

БЫТОВОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СЧЕТЧИК ВОДЫ И ТЕПЛА С БЕСПРОВОДНЫМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Описаны основные подходы, реализованные при проектировании ультразвуковых счетчиков воды и тепла с батарейным питанием, обладающих большим динамическим диапазоном измерения и имеющих встроенный беспроводной канал передачи данных по технологии LoRa. Обоснованы основные технические и алгоритмические решения, обеспечивающие практическую реализацию счетчиков.

Принцип измерения ультразвуковым счетчиком объема воды, прошедшей по трубопроводу, заключается в измерении средней скорости потока воды. Умножение скорости потока на площадь поперечного сечения D измерительного участка 1 (рисунок 1) счетчика в трубопроводе позволяет получить значение текущего расхода воды. Скорость потока воды в ультразвуковом расходомере определяется по разности времен распространения ультразвукового сигнала, излучаемого поочередно по потоку и против потока воды, от излучающего пьезоэлектрического преобразователя к приемному преобразователю 3 (рисунок 1).

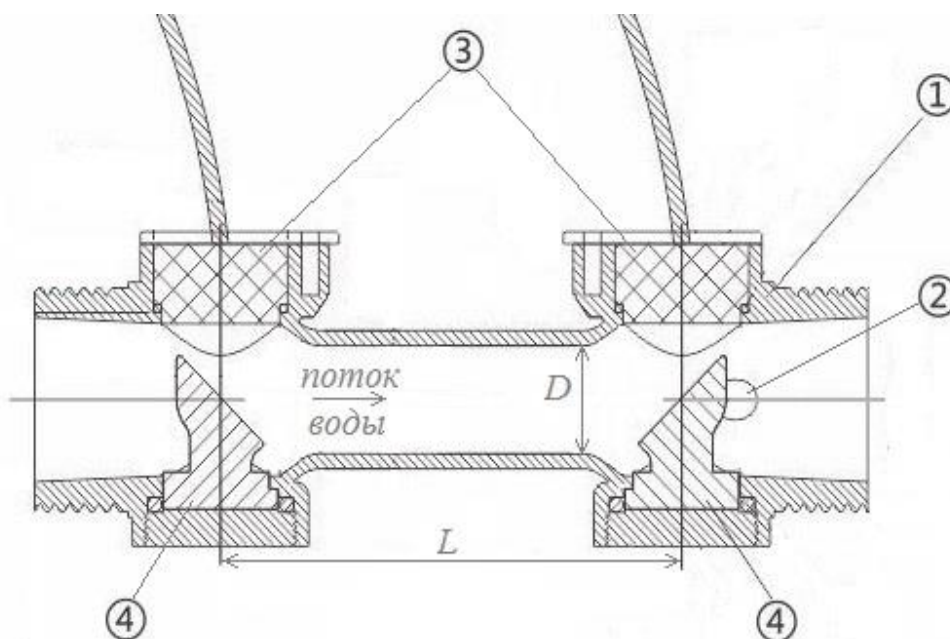


Рисунок 1 – Схема измерительного участка ультразвукового счетчика

Выражение для скорости потока воды u имеет вид [1]

$$u = \frac{L_p^2 * T_p}{2 * T_1 * T_2 * L * \cos \varphi} \quad (1)$$

где L_p – длина пути ультразвукового сигнала между излучающими поверхностями пьезоэлектрических преобразователей; L – длина пути, проходимого ультразвуком в измерительном участке; $\cos \varphi$ – косинус угла между направлением потока и направлением излучения, T_p разность времен распространения ультразвукового сигнала по направлению потока T_1 и против потока T_2 .

Точность и диапазон измерения скорости потока зависят, главным образом, от длины пути L , на котором проводятся измерения, разрешающей способности измерителя временных интервалов и отношения сигнал/шум в канале измерения. При проектировании ультразвуковых расходомеров существуют определенные ограничения на увеличение длины измерительного участка, связанные, в основном, с конструктивными ограничениями и потребительскими требованиями. Поэтому применение зеркал 4 (рисунок 1) позволяет без изменения габаритных размеров измерительного участка получить максимальное взаимодействие ультразвукового сигнала с потоком воды ($\cos\varphi=1$). Очевидно, что при малых значениях диаметра D вариант с отраженным лучом позволяет при той же скорости потока u получать большие значения T_p , что обеспечивает расширение динамического диапазона измерений в область малых расходов. Кроме того, встроенный платиновый датчик температуры 2 (рисунок 1) позволяет проводить измерения расхода тепловой энергии, переносимой потоком воды.

Повышение разрешающей способности расходомера требует построения более сложных измерительных схем и, в условиях переменных и флуктуирующих потоков, требует проведения большого числа измерений в единицу времени [3]. В то же время, применение батарейного питания накладывает ограничения на объем измерительных и вычислительных процедур, связанные с необходимостью обеспечить требуемую продолжительность работы без замены батареи.

