



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102519666 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201110461036. 6

(22) 申请日 2011. 12. 29

(73) 专利权人 中国燃气涡轮研究院

地址 621703 四川省江油 305 信箱运行监控部

(72) 发明人 陈洪敏 李仙丽

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008

代理人 杜永保

(51) Int. Cl.

G01L 19/04 (2006. 01)

审查员 管士涛

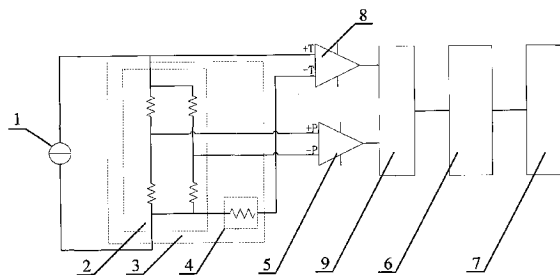
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种数字温度补偿系统及方法

(57) 摘要

本发明属于压力测量领域,涉及一种数字温度补偿系统及方法。所述温度补偿系统由恒流源 [1]、压力传感模块 [3]、压力信号放大器 [5]、温度信号放大器 [8]、多路复用开关 [9]、A/D 转换模块 [6] 和处理器 [7] 组成。所述方法包括系统的标定、系统温度标定结果的存储以及测量温度的补偿步骤。本发明一种数字温度补偿系统通过压力传感模块的设计,对压力传感器增加温度补偿电阻将其温度特性放大,实现了自动温度补偿,既便于安装和维护,又实现既是压力传感器又是温度传感器的功能。本发明一种数字温度补偿方法,实现任意温度、压力条件下的自动温度补偿,具有更高的测试精度,提高了压力测量精度,满量程误差小于 ±0.02%。



1. 一种数字温度补偿系统,所述温度补偿系统由恒流源 [1]、压力传感模块 [3]、压力信号放大器 [5]、温度信号放大器 [8]、多路复用开关 [9]、A/D 转换模块 [6] 和处理器 [7] 组成,其特征在于,压力传感模块 [3] 由压力传感器 [2] 和温度补偿电阻 [4] 组成,所述温度补偿电阻 [4] 连接于压力传感器 [2] 的激励端;恒流源 [1] 两端加载于压力传感模块 [3] 的激励端,所述温度信号放大器 [8] 连接于压力传感模块 [3] 的激励端,压力信号放大器 [5] 连接于压力传感模块 [3] 的信号输出端,所述压力信号放大器 [5] 及温度信号放大器 [8] 经过多路复用开关 [9] 连接于 A/D 转换模块 [6], A/D 转换模块 [6] 连接于处理器 [7];

恒流源 [1] 为压力传感器 [2] 提供激励电流,温度补偿电阻 [2] 对压力传感器 [2] 进行温度补偿,压力传感模块 [3] 检测压力和温度信号并转化为电压信号,压力信号放大器 [5] 和温度信号放大器 [8] 将压力、温度信号放大,A/D 转换模块 [6] 将模拟信号转化为数字信号送入处理器 [7] 中,处理器 [7] 对信号进行处理。

2. 根据权利要求 1 所述的一种数字温度补偿系统,其特征在于,所述恒流源 [1] 由基准电压源 [10]、OP400 芯片 [11] 组成。

3. 一种数字温度补偿方法,利用到权利要求 1 或 2 所述的一种数字温度补偿系统,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:系统的标定:同时建立标定值数据表及标定二进制值数据表:

建立标定值数据表:

(1)确定标定温度的范围  $T_0 \sim T_n$ ,  $T_n$  为标定温度点,温度间隔  $\Delta T$ ,  $T_n = T_0 + \Delta T * (n-1)$ , 温度范围在  $-20 \sim 60^\circ\text{C}$  区间结合数字温度补偿系统的耐温性及使用环境确定,温度间隔  $\Delta T$  根据系统的分辨率和精度要求确定,  $1^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 10^\circ\text{C}$ ;

(2)确定标定压力范围  $P_0 \sim P_m$ ,  $P_m$  为标定压力点,压力间隔  $\Delta P$ ,  $P_m = P_0 + \Delta P * (n-1)$ , 压力范围的确定根据所选压力传感器的量程确定,压力间隔  $\Delta P$  根据系统精度要求确定;

(3)建立标定值数据表:

$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_i$	$T_n$
$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$
$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$
$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$
$P_j$	.....	.....	.....	$P_j$	.....
$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$

建立标定二进制值数据表:

根据实际采集得到的温度的标定二进制值  $TC_n$  及压力的标定二进制值  $PC_{n,m}$  建立标定二进制值数据表

$TC_0$	$TC_1$	$TC_2$	$TC_3$	$TC_i$	$TC_n$
$PC_{0.0}$	$PC_{1.0}$	$PC_{2.0}$	$PC_{3.0}$	.....	$PC_{n.0}$

PC <sub>0.1</sub>	PC <sub>1.1</sub>	PC <sub>2.1</sub>	PC <sub>3.1</sub>	.....	PC <sub>n.1</sub>
PC <sub>0.2</sub>	PC <sub>1.2</sub>	PC <sub>2.2</sub>	PC <sub>3.2</sub>	.....	PC <sub>n.2</sub>
PC <sub>0.j</sub>	.....	.....	.....	PC <sub>i.j</sub>	.....
PC <sub>0.m</sub>	PC <sub>1.m</sub>	PC <sub>2.m</sub>	PC <sub>3.m</sub>	.....	PC <sub>n.m</sub>

