, Rev. 0, 8/09; AN-1042, Rev. 0, 8/09; AN-1045, Rev. 0, 11/09; AN-1049, Rev. 0, 10/09; AN-1057, Rev. 0, 2/10; AN-1073, Rev. 0, 4/10.
8. Analog Devices' Circuit Notes: Sensing Low-g Acceleration Using the ADXL345 Digital Accelerometer Connected to the ADuC7024 Precision Analog Microcontroller: CN-0133, Rev. 0, 10/09; Sensing Angular Velocity Using the ADXRS450 Digital Rate Sensor with Programmable Supply Voltage: CN-0163, Rev. 0, 5/10.
9. Looney M. Analog Devices' iSensor Demo/Evaluation Tips for the ADIS1640x. Feb. 2009 — www.analog.com/ADIS1640x_Demo_EvalTips.pdf
10. Geen J., Krakauer D. New iMEMS Angular-Rate-Sensing Gyroscope // Analog Dialogue. 2003. No 3 (www.analog.com/analogdialogue).
11. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. (Lam H. Y.-F., Analog and Digital Filters: Design and Realization. Prentice-Hall, 1979.)
12. Голуб В. Сигма-дельта АЦП: принципы построения и новые ИМС фирмы Analog Devices // Электронные компоненты — Украина. 2009. № 9–10 (с уточнением в № 11–12).
13. Analog Devices' iSensor PC Evaluation System ADISEVAL, Rev. PrC, 7/08 — www.analog.com/ADISEVAL.pdf
14. Analog Devices' iSensor PC-USB Evaluation System ADISUSBZ, Rev. PrA, 7/08 — www.analog.com/ADISUSBZ.pdf
15. Analog Devices' Evaluation Software: 350ES.zip; 405ES.zip