

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.586.773.004.5

А. А. Мельников, Б. В. Цыпин, К. И. Бастрыгин, В. В. Кикот

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

A. A. Mel'nikov, B. V. Tsypin, K. I. Bastrykin, V. V. Kikot

THE CONDITION MONITORING SYSTEM OF PIEZOELECTRIC PRESSURE SENSORS

А н н о т а ц и я. Предложен способ контроля состояния пьезоэлектрических датчиков давления. Рассмотрен принцип работы системы контроля, основанный на использовании обратного пьезоэффекта. Приведен схмотехнический вариант системы контроля с описанием работы основных узлов и модулей.

A b s t r a c t. Provides a method for monitoring the status of piezoelectric pressure sensors . We consider the principle of the control system based on the use of the inverse piezoelectric effect . The scheme – technical version control system with a description of the basic units and modules.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пьезоэлектрический датчик, пьезоэффект, система контроля, микроконтроллер.

К е y w o r d s: piezoelectric sensors, piezoeffect, monitoring system, microcontroller.

Важнейшей частью датчика, определяющего его основные технические характеристики, являются чувствительный элемент (ЧЭ) [1], выполненный в виде отдельного кристалла, пьезокерамической пластины или балки, и конструктивно, функционально законченный измерительный модуль. При сборке датчиков от качества ЧЭ зависит большинство технических характеристик датчика: надежность, чувствительность, информативность и др. Кроме того, именно ЧЭ в основном определяет такие важнейшие характеристики датчиков, как частотный диапазон, АЧХ, чувствительность к полезному сигналу и шумам, амплитуду и спектр шумов, порог измерений. Поэтому главной задачей при изготовлении и дальнейшей эксплуатации датчиков являются диагностика работоспособности и корректного функционирования ЧЭ, контроль метрологической исправности [2].

Неразрушающую диагностику ЧЭ целесообразно проводить, используя физические эффекты, присущие функциональным материалам ЧЭ (пьезочувствительность, тензочувствительность, термочувствительность, фоточувствительность, магниточувствительность, пироэффект и пр.). Применительно к пьезоэлектрическим чувствительным элементам (ПЧЭ), основными физическими эффектами, которые могут быть использованы при неразрушающей диагностике, являются прямой и обратный пьезоэффекты. Подавая на электроды ПЧЭ синусоидальное напряжение или ударный импульс и принимая отклик, можно судить о целостности и работоспособности ПЧЭ.

Способ контроля работоспособности пьезодатчика основан на том, что пьезоэлектрический преобразователь датчика обратим, он генерирует электрический сигнал при механическом воздействии на него и испытывает механическую деформацию при подаче на него электрического напряжения. В обоих случаях уровень реакции на воздействие определяется одним и тем же коэффициентом, называемым пьезомодулем или коэффициентом преобразования.

Инерционность датчика как механической системы определяется частотой его свободных колебаний, зависящей, прежде всего, от свойств самого датчика, но кроме этого, и от механических свойств контактирующей с датчиком части объекта. Ее называют частотой установочного резонанса (УР). Электрическая же инерционность не связана с механической и определяется в первом приближении произведением емкости датчика с кабелем и активным сопротивлением его нагрузки. Частотный спектр вибрации, измеряемой датчиком, всегда лежит ниже частоты УР (иначе результат измерения будет недостоверным), занимая, как правило, область от нуля до 0,2...0,3 ее значения. Для подключения к устройству контроля датчик отсоединяют от аппаратуры, с которой он работает. На него подают постоянное напряжение, заряжающее его емкость и деформирующее пьезоэлемент. Длительность этой операции должна быть такой, чтобы все переходные механические и электрические процессы успели закончиться. После этого отключают источник напряжения от датчика и присоединяют к выводам последнего небольшое активное сопротивление на время (обычно несколько десятков микросекунд), достаточное для практически полной разрядки емкости датчика. Механическая деформация пьезоэлемента не может изменяться с той же скоростью, его возвращение в начальное состояние происходит в виде затухающих колебаний с частотой УР.

Пьезоэлемент преобразует эти колебания в электрический сигнал, который регистрируют, например, запоминающим осциллографом. Признаком нормального состояния датчика служит неизменность формы и уровня сигнала при неоднократном контроле.

