УДК 004.032.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОЙ АРХИТЕКТУРЫ И ИНТЕРФЕЙСОВ МАКЕТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Семенов Н.Ю. – аспирант гр. 233-2024
Научный руководитель: Карелин А.Е. – к.т.н., доцент кафедры КСУП
Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск

Современная промышленность переживает четвертую технологическую революцию, основой которой являются киберфизические системы, Интернет вещей и большие данные. Интеллектуальные расходомеры, оснащенные микропроцессорами и цифровыми интерфейсами, становятся не просто измерительными приборами, а источниками больших данных, генерируемых в режиме реального времени [1]. Однако сам по себе факт генерации данных недостаточен. Возникает потребность в точных методах и алгоритмах их обработки, которые позволяют преобразовать «сырые» данные в полезную информацию для принятия решений, прогнозирования и оптимизации в АСУ ТП.

Для исследования методов и алгоритмов обработки данных измерительных интеллектуальных расходомеров необходимо спроектировать макет стенда [2-4], функциональная схема которого представлена на рисунке 1.

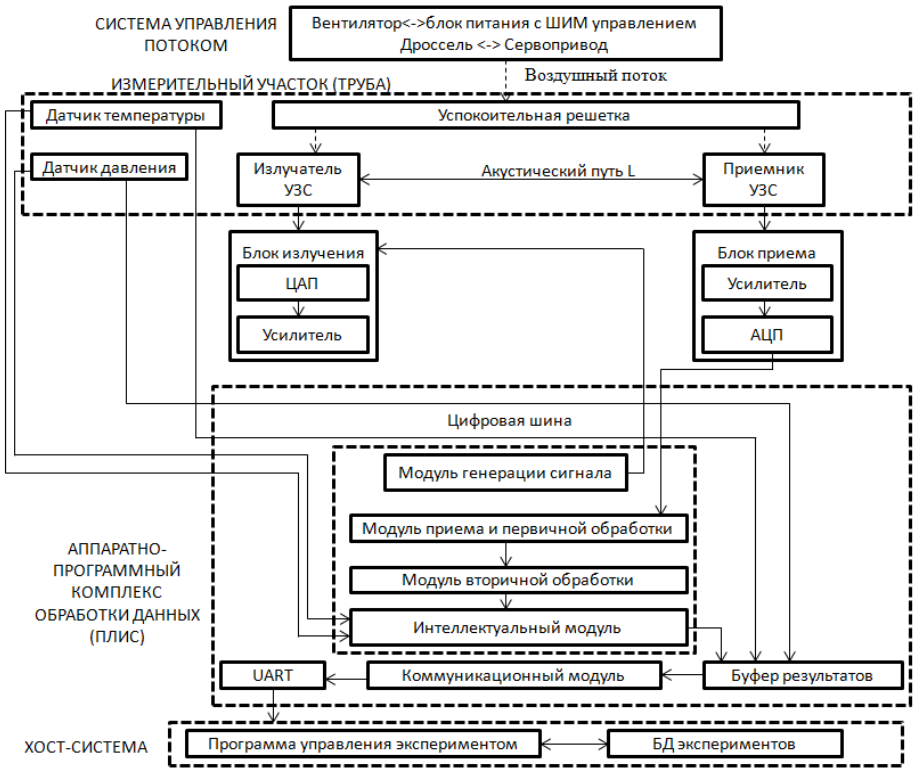

Рисунок 1 – Функциональная схема системы для измерения расхода воздуха (газа) с использованием ультразвукового метода

Работа системы измерения расхода воздуха (газа) с использованием ультразвукового метода начинается с блока управления потоком, который состоит из вентилятора, управляемого через ШИМ-блок питания для регулировки скорости, и дросселя с сервоприводом для точной настройки потока. Этот блок создает и контролирует воздушный поток, который поступает в измерительный участок (трубу).

В измерительном участке поток сначала проходит через успокоительную решетку, которая выравнивает его, устраняя турбулентность для повышения точности измерений. Основное измерение происходит с помощью пары ультразвуковых преобразователей (УЗС), расположенных друг напротив друга на определенном расстоянии (акустический путь L). Один из них работает как излучатель, а другой – как приемник. Сигнал посылается в направлении потока и против него, а разница во времени его прохождения позволяет вычислить скорость потока.