其中, TC<sub>n</sub> 是标定温度点 T<sub>n</sub> 对应的温度二进制值, PC<sub>n.m</sub> 为标定温度点 T<sub>n</sub> 下的标定压力点 P<sub>m</sub> 对应的压力二进制值;

步骤二:系统温度标定结果的存储:

将标定值数据表及标定二进制值数据表存储到数字温度补偿系统的处理器 [7] 内部的 FLASH 存储器中;

步骤三:测量温度的补偿:

系统测量得到测量温度二进制值 TC 及测量压力二进制值 PC, 对应的测量温度及测量压力分别为 T、P;

(1) 当 TC 是标定温度点时, 也即在标定二进制值数据表中存在 TC<sub>i</sub> 点等于 TC, 则 T<sub>i</sub> 即为 T, 查标定二进制值数据表:

若标定二进制值数据表中有 PC<sub>i.j</sub> 等于 PC, 则 P 即为标定值数据表中的 P<sub>j</sub>;

若标定二进制值数据表中没有 PC<sub>i.j</sub> 等于 PC, 则查找与 PC 数值最接近的两个值, PC<sub>i.k</sub> 及 PC<sub>i.(k+1)</sub>, 且 PC<sub>i.k</sub> ≤ PC ≤ PC<sub>i.(k+1)</sub>, PC<sub>i.k</sub> 及 PC<sub>i.(k+1)</sub> 对应标定值数据表的标定压力点分别为 P<sub>k</sub> 和 P<sub>(k+1)</sub>, 则利用公式(1)计算 P:

$$P = \frac{1}{PC_{i(k+1)} - PC_{ik}} [(PC - PC_{ik})P_{(k+1)} - (PC - PC_{i(k+1)})P_k] \dots \dots \dots (1)$$

若 PC 数值超出标定二进制值数据表, 则如果 PC 小于标定二进制值数据表中的最小值, 则该最小值对应标定值数据表上的压力值即为 P, 如果 PC 大于标定二进制值数据表中的最大值, 则该最大值对应标定值数据表上的压力值即为 P;

(2) 当 TC 不是标定温度点时, 也即在标定二进制值数据表中不存在 TC<sub>i</sub> 点等于 TC; 则查找与 TC 数值最接近的两个值, TC<sub>k</sub> 及 TC<sub>(k+1)</sub>, 且 TC<sub>k</sub> ≤ TC ≤ TC<sub>(k+1)</sub>

根据公式(1), 计算出 PC 在 TC<sub>k</sub> 温度下的 P<sub>1</sub> 和 PC 在 TC<sub>(k+1)</sub> 温度下的 P<sub>(1+1)</sub>, 则

$$P = \frac{1}{TC_{(l+1)} - TC_l} [(TC - TC_l)P_{(l+1)} - (TC - TC_{(l+1)})P_l] \dots \dots \dots (2)$$

(3) 当 TC 数值超出标定二进制值数据表, 则如果 TC 小于标定二进制值数据表中的最小值, 则该最小值对应标定值数据表上的温度值即为 T, 如果 TC 大于标定二进制值数据表中的最大值, 则该最大值对应标定值数据表上的温度值即为 T, 则利用公式(1)算出 P。

## 一种数字温度补偿系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于压力测量领域,特别是涉及到一种数字温度补偿系统及方法。

### 背景技术

[0002] 对于一个压力测量系统来说,精度是一个很重要的指标。为了能够有效的提高测量精度,在温度补偿方面一般从两方面考虑:一方面是综合温度漂移对测量值的影响;另一方面是对传感器输出特性进行补偿。由于传感器材料往往有转换效应,尤其大部分材料有温度转换效应,即材料的特性随温度变化等等。对传感器的优化设计和提高工艺技术,只能消除有限的精度误差。从另一方面来说,经过优化的压力传感器随温度变化的梯度特性也不是很明显,很难再通过软件处理或校准的方法提高测量精度。目前,温度补偿广泛采用硬件补偿的方式,即使用热敏电阻补偿。但是众所周知,压力传感器的输出是非线性的,采用普通硬件补偿式的变送器的测量误差只能达到 0.5% -0.1%,很难再将测量精度提高一个量级。因此,补偿效果仍然一般,不能满足高精度压力测量系统的技术指标。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的为:为了解决传统数字温度补偿系统精度不高的问题,本发明提供一种数字温度补偿系统及方法。