Анализ спектра или других характеристик собственных колебаний датчика позволяет не только более точно оценить его состояние, но и получить дополнительную информацию об исправности узла объекта, на котором установлен датчик. Дело в том, что верхняя граница спектра сигнала датчика, получаемого при его обычной эксплуатации, чаще всего не превышает 1000 Гц, а иногда и ниже. Небольшие неисправности на объекте мало влияют на характер сигнала спектра, а так как при контроле чувствительность сигнала увеличивается, то, анализируя его, удастся заметить даже мелкие изменения сигнала на объекте, разумеется, если они происходят вблизи от датчика.

Принцип работы системы контроля технического состояния пьезоэлектрических датчиков без снятия их с изделия основан на использовании обратного пьезоэффекта. На электроды пьезоэлектрического датчика для создания обратного механического эффекта подается напряжение возбуждения в виде одиночного импульса или пакета импульсов, следующих с определенной частотой. После завершения этапа возбуждения, когда внешнее напряжение возбуждения снимается с датчика, возникают затухающие колебания пьезоэлемента. На электродах датчика появляются переменные заряды, величина и частота изменения которых определяются свободными затухающими механическими колебаниями пьезоэлемента – «напряжение реакции» датчика на сигнал возбуждения.

Возбуждающий сигнал в виде одиночного короткого импульса является наиболее предпочтительным с точки зрения простоты анализа полученных результатов, так как форма возникающих после снятия напряжения возбуждения колебаний соответствует переходной характеристике пьезоэлектрического датчика. Однако при таком возбуждении для получения достаточно больших значений амплитуды напряжения реакции датчика, приемлемых для последующего усиления и обработки, требуется амплитуда импульса возбуждения порядка нескольких десятков вольт.

Увеличить значения амплитуды напряжения реакции датчика можно при использовании напряжения возбуждения в виде пачки импульсов, имеющих скважность два. При этом проявляется эффект «раскачивания» пьезоэлемента. Наибольших значений амплитуда сигнала, соответствующего свободным колебаниям, достигает при частоте следования возбуждающих импульсов, близкой к частоте собственных колебаний пьезодатчика.

Напряжение реакции при этом имеет вид затухающих колебаний на собственной резонансной частоте датчика. Возможно появление амплитудной модуляции напряжения реакции с частотой биений, равной разности частот сигнала возбуждения и собственной резонансной частоты датчика (рис. 1).

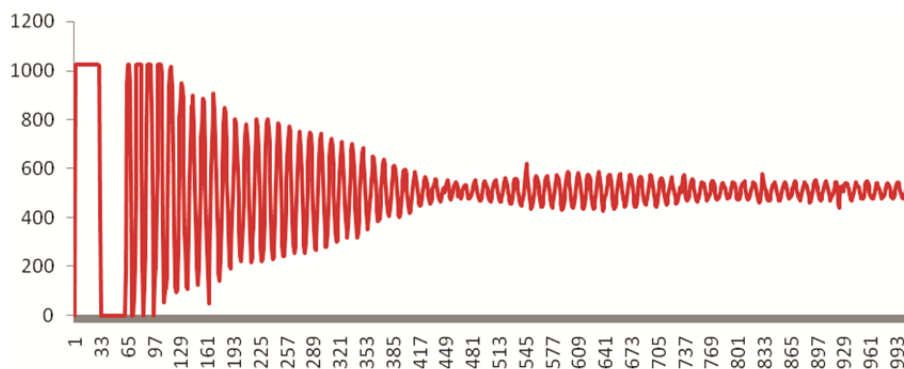


Рис. 1. Напряжение сигнала реакции исправного датчика после снятия сигнала возбуждения

В случае неисправности датчика амплитуда напряжения реакции резко уменьшается и чаще всего имеет вид затухающей экспоненты (рис. 2). В отдельных случаях возможно значительное изменение частоты собственных колебаний и/или значительное уменьшение времени затухания колебаний.