Для реализации малопотребляющего расходомера-счетчика воды с большим диапазоном измерения и высокой точностью была разработана схема измерения временных интервалов методом интерполяции на специализированной микросхеме для измерения характеристик потоков MAX35101 фирмы MAXIM (Analog Devices). Микроконтроллер обеспечивает сверхнизкое потребление питания (единицы микроампер) в моменты времени между измерениями, а применение микроконтроллера с большей разрядностью позволяет снизить время на выполнение вычислений. Импульсный режим работы с динамической регулировкой приемно-излучающего тракта позволяет получить малый средний ток потребления и обеспечить возможность работы от низковольтной батареи питания в течение длительного периода времени.

Особенностью выполнения измерений с помощью вышеупомянутого комплекта в связке с микроконтроллером, имеющим развитую аналоговую периферию (компараторы, АЦП и ЦАП) является, во-первых, возможность подстройки зондирующего сигнала и параметров схемы приемника в зависимости от условий измерений, во-вторых, проводить зондирование среды сигналом в виде регулируемой последовательности импульсов и, наконец, обеспечивается возможность измерения задержки приема зондирующего сигнала по нескольким периодам с высоким разрешением по времени. Все это, в совокупности, позволило разработать тракт измерения временных интервалов в диапазоне до 8 мс с разрешающей способностью 15 пс при среднем токе потребления, не превышающем 100 мкА.

Чтобы обеспечить измерение изменяющихся потоков при оптимальной частоте измерения и постоянной усреднения с минимальной нагрузкой на батарею был разработан и реализован алгоритм, обеспечивающий адаптивное изменение параметров измерений в зависимости от динамики потока («динамическое усреднение»). Суть алгоритма заключается в том, что при быстром изменении скорости потока воды соответственно увеличивается частота измерений и уменьшается постоянная усреднения таким образом, чтобы минимизировать отклонения измерений от среднего значения. При установившемся потоке параметры измерений возвращаются к исходным заданным значениям. Таким образом, счетчик обеспечивает хорошее отслеживание динамических процессов без существенного уменьшения ресурса источника питания.

Другой важный аспект, гарантирующий высокую точность и надежность работы счетчика обеспечивается введением обработки измеренных данных с коррекцией и отбраковкой недостоверных результатов («селекция измерений»). Критерием достоверности измерений служит величина отклонения измеряемых значений по двум измеряемым направлениям. При отклонении измеренного значения хотя бы по одному направлению заданной величины раз-

маха измерение по обоим направлениям «бракуется» и не участвует в дальнейших вычислениях. Многократное повторение «бракованных» измерений свидетельствует о неисправности канала измерения и формирует сигнал ошибки. В тоже время если отклонения не значительны, то возможна коррекция измерений так как результат измерений имеет избыточную информацию о времени распространения ультразвукового сигнала. Такой подход позволяет существенно увеличить стабильность измерений расхода воды поскольку среда содержит неоднородности в виде небольших пузырьков воздуха, которые оказывают влияние на распространение ультразвука.

Для беспроводной передачи данных в счетчике используется модуль LoRa-02 SX1278 433МГц, который подключен к микроконтроллеру прибора через порт SPI. Передача данных осуществляется через сетевой хаб, который является центральным узлом для считывания информации со смарт-приборов и передачи результатов на сетевой сервер. Беспроводная технология LoRa позволяет передавать информацию на большие расстояния, т.е. один сетевой хаб способен обслуживать смарт-приборы, расположенные в радиусе до 15 км.

Наличие в базовой комплектации счетчика канала беспроводной передачи позволяет непосредственно использовать счетчик в централизованных системах сбора данных. Реализация протокола обмена данными в соответствии с СТБ 2559-2019 [4] позволяет интегрировать счетчик в современные АСУ. Кроме того, текстовый формат данных JSON хорошо встраивается в сетевой протокол MQTT, работающий поверх TCP/IP и выполняющий передачу данных по принципу «издатель-подписчик». В результате счетчик может использоваться в качестве устройства «Умного дома» по технологии Интернета вещей (IoT), ориентированной на повышении эффективности обслуживания дома.

Список литературы

1. Методика выполнения измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода: СТО Газпром 5.2-2005.- Москва: 2005 – 74 с.
2. Дедович Н.Н., Романов А.Ф., Чернобай И.А., Шестаков Л.В. Ультразвуковые расходомеры газа с автономным питанием // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния / Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию НИИ ПФП им.А.Н.Севченко БГУ 28.02.2011 г. С. 98-99.
3. Дедович Н.Н., Романов А.Ф. Повышение точности и диапазона измерения расхода в бытовых ультразвуковых расходомерах газа с батарейным питанием // «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния» - Материалы Международной научно-практической конференции 27-28 февраля 2013 года, Минск, 2013. С.144-146.
4. Оборудование электросвязи дистанционного съема. Обмен данными верхнего уровня: СТБ 2559-2019 – Введ. 01.01.2020. – Минск: Госстандарт, 2019. – 15 с.