



УДК 621.31
ББК 32.852

АКСЕЛЕРОМЕТР С БЕСПРОВОДНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.В. Фартух, А.Л. Якимец

Разработано и создано устройство для исследования параметров механических колебаний с использованием в качестве чувствительного элемента акселерометра и беспроводной передачей данных от датчика к устройству. Набор измеренных значений ускорения служит основой для восстановления закона движения исследуемого объекта.

Ключевые слова: контроль, вибрация, измерения, механические колебания, измеритель ускорения.

Современные технологии требуют непрерывного контроля многих параметров технологического процесса и контроля состояния оборудования. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (вибрации). Этими параметрами являются виброперемещение (амплитуда вибрации) и виброскорость (частота вибрации). Подобный контроль необходим в самых разных областях: в полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов), в микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии), в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом), на железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда), в энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин), в авиастроении (контроль биений турбин) и т. д.

В ходе исследований при измерении ускорений тел с применением акселерометра часто возникает проблема влияния датчика на закон движения [3]. Чтобы снизить это влияние, был разработан компактный беспроводной датчик. Данное устройство исключает помехи, связанные с влиянием кабеля на движение механической системы, снимает ограничение, накладываемое длиной кабеля, и помогает измерять параметры колебаний движущихся объектов, прокладка шнура к которым невозможна. Структурная схема установки представлена на рисунке 1.

В качестве датчика, воспринимающего вибрации, используется акселерометр (А), который управляется микроконтроллером (МК1). Обмен данными между контроллером и акселерометром происходит по стандартному протоколу SPI. Полученный цифровой эквивалент измеренного ускорения подается на вход приемопередающего устройства. Команды, управляющие режимом работы приемопередающим модулем, формируются МК1. Обмен данными с блоком приема и обработки сигнала происходит по радиоканалу на частоте 868 МГц, относящемуся к нелицензируемым ISM – радиочастотным диапазонам, не требующим для использования сертификации. Переданный сигнал поступает на вход блока приема и обработки сигнала, содержащий аналогичный приемопередающий модуль, управляемый микроконтроллером МК2. Второй микроконтроллер (МК3) блока приема и обработки сигналов объединен в вычислительную сеть с МК2 и осуществляет предварительную обработку полученного сигнала, обмен данными с персональным компьютером по интерфейсу USB.



Рис. 1. Структурная схема установки

А – акселерометр; *МК1* – микроконтроллер датчика;
МК2 и *3* – микроконтроллеры блока приема и обработки сигнала; *USB* – интерфейсный блок связи с ПК

Основой измерительного блока (см. рис. 2) является акселерометр LIS302DL (DD1) [6]. Датчик имеет два диапазона измерения ускорений ± 2 g и ± 8 g, режим работы задает микроконтроллер ATmega8L (DD3) [7]. Для связи микроконтроллера с акселерометром используется интерфейс SPI, максимальная возможная скорость передачи данных по каналу для использованного акселерометра составляет 5 кБод. В качестве приемопередатчика в устройстве используется радиомодуль фирмы Texas Instruments CC1101EM868 (DD2) [9], сконфигурированный в режиме трансивера. Данные, предварительно подготовленные микроконтроллером, поступают в трансивер по UART-интерфейсу, управление осуществляется по линиям порта С. Максимальная возможная скорость передачи данных радиомодуля составляет 250 кБод. В качестве источника напряжения питания в схеме используется малогабаритный аккумулятор.

