

Ультразвуковой анемометр на программируемых аналоговых ИС Anadigm

Алексей Галахов, Олег Ахметов (Мурманская обл.)

В статье описан малогабаритный ультразвуковой анемометр, реализованный на современной аналогово-цифровой элементной базе.

Для изучения физико-химических процессов, протекающих в приземной атмосфере, в лаборатории «Атмосфера Арктики» Полярного геофизического института был разработан рабочий макет ультразвукового анемометра (УЗА). Новизна прибора состоит в том, что он выполнен на основе программируемых аналоговых микросхем FPAА фирмы Anadigm, микроконтроллера и высоковольтных ИС типа HV2201 фирмы Supertex. Это позволило создать экономичный, малогабаритный и не требующий сложной настройки прибор в виде выносного блока, конструктивно совмещенного с ультразвуковыми датчиками и соединенного кабелем связи с хост-компьютером (см. рис. 1).

В данном устройстве для определения компонент вектора скорости ветра V использован алгоритм [1], который требует измерения времени прохождения звука в прямом и об-

ратном направлениях вдоль измерительной базы:

$$V_i = \frac{L_i(t_{1i} - t_{2i})}{2t_{1i}t_{2i}},$$

где i – номер канала, t_{1i} , t_{2i} – время прохождения звука в прямом и обратном направлении для соответствующего канала, L_i – длина измерительной базы воздушного зазора, V_i – скорость ветра.

Функциональная схема прибора представлена на рисунке 2. Для определения вектора скорости ветра используется система из восьми датчиков, попарно образующих четыре измерительные базы. Базы конструктивно расположены на двух ортогональных сварных фермах в виде обруча, находящихся под углом 90 градусов в горизонтальной и 45 градусов в вертикальной плоскостях.

В качестве ультразвуковых датчиков используются влагозащищенные пьезодатчики MA40E8 фирмы Murata, которые могут работать в режиме как приёма, так и передачи, и обладают следующими характеристиками: $F = 40$ кГц, $U_{\max} = 160$ В, $T_{\max} = 60$ мс.

Анемометр построен таким образом, что генератор, формирующий ультразвуковой импульс (40 кГц; 0,2 мс), и блок обработки принятого сигнала являются общими для всех датчиков, а переключение соответствующих пьезодатчиков на передачу и приём происходит при помощи высоковольтного коммутатора, построенного на ИС (HV2201) и управляемого микроконтроллером (PIC18F452).

Момент приёма ультразвукового импульса фиксируется аналоговым компаратором, что предъявляет жёсткие требования к уровню принятого сигнала. Следует также учитывать разброс характеристик дат-

чиков и трудности точной юстировки датчиков вдоль оси базы ($L \sim 40$ см), что в конечном итоге приводит к разбросу уровней принятого сигнала на выходе коммутатора при включении датчиков различных измерительных баз. Поэтому в блоке обработки реализована АРУ для каждой пары датчиков, действующая в каждом измерительном цикле. Блок обработки построен на программируемых аналоговых схемах FPAА типа AN221E04, AN120E4, где, наряду с функцией АРУ, также выполняются узкополосная фильтрация, многофазное детектирование и сравнение амплитуд.

Для программирования FPAА используется среда AnadigmDesigner2, посредством которой происходит выбор из библиотеки доступных аналоговых модулей, установка их характеристик, компиляция данного проекта в текстовый файл, который в дальнейшем является составной частью общей программы микропроцессора PIC18F452. Загрузка конфигурации происходит через последовательный интерфейс (SPI) PIC-контроллера (шина 13,14), который также управляет коммутатором. Синхронизация работы FPAА (ACLK) осуществляется от кварцевого генератора (16 МГц) PIC-контроллера (OSC2).

