

Преимущества применения цифровой обработки сигнала с использованием спектрального анализа в вихревых расходомерах

В.В. Кортиашвили
коммерческий директор¹
sales@emis-kip.ru

Е.В. Костарев
начальник инженерного отдела¹

Е.И. Крахмалев
руководитель группы автоматики и
схемотехники¹, аспирант²

¹ЗАО «Электронные и механические измерительные системы», Челябинск, Россия

²Кафедра автоматики и управления ЮУрГУ, Челябинск, Россия

В статье рассмотрены основополагающие принципы определения расхода современными программно-аппаратными средствами измерения расхода. Предложена структура, метод обработки оцифрованного сигнала с первичного датчика на примере вихревого расходомера. Определены основные преимущества, которые могут быть получены в результате цифровой обработки, указаны математические алгоритмы, позволяющие существенно улучшить качественные характеристики расходомеров.

Материалы и методы

Способ обработки сигналов методом прямого и обратного преобразования Фурье.

Ключевые слова

вихревой расходомер, расходомер, измерение расхода газа, пара, жидкости, цифровые расходомеры, расходометрия, метрологический диапазон, диагностика расходомера, поверка расходомера

С каждым днём условия конкуренции среди производителей контрольно-измерительных приборов и автоматики усложняются и ужесточаются. За последнее время перечень базовых методов измерения не изменялся, и остаётся прежним. Революционный прорыв произвели массовые расходомеры, а качество и цена перестали быть конкурентными преимуществами, и перешли в разряд обязательных критериев отбора оборудования.

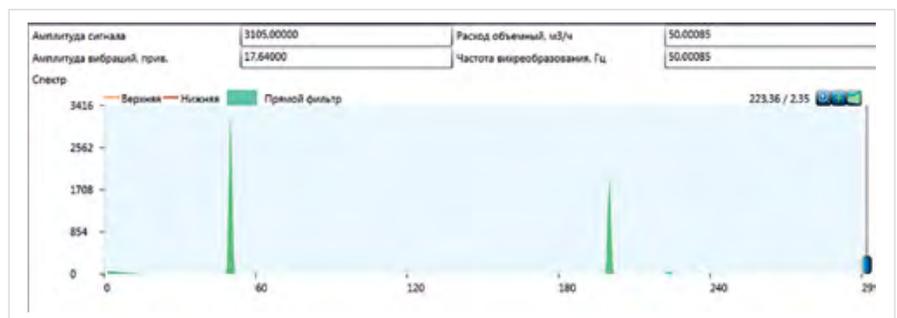
В настоящее время благодаря высокому уровню развития микропроцессорной техники перспективным направлением в создании приборов измерения расхода является применение методов цифровой обработки сигнала с использованием спектрального анализа, обладающих рядом явных преимуществ, в сравнении с аналоговыми приборами измерения расхода. Такие продукты российского инжиниринга на отечественном рынке появились в начале 2000 года. Наиболее широкое распространение цифровая электроника получила на базе вихревых расходомеров.

В настоящей статье рассмотрены основополагающие принципы определения расхода

современными программно-аппаратными средствами измерения; предложена структура, метод обработки оцифрованного сигнала с первичного датчика на примере вихревого расходомера. Также в статье определены основные преимущества, которые могут быть получены в результате цифровой обработки сигнала, указаны математические алгоритмы, позволяющие существенно улучшить качественные характеристики оборудования.

Цифровая электроника одного из российских производителей расходомерии (версии V.8) создана на базе мощного процессора цифровой обработки сигнала «Blackfin» от компании «Analog Devices», обладающего высоким быстродействием. Высокопроизводительный процессор способен обрабатывать сигнал от сенсора расходомера, используя математические методы спектрального анализа в режиме реального времени, что позволяет добиваться превосходных результатов в точности измерений.

