

Использование акселерометра ADXL335 для определения угла отклонения от вертикали

Д.С.Федоров, А.Ю. Ивойлов, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация: Рассматриваются основные вопросы, возникающие при работе с акселерометром ADXL335: оцифровка сигналов с датчика и алгоритм вычисления угла с помощью отладочной платы STM32VLDISCOVERY.

Ключевые слова: Акселерометр, ADXL335, микроконтроллер, STM32, STM32DISCOVERY.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день различные устройства измерения угла отклонения относительно гравитационного поля Земли находят все более широкое применение: от недорогих смартфонов до сложных авиационных систем (определение крена и тангажа). Не менее разнообразными являются и принципы, на которых основана работа таких устройств. Одними из самых распространенных являются гироскопы, инклинометры и акселерометры.

В данной статье будет рассматриваться принцип определения угла наклона с помощью акселерометра ADXL335. Данный алгоритм может применяться к любым другим трех- и двухосевым акселерометрам, а также одноосевым, оси которых расположены перпендикулярно друг другу.

ПРИНЦИП РАБОТЫ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Акселерометр – это устройство, измеряющее проекцию на его оси суммы всех сил, приложенных к его корпусу, кроме силы тяжести [2]. То есть он измеряет проекцию кажущегося ускорения (разность между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Отсюда следует, что применение акселерометра для определения угла наклона имеет смысл, когда сила, приложенная к корпусу (реакция опоры), равна по модулю силе тяжести и направлена в противоположную сторону, то есть датчик должен находиться в покое или, по крайней мере, двигаться без ускорения, что в реальных системах встречается не часто.

Существует несколько видов акселерометров, отличающихся по чувствительным элементам и принципу действия. На рис.1 представлена

структурная схема одноосевого акселерометра, который преобразует изменение положения чувствительного элемента 2 в напряжение с помощью потенциометра 3.

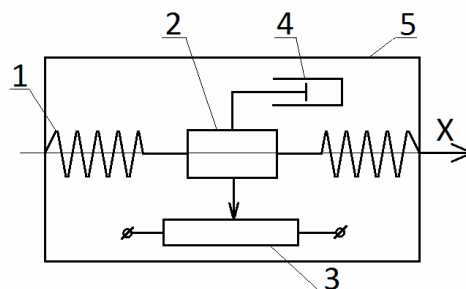


Рис. 27 - Внутреннее устройство одноосевого акселерометра. 1 – пружина, 2 – чувствительный элемент, 3 – потенциометр, 4 – демпфер, 5 – корпус.

Чувствительный элемент представляет собой массу, закрепленную на пружинах, которые прикреплены к корпусу. Демпфер используется для уменьшения влияния собственных колебаний чувствительного элемента.

На вышеприведенном рисунке к корпусу не приложены никакие силы вдоль оси X. Если же корпусу сообщить ускорение, то картина изменится следующим образом:

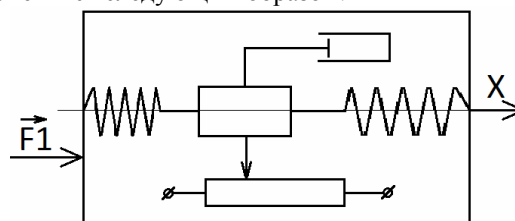


Рис. 2 - Внутреннее устройство одноосевого акселерометра при воздействии силы вдоль его оси чувствительности.

В данном случае к корпусу была приложена сила F_1 , чувствительный элемент смещается влево, в сторону, противоположную F_1 . Это смещение регистрирует потенциометр, и на выходе датчика появляется напряжение, пропорциональное приложенной силе.

Если же расположить одноосный акселерометр перпендикулярно земной поверхности, то есть вдоль вектора силы тяжести, то датчик произведет измерение силы реакции опоры:

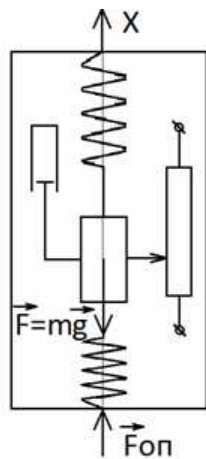


Рис. 3 - Внутреннее устройство одноосного акселерометра при измерении силы реакции опоры.

