

一种精度较高的智能气压表

唐慧强

(南京气象学院计算机与信息工程系, 南京 210044)

摘 要 利用集成硅气压传感器这种具有较大温度系数及非线性误差的典型传感器而设计一智能化的气压仪表, 提出了较好地利用分段二次插值的方法, 使非线性及温度误差降至完全可被忽略的程度, 从而来提高仪表的精度; 并提出了利用简易监视计数器等电路的设计来提高可靠性及合理的电路设计来降低功耗提高整机性能等一些完善而实用的方法。

关键词 智能气压表, 气压传感器, 温度补偿

分类号 P414.6

为适应气象、航空等部门的自动化气压测量与记录而研制了高精度的智能气压表, 以取代传统的不能满足上述需要的水银气压表。水银气压表必须进行器差、温度、纬度重力、高度重力等手工订正, 且具有汞害、读数繁琐且有视差等问题。本仪表解决了精度、可靠性等关键问题, 不需任何校正, 可直接连接计算机、打印机等设备以自动记录。

本仪表硬件上采用单片机及新型集成硅气压传感器等元器件, 软件上采用严密的数学处理方法, 使仪表具有很高的测量精度, 并且使测量范围得到很大的展宽。设计监视计数器以适应长期的可靠的气压测量, 设计了计算机通讯软件使观测的大量数据得以方便的查询及存盘保存。

1 仪表主要技术指标及硬件原理

1.1 主要技术指标

- 测量范围: 100 hPa ~ 1 100 hPa
- 测量准确度: ± 0.25 hPa
- 分辨率: 0.1 hPa
- 直流功耗: < 0.3 W
- 工作环境: 温度 0 ~ 45 ; 湿度 $< 90\%$

1.2 主要硬件结构

仪表的主要硬件组成见图 1。传感器采用美国 EG&G ICS 公司采用微细加工技术及晶片叠合技术生产的硅集成气压传感器, 经过老化并根据线性、温漂、迟滞及稳定性等指标严格筛选出优异的传感器以满足要求。气压传感器为由四个压敏元件组成的桥式电路, 并集成温度补

偿电路, 恒流源激励的传感器即可把气压值转换成差分的电压输出信号。

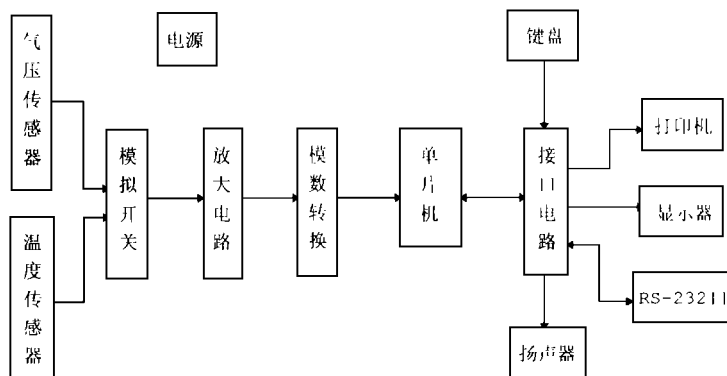


图 1 硬件原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of the hardwares

由于构成这种气压传感器的硅元件温度系数较大, 传感器经内部补偿及筛选后仍有较大的温度误差, 故还需进行更完善的温度补偿, 精确测出气压传感器的温度, 再进行软件处理补偿。补偿用的测温传感器采用半导体温度传感器 AD590, 其转换成的电压信号及气压传感器本身的输出等需经多路模拟开关切换后再输入至放大器进行放大, 由于传感器为差分输出故采用差分四通道多路模拟开关 CD4052 进行切换。

桥式传感器输出的差分电压信号, 有较大的共模电压, 故放大器部分采用三精密运算放大器 AD OP-77GP 构成的增益可编程仪器放大器, 以取得很大的输入电阻及较高的共模抑制比, 并适应气压与温度信号的不同增益的需要, 使满量程时均可把信号放大到接近 A/D 转换器的满量程, 同时低气压输入时也可使输出放大到较大的值, 以得到尽可能高的 A/D 转换器分辨率。

