

Применение датчиков давления в системах навигации

Любой навигационной системе, установленной на летательных объектах, необходимо определять свое положение относительно поверхности Земли. Применение электронного высотомера на основании датчика давления является эффективным решением данной проблемы в большом диапазоне высот. В данной статье рассмотрена задача построения высотомера с точностью до $\pm 0,1$ м.

ВВЕДЕНИЕ

Барометрические высотомеры используются в воздухоплавании очень давно. Изначально это были тяжелые громоздкие механические приборы со стрелочным индикатором. Эти приборы были тяжелы в настройке, имели небольшую точность и не могли учитывать влияние температуры. Электронный высотомер имеет огромное количество преимуществ: устойчивость к вибрации и ударам, возможность автоматической установки на ноль, возможность автоматической корректировки, прямой интерфейс с электронной системой навигации.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ

Высотой полета принято называть расстояние до летающего объекта, отсчитанное по вертикали от некоторого уровня, принятого за начало отсчета. В воздухоплавании принята классификация высот полета по уровню начала отсчета (рис. 1):

- Истинная высота $H_{ист.}$ — отсчитывается от точки земной поверхности, находящейся под летающим объектом;
- Относительная $H_{отн.}$ — от условного уровня (аэродрома, цели и др.);
- Абсолютная $H_{обс.}$ — от уровня моря;
- Высота эшелона $H_{эш.}$ — от условного уровня, который соответствует стандартному атмосферному давлению 760 мм рт. ст.

ИЗМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ВЫСОТОЙ

Барометрический метод измерения высоты основан на использовании закономерного изменения атмосферного давления с высотой. Зависимость давления воздуха от высоты до 11000 м выражается барометрической формулой

$$P_H = P_0 \left(1 - \frac{t_{гр} H}{T_0} \right)^{\frac{1}{R_{гп}}}$$

Или, выразив высоту:

$$H = \left[1 - \left(\frac{P_H}{P_0} \right)^{R_{гп}} \right] \cdot \frac{T_0}{t_{гр}}$$

где R — газовая постоянная (29,27 м/град); P_H — давление на высоте полета; P_0 — давление на уровне начала отсчета; T_0 — температура на уровне начала отсчета; $t_{гр}$ — градиент изменения температуры с высотой (0,0065 град/м).

Если принять параметры P_0 , T_0 и $t_{гр}$ постоянными, то проблема вычисления высоты сводится к проблеме измерения атмосферного давления.

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Среди огромного множества датчиков давления рассмотрим интегральные полупроводниковые датчики. Они отличаются миниатюрными габаритами и малым весом, что чрезвычайно важно при применении в бортовых системах навигации летательных аппаратов. Существует несколько типов датчиков: датчики дифференциального дав-

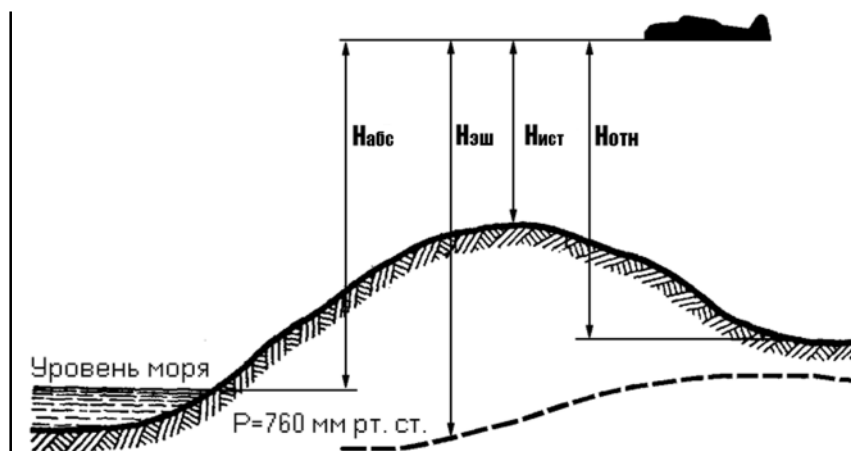


Рисунок 1 Классификация высот полета

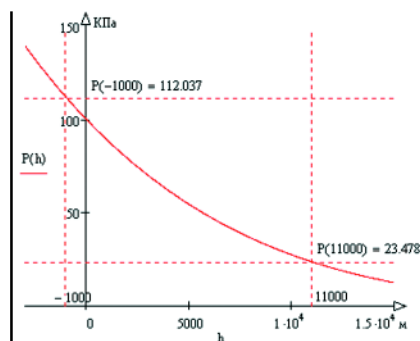


Рисунок 2 Изменение атмосферного давления с высотой

ления, датчики вакуума, датчики избыточного давления и датчики абсолютного давления. Первым вопросом при проектировании высотомера становится выбор типа датчика измерения давления. Как видно на рис. 2, из барометрической формулы можно определить необходимый диапазон измерения. При максимальной высоте, на которой действует формула (11 000 м), атмосферное давление составит около 23,5 кПа (176,25 мм рт. ст.), на глубине же в 1000 м оно составит около 112 кПа (840 мм рт. ст.), при атмосферном давлении на нулевом уровне — равно 100 кПа (750 мм рт. ст.). Разрешающая способность полупроводниковых датчиков давления не отмечена в спецификациях фирм-производителей (Motorola, Honeywell). Считается, что ограничение на разрешающую способность накладывается только электроникой.

Рассмотрим возможность применения датчиков дифференциального давления для измерения высоты. На рис. 3 приведена измерительная схема на основе датчика дифференциального давления.