[0004] 本发明的技术方案是:一种数字温度补偿系统,所述温度补偿系统由恒流源 1、压力传感模块 3、压力信号放大器 5、温度信号放大器 8、多路复用开关 9、A/D 转换模块 6 和处理器 7 组成,压力传感模块 3 由压力传感器 2 和温度补偿电阻 4 组成,所述温度补偿电阻 4 连接于压力传感器 2 的激励端;恒流源 1 两端加载于压力传感模块 3 的激励端,所述温度信号放大器 8 连接于压力传感模块 3 的激励端,压力信号放大器 5 连接于压力传感模块 3 的信号输出端,所述压力信号放大器 5 及温度信号放大器 8 经过多路复用开关 9 连接于 A/D 转换模块 6, A/D 转换模块 6 连接于处理器 7;

[0005] 恒流源 1 为压力传感器 2 提供激励电流,温度补偿电阻 2 对压力传感器 2 进行温度补偿,压力传感模块 3 检测压力和温度信号并转化为电压信号,压力信号放大器 5 和温度信号放大器 8 将压力、温度信号放大,A/D 转换模块 6 将模拟信号转化为数字信号送入处理器 7 中,处理器 7 对信号进行处理。

[0006] 所述恒流源 1 由基准电压源 10、OP400 芯片 11 组成。

[0007] 一种数字温度补偿方法,利用到上述一种数字温度补偿系统,包括以下步骤:

[0008] 步骤一:系统的标定:同时建立标定值数据表及标定二进制值数据表:

[0009] 建立标定值数据表:

[0010] (1) 确定标定温度的范围  $T_0 \sim T_n$ ,  $T_n$  为标定温度点,温度间隔  $\Delta T$ ,  $T_n = T_0 + \Delta T * (n-1)$ ,温度范围的确定需要结合数字温度补偿系统的耐温性及使用环境,优选的是  $-20 \sim 60^\circ\text{C}$ ,温度间隔  $\Delta T$  根据系统的分辨率和精度要求确定,优选的是  $1^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 10^\circ\text{C}$ ;

[0011] (2) 确定标定压力范围  $P_0 \sim P_m$ ,  $P_m$  为标定压力点, 压力间隔  $\Delta P$ ,  $P_m = P_0 + \Delta P * (n-1)$ , 压力范围的确定根据所选压力传感器的量程确定, 压力间隔  $\Delta P$  根据系统精度要求确定;

[0012] (3) 建立标定值数据表:

[0013]

$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_i$	$T_n$
$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$	$P_0$

[0014]

$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$
$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_2$
$P_j$	.....	.....	.....	$P_j$	.....
$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$	$P_m$

[0015] 建立标定二进制值数据表:

[0016] 根据实际采集得到的温度的标定二进制值  $TC_n$  及压力的标定二进制值  $PC_{n \cdot m}$  建立标定二进制值数据表

[0017]

$TC_0$	$TC_1$	$TC_2$	$TC_3$	$TC_i$	$TC_n$
$PC_{0 \cdot 0}$	$PC_{1 \cdot 0}$	$PC_{2 \cdot 0}$	$PC_{3 \cdot 0}$	.....	$PC_{n \cdot 0}$
$PC_{0 \cdot 1}$	$PC_{1 \cdot 1}$	$PC_{2 \cdot 1}$	$PC_{3 \cdot 1}$	.....	$PC_{n \cdot 1}$
$PC_{0 \cdot 2}$	$PC_{1 \cdot 2}$	$PC_{2 \cdot 2}$	$PC_{3 \cdot 2}$	.....	$PC_{n \cdot 2}$
$PC_{0 \cdot j}$	.....	.....	.....	$PC_{i \cdot j}$	.....
$PC_{0 \cdot m}$	$PC_{1 \cdot m}$	$PC_{2 \cdot m}$	$PC_{3 \cdot m}$	.....	$PC_{n \cdot m}$

[0018] 其中,  $TC_n$  是标定温度点  $T_n$  对应的温度二进制值,  $PC_{n \cdot m}$  为标定温度点  $T_n$  下的标定压力点  $P_m$  对应的压力二进制值;

[0019] 步骤二:系统温度标定结果的存储:

[0020] 将标定值数据表及标定二进制值数据表存储到数字温度补偿系统的处理器 [7] 内部的 FLASH 存储器中;

[0021] 步骤三:测量温度的补偿:

[0022] 系统测量得到测量温度二进制值  $TC$  及测量压力二进制值  $PC$ , 对应的测量温度及测量压力分别为  $T$ 、 $P$ ;

[0023] (1) 当  $TC$  是标定温度点时, 也即在标定二进制值数据表中存在  $TC_i$  点等于  $TC$ , 则

$T_i$  即为  $T$ , 查标定二进制值数据表 :

[0024] 若标定二进制值数据表中有  $PC_{i \cdot j}$  等于  $PC$ , 则  $P$  即为标定值数据表中的  $P_j$  ;

[0025] 若标定二进制值数据表中没有  $PC_{i \cdot j}$  等于  $PC$ , 则查找与  $PC$  数值最接近的两个值,  $PC_{i \cdot k}$  及  $PC_{i \cdot (k+1)}$ , 且  $PC_{i \cdot k} \leq PC \leq PC_{i \cdot (k+1)}$ ,  $PC_{i \cdot k}$  及  $PC_{i \cdot (k+1)}$  对应在校定值数据表的标定压力点分别为  $P_k$  和  $P_{(k+1)}$ , 则利用公式 (1) 计算  $P$  :