В процессоре реализуется процедура автоматического анализа спектра сигнала, предназначенная для непрерывного контроля процесса измерения расхода в режиме



1a

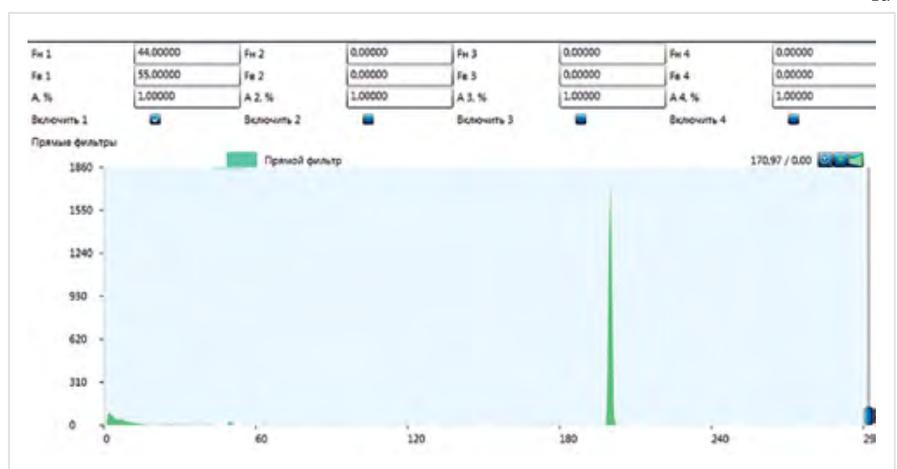


Рис. 1 — Спектральное представление сигнала сенсора

1б



Рис. 2 — Структурная схема обработки сигнала

реального времени. Коды диагностических сообщений автоматически выводятся на дисплей прибора в случае обнаружения кавитации или хаотического вихреобразования. Контроль процесса измерения обеспечивается также функцией самодиагностики расходомера. Прибор способен по команде оператора или по расписанию выполнять самостоятельное тестирование своих внутренних электронных блоков обработки сигнала. Коды диагностических сообщений автоматически выводятся на дисплей прибора в случае обнаружения нарушений в работе электронной части прибора. Датчики вибрации и температуры установлены на процессорной плате расходомера, что позволяет реализовать возможность удаленной диагностики условий эксплуатации прибора. При этом показания датчика температуры непрерывно архивируются.

Цифровая обработка сигнала со спектральным анализом в расходомере позволяет выполнять поверку прибора, как на жидкой, так и на газообразной среде.

Применяемая электроника (версии V.8) защищает все метрологические коэффициенты технологией «цифровая пломба». Это означает что прибор, на основе данных о своих метрологических коэффициентах, вычисляет определенное число, называемое «метрологической суммой». Метрологическая сумма уникальна для любого набора значений метрологических коэффициентов и позволяет однозначно судить о несанкционированном вмешательстве в настройки прибора.

Функциональность и практичность

цифровой электроники на базе прибора по измерению расхода достигается в результате применения программы-интегратора с удобным графическим интерфейсом на платформе Windows. Благодаря используемой технологии обработки сигнала методом прямого и обратного преобразования Фурье программа-интегратор предоставляет широкие возможности анализа качества процесса измерения: отображение в графическом виде спектра сигнала от сенсора расходомера, позволяющее однозначно судить о метрологической достоверности измерения; графическое представление спектра сигнала позволяет выявлять источники шумов и вибраций, оказывающих негативное воздействие на процесс измерения расхода.

Программа позволяет мгновенно включить и настроить необходимый цифровой фильтр и таким образом получить наилучшее соотношение «сигнал/шум». Цифровая фильтрация, основанная на анализе спектра сигнала, позволяет увеличить стойкость прибора к вибрации, а также расширить диапазон измерения расхода с сохранением метрологических характеристик.

Основной функционал программы-интегратора выглядит следующим образом. Прямые фильтры — для борьбы с нежелательными постоянными воздействиями (вибрацией, различными шумами); в электронике версии V.8 предусмотрено 4 полосовых настраиваемых фильтра и 1 фильтр для отключения наводок из сети (50 Гц). Полосовые фильтры не ограничены по ширине. Возможно их комбинирование.