仪表中采用四位半的 ICL7135A/D 转换器, 采用合理的外围电路设计及软件处理方法, 使 A/D 转换器精度仅取决于其稳定性及分辨率, 因此精度可达 0.01 % 以上。此 A/D 转换器的输出为 BCD 码, 采用适当的接口送至单片机转换成二进制数以作进一步处理。

采用内含电可改写只读存储器的高性能八位单片机 89C55 来实现通道选择、增益选择、A/D 转换启动等控制及大量浮点运算, 并通过一片可编程通用接口器 81C55 来实现 A/D 转换值的输入、键盘输入控制、显示器、打印机输出以及定时等诸多功能, 本仪表中 A/D 转换及定时器均采用中断控制方式, 以充分提高 CPU 的效率。

考虑到可靠性等原因, 仪表采用薄膜开关键盘, 此键盘用于设置时钟、定时打印时间、单位转换、校零等功能。为降低整机功耗及灵活显示, 采用点阵式 STN 型液晶显示器; 为方便与计算机等设备进行通讯, 设计了 RS-232 接口; 为自动定时记录需要, 设置了通用的打印机接口。

1.3 测量的可靠性

仪表中采用了单片机, 由于电源干扰、电磁干扰及单片机可能出现的极小的故障率, 长期工作时有可能导致单片机程序失控或死机, 因此有必要设置监视计数器等电路。这样, 一旦单片机失控时, 就失去对计数器的定时复位作用, 计数器一直计数至与单片机复位端相连的计数器输出端变高电平时, 自动对运行异常的单片机及有关电路进行复位, 由于对某些关键数据作冗余存储处理, 使单片机重新启动时再次读取原来的设定值而恢复正常工作, 从而保证仪表可

靠地工作。

计数脉冲的产生及对脉冲的计数均可由计数器电路 CD4060 来实现, 本单片机 89C55 中虽然已有定时器可作监视计数器, 但由于定时时间及可靠性的不足而未予采用。

1.4 仪表的功耗

降低功耗的最有效的措施是选用低功耗的元器件。本系统主要采用 CMOS 电路, 及 LCD 显示器等低功耗元器件; 另外电路设计的简洁, 一方面可使功耗降低, 也可减少误差环节, 必要时让单片机设定于闲置状态以降低功耗, 并由此可降低数字电路对模拟信号处理电路的噪声耦合, 从而减小测量误差。本仪表总电流消耗小于 32 mA, 合理的电路设计使仪表在交流供电工作时得以对机内的镍铬电池充电, 市电停电时, 保证仪表继续工作八小时。

2 软件设计

2.1 数据处理方法

本仪表中采用的气压传感器虽经筛选仍具有 0.05 % 以内的非线性误差及整个温度范围中小于 0.3 % 的温度系数, 故还需进行补偿。由于温度系数与气压值有关, 如零点是正温度系数时满量程有可能是负的温度系数, 如图 2 所示, 故不能采用线性处理的方法进行补偿。为严格保证精度, 本仪表在五个温度测量点 t 及各温度下的 12 个标准气压 p 下, 测出相应的传感器电压经处理后的输出值 v , 以制定一插值查算表。

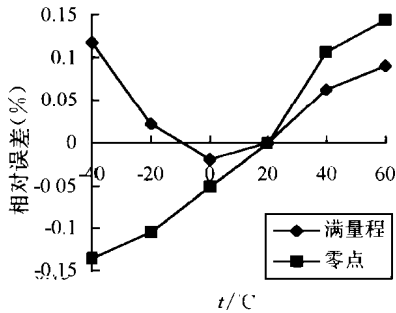


图2 偏离 20 ° 时零点和满量程的误差
Fig. 2 Errors of zero point and the full span deviated from 20