При повороте датчика из положения на рис.3 в положение на рис.1, значение проекции силы F на ось X будет уменьшаться. Если к данному одноосевому акселерометру добавить второй такой же, но расположить его ось чувствительности перпендикулярно оси первого, получится двухосевой акселерометр. Как известно, по проекциям вектора на две оси (OX , OY) декартовой системы координат можно восстановить угол данного вектора в этой системе, что нам и нужно.

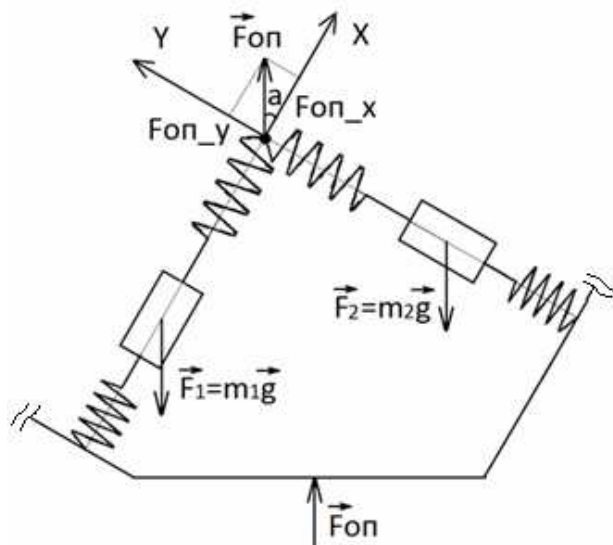


Рис. 4 - Расчетная схема угла наклона по чувствительности проекциям вектора на оси чувствительности.

Получается, что при наклоне датчика происходит изменение угла системы координат относительно вектора $F_{оп}$. Величина угла наклона будет равна:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{F_{оп\ y}}{F_{оп\ x}}\right), \text{ а значения проекций будут пропорциональны показаниям самого}$$

датчика. Ниже представлены технические характеристики акселерометра ADXL335.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Число осей чувствительности: 3
 Ток потребления: 350 мкА
 Диапазон измерений: $\pm 3,6 g$
 Нелинейность: $\pm 0,3 \%$
 Чувствительность: 400 мВ/г
 Рабочее напряжение: 3В

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ДАТЧИКА

Данный датчик был подключен к АЦП микроконтроллера STM32F100RBT6B для оцифровки сигналов, идущих с двух каналов акселерометра (x и y). Характеристики АЦП: разрядность – 12, время преобразования – 1,2 мкс, погрешность преобразования – 2...5 МЗР. АЦП был настроен на режим непрерывного опроса двух каналов, к которым были подключены выводы датчика. После завершения АЦ преобразования результаты будут находиться в двух регистрах данных, а также будет выставлен флаг. Данные из регистров могут быть считаны в любой момент времени.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

Для вычисления угла наклона датчика по известным величинам проекций вектора на оси чувствительности был выбран табличный метод: в память микроконтроллера STM32 сохранялись два массива (столбца). В первый из них записывались по порядку возможные значения частного двух проекций, а во второй соответствующие им результаты функции \arctg , заранее вычисленные на компьютере. Всего значений в таблице – 200, они охватывают диапазон от 0 до 45 градусов. Чтобы вычислить значение угла наклона, микроконтроллер оцифровывает значения проекций, делит меньшую из них по модулю на большую, находит ближайшее к этому значению число из первого массива. Искомому углу будет соответствовать число из второго массива, имеющее тот же индекс, что и выбранное до этого число из первого массива. На рис.6 изображена блок-схема подпрограммы “Вычислить угол”. В ней определяется значение угла от 0 до 45 градусов. $K[200]$ – массив, содержащий аргументы функции \arctg . $F[200]$ – массив соответствующих значений угла. На рис.5 представлена блок-схема алгоритма вычисления угла от -179 до 180 градусов, который для своей работы использует алгоритм на рис.6.