[0026]

$$P = \frac{1}{PC_{i \cdot (k+1)} - PC_{i \cdot k}} [(PC - PC_{i \cdot k})P_{(k+1)} - (PC - PC_{i \cdot (k+1)})P_k] \dots \dots \dots (1)$$

[0027] 若  $PC$  数值超出标定二进制值数据表, 则如果  $PC$  小于标定二进制值数据表中的最小值, 则该最小值对应在校定值数据表上的压力值即为  $P$ , 如果  $PC$  大于标定二进制值数据表中的最大值, 则该最大值对应在校定值数据表上的压力值即为  $P$  ;

[0028] (2) 当  $TC$  不是标定温度点时, 也即在校定二进制值数据表中不存在  $TC_i$  点等于  $TC$  ; 则查找与  $TC$  数值最接近的两个值,  $TC_k$  及  $TC_{(k+1)}$ , 且  $TC_k \leq TC \leq TC_{(k+1)}$

[0029] 根据公式 (1), 计算出  $PC$  在  $TC_k$  温度下的  $P_1$  和  $PC$  在  $TC_{(k+1)}$  温度下的  $P_{(1+1)}$ , 则

$$P = \frac{1}{TC_{(l+1)} - TC_l} [(TC - TC_l)P_{(l+1)} - (TC - TC_{(l+1)})P_l] \dots \dots \dots (2)$$

[0031] (3) 当  $TC$  数值超出标定二进制值数据表, 则如果  $TC$  小于标定二进制值数据表中的最小值, 则该最小值对应在校定值数据表上的温度值即为  $T$ , 如果  $TC$  大于标定二进制值数据表中的最大值, 则该最大值对应在校定值数据表上的压力值即为  $T$ , 则利用公式 (1) 算出  $P$ 。

[0032] 本发明的优点是 : 本发明一种数字温度补偿系统通过压力传感模块的设计, 对压力传感器增加温度补偿电阻将其温度特性放大, 实现了自动温度补偿, 既便于安装和维护, 又实现既是压力传感器又是温度传感器的功能。本发明一种数字温度补偿方法, 利用了压力传感模块的温度转换效应来做作为温度补偿基础, 实现任意温度、压力条件下的自动温度补偿, 使其具有更高的测试精度, 提高了压力测量精度, 满量程误差小于  $\pm 0.02\%$ 。

## 附图说明

[0033] 图 1 是本发明一种数字温度补偿系统原理图 ;

[0034] 图 2 是本发明一种数字温度补偿系统中恒流源原理图。

## 具体实施方式

[0035] 下面结合附图并通过具体实施方式对本发明作进一步的详细说明, 请参阅图 1 及图 2。

[0036] 请参阅图 1, 一种数字温度补偿系统, 所述温度补偿系统由恒流源 1、压力传感模块 3、压力信号放大器 5、温度信号放大器 8、多路复用开关 9、A/D 转换模块 6 和处理器 7 组成, 其特征在于, 压力传感模块 3 由压力传感器 2 和温度补偿电阻 4 组成, 所述温度补偿电阻 2 连接于压力传感器 2 的激励端 ; 恒流源 1 两端加载于压力传感模块 3 的激励端, 所述温度信号放大器 8 连接于压力传感模块 3 的激励端, 压力信号放大器 5 连接于压力传感模块 3 的信号输出端, 所述压力信号放大器 5 及温度信号放大器 8 经过多路复用开关 9 连接于 A/

D 转换模块 6, A/D 转换模块 6 连接于处理器 7;

[0037] 恒流源 1 为压力传感器 2 提供激励电流, 温度补偿电阻 2 对压力传感器 2 进行温度补偿, 压力传感模块 3 检测压力和温度信号并转化为电压信号, 压力信号放大器 5 和温度信号放大器 8 压力、温度信号放大, A/D 转换模块 6 将模拟信号转化为数字信号送入处理器 7 中, 处理器 7 对信号进行处理。

[0038] 优选地, 所述恒流源 1 由基准电压源 10、OP400 芯片 11 组成。

[0039] 本发明一种数字温度补偿系统在硬件设计上利用了压力传感器 2 的温度转换特性, 在传感器的激励端加入温度补偿电阻 4。加入温度补偿电阻 4 后, 压力传感器 2 内部的电桥电阻虽然不会有太大变化, 但是整个激励端的阻抗随温度变化会有明显的变化。由于电压 = 电流 × 电阻, 所以此时激励电压就随温度变化而变化, 此时就可以将激励电压当做温度相关参数来处理, 省去了传统的热敏电阻测温度。此时的压力传感器模块 3 比压力传感器 2 对温度更加敏感, 使得压力传感器模块 3 既作为压力传感器又作为温度传感器, 这样测量的温度值作为温度补偿值比起传统方法更为准确。再采用温度标定实现更大范围的精度提高, 同时此方法不用另外搭建温度采集系统, 因此硬件更加简单。

[0040] 实例:

[0041] 一种数字温度补偿系统, 压力传感器 2 选择 ±30kPa 量程压力传感器, 所选择压力传感器 2 所需激励电流为 1.5mA。本系统恒流源 1 由基准电压源 10、OP400 芯片 11 组成, 其中, 基准电压源 10 采用 MAX6225AES 芯片, 与 OP400 芯片 11 连接, 为 OP400 芯片 11 提供 2.5V 基准电压; OP400 芯片 11 再与压力传感器模块 3 连接, 并将基准电压转换为基准电流为压力传感器模块 3 提供 1.5mA 激励电流。电流转换电阻 R 为 1.6667KΩ。压力信号放大器 5 采用 AD620 实现 1 : 100 的差分输出。温度信号放大器 8 采用 AD620 实现 1 : 1 的差分输出。多路复用开关 9 采用 MAX307 实现温度值和压力值的通道选择。A/D 转换模块 6 采用 MAX1132 芯片将模拟信号转换为数字信号。处理器 7 采用 EM9160 处理器, 实现数据的采集、存储以及系统的智能管理。温度补偿电阻 4 的选择较为重要, 具体如述所示:

[0042] 在电阻的选取上, 压力传感器模块 3 的激励端输出电压 (即, 温度信号电压) 不能超过产生激励电流 OP400 的供电电压 15V 和 MAX1132 芯片的压摆率 12V, 而温度信号放大器 8 的放大倍数为 1, 综合考虑上述条件则有:

$$[0043] \quad (R_s + R_t) \cdot 1.5\text{mA} < 12\text{V}$$

[0044] 其中,  $R_s$  为压力传感器 2 激励端内阻, 阻值为 3.6KΩ 左右。

[0045] 则,  $R_t < 4.4\text{K}\Omega$

[0046] 另外, 选用温漂为 100ppm 电阻 (即, 温度每变化 1 摄氏度, 阻值变化百万分之几)。

$$[0047] \quad \text{温漂系数 } R_T = \Delta T \cdot R_t$$

$$[0048] \quad \Delta V = R_T \cdot I$$

[0049] 其中,  $\Delta T$  为温度变化量,  $R_t$  为所选温度补偿电阻 4 的阻值大小,  $\Delta V$  电阻上电压的变化量,  $I$  为电阻上的电流值, 即为激励电流值  $I = 1.5\text{mA}$ 。

[0050] 由于系统中 MAX1132 芯片为 16 位芯片, 且输出电压范围为 -12V ~ +12V, MAX1132 芯片的最小分辨电压为  $24\text{V}/65536 = 0.366\text{mV}$ 。再考虑温度信号放大器 8 的放大倍数为 1, 若要求温度变化量  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ , 输出电压变化量  $\Delta V$  能被分辨, 则要求该电压变化量  $\Delta V$  至少要不小于 0.366mV, 即有

[0051]  $\Delta V \cdot 1 \text{ 倍} = \Delta T \cdot R_t \cdot I \cdot 1 \text{ 倍} \geq 0.366\text{mV}$  即,  $1.5(\text{mA}) \cdot \frac{10^2}{10^6} \cdot R_t \geq 0.366(\text{mV})$

[0052] 则,  $R_t \geq 2.4\text{K}\Omega$

[0053] 若要求温度变化量  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ , 同理可计算出  $R_t \geq 0.24\text{K}\Omega$ 。

[0054] 若要求温度变化量  $\Delta T = 0.5^\circ\text{C}$ , 同理可计算出  $R_t \geq 4.8\text{K}\Omega$ 。

[0055] 可以看出, 电阻值的范围越宽温度的分辨率越低。

[0056] 实际中, 很难将环境温度稳定在  $1^\circ\text{C}$  以内, 又希望温度补偿系统有较高的温度分辨率, 综合上述分析, 本系统采用  $R_t = 2.4\text{K}\Omega$ 。

[0057] 利用到上述数字温度补偿系统实现的数字温度补偿方法:

[0058] 步骤一: 系统的标定: 同时建立标定值数据表及标定二进制值数据表:

[0059] 建立标定值数据表:

[0060] (1) 确定标定温度的范围  $T_0 \sim T_n$ ,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ,  $T_n$  为标定温度点, 温度间隔  $\Delta T$ ,  $T_n = T_0 + \Delta T \cdot (n-1)$ , 由于温度范围的确定需结合数字温度补偿系统的耐温性即使用环境。实例中的数字温度补偿系统均采用工业级芯片耐温范围一般为  $-40 \sim 85^\circ\text{C}$ , 而该数字温度补偿系统的使用环境温度一般为  $0 \sim 50^\circ\text{C}$ , 综合这两点考虑, 我们再留一部分温度余量, 所以温度范围选择  $-20 \sim 60^\circ\text{C}$ , 温度间隔  $\Delta T$  根据系统的分辨率和精度要求确定。举例中温度补偿电阻采用  $100\text{ppm}$  阻值为  $2.4\text{K}\Omega$ , 则有:

[0061]  $\Delta T \cdot 2.4\text{K}\Omega \cdot \frac{100}{10^6} \cdot 1.5\text{mA} \geq 0.366\text{mV}$  则  $\Delta T \geq 1^\circ\text{C}$