На представленном спектре (рис. 1а), мы видим, что полезный сигнал (на частоте 200 Гц) перекрывается помехой (на частоте 50 Гц), и прибор показывает некорректный расход. Природа данной помехи может быть неизвестна либо помеху невозможно устранить физически. Чтобы нивелировать её влияние, необходимо настроить прямой фильтр: примерно от 44 до 65 Гц, помеха должна уменьшиться в 100 раз (рис. 1б).

В электронике и программе присутствует медианный фильтр, используемый для устранения нежелательных случайных воздействий. Данный фильтр отвечает за то, чтобы показания прибора не изменялись под влиянием случайной помехи. Неоспоримым достоинством данного вида фильтра является его способность работать в автоматическом режиме.

Использование электроники версии V.8 предоставляет возможность самотестирования, которая отображает состояние прибора. В программе «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» на правой панели отображены индикаторы: зеленый индикатор означает, что данная подсистема работает нормально, красный — подсистема дала сбой. При активизации индикатора курсором «мыши» открывается окно с более подробным описанием и рекомендациями. Таким образом, первичную диагностику работы расходомера можно провести, подключив к расходомеру по RS-485 либо USB обычный компьютер или ноутбук.

Функция сохранения (загрузки) настроек позволяет осуществлять резервирование настроек расходомера. Функция дает возможность получать настройки для прибора от компании — производителя и настраивать прибор с учетом конкретных условий среды, без демонтажа расходомера.

Функциональные возможности электроники и программы-интегратора позволяют сделать запись спектра и отправить его в сервисный центр производителя и настраивать прибор с учетом конкретных условий среды, без демонтажа расходомера.

Функция записи (воспроизведения) позволяет записывать работу прибора в файл и воспроизводить записанный ранее файл. Эта функция дает возможность записи работы прибора для отправки в сервисный центр для оценки измерения. По данной записи производителем могут быть даны однозначные оценки правильности настройки прибора, рекомендации. Кроме того, может быть создан файл настроек конкретно для Вашего прибора и рабочей среды. Важно отметить, что все эти действия осуществляются без прерывания процесса измерения, т.е. прибор не нужно демонтировать.

Также функция дает возможность диагностировать состояние проточной части расходомера (загрязнение и др.). Для этого необходимо записать эталонный файл (сразу после установки расходомера на трубопровод). Подобная возможность, предоставляемая электроникой и программным обеспечением, предоставляет преимущество сравнивать работу прибора с эталонным файлом и диагностировать состояние проточной части.

В соответствии с предлагаемым подходом вихревой расходомер воспринимает сигналы с сенсора (например, пьезоэлектрического, термоанемометрического, ультразвукового и других) и производит его усиление, фильтрацию и обработку.

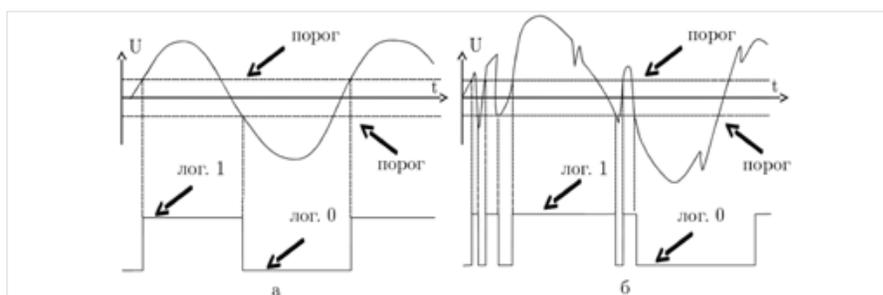


Рис. 3 — Сравнение результатов простейшей оцифровки при различных расходах: (а) — большом, (б) — малом

