

УДК 621.371.029.65

**ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УСКОРЕНИЙ
С ПОДАВЛЕНИЕМ ВНЕШНИХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

© 2010 г.

Н.Е. Землюков, Е.И. Шкелев

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

shkelev@rf.unn.ru

Поступила в редакцию 29.06.2009

Рассмотрен трёхкоординатный измеритель ускорений объекта, находящегося в нестационарной жидкостной среде, подверженной кратковременным низкочастотным возмущениям. Представлено схемотехническое решение измерителя и описан алгоритм обработки сигналов, поступающих от датчика ускорений. Прибор реализован на основе промышленного акселерометра, данные от которого обрабатываются микроконтроллером в режиме реального времени.

Ключевые слова: акселерометрия, гидроакустика, обработка данных, микроконтроллер.

При построении систем непрерывного контроля и диагностики механических воздействий на объект приходится решать две задачи. Одна из них связана с обнаружением и классификацией внешних воздействий, а другая – с измерением и количественной оценкой их параметров. Для решения этих задач наряду с техническими средствами требуется программное обеспечение в виде вычислительных процедур, выполнение которых возлагается, как правило, на микропроцессоры (МП). Поэтому помимо аппаратных средств необходима разработка программного кода, реализующего заложенный в систему контроля алгоритм обработки принимаемых от объекта сигналов. В тех случаях когда измерительная аппаратура удалена от источников энергии, к перечисленным задачам добавляется также задача энергосбережения.

В данной работе рассматривается трёхкоординатный (по осям X , Y и Z) измеритель ускорений объекта, находящегося в жидкостной среде, подверженной действию относительно кратковременных низкочастотных (с частотами, не превышающими 250 Гц) возмущений. Задачей измерителя является обнаружение таких возмущений и их обработка с целью диагностики поведения объекта.

Принципиальная схема измерителя представлена на рис. 1. Датчиком испытываемых объектом ускорений является акселерометр, работающий совместно с устройством обработки – микроконтроллером (МК). Акселерометр выполнен на микросхеме M_1 MMA7260QT (производство Freescale Semiconductor, Inc.), микроконтроллер – это микросхема M_2 MSP430F1611 (производство Texas Instruments, Inc.). Аналоговые сигналы от акселерометра преобразуются в цифровую форму

12-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), интегрированным в микросхему МК. Порт P6 микроконтроллера (контакты P6.0-2) используется для приёма сигналов s_x , s_y и s_z от акселерометра и передачи их аналого-цифровому преобразователю. Сигналы с выходов OUT X-Z акселерометра поступают на входы АЦП через повторители напряжений и RC-фильтры нижних частот. Повторители напряжения выполнены на операционных усилителях, входящих в состав микросхемы M_2 MSP6144 (производство фирмы Microchip). Частота среза RC-фильтров составляет 250 Гц.

Прибор используется в условиях, когда испытываемые объектом воздействия можно разложить на составляющие, одна из которых обусловлена относительно низкочастотными динамическими возмущениями, а вторая характеризует действие среды в невозмущённом состоянии, представляя собой фоновый нестационарный случайный процесс. Алгоритм, по которому выполняется обработка поступающих от акселерометра данных, разбит на две стадии (рис. 2). На первой стадии – стадии адаптации – решается задача классификации воздействий со стороны окружающей среды. Для этого по полученным от АЦП отсчётам s_k (k – номер отсчёта, частота дискретизации – 512 Гц) для каждой из координат X , Y и Z определяются статистические характеристики сигналов акселерометра $\vec{S} = (s_x, s_y, s_z)$, дающие сведения о поведении объекта в невозмущённой среде. К таким характеристикам относятся среднее значение $a_0 = M\{s_k\}$ и дисперсия $\sigma_0 = D\{s_k\}$ – формулы (1) и (2) на рис. 2. На стадии адаптации выявляется также наличие в сигналах \vec{S} крупномасштабных вариаций

