

浮标用数字式气压传感器研究

付少雁 王雅利

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

收稿日期 1991年4月2日

关键词 气压传感器, 程序设计, 插值

提要 研究了振筒式数字气压传感器的工作原理并进行了程序设计。在程序设计中采用了二元函数分段抛物线插值修正非线性和线性插值修正温度误差的

方法,这在数字式传感器的研制中有较普遍的意义。

数字式气压传感器是为国家“七·五”攻关课题“深海资料浮标”和“小型海洋资料浮标”研制的。为了满足海上恶劣的工作条件要求,采用了振筒式结构。经过一年多的海上工作,证明其性能完全达到了设计要求。

I. 传感器的工作原理

振筒是一端固定,另一端为密闭自由端的薄壳圆筒,壁厚约 0.08mm,采用有良好磁性能和温度系数小的铁镍合金。应用最广泛的是 Ni-Span C 合金与 3J₅₃₀。

振筒传感器是利用振筒的固有频率测量有关参量的,该频率决定于筒的形状、大小、材料的弹性模量和筒周围介质的性质。测压力时筒内气体压力的变化改变了筒的应力,从而改变了谐振频率(结构见图 1)。

由于温度变化会影响筒的物理性能和改变

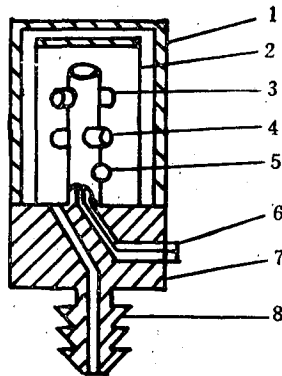


图 1 传感器结构

Fig. 1 The sensor structural drawing

注: 1.外振筒;2.内振筒;3.激振线圈;4.拾振线圈;
5.热敏电阻;6.出线;7.基座;8.引压孔

参与振荡的介质密度,给测量造成误差,所以除选用温度系数小的材料并在成型、焊接、老化时采用一系列特殊工艺外,还在振筒基底上封装一支热敏电阻,以备温度修正用。

任何弹性体被激振后都可能出现多种振型,从易于起振、频率稳定和抗加速度振动影响等方面考虑,选筒振动时轴向半波数 $m = 1$,径

向周期数 $n = 4$ 的基本振型。

II. 检测线路

检测原理见图 2。

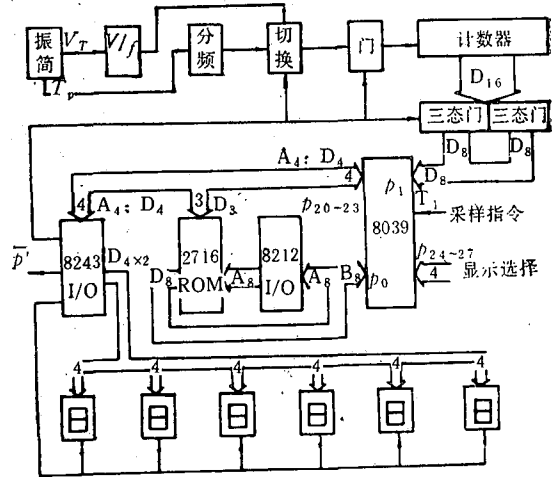


图 2 电气原理框图

Fig. 2 Block diagram of electric principles

振筒输出两组信号,一组是反映气压的 5 KHz 左右的方波,其频率为振筒频率,另一组是反映气温的电压值,在 5V 以内。

对反映气温的电压信号首先经 V/f 变换成频率量,然后通过切换开关和反映气压的方波分时采入微机,处理后显示。

为便于和数据采集系统接口,除有并行码输出口外还设有一个开关量输出口。并行码是常驻的,开关量是通过查询应答后输出的。开关量的输出约定 700hPa 为零个脉冲,1100hPa 为 40 000 个脉冲。对反映气压的方波采用周期测量法,以保持其 0.01hPa 的分辨率和较高的响应速度。

整机全部采用 CMOS 器件,包括单片机,工作范围宽、功耗低,LED 熄灭时整机电流仅 17mA。

III. 工作程序

从功耗、成本等方面考虑,选用 MCS-48 系

列的 80 C 39 单片机。

由于振荡输出的测压频率信号是非线性的,同时又是温度和压力的二元函数,热敏电阻输出的信号也是非线性的,程序的运算量很大。为此,我们采用了双字节无符号定点运算,并编写了加、减、乘、除、数据块传输、查表、显示、滤波及二元函数分段抛物线插值修正非线性和线性插值修正温度误差等通用和专用子程序。满足了在 800~1060hPa 的量程内有 0.01hPa 的分辨率和小于 0.5s 的采样周期要求。