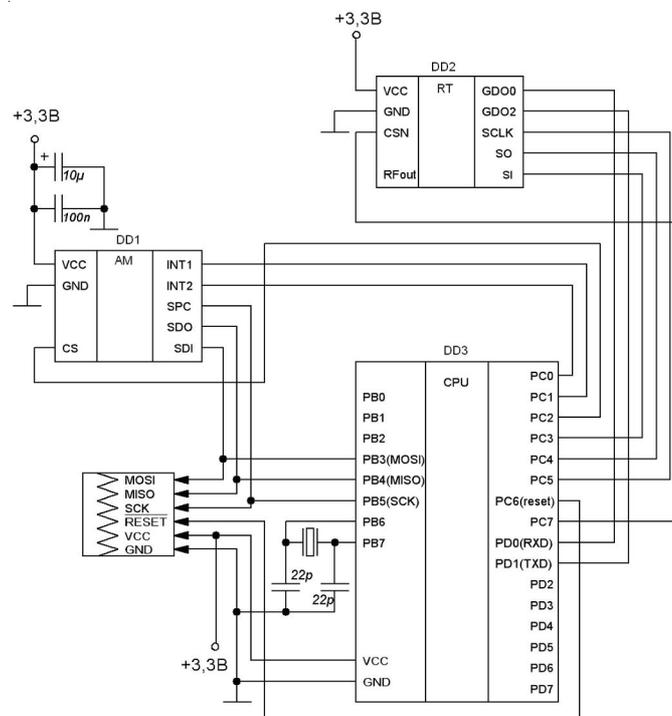


Рис. 2. Принципиальная схема беспроводного датчика ускорения:

DD1 – акселерометр LIS302DL; *DD2* – радиомодуль CC1101EM868; *CPU1* – микроконтроллер ATmega 8L

Принципиальная схема блока приема и обработки сигнала представлена на рисунке 3. Прием радиосигнала осуществляет радиомодуль CC1101EM868 (DD1), управляет работой которого, по последовательному интерфейсу SPI, микроконтроллер ATmega16L (DD3) [8]. Полученные с радиомодуля данные через интерфейс UART поступают на вход DD3. Микроконтроллер выделяет из полученного сигнала измеренный цифровой эквивалент ускорения и передает его через порт C на второй микроконтроллер ATmega16L (DD4). Полученные данные DD4 перекодирует к виду, удобному для передачи по последовательному интерфейсу UART, и вставляет флаги осей координат, по которым проводились измерения ускорений. Обработанные подобным образом данные по последовательному интерфейсу поступают на вход преобразователя уровней UART-USB фирмы FTDI, FT232RL (DD2) [2; 5] для последующей обработки на персональном компьютере (ПК). Примеры принятых ПК данных приведены на рисунке 4.