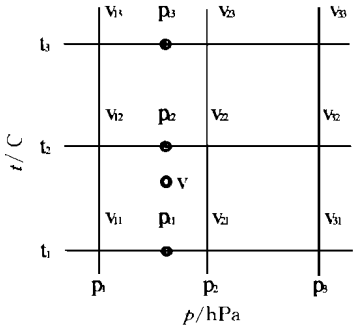


图3 标准气压 p 及温度 t 下的输出电压 v
Fig. 3 Output v at standard pressure and temperature

由于 v 和 p, t 间有某一非线性的函数关系

$$v = f(p, t)$$

在 p 取离散值 0、100、200、300、400、500、600、700、800、900、1 000、1 100 hPa 共 12 个测试点, t 取适当的可不等间距的如 2、10、20、30、40 ° 共 5 个离散温度测点, 加压加温后则可得对应的 v 。由以上所测的包括 v, p 及 t 共 60 组数据对应的网络点来代表 v 关于 p 及 t 的曲面。

反之, p 可表示为

$$p = g(v, t)$$

因此, 可根据一定的 v, t 来求取对应的实际气压值。由于实际测量中 v, t 不恰好位于网格点上, 故需进行插值来求算 p 。较好的做法是把所有的网络点拟合成一个 p 关于 v, t 的二元高次方程, 并由实测的 v, t 代入方程来求取 p , 但其计算量过大, 故不宜采用。本仪表中采用 p 对 v 与 t 的分段二次曲线拟合方法, 即取包含实测点的如图 3 所示的形成“田”字形的 9 个网格点

进行插值补偿。其网格点的选择原则是: 先选择最接近实测温度 t 的一个测试点称为 t_2 , 则可得 t_2 相邻的上下两测点分别称为 t_1 、 t_3 ; 再根据实测的气压传感器的电压转换值 v 在 t_2 温度下的测值中选择最接近的一个称为 v_{22} , 则可得相邻的上下两测点分别称为 v_{12} 、 v_{32} , 与 v_{12} 、 v_{22} 、 v_{32} 相对应的气压点则为 p_1 、 p_2 、 p_3 , 这样就得到了 t_1 、 t_2 、 t_3 与 p_1 、 p_2 、 p_3 及对应的电压转换值。

补偿时, 先在各温度下对气压的非线性误差进行二次插值补偿:

在温度 t_1 下, 通过 p 对 t 的插值, 可求取气压值 p_{11}

$$p_{11} = p_1 + \frac{(p_2 - p_1)(v - v_{11})}{v_{21} - v_{11}} + \frac{v - v_{21}}{v_{31} - v_{21}} \times \left(\frac{(p_3 - p_1)(v - v_{11})}{v_{31} - v_{11}} - \frac{(p_2 - p_1)(v - v_{11})}{v_{21} - v_{11}} \right)$$

上述公式的写法是为了简化单片机的处理, 即用上式仅需三次线性插值就可完成一非线性的插值, 从而求取温度为 t_1 时的气压值 p_{11} 。

同理可得在 t_2 下的 p_{12} 及 t_3 下的 p_{13} 。

这样有了在不同温度 t_1 、 t_2 、 t_3 下有对应的气压值 p_{11} 、 p_{12} 、 p_{13} 。在温度 t 下的气压值 p 即可通过类似 p_{11} 的非线性插值方法来求取, 这样就得到了经过温度及非线性补偿后的气压实测值, 而把温度及非线性误差降到可被忽略的程度。

2.2 仪表软件设计

仪表系统软件利用汇编语言采用结构化程序设计。为提高计算精度及兼顾运算速度, 采用浮点数与整型数灵活地相结合的运算处理方法。软件部分主要包括系统初始化、基本 I/O 管理、通道控制和 A/D 转换控制及转换结果的读取、一整套的浮点数及整型数运算、非线性插值、时间及定时管理系统、打印机输出、液晶显示器输出、RS-232 通讯等部分模块。

2.3 通讯软件的设计

智能气压表设计了一简化的 RS-232 接口, 只用一根三芯电缆就可以和具有 RS-232 接口的计算机等设备进行通信。为方便气压观测值的记录、保存及查寻, 利用 C 程序设计语言专为仪表设计了适合于具有 VGA 显示、CPU 为 80286 以上的 IBM PC 机及其兼容机的通讯软件。此软件可以把气压值用数值及其用气压随时间变化的曲线图来表示, 其中曲线的纵坐标可随意伸缩, 原点可任意调整, 操作简便, 界面友好, 方便了历史记录包括最大最小值及其气压形势等的查寻, 数据及对应时间均可以数据文件的格式保存于磁盘中。