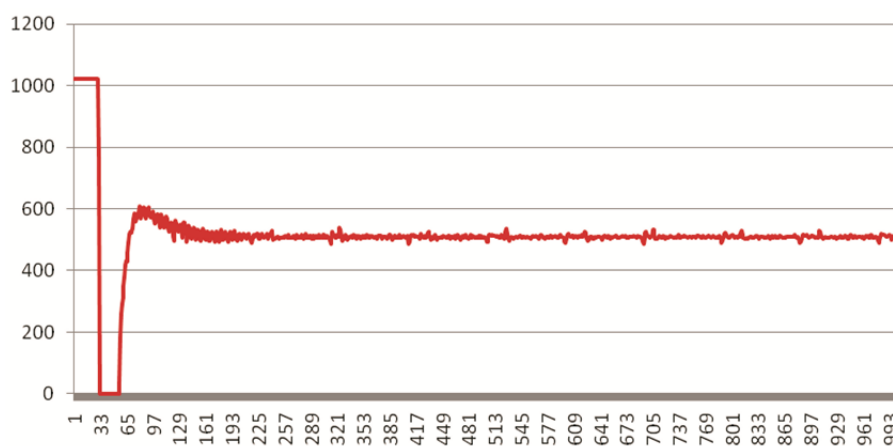


Рис. 2. Пример напряжения сигнала реакции неисправного датчика

Структурная схема системы контроля технического состояния пьезоэлектрических датчиков динамических процессов без снятия их с изделия приведена на рис. 3.

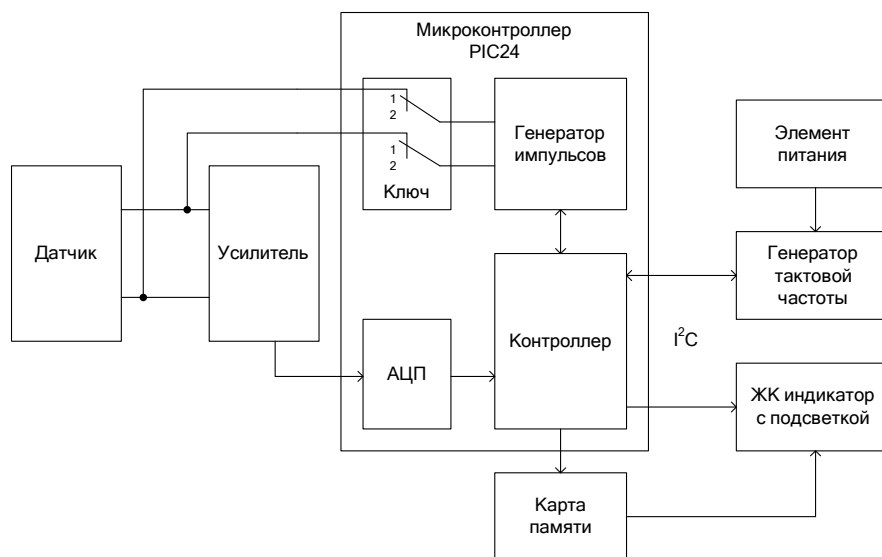


Рис. 3. Структурная схема контроля технического состояния пьезоэлектрических датчиков динамических процессов без снятия их с изделия

В состав системы входят:

- генератор импульсов возбуждения, подключенный через размыкающий ключ к электродам датчика;
- предварительный дифференциальный усилитель, необходимый для согласования уровня напряжения реакции с динамическим диапазоном АЦП;
- контроллер, в котором осуществляется обработка цифрового массива данных с АЦП, определяются частота и время затухания свободных колебаний напряжения реакции датчика, сравнение их с предельно допустимыми значениями, выработка сигналов «Исправен» или «Неисправен» и управление индикатором. АЦП микроконтроллера разработан на основе регистра последовательного приближения и позволяет обрабатывать аналоговые сигналы с 16 каналов (AN0...AN15) с использованием двух мультиплексоров MUXA и MUXB (рис. 4). Результаты преобразования сохраняются в массиве 16-битных слов ADC1BUFx. Установка режимов работы и рабочих параметров преобразователя осуществляется с помощью регистров AD1CON1...AD1CON3, AD1CHS, AD1PCFG и AD1CSSL;
- индикатор, с помощью которого устанавливается режим контроля (тип и номер датчика, время проведения испытаний и номер эксперимента) и отображаются в графическом виде результаты экспериментов по контролю датчика, частота и время затухания напряжения реакции датчика и результаты «Исправен» или «Неисправен». Дисплей представляет собой аппаратный драйвер uc1601s, к которому подключена ж/к матрица разрешением 132×64 точки [3]. Для обмена данными используется двунаправленная асинхронная шина I²C с последовательной передачей данных, одна из которых предназначена для передачи тактового сигнала, а вторая для обмена данными [4]. Информация, выводимая на дисплей, позволяет ознакомиться с измерениями визуально. Программный драйвер обеспечивает формирование на дисплей текстовой и графической информации;
- карта энергонезависимой памяти, предназначенная для хранения результатов экспериментов по контролю датчика, параметры напряжения возбуждения в зависимости от типа датчика и диапазоны допустимых значений резонансной частоты и времени затухания [5].