III.1. 测温算式

$$T'_c(f) = K_0 + K_1 f 2^{m_1} / 2^{16} + (K_2 f / 2^{16}) f 2^{m_2} / 2^{16} \quad (1)$$

$$T_c = T'_c / 100 \quad (2)$$

式中, T_c 为气温值; T'_c 为整数化后的 T_c , $T'_c = a_y T_c$; a_y 为整数化系数, 取值 100; f 为测温电压经 V/f 变换并量化后的值。

$$K_0 = a_y k_0$$

$$= 100 \left[T_{c_1} - \frac{T_{c_2} - T_{c_1}}{f_2 - f_1} \cdot f_1 + \left(\frac{T_{c_3} - T_{c_1}}{f_3 - f_1} - \frac{T_{c_2} - T_{c_1}}{f_2 - f_1} \right) f f_2 / (f_3 - f_2) \right] \quad (3)$$

$$K_1 = a_y k_1 2^{(16-m_1)}$$

$$= 100 \left[\frac{T_{c_2} - T_{c_1}}{f_2 - f_1} - \left(\frac{T_{c_3} - T_{c_1}}{f_3 - f_1} - \frac{T_{c_2} - T_{c_1}}{f_2 - f_1} \right) (f_1 + f_2) / (f_3 - f_2) \right] 2^{(16-m_1)} \quad (4)$$

$$K_2 = a_y k_2 2^{(32-m_2)}$$

$$= 100 \left[\left(\frac{T_{c_3} - T_{c_1}}{f_3 - f_1} - \frac{T_{c_2} - T_{c_1}}{f_2 - f_1} \right) / (f_3 - f_2) \right] 2^{(32-m_2)} \quad (5)$$

K_0, K_1, K_2 分别为整数化后的 k_0, k_1, k_2 ; k_0, k_1, k_2 分别为 i 区间的一组线性修正系数; f_1, f_2, f_3 为该区间内 3 个已知的频率量化值; $T_{c_1}, T_{c_2}, T_{c_3}$, 为 3 个已知的对应气温值; m_1, m_2 , 分别为保证 K_1, K_2 在双字节运算中有足够有效值的修正值。

对温度的测量, 采用分 3 段抛物线插值修

正非线性的算法, 3 段分别为 $-15 \sim 10^\circ\text{C}$; $10 \sim 30^\circ\text{C}$; $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 。各段的 K_0, K_1, K_2, m_1, m_2 存在 ROM 中, 供运算时提取。

III.2 测压算式

$$P'(T_i, T_{c_j}) = K_{0i,j} + K_{1i,j} T \cdot 2^{m_{11}} / 2^{16} + (K_{2i,j} T / 2^{16}) T \cdot 2^{m_{21}} / 2^{16} \quad (6)$$

$$P'(T_i, T_{c_{j+1}}) = K_{0i,j+1} + K_{1i,j+1} T \cdot 2^{m_{11}} / 2^{16} + (K_{2i,j+1} T / 2^{16}) T \cdot 2^{m_{21}} / 2^{16} \quad (7)$$

$$P'(T, T_c) = P'(T_i, T_{c_j}) + \frac{T_c - T_{c_j}}{T_{c_{j+1}} - T_{c_j}} \cdot [P'(T_i, T_{c_{j+1}}) - P'(T_i, T_{c_j})] / 2^{16} \quad (8)$$

$$P = [P'(T, T_c) + P_0] / 100 \quad (9)$$

式中, P 为瞬时气压值; $P'(T, T_c)$ 为整数化后的 P' , $P'(T, T_c) = a_y P'$; a_y 为整数化系数, 取值 100; P' 为零点迁移后的气压值, 单位为 hpa, 迁移量为 700hpa; T 为量化后的测量周期值; P_0 为整数化后的气压零点迁移值, 取值 70000; T_c 为环境温度。

$$K_0 = a_y k_0$$

$$= 100 \left[P'_1 - \frac{P'_2 - P'_1}{T_2 - T_1} \cdot T_1 + \left(\frac{P'_3 - P'_1}{T_3 - T_1} - \frac{P'_2 - P'_1}{T_2 - T_1} \right) T_1 T_2 / (T_3 - T_2) \right] \quad (10)$$

$$K_1 = a_y k_1 2^{(16-m_1)}$$

$$= 100 \left[\frac{P'_2 - P'_1}{T_2 - T_1} - \left(\frac{P'_3 - P'_1}{T_3 - T_1} - \frac{P'_2 - P'_1}{T_2 - T_1} \right) \cdot (T_1 + T_2) / (T_3 - T_2) \right] 2^{(16-m_1)} \quad (11)$$

$$K_2 = a_y k_2 2^{(32-m_2)}$$

$$= 100 \left[\left(\frac{P'_3 - P'_1}{T_3 - T_1} - \frac{P'_2 - P'_1}{T_2 - T_1} \right) / (T_3 - T_2) \right] 2^{(32-m_2)} \quad (12)$$

