

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНЕМОМЕТР

Студент гр. 11902117 Перминов В. В.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в парусном спорте наиболее важными параметрами для измерения являются скорость ветра и направление его движения, которые напрямую влияют на успех в данной спортивной дисциплине. Для измерения этих величин используют анемометры.

Существует несколько типов анемометров, различающихся по принципу действия:

- чашечные анемометры, в которых скорость ветра измеряется пропорционально скорости вращения ротора;
- термоанемометры, в которых фиксируется изменение температуры нагретого тела;
- ультразвуковые анемометры, основанные на измерении скорости звука, зависящей от его направления (так, навстречу ветру скорость звука ниже, чем в неподвижном воздухе, по ветру – наоборот, выше).

Рассматриваемый в работе анемометр относится к типу ультразвуковых анемометров, в которых скорость звука, изменяется в зависимости от направления движения воздуха относительно пути распространения звука.

В данном устройстве при расчёте компонент вектора скорости использовалась следующая формула:

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

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

Для определения скорости ветра используется система из восьми измерительных преобразователей, попарно образующих четыре измерительные базы, которые расположены на двух ортогональных сварных фермах в виде обруча, находящихся под углом  $90^\circ$  в горизонтальной и  $45^\circ$  в вертикальной плоскостях.

Ультразвуковой анемометр построен таким образом, что генератор, который формирует ультразвуковой импульс, и блок обработки сигнала являются общими для всех датчиков, а переключение соответствующих пьезодатчиков на передачу и приём осуществляется коммутатором, который управляется микроконтроллером.

Для приёма и фиксации тактовых импульсов от генератора в схеме реализован аналоговый компаратор, управляемый микроконтроллером. Также учитывается разброс характеристик датчиков и трудность точной юстировки датчиков вдоль осей баз, что в итоге приводит к разбросу уровней принятого сигнала на выходе коммутатора при включении датчиков различных измерительных баз. Поэтому в блоке обработки сигнала реализована АРУ для каждой пары измерительных преобразователей.

Одним из основных узлов ультразвукового анемометра является восьмиразрядный флеш-микроконтроллер PIC18F452, который выполняет следующие функции:

- загрузки конфигурации ФРАА и кода коммутатора через последовательный интерфейс SPI;
- управления работой коммутатора;
- формирования тактовой частоты 16 МГц для ФРАА;
- таймера для отсчёта времени пролёта ультразвукового импульса;
- таймера для дублирования импульса компаратора ФРАА, чтобы исключить «зависания» программы;
- последовательного порта USART для передачи данных на хост-компьютер;

Результатом работы устройства являются 4 вектора скорости ветра, ориентированные вдоль осей датчиков. Данное представление является не вполне удобным, поэтому предусмотрена возможность программного перехода к трёхкомпонентному вектору скорости ветра в декартовой системе координат.

Для последующего применения данного типа анемометров важной задачей является обеспечение их метрологических характеристик по показателям назначения, т. е. определение погрешностей измерений величин в заданных диапазонах.

Для определения абсолютной погрешности измерения проекций вектора скорости на оси координат использовалась следующая формула:

$$V = \sqrt{\left(\frac{t_2 - t_1}{2t_1 t_2} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{x}{2t_1^2} \Delta t_1\right)^2 + \left(\frac{x}{2t_2^2} \Delta t_2\right)^2} \quad (2)$$

В данной работе был рассмотрен прибор, являющийся экономичным, малогабаритным и не требующим сложной настройки, что позволяет использовать его для измерения скорости и направления ветра в парусном спорте.