Управление всем измерительным процессом и обработка данных осуществляются аппаратно-программным комплексом на базе ПЛИС. Этот комплекс включает в себя несколько ключевых модулей, что позволяет дорабатывать и исследовать каждый блок независимо друг от друга. Блок излучения, состоящий из ЦАП (цифро-аналогового преобразователя) и усилителя, формирует мощный сигнал для ультразвукового излучателя. Расположенный с противоположной стороны блок приема, содержащий усилитель и АЦП (аналого-цифровой преобразователь), улавливает ослабленный сигнал и оцифровывает его.

Оцифрованные данные по цифровой шине поступают в модули обработки ПЛИС, которая является вычислительным ядром системы. Одна её часть отвечает за генерацию сигнала излучателя, другая – за приём и обработку ответного сигнала. На следующем этапе рассчитывается задержка времени распространения сигнала, на основании которого определяется скорость потока. Погрешности измерения компенсируются с учётом данных о температуре и давлении, причем, интеллектуальный модуль выполняет финальную калибровку, в том числе, с использованием методов машинного обучения.

Итоговые измерения отправляются в буфер, откуда через шлюз, представленный, например, в виде UART-порта, передаются на управляющий компьютер. На нём же ведётся журнал экспериментов, и хранятся все данные для последующего анализа.

Рассмотрим компоненты, образующие измерительный стенд для проведения экспериментов.

Ядром всей системы является плата на базе программируемой логической интегральной схемы XilinxZynq 7020 серии «SmartZynq SP2». Это высокопроизводительное устройство сочетает в себе секцию программируемой логики (PL) и двухъядерный процессорный модуль (PS), что позволяет

реализовать высокоскоростную параллельную обработку сигналов и сложные вычислительные алгоритмы одновременно. Плата оснащена 512 МБ оперативной памяти DDR3, гигабитным Ethernet-интерфейсом, подключенным к программируемой логике для максимальной скорости обмена, и многочисленными портами ввода-вывода (GPIO, UART), что делает ее идеальной платформой для управления экспериментом, сбора данных и коммуникации с хост-системой.

Формирование измерительного ультразвукового сигнала обеспечивается связкой нескольких компонентов. Цифро-аналоговый 12-разрядный высокоскоростной (скорость обновления до 50 миллионов выборок в секунду) преобразователь (ЦАП) Microchip MCP4921 через SPI-интерфейс формирует точный исходный сигнал. Для усиления мощности сигнала до уровня, необходимого для возбуждения пьезоэлемента, используется повышающий аудиотрансформатор PulseElectronics PE-64972 с коэффициентом трансформации 1:10. Далее, буферный усилитель TexasInstruments THS3091, обладающий высокой скоростью нарастания сигнала (7.3 кВ/мкс) и способный отдавать значительный ток (280 мА), выполняет роль мощного драйвера, который эффективно управляет ультразвуковым передатчиком MA40S4S на частоте 40 кГц.

На приемной стороне установлен ультразвуковой приемник MA40S4R (40 кГц), который преобразует ослабленный акустический сигнал в электрический. Этот слабый сигнал поступает на высокоскоростной 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь с частотой дискретизации 50 MSPS. АЦП, оснащенный портами SMA для качественного подключения, оцифровывает сигнал с высокой точностью, позволяя фиксировать малейшие временные задержки, критически важные для ультразвукового метода измерения расхода. Полученные цифровые данные по параллельной шине передаются в программируемую логику ПЛИС Zynq для дальнейшей обработки.

Таким образом, подобранная элементная база представляет собой сбалансированную систему, где высокоскоростные ЦАП и АЦП обеспечивают точность, мощные аналоговые компоненты (трансформатор, усилитель) гарантируют надежное прохождение сигнала, а современная ПЛИС-платформа служит гибким и производительным вычислительным центром, идеально подходящим для отработки сложных интеллектуальных алгоритмов в реальном времени.

Предложенная разработка является ключевым инструментом для углубленного изучения и совершенствования алгоритмов обработки данных интеллектуальных расходомеров.

Список литературы:

1. Казадаев Е. В., Каржавин Ю. Ю. Измерение расхода газа с помощью ультразвука //Компетентность. – 2005. – №. 5. – С. 26-30.

2. Серов А. Ф. и др. Принцип построения двухкомпонентного счетчика-расходомера для нефтяной скважины //Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2011. – №. 4. – С. 176-182.

3. Чижов Н. С. Реализация ультразвукового расходомера воды на основе времяимпульсного метода //Наука, техника и образование. – 2017. – №. 4 (34). – С. 65-69.

4. Шипулин Ю. Г. и др. Интеллектуальная оптоэлектронная испытательная установка для расходомеров и счетчиков жидкостей //Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. – 2023. – С. 243-245.