

Способ измерения доплеровского сдвига частоты обратно рассеянного акустического сигнала

А. Н. Морозов

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, д 2

В последнее время акустические доплеровские измерители скорости течения получили широкое развитие, благодаря, возможности проведения измерений бесконтактным способом в объемах жидкости удаленных от прибора. Наряду с развитием сложных измерительных систем, таких как RD Instruments, обеспечивающих измерение профилей скорости течения на расстояниях от 25 до 1000 м, наметилась тенденция к созданию простых точечных доплеровских приборов, предназначенных для измерения скорости течения в слое удаленном на 1 – 2 метра от датчика.

Примером точечного измерителя может служить прибор производства Aandera Instruments (1). Выделение доплеровского сдвига частоты в приборах выпускаемых RDI (и аналогичных) основано на проведении спектрального анализа выбранного окна обратно рассеянного сигнала, что подразумевает сложную цифровую обработку аналогового сигнала и приводит к сложным схемотехническим решениям увеличивающим стоимость прибора. Отличие приборов Aandera состоит в применении простого метода определения сдвига частоты, допускающего простую техническую реализацию. Суть метода заключается в измерении разности времени прохождения одинакового числа периодов сигнала излучения и обратно рассеянного сигнала. Реализуется метод на основе счетчиков, при этом тактовая частота составляет 16 МГц, интервал наблюдения около 1 мс, частота

сигнала излучения 2 МГц. Такие параметры системы обеспечивают точность измерения скорости течения в 1.5 метровом слое удаленном от датчика на 0.5 м не менее 2 см/с при осреднении на 10-ти минутных интервалах при дискретности измерения 4 с.

Автором была предпринята попытка разработки аналоговой схемы измерения доплеровского смещения частоты предусматривающей простую техническую реализацию. В качестве исходных параметров было принято: частота излучения 1 МГц, окно анализа 1 мс. С целью получения характерных величин измеряемых параметров проведем анализ погрешности рассматриваемого способа. Доплеровский сдвиг определяется соотношением:

$$\Delta T = 2 * V / C * T$$

где V – скорость отражателей, C – скорость звука, T – период частоты излучения, ΔT – доплеровское приращение периода. Поскольку измеряемым параметром является суммарное приращение времени на интервале продолжительностью N периодов то

$$\Sigma \Delta T = 2 * V / C * T * N$$

где $T=1$ мкс, $V=0.15$ м/с, $C=1500$ м/с, $N=1000$, получим $\Sigma \Delta T=0.2$ мкс. С другой стороны – прием сигнала производится на фоне шумового фона определяемого аппаратными шумами и шумами окружающей среды, при этом погрешность определения момента пересечения нулевого уровня может быть выражена соотношением:

$$\sigma = T / (\pi * q)$$

где q – соотношение сигнал/шум. При $q=30$, $\sigma \approx 0.01$ мкс, что соответствует ≈ 0.75 см/с. Как можно видеть из полученных значений основную сложность при технической реализации способа представляет широкий динамический диапазон, определяемый как отношение окна наблюдения равным 1 мс к значимой части определяемой доплеровским

смещением 0.2 мкс при скорости 0.15 м/с.

В качестве накопительного элемента в схеме использовался конденсатор. Измерительная схема имеет два входа: на один подается частота излучения, на другой – принятый рассеянный сигнал. В схеме сигналы преобразуются в последовательность прямоугольных импульсов, которые открывают импульсные источники тока выходы которых, соединены с накопительной емкостью, при этом источники тока обеспечивают токи одинаковой величины противоположные по направлению. Цикл измерения начинается с поступлением первого импульса от источника рассеянного сигнала превышающего нулевой уровень, при этом производится зарядка емкости в течении этого периода, так происходит до момента заполнения счетчика числа периодов рассеянного сигнала. Второй источник тока, разряжающий емкость, открывается при превышении нулевого уровня сигналом излучения, это происходит до заполнения счетчика числа периодов сигнала излучения. Таким образом, емкость одновременно заряжается и разряжается, что позволяет удерживать сигнал в пределах ± 5 -ти вольт на интервале наблюдения и тем самым решить задачу широкого динамического диапазона схемы (более 40 дБ). После заполнения обоих счетчиков производится считывание напряжения с накопительной емкости и ее последующий разряд в исходное состояние. После этого цикл измерения повторяется.

Предложенная схема была смоделирована. Испытания показали, что одновременная работа импульсных источников тока вызывает неконтролируемые переходные процессы в работе схемы, искажающие результаты измерений. Логическая часть схемы была дополнена устройством разнесения по времени открытых состояний противоположных источников тока, что приведет к незначительной размытости окна наблюдения, и

сократит количество счетчиков. Проведенные испытания переработанной схемы показали устойчивую ее работу с погрешностью эквивалентно 5 см/с при единичном измерении, что является достаточно высоким показателем для столь простой схемы.

Качество предложенного решения может быть частично улучшено посредством использования для единичного измерения двух циклов с перекоммутированием управляющих сигналов источников тока. Это позволит уменьшить влияние разбалансировки используемых источников тока, включая их временной и температурный уход.

Предложенная аналоговая схема имеет определенное преимущество перед методом подсчета числа периодов тактовой частоты, поскольку использует пересечение нуля в каждом периоде принятого сигнала, что снижает погрешность вызываемую наличием шумового фона в точке приема и позволяет использовать ее при малых соотношениях сигнал/шум.

Простые методы выделения доплеровского сдвига частоты значительно уступают по точности и пространственному разрешению приборам со сложной цифровой обработкой сигнала. Однако в ряде задач они более предпочтительны как по ценовым, так и по габаритным характеристикам.

Литература:

1. I. Aandera. A Unique New Single-Point Doppler Current Meter. Conference on Current Measurements. February 7-7 1995, p. 58.