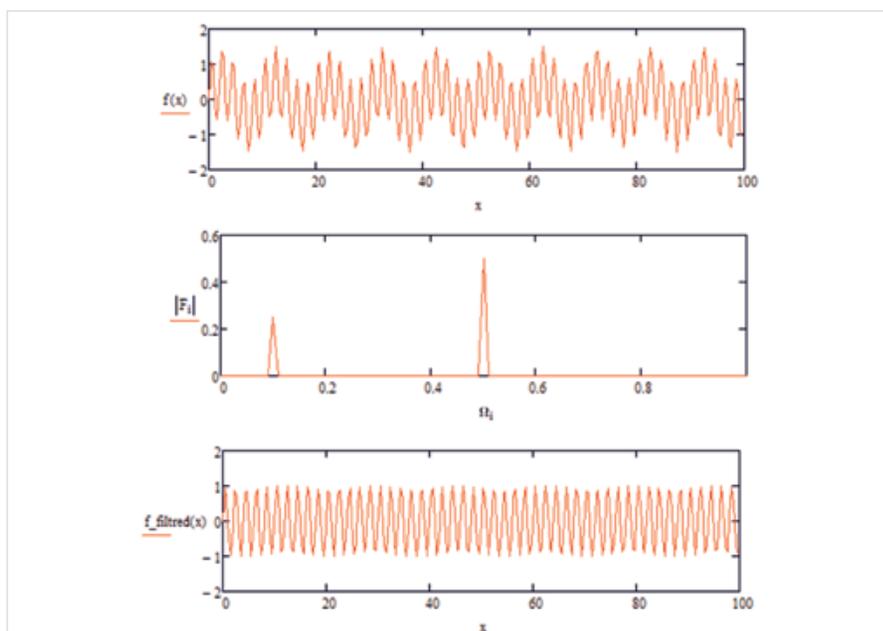


Рис. 4 — Пример цифровой обработки с применением БПФ и ОБПФ

Упрощенная структурная схема обработки сигнала представлена на рис. 2.

Традиционно обработка проводится аналоговыми методами с помощью RLC-фильтров и операционных усилителей. Далее сигнал нормируется либо с помощью инструментальных усилителей, либо с помощью компаратора и микроконтроллера.

Наиболее перспективными способами проведения измерений в современной расходомерии являются методы цифровой обработки сигнала. В этом случае для нормирования и последующей обработки первичного физического сигнала, преобразованного к виду электрического используется аналого-цифровой преобразователь. Простейшая реализация данного метода измерения возможна с помощью 1-битного преобразования с применением компаратора. В данном случае микроконтроллер в части обработки сигнала осуществляет лишь подсчет количества импульсов за единицу.

Если сигнал близок синусоиде, что действительно при средних и больших скоростях движения среды, частота переходов сигнала через пороговый уровень соответствует расходу. Однако, если соотношение сигнал-шум понижается, что неизбежно при работе на малых скоростях (расходах) и в условиях повышенной вибрации, то сигнал становится

далеким от синусоиды, появляются ложные срабатывания. Сравнение результатов простейшей оцифровки на большом и малых расходах приведены на рис. 3.

Применения производительных электронно-вычислительных мощностей позволяет осуществлять сложные математические алгоритмы, что даёт возможность существенно расширить динамический диапазон и улучшить метрологическую составляющую учета. Одним из способов математической обработки сигналов является преобразование Фурье.

В простейшем случае входной сигнал с первичного преобразователя (сенсора) во временной области преобразуется в частотную область при помощи быстрого преобразования Фурье (БПФ). Частота составляющей спектра с наибольшей амплитудой считается частотой полезного сигнала.

Более точное и стабильное вычисление частоты вихреобразования может быть достигнуто применением комбинации прямого и обратного преобразования. Для этого выбранная составляющая спектра и ближайший к ней «лепесток» из ненулевых составляющих, полученных посредством прямого преобразования Фурье, преобразуются во временную область посредством обратного преобразования Фурье (ОБПФ). Полученный выходной сигнал имеет вид, приближенный к синусоиде, и

может быть обработан посредством подсчета периода времени между переходами сигнала через пороговое значение. Работа метода проиллюстрирована на рис. 4.