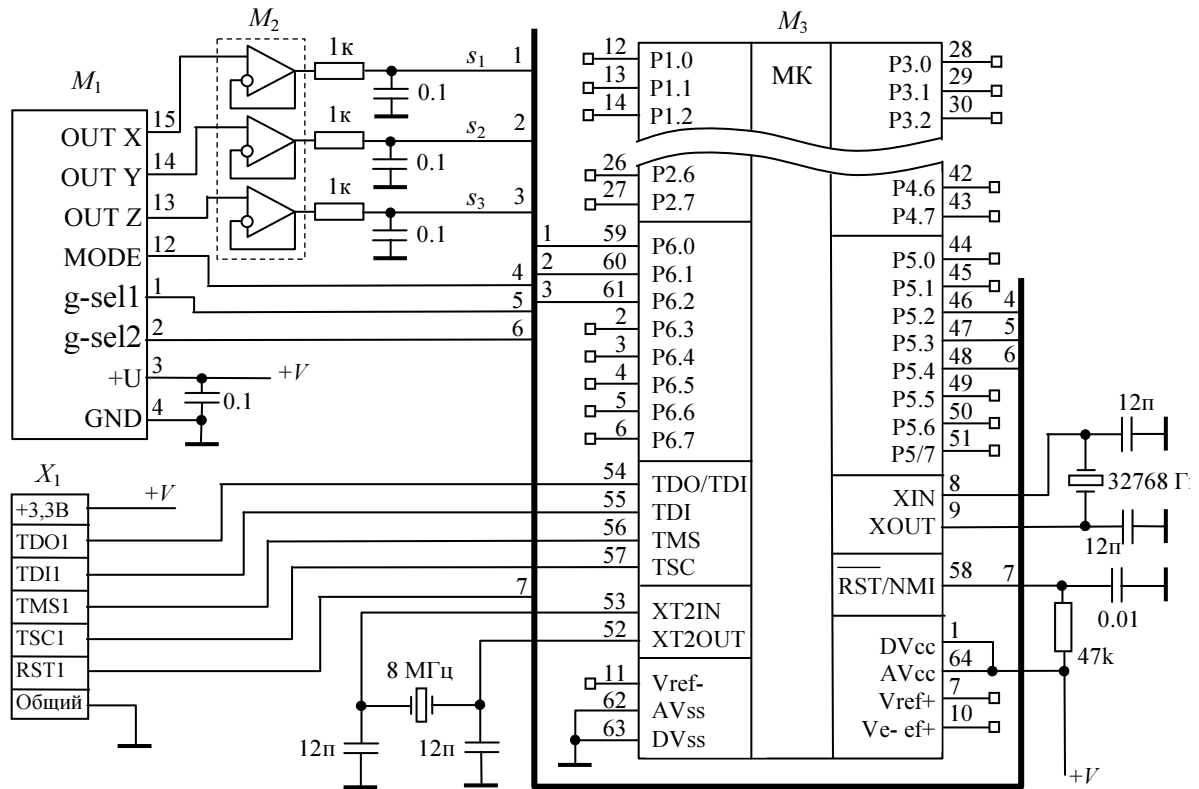


Рис. 1. Принципиальная схема измерителя ускорений

ций с целью обнаружения динамического воздействия на объект. Критерием обнаружения является превышение вычисленного на основании статистических данных порога.

Диагностике подлежат крупномасштабные вариации сигналов акселерометра. Обнаружение таких вариаций инициирует переход ко второй стадии – стадии фильтровой обработки сигналов s_x , s_y и s_z . Переход ко второй стадии происходит тогда, когда по одной из координат оценка дисперсии $\hat{\sigma}_1$, складывающаяся из измеренной величины σ_0 и дисперсии шума квантования Q (рис. 2, формула (3)), превышает экспериментально установленный порог $porog1$.

На второй стадии делается численная оценка вызванных динамическим воздействием ускорений объекта. Для этого используется программно реализованный цифровой фильтр, работающий по алгоритму Калмана с циклически повторяющимися операторами (5)–(8) [1, 2] (рис. 2). Согласно (5) оценка a_k (k – номер итерации) измеряемого по каждой из координат ускорения находится исходя из оценки a_{k-1} на предшествующем шаге итерационного процесса фильтрации с поправкой на величину, пропорциональную разности $s_k - a_{k-1}$ между значением

текущего отсчёта s_k сигнала и его оценкой a_{k-1} . Поправка пропорциональна коэффициенту K_k , который определяется на основании прогноза (8), выполняемого на каждом шаге вычислений. Начальное значение коэффициента усиления K_1 вычисляется по величинам $\hat{\sigma}_1$ и σ_0 на стадии адаптации.