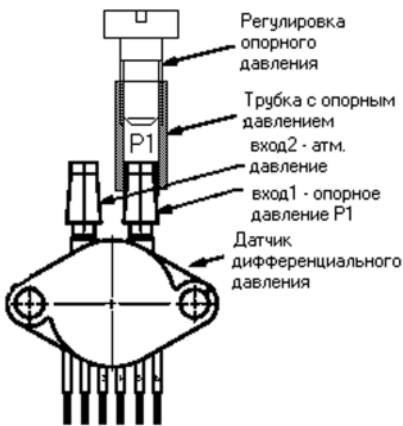


Рисунок 3 Высотомер на основе датчика дифференциального давления

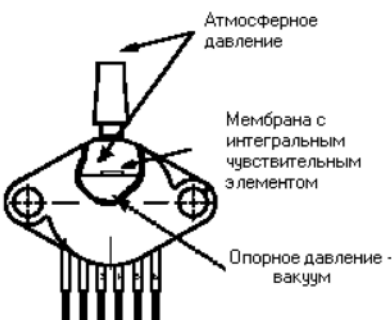


Рисунок 4 Высотомер на основе датчика абсолютного давления

В одном из входов датчика создается опорное давление, относительно которого будут производиться измерения. Такое устройство позволяет производить механическую регулировку нуля и учитывать только необходимый диапазон измерения. Но существует недостаток, из-за которого применение такой схемы в бортовых системах становится невозможным. Опорное давление в замкнутом объеме трубки и входе датчика очень сильно изменяется с температурой. Изменение эти настолько сильные и быстрые, что полезная зависимость изменения давления становится неразличимой.

Правильным является использование датчиков абсолютного давления (рис. 4). В таких датчиках в качестве опорного давления используется нулевое давление или вакуум. Его свойства не изменяются с температурой. Такой способ исключает возможность механической настройки нуля и вынуждает учитывать весь диапазон датчика.

КОНСТРУКЦИЯ ВЫСОТОМЕРА

Рассмотрим вариант недорогого, компактного и простого в изготовлении электронного высотомера на базе полупроводникового интегрального датчика MPX4115A фирмы Motorola.

Для построения цифрового высотомера предлагается использовать схему на рис. 5. В основе устройства лежат: датчик MPX4115A фирмы Motorola, датчик температуры TMP36 фирмы Analog Devices (точность $\pm 1^\circ\text{C}$), 8-бит микроконтроллер ATmega16 фирмы Atmel и ЦАП DAC7513N фирмы Texas Instruments. MPX4115A — это датчик абсолютного

давления с диапазоном измерения от 15 до 115 кПа. Датчик имеет внутреннюю схему усиления и выходной сигнал от 0,2 до 4,8 В. Использование датчика со встроенной схемой усиления позволяет избежать проблем с температурной компенсацией, уменьшить габариты устройства и упростить разработку. Для простоты конструкции и уменьшения стоимости изделия оцифровка выходного сигнала датчика осуществляется с помощью встроенного в микроконтроллер ATmega16 10-разрядного АЦП. Встроенный АЦП является дифференциальным и имеет три уровня программируемого коэффициента усиления ($\times 1$, $\times 10$, $\times 200$). В навигационных системах требование к точности измерения высоты различно, в зависимости от высоты над поверхностью Земли. Так, вблизи поверхности Земли требуется как можно большая точность, а на значительной высоте это требование ослабевает. Наличие у АЦП программируемого коэффициента усиления и дифференциального входа позволяет осуществлять измерение с различной точностью на разных высотах. Рассмотрим этот механизм более подробно. Так как датчик измеряет абсолютное давление и его выход на нулевой высоте не равен нулю, а наоборот, ближе к максимальному значению выхода (около 4 В при атмосферном давлении в 100 кПа), то необходима схема вычитания напряжений для использования программируемого коэффициента усиления. Только тогда при усилении не будет выхода за допустимый диапазон напряжений АЦП. Наличие у АЦП дифференциальных входов позволяет легко осуществить вычитание напряжений. В качестве формирователя вычитаемого напряжения рекомендуется использо-

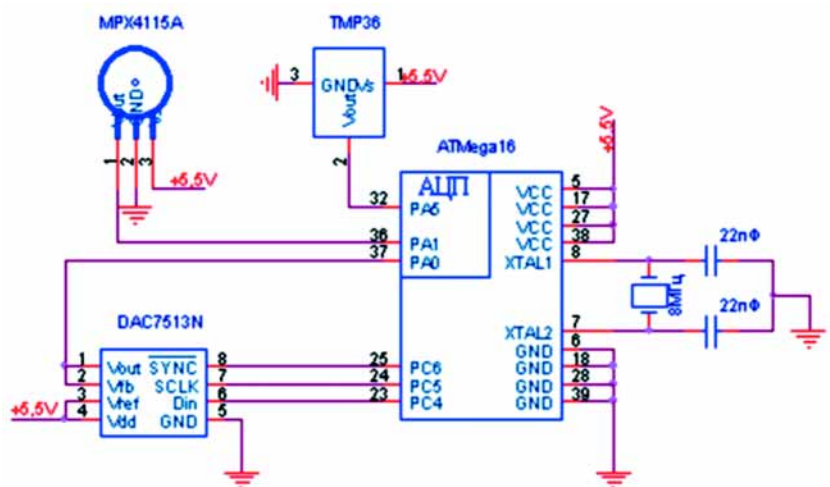


Рисунок 5 Схема цифрового высотомера