3 结果检验分析

根据以上原理生产的智能气压表出厂前均作检定(其详细试验方法及试验结果处理方法可参照企业标准 Q/320831NHJ001-92), 其中要求非线性及迟滞(取各个检定点中数值绝对值最大的正偏差与负偏差之平均值)小于 0.2 hPa, 复现性(三倍于由贝塞尔公式求取的整个样本的标准差, 重复测试次数为 3)优于 0.05 hPa, 准确度(非线性及迟滞与复现性之和)应优于 0.25 hPa。另外, 其长期稳定性应优于 0.5 hPa/年。表 1 中列出了一典型的测试结果。

世界气象组织(WMO)对陆地自动气象站的气压表准确度要求为 ± 1.0 hPa, 逐次六小时观测之间的误差变化不超过 ± 0.5 hPa^[1], 故此气压表完全可满足要求。至于 WMO 对气压表的 ± 0.1 hPa 准确度的天气学要求, 本仪表还有一定的差距, 普通气象台站的水银气压表也未达到此要求。如 DYM1 型动槽式及 DYM2 型定槽式水银气压表的主要性能指标^[2]见表 2。WMO 规定气象站用水银气压表对比标准气压表时, 其偏差不允许超过以下值^[1]: 1 000 hPa 时为 ± 0.3 hPa; 测量下限在 800 hPa 以上及以下时分别为 ± 0.5 hPa 和 ± 0.8 hPa; 普通气象站的气压表在订正后的准确度应在 ± 0.3 hPa 以内。

表 1 标准气压下气压表的正反程读数及误差分析

Table 1 Two-way readings and errors analysis of the barometer under standard pressure

hPa

	标准气压值										
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100
正程读数	100. 2	200. 1	300. 1	400. 1	500. 0	599. 9	699. 9	800. 0	899. 9	999. 9	1 099. 8
反程读数	100. 1	200. 0	300. 1	400. 1	500. 0	599. 8	699. 9	800. 0	899. 8	999. 9	1 099. 8
非线性及迟滞	0. 2	0. 1	0. 1	0. 1	0. 0	0. 2	- 0. 1	0. 0	- 0. 2	- 0. 1	- 0. 2

表 2 与水银气压表主要性能的对比

Table 2 The barometer's main characteristics in comparison to those of a mercury barometer

型号	测量范围(hPa)	准确度(hPa)	分辨率(hPa)	检定周期(月)	工作环境温度()
DYM 1 型	810 ~ 1 070	0. 4	0. 1	12	- 15 ~ + 45
DYM 2 型	810 ~ 1 070	0. 5	0. 1	12	- 15 ~ + 45
本气压表	100 ~ 1 100	0. 25	0. 1	6	0 ~ + 45

本智能气压表自 1991 年试制至今已多次修改完善,使其性能得到不断地改善,但仍存在分辨率不够高,稳定性不如水银气压表等问题。目前,此产品已交付工厂进行小批量生产。

参 考 文 献

1 国家气象局气候监测应用管理司. 气象仪器和观测方法指南. 北京: 气象出版社, 1992. 1 ~ 61
2 陆忠汉, 陆长荣, 王婉馨. 实用气象手册. 上海: 上海辞书出版社, 1984. 63 ~ 66

INTRODUCTION OF A HIGHER-ACCURACY INTELLIGENCE BAROMETER

Tang Huiqiang

(Department of Computer Science and Information Engineering, NIM , Nanjing 210044)

Abstract The paper introduces an intelligence barometer based on an integrated silicon pressure sensor that has a bigger temperature coefficient and nonlinear error with a scheme proposed of interpolation done twice in a piecewise way to reduce temperature error to innegligible extent, thereby improving pressure reading accuracy. Besides, developed is a circuit for a simple watch counter to raise the reliability with a rational circuit designed to decrease watt consumption and a set of practical methods presented to improve the performances.

Keywords intelligence barometer, pressure sensor, temperature compensation