[0062] 实例中压力传感模块 3 在整个温度范围内的输出是非线性的, 而温度间隔  $\Delta T$  越小即标定温度点数越多温度曲线拟合的精度越高, 但是标定温度点数标定过程和检测算法越复杂, 且需要的处理器具有更大的数据存储空间和处理能力, 处理器 EM9160 的性能和其 FLASH 存储器为  $16\text{M}$ 。因此, 优选温度间隔  $\Delta T$  为  $5^\circ\text{C}$ 。

[0063] (2) 确定标定压力范围  $P_0 \sim P_m$ ,  $P_m$  为标定压力点, 压力间隔  $\Delta P$ ,  $P_n = P_0 + \Delta P \cdot (n-1)$ , 压力范围的确定根据所选压力传感器的量程确定。压力传感器 2 选择  $\pm 30\text{kPa}$  量程压力传感器, 所以, 该方法的压力范围为  $-30\text{kPa} \sim +30\text{kPa}$ 。压力间隔  $\Delta P$  根据精度要求确定。压力传感器 2 在整个量程范围内的输出是非线性的, 而压力间隔  $\Delta P$  越小即标定压力点数越多压力曲线拟合的精度越高, 但是标定压力点数标定过程和检测算法越复杂, 且需要的处理器具有更大的数据存储空间和治理能力, 考虑到处理器 EM9160 的性能和其 FLASH 存储器为  $16\text{M}$ , 因此, 优选压力间隔为  $5\text{kPa}$ 。

[0064] (3) 建立标定值数据表如下: (下表为标定值数据表的部分内容)

[0065]

$T_0 = 0$	$T_1 = 5$	$T_2 = 10$	$T_3 = 15$	.....	$T_9 = 45$	$T_{10} = 50$
$P_0 = -30$	$P_0 = -30$	$P_0 = -30$	$P_0 = -30$	.....	$P_0 = -30$	$P_0 = -30$
$P_1 = -25$	$P_1 = -25$	$P_1 = -25$	$P_1 = -25$	.....	$P_1 = -25$	$P_1 = -25$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....



P6 = 0	P6 = 0	P6 = 0	P6 = 0	.....	P6 = 0	P6 = 0
P7 = 5	P7 = 5	P7 = 5	P7 = 5	.....	P7 = 5	P7 = 5
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
P11 = 25	P11 = 25	P11 = 25	P11 = 25	.....	P11 = 25	P11 = 25
P12 = 30	P12 = 30	P12 = 30	P12 = 30	.....	P12 = 30	P12 = 30

[0066]

[0067] 其中温度的单位为℃,压力的单位为 kPa。

[0068] 建立标定二进制值数据表：

[0069] 根据实际采集得到的温度的标定二进制值  $TC_n$  及压力的标定二进制值  $PC_{n..m}$  建立标定二进制值数据表如下：(下表为标定二进制值数据表的部分内容)

TC <sub>0</sub> = 26134	TC <sub>1</sub> = 26288	TC <sub>2</sub> = 26461	TC <sub>3</sub> = 26633	.....	TC <sub>9</sub> = 27717	TC <sub>10</sub> = 27906
PC <sub>0.0</sub> = -24311	PC <sub>1.0</sub> = -24337	PC <sub>2.0</sub> = -24371	PC <sub>3.0</sub> = -24383	.....	PC <sub>9.0</sub> = -24442	PC <sub>10.0</sub> = -24435
PC <sub>0.1</sub> = -20261	PC <sub>1.1</sub> = -20290	PC <sub>2.1</sub> = -20327	PC <sub>3.1</sub> = -20339	.....	PC <sub>9.1</sub> = -20394	PC <sub>10.1</sub> = -20385
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
PC <sub>0.6</sub> = -51	PC <sub>1.6</sub> = -93	PC <sub>2.6</sub> = -140	PC <sub>3.6</sub> = -169	.....	PC <sub>9.6</sub> = -210	PC <sub>10.6</sub> = -195
PC <sub>0.7</sub> = 3985	PC <sub>1.7</sub> = 3939	PC <sub>2.7</sub> = 3889	PC <sub>3.7</sub> = 3857	.....	PC <sub>9.7</sub> = 3814	PC <sub>10.7</sub> = 3832
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
PC <sub>0.11</sub> = 19995	PC <sub>1.11</sub> = 19929	PC <sub>2.11</sub> = 19863	PC <sub>3.11</sub> = 19823	.....	PC <sub>9.11</sub> = 19766	PC <sub>10.11</sub> = 19787
PC <sub>0.12</sub> = 23960	PC <sub>1.12</sub> = 23892	PC <sub>2.12</sub> = 23822	PC <sub>3.12</sub> = 23779	.....	PC <sub>9.12</sub> = 23717	PC <sub>10.12</sub> = 23738

[0070] 其中 TC<sub>10</sub> 是标定温度点 T<sub>10</sub> 对应的温度二进制值, PC<sub>10.12</sub> 为标定温度点 T<sub>10</sub> 下的标定压力点 P<sub>12</sub> 对应的压力二进制值, 其他数据依次类推。