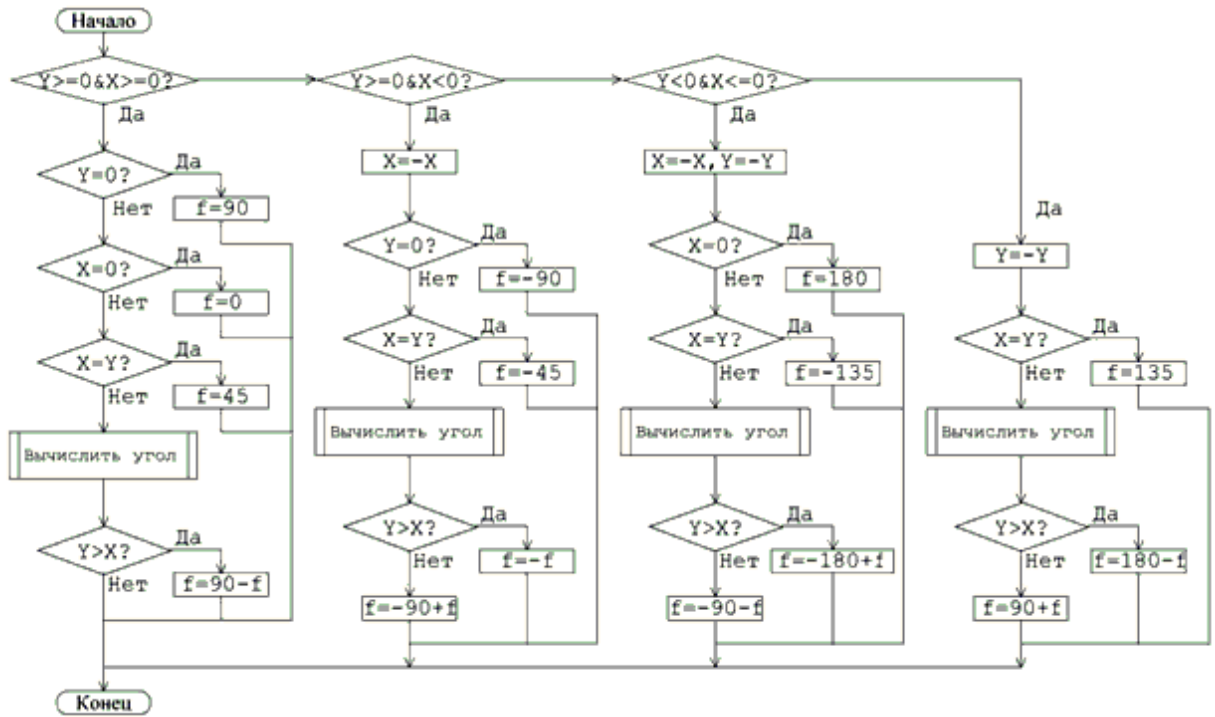


Рис.5 – Блок-схема алгоритма. Обозначения: Y – проекция ускорения на вертикальную ось, X – проекция ускорения на горизонтальную ось, f – угол наклона