式中, K_0, K_1, K_2 分别为整数化后的 k_0, k_1, k_2 ; k_0, k_1, k_2 为 (i, j) 区间内的一组线性修正系数; T_1, T_2, T_3 为该区间内 3 个周期量化值; P'_1, P'_2, P'_3 为迁移后的气压值, 迁移量为 700hPa; m_1, m_2 为保证 K_1, K_2 在二字节运算中有足够有效值的修正值。

振筒的谐振频率是压力和温度的二元函数,是非线性的,为此,只能分成 $i \times j$ 个区间分片处理,首先查清待求压力所处的区间,然后再计算。用抛物线近似算法修正非线性,用线

性内插法修正温度误差。各区间的修正系数 K_0, K_1, K_2, m_1, m_2 用 BASIC 语言预先算好存到 EPROM 中去,每个振筒都有自己专用的 EPROM。

为提高仪器的抗干扰能力,进行数字滤波,每3个数据作为一组,比较后取中间值参与运算。求得的气压瞬时值又做了第2轮选择供浮标采集用。仪器可显示平均气压、瞬时气压及气温值,也可熄灭 LED 以减小功耗。

工作流程见图3。

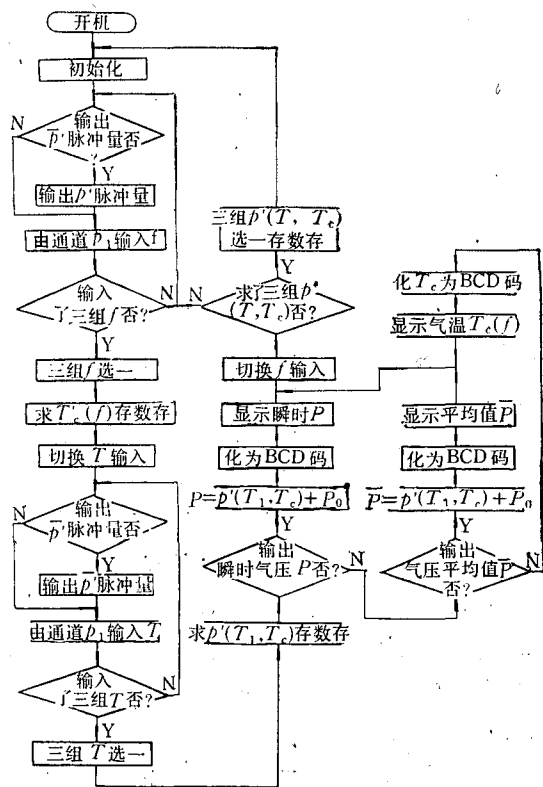


图3 程序流程

Fig. 3 Program flow diagram

IV. 设计指标

1. 测量范围及精度为 $850 \sim 1050 \text{hPa}$, $\pm 1 \text{hPa}$;
2. 连续工作时间不少于6个月(6个月内不超差);
3. 通电 2min 后输出信号稳定;
4. 电源电压为 $12\text{V} \pm 20\%$, 电流 $< 40\text{mA}$;
5. 工作温度为 $-15 \sim 40^\circ\text{C}$, $-2 \sim 40^\circ\text{C}$; 贮存温度为 $-40 \sim 55^\circ\text{C}$; 环境湿度 $\leq 95\%$;
6. 采取防潮、防腐、防生物附着措施。

仪器经天津市气象局检定,性能指标完全达到了上述要求。2年后(含半年的海上连续工作),仪器经国家海洋局北海分局复检,复检结果均达到了上述要求(检定表略)。

DIGITAL AIR PRESSURE SENSOR FOR BUOY

Fu Shaoyan Wang Yali

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

Received: April, 2, 1991

Key Words: Air pressure sensor, Program design, Interpolation

Abstract

This paper deals with the operation principles, characteristics, circuit designs, and program designs of vibration tube digit barometer. Especially, the algorithms of linearity correction by means of parabolic interpolation and the algorithms of linearity correction of the temperature errors in the program design are of universal significance in the development of general digit sensors.