[0071] 步骤二：系统温度标定结果的存储；

[0072] 将步骤一中建立的标定值数据表及标定二进制值数据表存储到数字温度补偿系统的 EM9160 处理器内部的 FLASH 存储器中；

[0073] 步骤三：测量温度的补偿；

[0074] 系统测量得到的测量温度二进制值 TC 及测量压力二进制值 PC，对应的测量温度及测量压力分别为 T、P；

[0075] (1) 当 TC 是标定温度点时，设  $TC = TC_3 = 26633$ ，查标定二进制值数据表：

[0076] 若压力二进制值 PC 是标定压力点二进制值，设  $PC = PC_{3.7} = 3857$ ，则对应到标定值数据表中，测量压力  $P = 5\text{kPa}$ 。

[0077] 若压力二进制值 PC 不是标定压力点二进制值，设  $PC = 3600$ ，则查找到与 PC 最接近的两个值  $PC_{3.6} = -169$  及  $PC_{3.7} = 3857$ ，且  $PC_{3.6} \leq PC \leq PC_{3.7}$ ， $PC_{3.6}$  及  $PC_{3.7}$  对应标定数值表的标定压力点  $P_6 = 0\text{kPa}$  和  $P_7 = 5\text{kPa}$ ，计算 P：

$$[0078] \quad P = \frac{1}{3857 - (-169)} [(3600 - (-169)) \times 5 - (3600 - 3857) \times 0] = 4.68 \text{ kPa}$$

[0079] 若压力二进制值 PC 超出标定二进制值数据表，如果 PC 小于二进制值数据表中的 TC 温度下的压力二进制值的最小值，设  $PC = -25000$  即  $PC \leq PC_{3.0} = -24383$ ， $P = P_0 = -30\text{kPa}$ ；如果 PC 大于二进制值数据表中的 TC 温度下的压力二进制值的最大值，设  $PC = 24000$  即  $PC \geq PC_{3.12} = 23779$ ， $P = P_{12} = 30\text{kPa}$ 。

[0080] (2) 当 TC 不是标定温度点时，设  $TC = 26500$ ， $PC = 21000$ ；查找与 TC 数值最接近的两个值  $TC_2 = 26461$  及  $TC_3 = 26633$ ，且  $TC_2 \leq TC \leq TC_3$ 。

[0081] 查标定二进制值数据表可知 PC 在  $TC_2$  温度下有  $PC_{2.11} \leq PC \leq PC_{2.12}$ ，其中  $PC_{2.11} = 19863$ 、 $PC_{2.12} = 23822$ 。 $PC_{2.11}$  及  $PC_{2.12}$  对应标定数值表的标定压力点  $P_{11} = 25\text{kPa}$  和  $P_{12} = 30\text{kPa}$ 。根据公式 (1) 计算 PC 在  $TC_2$  温度下的压力测量值  $P_1$ ：

$$[0082] \quad P_1 = \frac{1}{23822 - 19863} [(21000 - 19863) \times 30 - (21000 - 23822) \times 25] = 26.436\text{kPa}$$

[0083] 同理，查标定二进制值数据表可知 PC 在  $TC_3$  温度下有  $PC_{3.11} \leq PC \leq PC_{3.12}$ ，其中  $PC_{3.11} = 19823$ 、 $PC_{3.12} = 23779$ 。 $PC_{3.11}$  及  $PC_{3.12}$  对应标定数值表的标定压力点  $P_{11} = 25\text{kPa}$  和  $P_{12} = 30\text{kPa}$ 。根据公式 (1) 计算 PC 在  $TC_3$  温度下的压力测量值  $P_{(1+1)}$ ：

$$[0084] \quad P_{(1+1)} = \frac{1}{23779 - 19823} [(21000 - 19823) \times 30 - (21000 - 23779) \times 25] = 26.488\text{kPa}$$

[0085] 根据公式 (1)，则有

[0086]

$$P = \frac{1}{26633 - 26461} [(26500 - 26461) \times 26.488 - (26500 - 26633) \times 26.436] = 26.448 \text{ kPa}$$

[0087] (3) 度二进制值 TC 超出标定二进制值数据表，如果 TC 小于二进制值数据表中的温度二进制值的最小值  $TC_0 = 26134$ ，设  $TC = 25000$  即  $TC \leq TC_0$ ，则认定  $TC = TC_0 = 25000$ ， $T = T_0 = 0^\circ\text{C}$ ；如果 TC 大于二进制值数据表中的温度二进制值的最大值  $TC_{10} = 27906$ ，设  $TC = 28000$  即  $TC \geq TC_{10}$ ，则认定  $TC = TC_0 = 27906$ ， $T = T_0 = 50^\circ\text{C}$ 。

[0088] 此方法的实施效果：

[0089] 给系统一个标准压力输入值，温度补偿系统自动温度补偿后会得到一个对应的测

量值,将这个两组值对比结果如下表所示:

[0090]

标准值 (kPa)	测量值 (kPa)	误差
-30	30.001	-0.002%
-27	-27	0
20	--20.001	-0.002%

[0091]