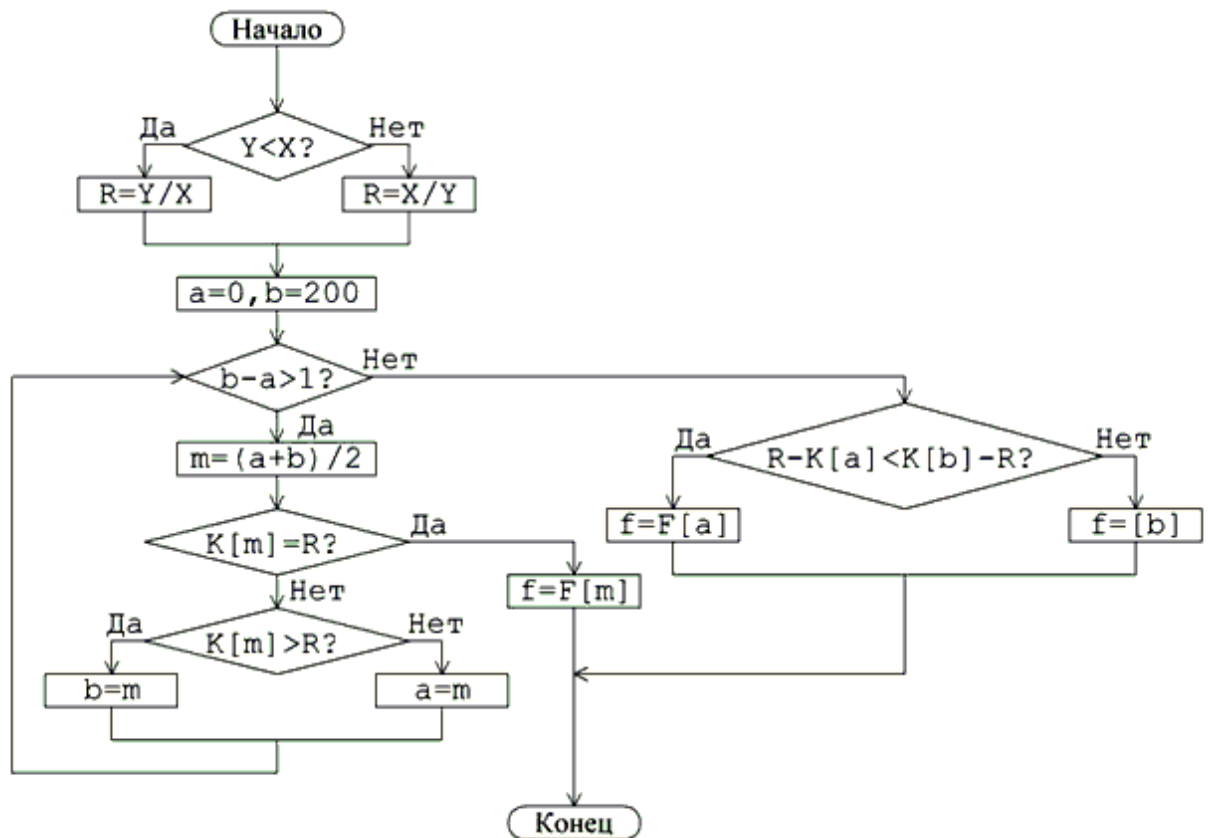


Рис.6 – Блок-схема подпрограммы вычисления угла. Обозначения: Y – проекция ускорения на вертикальную ось, X – проекция ускорения на горизонтальную ось, f – угол наклона, $K[]$ – массив значений частного проекций, $F[]$ – массив значений угла наклона.