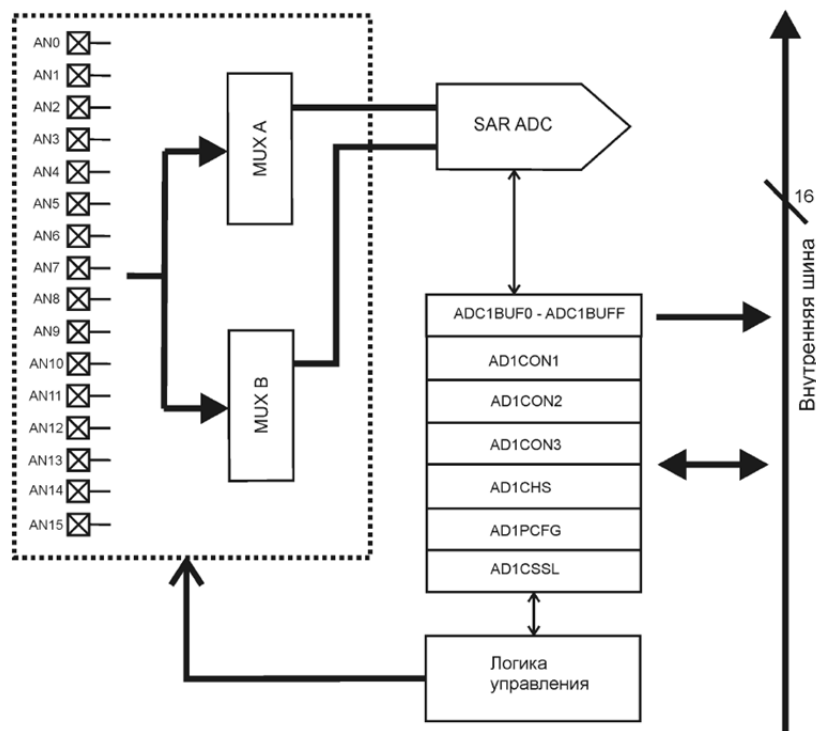


Рис. 4. Модуль аналого-цифрового преобразования

Генератор импульсов возбуждения и размыкающий ключ реализованы в микроконтроллере типа PIC24HJ128GP502. Напряжение питания микроконтроллера +3,3 В формируется стабилизатором напряжения MCP1702T из напряжения +12 В (рис. 5), необходимого для питания светодиодной подсветки графического индикатора типа TIC154A.

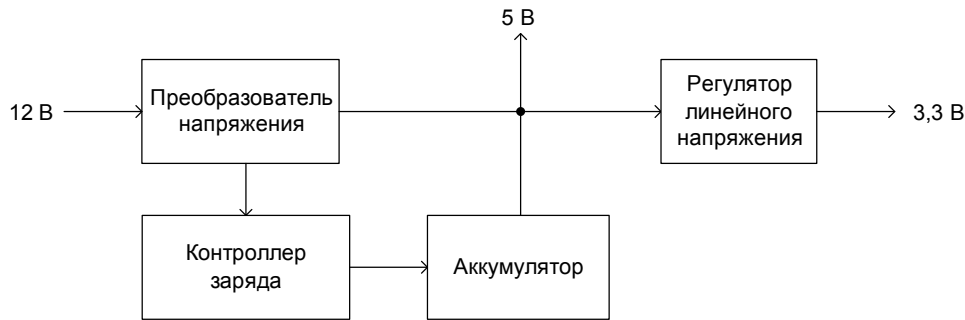


Рис. 5. Схема питания системы контроля

В стабилизаторе напряжения используются режим управления по току и внутренняя коррекция сигнала обратной связи, что обеспечивает эффективную стабилизацию в широком диапазоне входных напряжений и токов нагрузки. Стабилизатор имеет вход отключения нагрузки и встроенную схему плавного старта, снижающую броски тока при включении питания. Малое время переключения ключевого транзистора обеспечивает стабильность даже низких значений выходных напряжений.