Фильтровая обработка выполняется, пока объект подвержен динамическому воздействию. На каждом шаге фильтрации вычисляется среднее значение $\overline{\Delta a_k}$ модуля разности $a_k - a_0$ во временном окне, размер которого N соответствует экспериментально найденной средней длительности динамических воздействий (рис. 2, выражение (9)). Значение $\overline{\Delta a_k}$ сравнивается с заданным порогом $porog2$. Если обнаруживается, что $\overline{\Delta a_k} < porog2$, то фильтровая обработка приостанавливается и система переходит в стадию адаптации, находясь в ней до тех пор, пока вновь не будет обнаружено динамическое воздействие на объект. Вычисленные значения ускорений используются для принятия решения о наличии смены пространственного положения объекта – перемещения или вращения. Решение принимается на основе анализа значений вели-

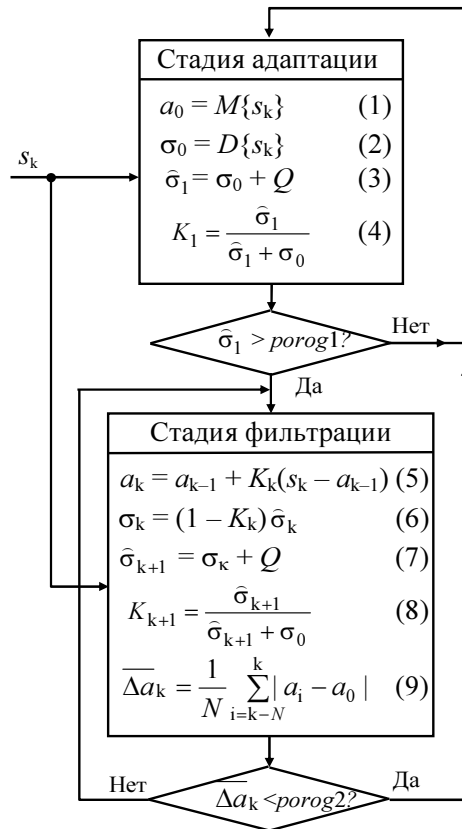


Рис. 2. Алгоритм цифровой обработки сигналов датчика ускорений

чин ускорений по осям X , Y и Z по методике, изложенной в [2], а соответствующая информация выводится через интегрированный в МК МСР6144 последовательный порт USART0.

Через разъём X_1 осуществляется программирование FLASH-памяти микроконтроллера. Кварцевый резонатор на 8 МГц служит для тактирования ядра МК, а резонатор на 32768 Гц задаёт частоту дискретизации АЦП. Одним из важных критериев выбора МК MSP430F1611 стало низкое энергопотребление, обеспечившее в активном режиме общее (совместно с другими элементами схемы) потребление тока не более 10 мА при напряжении питания 3.3 В. Разрешающая способность измерителя составляет около $3 \cdot 10^{-3} g$ (g – ускорение свободного падения) по каждой оси. В настоящее время прибор используется в научных экспериментах, связанных с исследованиями гидроакустических сред.

Список литературы

1. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering: Theory and Practice. New York: A Wiley-Interscience Publication, 2001. 397 с.
2. Бабич О.А. Авиационные приборы и навигационные системы. М.: ВВИА им. Жуковского, 1981.

THREE-DIMENSIONAL ACCELEROMETER WITH COMPENSATION OF EXTERNAL RANDOM ACTION

N.E. Zemnyukov, E.I. Shkelev

A three-dimensional accelerometer to measure object accelerations in nonstationary liquid with short-term low-frequency perturbations has been considered. A schematic design of the accelerometer has been given and a processing algorithm of acceleration transducer signals has been described. The device has been implemented on the basis of an industrial accelerometer the data from which are processed by a microcontroller in real time.

Keywords: accelerometry, hydroacoustics, data processing, microcontroller.