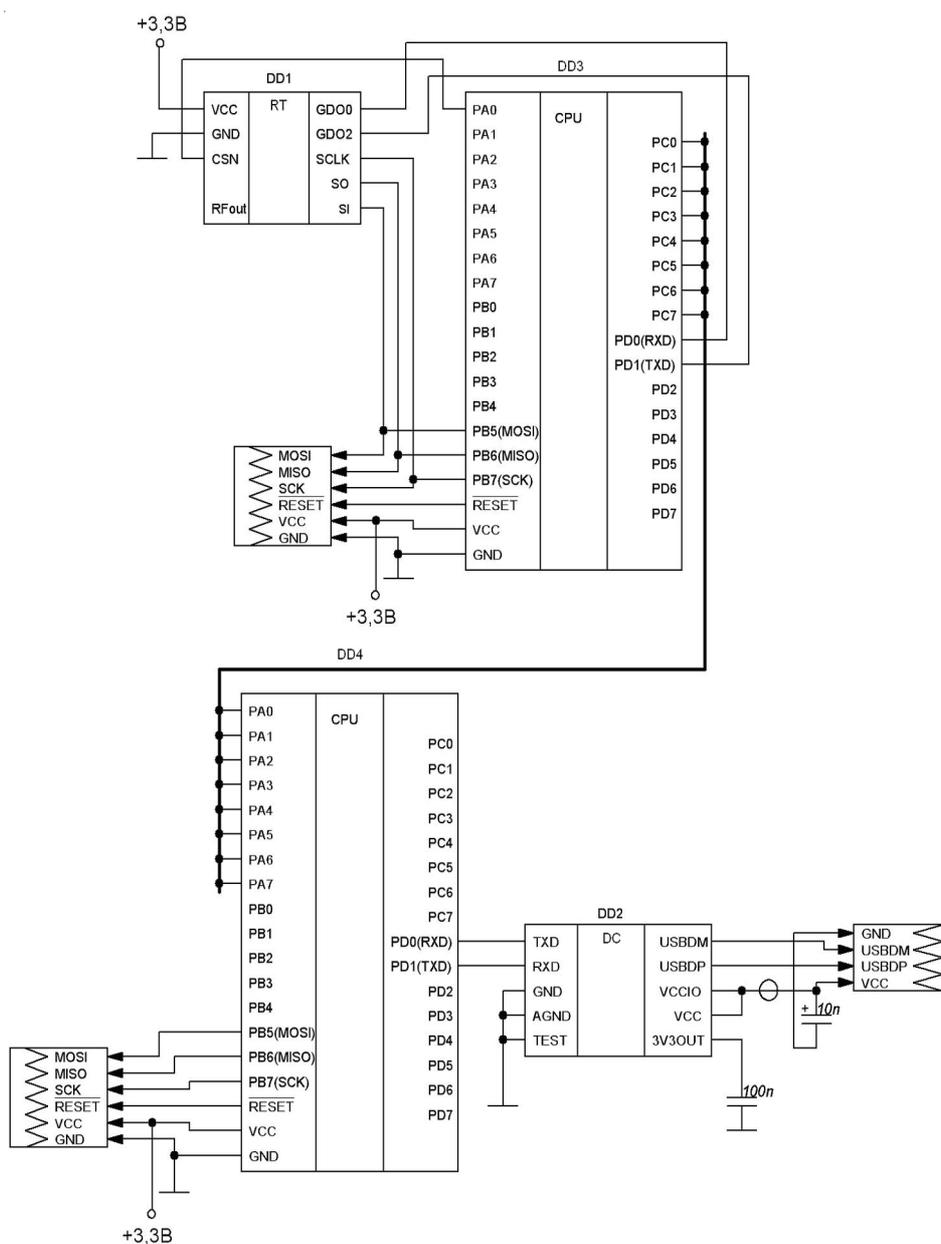


Рис. 3. Принципиальная схема блока приема и обработки информации:

CPU1 и *2* – микроконтроллеры ATmega 16L; *DD1* – радиомодуль CC1101EM868;
DD2 – преобразователь интерфейсов USB-UART, FT232RL

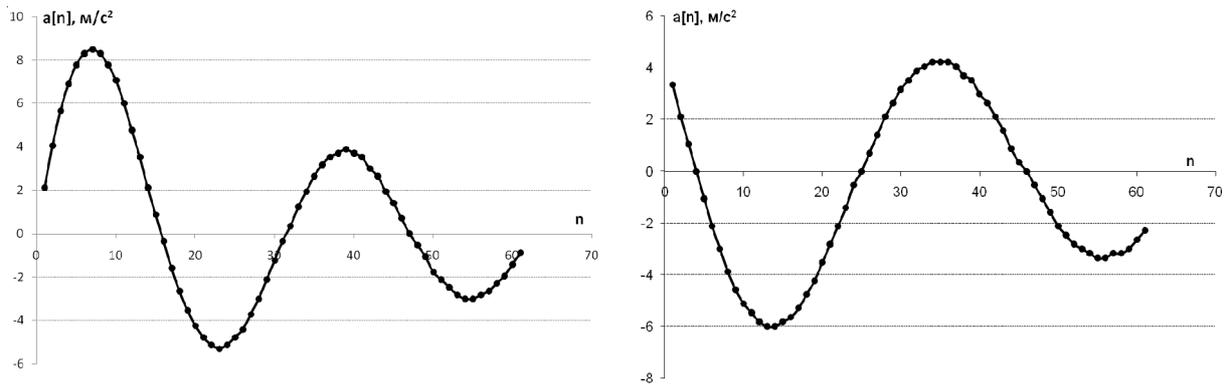


Рис. 4. Примеры принятых данных об ускорении точки колеблющихся двух упругих стержней

Персональный компьютер используется для восстановления закона движения точки по измеренным отсчетам ускорения и определения параметров колебания. Измеренные значения содержат различные шумы, в частности шумы квантования АЦП, поэтому предварительно выполняется фильтрация полученного сигнала методами цифровой обработки [1], для подавления высокочастотных гармоник. После чего осуществляется численное интегрирование полученной последовательности [4]. Смещение точки определяется следующим образом:

$$S_i = \frac{a[i-2] + 2a[i-1] + a[i]}{4} \Delta t^2,$$

где S_i – смещение точки;
 $a[i]$ – ускорение;
 Δt – шаг дискретизации по времени;
 i – номер отсчета.