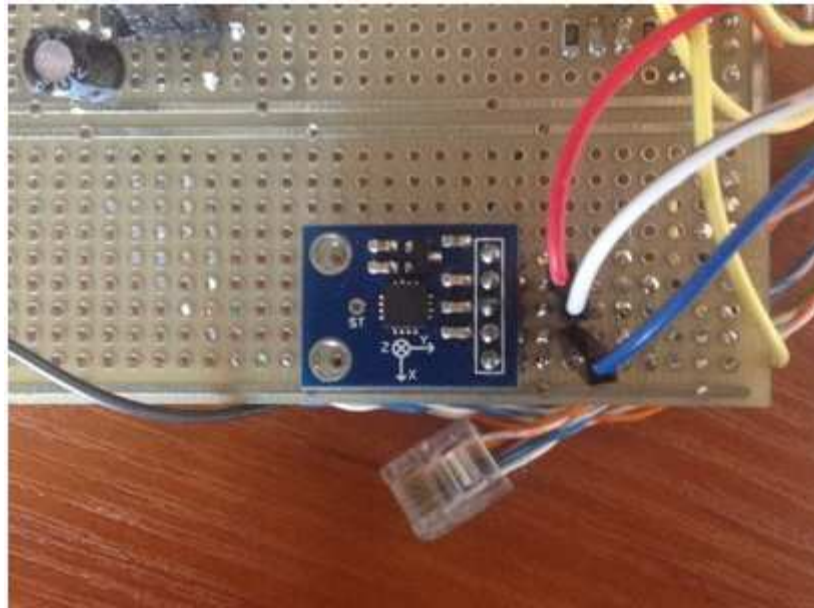


Рис.7 – Акселерометр ADXL335, применяемый в системе стабилизации угла

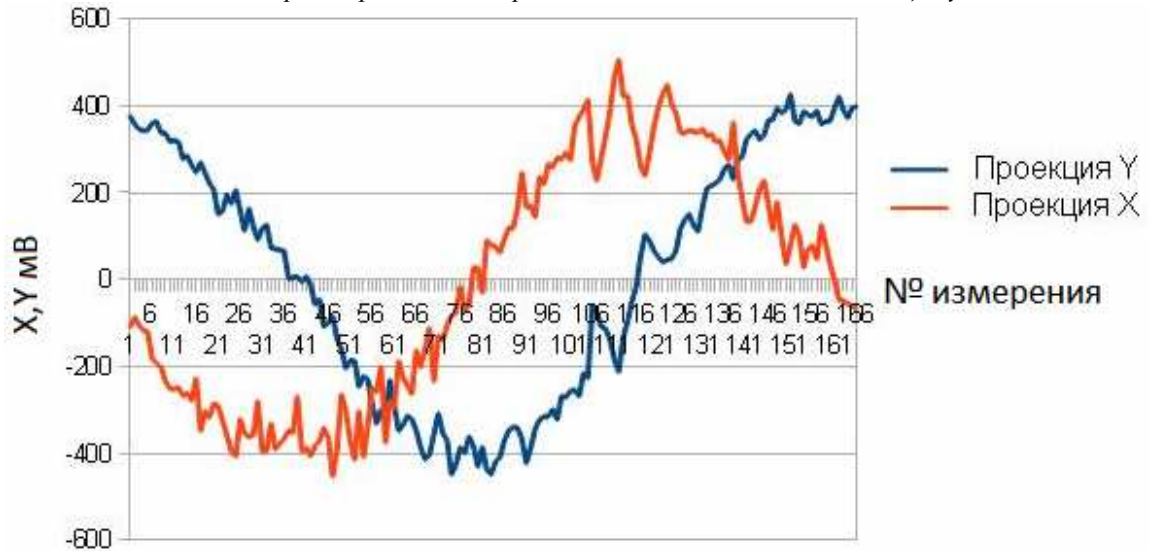


Рис.8 – Проекции ускорения на оси X и Y

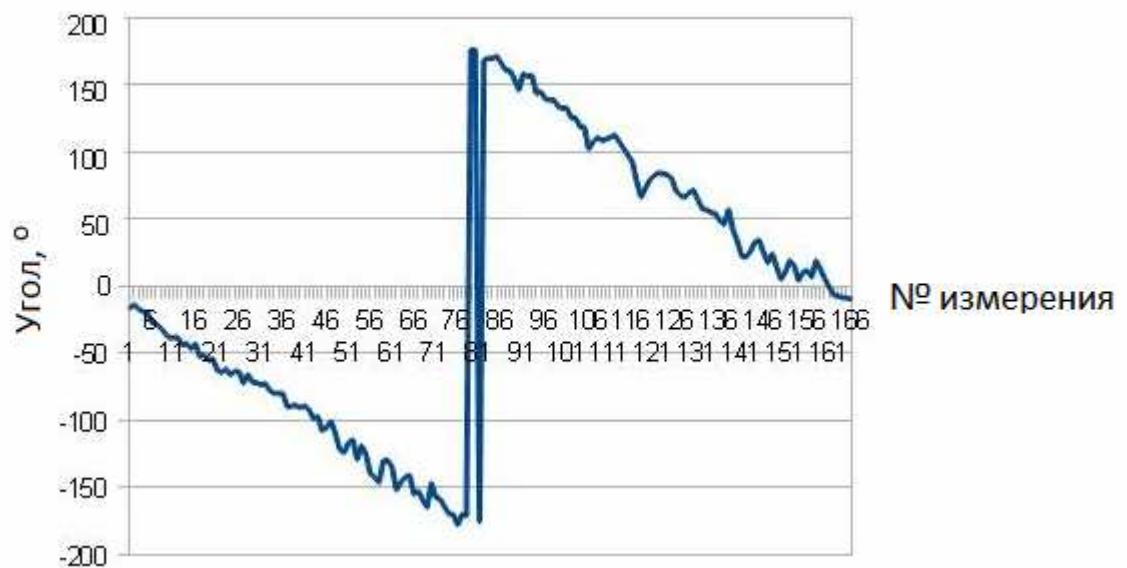


Рис.9 – Угол наклона

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результатом работы стал эксперимент: акселерометр, закрепленный на платформе (рис.7), вращали относительно третьей оси - Z, то есть в плоскости X-Y так, чтобы угол отклонения принял все возможные значения. Графики, отражающие этот процесс, приведены на рис.8 и рис.9. Разброс значений объясняется условиями проведения эксперимента: датчик вращался вручную, и колебания рук отразились на итоговом результате. Основной вклад в погрешность вносит работа датчика: сигнал имеет высокочастотную помеху. При этом общая погрешность не превышает $\pm 1^\circ$. Этого достаточно для большинства систем. Повысить точность можно с использованием фильтров низких частот: аналоговых или цифровых.

ВЫВОДЫ

Акселерометр может применяться не только для измерения ускорений, но и угла отклонения от вертикали, но при этом перемещения датчика как поступательные, так и вращательные должны происходить плавно. В результате работы была написана библиотека на языке C++ для микроконтроллера STM32F100RBT6B для работы с данным датчиком. Использовать акселерометр для измерения угла отклонения в системах, на которые будут оказывать воздействия внешние силы, необходимо совместно с другими датчиками, такими как гироскопы. При объединении акселерометра и гироскопа и использовании α - β фильтра удастся погасить высокочастотную помеху акселерометра и низкочастотную гироскопа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Analog devices accelerometer ADXL335 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL335.pdf