Напряжение питания +12 В может подаваться извне или формироваться стабилизатором напряжения из внешнего напряжения +27 В. Благодаря мостовой схеме на диодах внешнее напряжение может подаваться в любой полярности.

Предварительный усилитель и схема согласования уровня реализованы на счетверенном операционном усилителе типа МСР6024. На усилителе формируется напряжение виртуально-го нуля, равное половине напряжения питания микроконтроллера, необходимое для обеспечения возможности работы схемы при однополярном питании +3,3 В. Это напряжение подается на неинвертирующие входы усилителей МСР6024, работающие с переменными входными сигналами. На усилителе реализован входной дифференциальный каскад с коэффициентом усиления 20. Для защиты входа этого усилителя от перегрузки при подаче на пьезодатчик напряжения возбуждения служат диоды. На усилителях МСР6024 выполнен усилитель переменного тока.

На микросхеме МК41Т56 и резонаторе реализован генератор тактовой частоты для микроконтроллера. Управление системой контроля и задания режимов осуществляется кнопками. Информация о результате контроля датчика и его состоянии «Исправен» или «Неисправен» выводится на графический индикатор со светодиодной подсветкой.

Разработанная система имеет ряд преимуществ: мобильность и простота использования за счет применения встроенных аккумуляторных батарей вместо внешних источников питания, низкий вес, небольшие габаритные размеры и герметичность корпуса системы позволяют работать с датчиками практически в любых труднодоступных местах на объекте заказчика и при любых климатических условиях, карта памяти хранит и считывает информацию с данными о всех подключенных датчиках, большая база датчиков, занесенная в память системы, позволяет работать с большинством пьезоэлектрических датчиков, а также имеется возможность дополнения ее по требованию заказчика.

Список литературы

1. Мусаев, Р. Ш. Имитационное моделирование чувствительного элемента тензорезистивного датчика абсолютного давления / Р. Ш. Мусаев, М. А. Фролов, А. А. Трофимов // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2012. – № 2. – С. 51–55.
2. Бастрыгин, К. И. К вопросу коррекции температурной погрешности в пьезоэлектрических датчиках давления / К. И. Бастрыгин, В. В. Кикот // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 2. – С. 25–30.
3. Specification for LCD module TIC154A // Gamma. – 2007.
4. The I²C – bus and how to use it, 1995. – URL: www.datsi.fi.upm.es.
5. Тестер для контроля пьезоэлектрических датчиков на протяжении жизненного цикла / А. Г. Дмитриенко, А. В. Блинов, А. А. Мельников, Б. В. Цыпин // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 3. – С. 15–18.

Мельников Анатолий Аркадьевич

ведущий инженер,
кафедра электротехники
и транспортного электрооборудования,
Пензенский государственный университет
E-mail: eltech@pnzgu.ru

Mel'nikov Anatoliy Arkad'evich

chief engineer,
sub-department of electrical engineering
and transport electrical equipment,
Penza State University

Цыпин Борис Вульфович

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной техники,
Пензенский государственный университет
E-mail: cypin@yandex.ru

Tsypin Boris Vul'fovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information
and measuring equipment,
Penza State University

Бастрыгин Кирилл Игоревич

аспирант,
Пензенский государственный университет
E-mail: nik2@niifi.ru

Bastrygin Kirill Igorevich

postgraduate student,
Penza State University

Кикот Виктор Викторович

аспирант,
Пензенский государственный университет
E-mail: nik2@niifi.ru

Kikot Viktor Viktorovich

postgraduate student,
Penza State University

УДК 681.586.773.004.5

Мельников, А. А.

Система контроля состояния пьезоэлектрических датчиков давления / А. А. Мельников, Б. В. Цыпин, К. И. Бастрыгин, В. В. Кикот // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 4 (10). – С. 29–34.