Восстановленный закон движения (рис. 5) используется для определения параметров колебания – амплитуды и частоты. Частота колебаний определяется как количество проходов через ноль за единичное окно. Амплитуда находится как локальный экстремум и обновляется каждую половину периода.

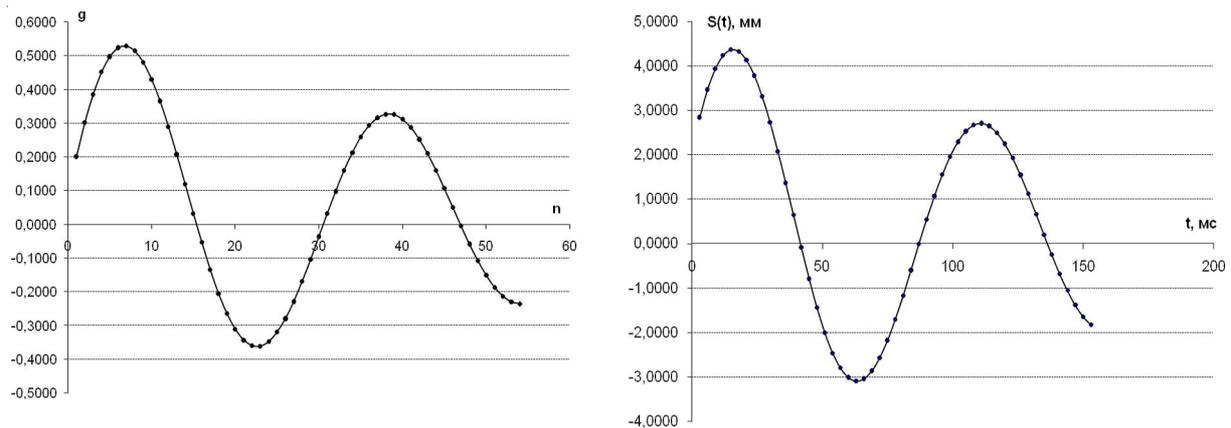


Рис. 5. Пример восстановленного закона движения (справа) по результатам измерения ускорений объекта (слева)

Созданное устройство обладает следующими характеристиками: максимальная частота измеряемых колебаний 400 Гц; два диапазона измерения ускорения – $\pm 2g$ и $\pm 8g$; точность измерения ускорения в диапазоне $\pm 2g$ – 18 мг, в диапазоне $\pm 8g$ – 72 мг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход : пер. с англ. 2-е изд. / Эммануил С. Айфичер, Барии У. Джервис. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с. : ил.
2. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений. – СПб. : BHV-СПб, 2007. – 304 с.
3. Распопов, В. Я. Микромеханические приборы : учеб. пособие для вузов / В. Я. Распопов. – М. : Машиностроение, 2007. – 400 с. : ил.
4. Форсайт, Дж. Машинные методы математических вычислений : пер. с англ. / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер – М. : Мир, 1980. – 280 с. : ил.
5. Шука, А. А. Функциональная электроника : учеб. для вузов / А. А. Шука. – М. : МИРЭА, 1998. – 260 с.
6. MEMS motion sensor 3-axis $\pm 2g/\pm 8g$ smart digital output «piccolo» accelerometer. – Mode of access: <http://www.electroshik.ru/pdf/ST/LIS302DL.pdf>.
7. 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash. – Mode of access: <http://www.gaw.ru/pdf/Atmel/AVR/atmega8.pdf>.
8. 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. – Mode of access: <http://www.gaw.ru/pdf/Atmel/AVR/atmega16.pdf>.
9. 868/915MHz TRANSCEIVER MODULE. – Mode of access: <http://www.terraelectronica.ru/pdf/EBWISE/CC1101EM868.pdf>.

THE ACCELEROMETER WITH WIRELESS CONTROL

A.V. Fartuh, A.L. Yakimets

The device for research of parameters of mechanical oscillations with is-use as an accelerometer sensitive element, and wireless data transfer from the sensor to the device is developed and created. The dial-up of the measured values of acceleration forms a basis for recovery of the law of driving of researched object.

Key words: *monitoring, vibration, measurement, mechanical oscillations, accelerometer.*