Основным узлом УЗА является восьмиразрядный флэш-микроконтроллер PIC18F452, который выполняет следующие функции:

- генерации УЗ-импульса 40 кГц, 0,2 мс (RA0, шина 1);
- загрузки конфигурации FPAА и кода коммутатора через последовательный интерфейс SPI (RC3, RC5, шина 13,14);
- управления загрузкой конфигурации RD0, RD1, RD2, RD3, RD4 (шина 6, 7, 8, 9, 10);
- управления работой коммутатора RD6, RD7 (шина 11, 12);
- формирования тактовой частоты 16 МГц для FPAА (OSC2, шина 16);

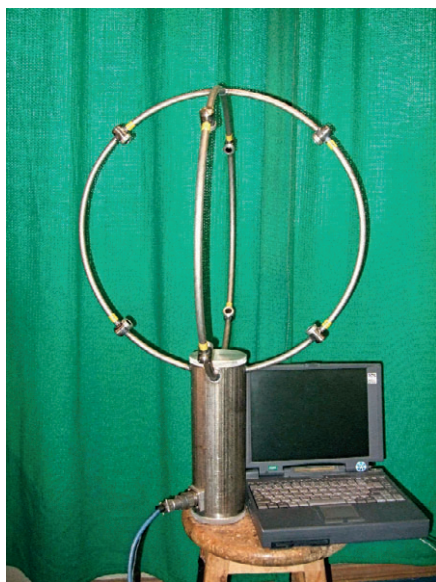


Рис. 1. Общий вид ультразвукового анемометра

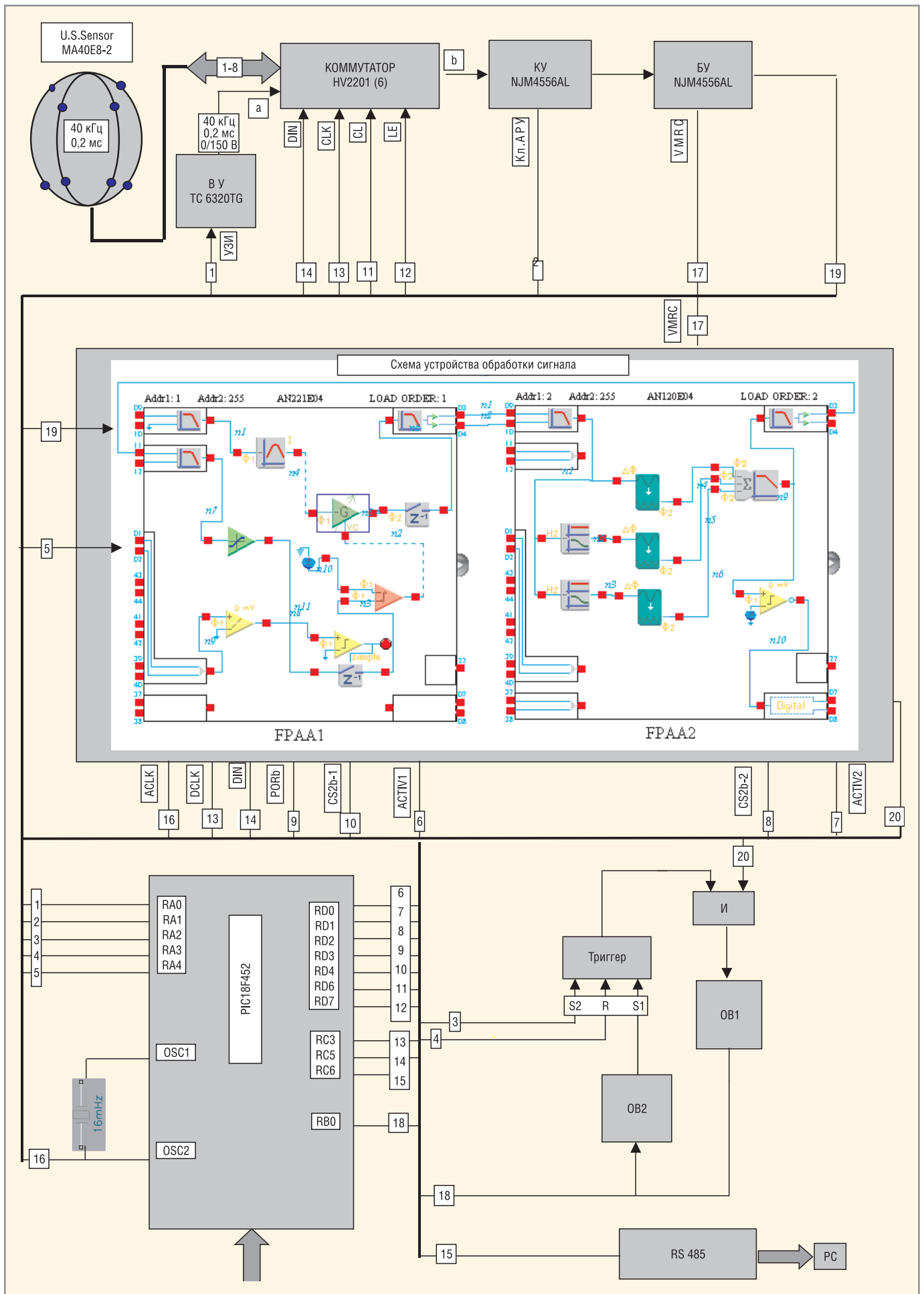


Рис. 2. Функциональная схема ультразвукового анемометра

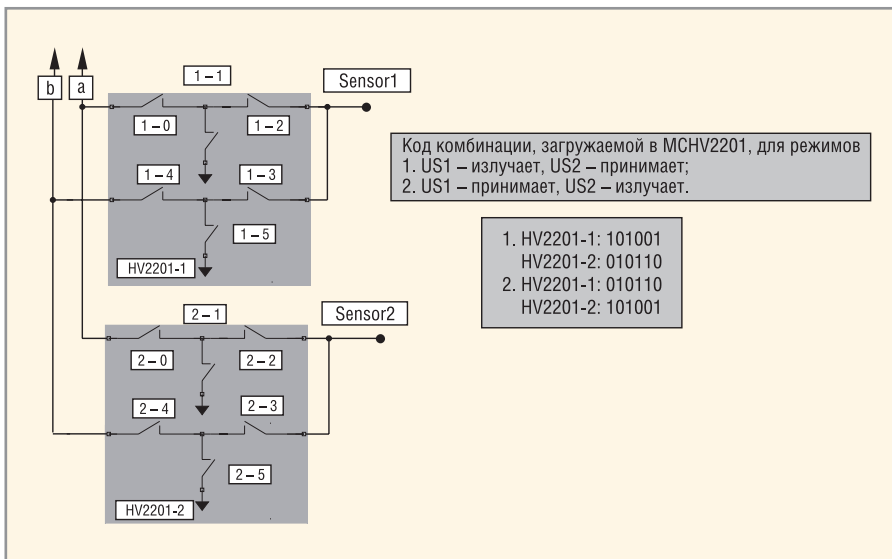


Рис. 3. Элемент коммутатора на основе высоковольтных ключей типа HV2201

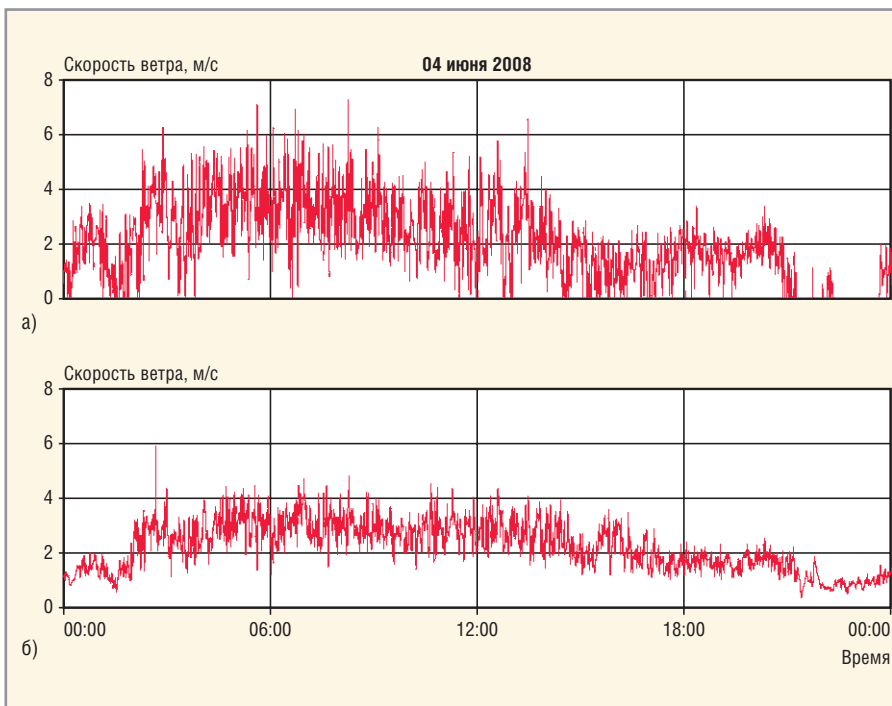


Рис. 4. Пример одновременной записи скорости ветра
 (а) Метеостанция М49М; (б) ультразвуковой анемометр

- формирования запирающего импульса ключевой АРУ усилителя КУ (NJM4556AL) во время действия УЗ-импульса RA1 (шина 2);
- таймера TMR1 для отсчёта времени пролёта УЗИ;
- таймера TMR0 для дублирования импульса компаратора FPAА, чтобы исключить «зависания» программы;
- последовательного порта USART для передачи данных на хост-компьютер через интерфейс RS-485;