[2] Что меряет акселерометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dpla.ru/acclmmer.img/acclmmer.htm>



Федоров Дмитрий Сергеевич -
Магистрант кафедры Автоматики
факультета АВТ НГТУ.
E-mail: fds0303@mail.ru



Ивойлов Андрей Юрьевич -
магистрант кафедры Автоматики
факультета АВТ НГТУ
E-mail: iau13hv@mail.ru



Вадим Аркадьевич Жмуд –
заведующий кафедрой
 Автоматики НГТУ, профессор,
доктор технических наук, автор
более 200 научных статей,
включая 14 патентов и 6 учебных
пособий. Область научных
интересов и компетенций – теория
автоматического управления,
электроника, лазерные системы,
оптимизация, измерительная
техника.
E-mail: oao_nips@bk.ru



Виталий Геннадьевич Трубин -
зав. лаб. кафедры Автоматики
НГТУ, директор ООО «КБ
Автоматика». Автор 18 научных
статей. Область интересов –
разработка специализированной
электроники.
E-mail: trubin@ngs.ru

The Use of Accelerometer ADXL335 for the Determinization of Angle of Departure from Vertical Line

D.S. FEDOROV, A.YU. IVOILOV, V.A. ZHMUD,
V.G. TRUBIN

Abstract: The paper discusses the problems occurring during the working with the accelerometer ADXL335, which are the following: sampling of signals from the sensor and algorithm of angle calculation with the helps of evaluation board STM32VLDISCOVERY.

Key words: Accelerometer, ADXL335, microcontroller, STM32, STM32DISCOVERY.