Итоги

Достоинствами расходомеров с цифровой обработкой сигнала являются:

- Возможность фильтрации от различного рода помех;
- Возможность просмотра спектра, как исходных данных для обработки, а не только результата;
- Возможность диагностики нештатных состояний работы прибора, например кавитации и паразитного вихреобразования;
- Контроль за положением сигнала на шкале частот для определения выхода за метрологический диапазон;
- Приборы с цифровой электроникой предоставляют возможность удаленной диагностики процесса измерения при эксплуатации без остановки потока.

Выводы

Инновационный подход к проблеме обработки сигнала с сенсора расходомера на основе прямого и обратного преобразования Фурье позволяет значительно расширить функциональные возможности вихревого расходомера, создавая новые конкурентные преимущества, без значительного удорожания стоимости прибора.

Список используемой литературы

- Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свёрток. Москва: Радио и Связь, 1985. 248 с.
- Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов // Бинум-Пресс, 2006. 656 с.
- Зверев В.А., Стромков А.А. Выделение сигнала из помех численными методами // ИПФ РАНГ. 2001. 186 с.

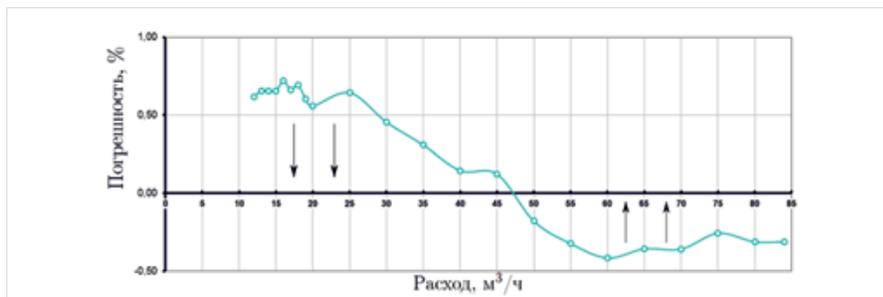


Рис. 5 — Калибровка расходомера с помощью корректировочной таблицы

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

Advantages of using digital signal processing using a spectral analysis in vortex flowmeters

UDC 65.011.56

Authors:

Valeriy V. Kortiashevili — commercial director¹; sales@emis-kip.ru

Evgeniy V. Kostarev — head of engineering department¹;

Evgeniy I. Krahmalev — team leader of automation and circuit design¹, postgraduate student²;

¹Electronic and mechanical measuring systems, Chelyabinsk, Russian Federation

²Department of Automation and Control of South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract

The article describes the basic principles for determining the flow of modern software and hardware flow measurement. A structure, the method of processing the digitized signal from the primary sensor on the example of a vortex flowmeter. The main advantages which can be obtained through digital processing, mathematical algorithms shown to significantly improve the qualitative characteristics of the flowmeter.

Materials and methods

A signal processing method using direct and inverse Fourier transform.

Results

The advantages of flow meters with digital signal processing are:

- Ability to filter by various kinds of interference;
- Ability to view the spectrum as input data for processing, and not only the

result;

- The possibility of diagnosing abnormal conditions of the instrument, such as cavitation and parasitic eddy formation;
- Monitoring the position of the signal on the frequency scale to determine the yield of the metrological range;
- Devices with digital electronics allows remote diagnosis of the measurement process in operation without stopping the flow.

References

- Nussbaumer G. *Bystroye preobrazovanie Fur'e i algoritmy vychisleniya svertok* [Fast Fourier transform algorithms for computing

convolutions and]. Moscow: *Radio i Svyaz'*, 1985, 248 p.

- Layons R. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing]. *Binom-Press*, 2006, 656 p.

- Zverev V.A., Stromkov A.A. *Vydelenie signala iz pomekh chislennymi metodami* [Separating the signal from interference by numerical methods] *IPF RANG*, 2001, 186 p.