标准值 (kPa)	测量值 (kPa)	误差
-12	-12.007	-0.012%
-10	-10.002	-0.003%
-3	-3.008	-0.013%
0	0.001	0.002%
3	2.993	-0.012%
10	10	0.000%
12.001	12	0.002%
20	20	0%
27.008	27	0.013%
30.002	30	0.003%

[0092] 其中,标准值就是指标准压力输入值。误差是系统测量压力的满量程误差,且误差

$$\frac{\text{标准值} - \text{测量值}}{\text{量程}} = \frac{\text{标准值} - \text{测量值}}{60}。$$

[0093] 综上所述本发明利用了压力传感模块 3 的温度转换效应来做作为温度补偿基础;对压力传感器 2 增加温度补偿电阻 4 将其温度特性放大,实现了自动温度补偿,提高了压力测量精度,满量程误差小于 ±0.02%。

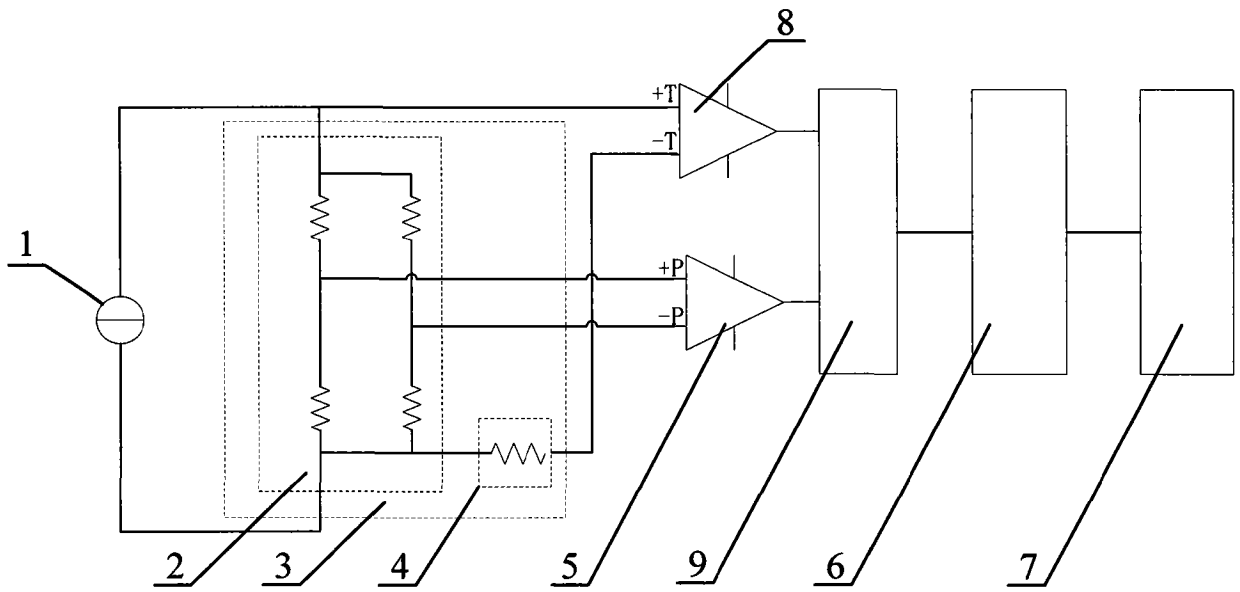


图 1

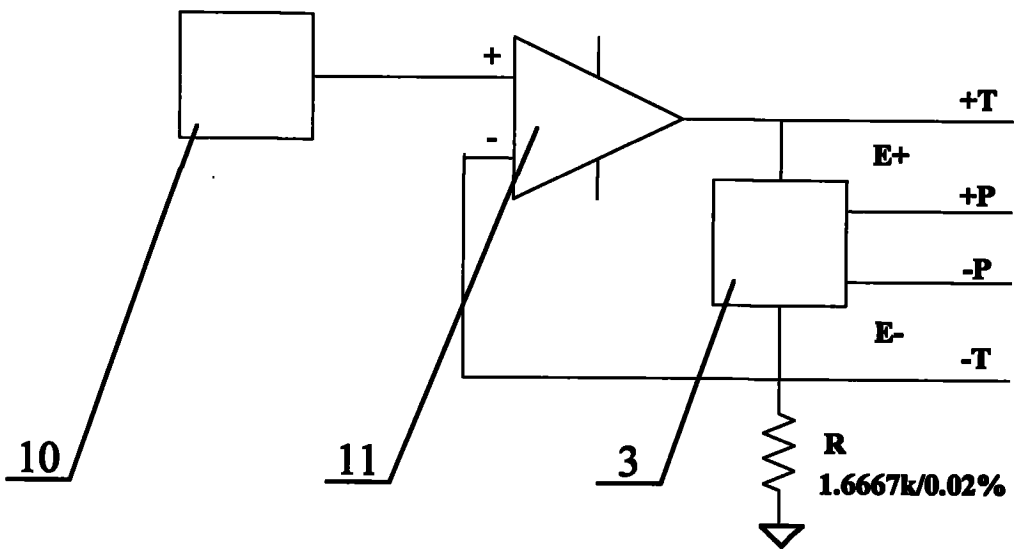


图 2