- записи времени пролёта ультразвукового импульса по внешнему прерыванию RB0 от переднего фронта импульса компаратора.

Редактирование и запись программы в память микроконтроллера осуществляется через программную среду MPLAB ICD2.

Для уменьшения влияния наводок от высоковольтного ультразвукового импульса (160 В) на приёмную часть устройства используется дополнительная логика, уменьшающая временной интервал действия импульса внешнего прерывания.

На рисунке 3 показан фрагмент построения коммутатора на базе высоковольтных ключей HV2201 для двух пьезодатчиков одной измерительной базы.

Программное обеспечение хост-компьютера обеспечивает сохранение на жёсткий диск измеренного прибором времени пролёта импульсов между парами датчиков вместе с временными метками. Программное обеспечение создавалось с учётом рекомендаций GNU coding standards (что делает его переносимым на любую UNIX/Linux-систему с установленными библиотеками GNU C без каких-либо изменений) и ориентировано на работу под управлением UNIX-совместимых операционных систем.

Для определения задержки распространения импульсов в электронной схеме и датчиках анемометра была разработана методика, позволяющая рассчитывать задержки аппаратуры в каждом из четырёх каналов прибора. Несмотря на то что УЗА коммутирует одну и ту же схему для всех измерительных каналов, разброс параметров используемых пьезодатчиков требует отдельного учёта задержек аппаратуры для каждого канала в прямом и обратном направлениях.

На рисунке 4 представлен пример одновременной записи скорости ветра стандартной метеостанцией М49М и разработанным ультразвуковым анемометром.

Результатом работы прибора являются четыре вектора скорости ветра, ориентированных вдоль осей пар датчиков. Данное представление не является удобным или общепринятым, поэтому предусмотрена возможность программного перехода к трёхкомпонентному вектору скорости ветра в декартовой системе координат. В основе метода лежит матрица перехода, рассчитанная методом SVD (сингулярной декомпозиции) [2].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №08-05-00226 и Программы Отделения физических наук РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований» (Программа № 12, проект № 4.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Hanafusa T., Fujitani T., Kobori Y. and Nitsuta Y. A New Type Sonic Anemometer – Thermometer for Field Operation. Papers in Meteorology and Geophysics. March 1982. Vol. 33. No 1.
2. Годунов С.К., Антонов А.Г., Кирилук О.П. и др. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. Наука, 1988.