文章编号:1004-2474(2019)03-0445-03

压电式压力传感器温度补偿算法的研究

谭士杰1,2,刘 凯2,代 波1

(1. 西南科技大学环境友好能源材料国家重点实验室,四川 绵阳 621000;2. 西南应用磁学研究所,四川 绵阳 621000)

摘 要:介绍了压电式压力传感器由于受工作环境温度的影响,其零点和灵敏度常会发生漂移,因此,需对其进行补偿;讨论了一种基于最小二乘法的补偿算法,运用该算法对温度变化后的数据进行处理,使传感器的输出基本不随温度的变化而改变,从而使传感器的零点漂移和灵敏度漂移问题得到了很好地解决。结果表明,该算法能起到很好的补偿效果并广泛应用于工程实践中。

关键词:压电式压力传感器;温度漂移;温度补偿

中图分类号:TN384;TM22 文献标识码:A DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2019.03.028

Study on Temperature Compensation Algorithm of Piezoelectric Pressure Sensor

TAN Shijie^{1,2}, LIU Kai², DAI Bo¹

(1. State Key Laboratory of Environment-friendly Energy Materials, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China; 2. Southwest Institute of Applied Magnetism, Mianyang 621000, China)

Abstract: Because of the influence of working environment temperature, the zero-point and sensitivity of piezoelectric pressure sensor often drift, so it needs to be compensated. A compensation algorithm based on least square method is discussed in this paper. The proposed algorithm is used to process the temperature-changed data, so that the output of the sensor does not change with the temperature, and the problems of zero-point drift and sensitivity drift of the sensor are solved well. The results show that the algorithm has a good compensation effect and is widely used in engineering practice.

Key words: piezoelectric pressure sensor; temperature drift; temperature compensation

0 引言

目前广泛应用的压电式传感器具有指标性能优 良,成本低及封装尺寸小的优点。然而,在应用中压 电式压力传感器的工作温度稳定性会随工作环境温 度的变化而出现波动,这给实际工程应用带来较大 问题。从机理出发,这是由于材料本身的热膨胀系 数的匹配性差造成的。温度系数会导致压电薄膜在 全温变化时出现热应力,灵敏漂移度和零点漂移度 均会随着温度的变化而出现一定的上升,此时,压力 传感器的感应性能会随之降低,如果应用要求对于 传感器的温度性能标准较严格,那么必须对压电式 压力传感器进行相应的温度补偿设计。通常,补偿 的方式有硬件补偿和软件补偿两种。硬件补偿技术 的问题主要集中在通用性差,精度低及调试较难,由 于各方面因素的影响,硬件补偿并不适用于实际的 工程应用中。软件补偿技术的工程适用性比硬件补 偿更大,所以,软件补偿是目前最常用的一种环境温 度补偿法^[1-5]。

1 研究内容及方案

本文针对灵敏温度系数及零点温度系数为线性 变化的传感器开展了研究。首先对给定的常温数据 进行采集,利用相关推导公式对温度变化的线性进 行计算,同时也关注传感器输出和输入之间线性关 系的稳定性。温度补偿对于传感器的线性关系的影 响,主要是对灵敏度和邻位的补偿。假设传感器的 零位为 *a*₀,被测量的压力值为 *p*,传感器的灵敏度为 *b*₀,则可获得传感器室温下电压输出为

$$U_0 = a_0 + b_0 \times p \tag{1}$$

收稿日期:2019-03-12

作者简介:谭士杰(1981-),男,四川省射洪县人,高级工程师,博士生,主要从事电磁功能材料的研究。通信作者:代波,教授,博士生导师, 博士后,主要从事自旋电子学的物理、材料和器件的研究。

无补偿时,传感器在任意温度 *t* 环境下的电压 输出为

$$U_t = a_t + b_t \times p \tag{2}$$

其中

$$a_t = a_0 + \alpha(t - t_0) \times Y(FS)$$
(3)

$$b_t = b_0 + \beta(t - t_0) \times Y(FS) \tag{4}$$

式中: a_t 为传感器在温度 t 下的零点; b_t 为传感器在 温度 t 下的灵敏度; t_0 为常温温度; α 为传感器零点 的温度系数; β 为传感器的灵敏度温度系数;Y(FS)为传感器的满量程电压输出。

由式(3)、(4)可知,环境温度改变1℃,零位温 度系数与量程间的比值会出现如下改变:

$$\alpha = \frac{\Delta a}{\Delta T \times Y(FS)} \tag{5}$$

式中: Δa 为零位的变化值; ΔT 为温度的改变量。

环境温度变化1℃,灵敏度温度系数和量程间 的比值会出现如下改变:

$$\beta = \frac{\Delta b}{\Delta T \times Y(FS)} \tag{6}$$

式中 \(\Delta\) 为灵敏度的变化值。

由式(1)~(6)可知,

$$p = \frac{U_t - [a_0 + \alpha(t + t_0) \times Y(FS)]}{b_0 + \beta(t - t_0) \times Y(FS)}$$
(7)

将式(7)代入式(1),得到在 *t* 时,经温度补偿后的输出,

$$U'_{t} = a_{0} + \frac{U_{t} - [a_{0} + \alpha(t + t_{0}) \times Y(FS)]}{b_{0} + \beta(t - t_{0}) \times Y(FS)} \times b_{0}$$

$$(8)$$

对传感器环境温度进行测量后,可获得有关传 感器温度实验的相关数据,当温度上升到一定值时 测出的传感器输出为U_i,将U_i值代入式(7)中,最后 可计算出温度补偿后传感器的输出值:

当
$$t=0$$
时,有
 $U_t = a_t + b_t \times p = -5.0959 + 2.3426 \times p$
(9)

当
$$t = -20$$
 ℃时,有

$$U_{t} = a_{t} + b_{t} \times p = -6.837 \ 1 + 2.342 \ 8 \times p$$
(10)

当
$$t = -40$$
 ℃时,有
 $U_t = a_t + b_t \times p = -9.245 6 + 2.534 5 \times p$
(11)

同理可得其他温度点下的输入、输出曲线:

当
$$t = 80$$
°C时,有
 $U_t = a_t + b_t \times p = 0.8768 + 2.0221 \times p$
(12)

当
$$t = 40$$
 °C 时,有
 $U_t = a_t + b_t \times p = -1.742 + 2.1749 \times p$
(13)

由式(9)~(13)可知,灵敏度和零点会随着温度 的变化而出现一定的变化,当灵敏度和零点出现变 化后,输出的电压也会出现一定的改变。零点温度 系数和灵敏度温度系数之间的变化是典型的变化关 系,所以,在对零点和灵敏度进行二次拟合的过程中 一定要确定温度变化范围的准确性。

2 实验设计

研究过程中所使用到的有关输出和输入的数据 如表1所示^[6]。假设环境温度为25℃时对数据进 行线性拟合^[7],最终得到的线形关系式为

$$U_t = a_t + b_t \times p = -2.700 \ 9 + 2.234 \times p$$
(14)

表1 未补偿前全温区性能数据

| 泪 庄 / | 压力/kPa | | | | | | | | | | |
|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|
| @戊/ | -2.0 | 1.4 | 4.8 | 8.2 | 11.6 | 15.0 | | | | | |
| C | | 输出电压/mV | | | | | | | | | |
| 80 | -3.167 | 3.663 | 10.520 | 17.396 | 24.297 | 31.209 | | | | | |
| 60 | -4.550 | 2.537 | 9.649 | 16.778 | 23.928 | 31.093 | | | | | |
| 40 | -6.092 | 1.267 | 8.642 | 16.041 | 23.450 | 30.881 | | | | | |
| 25 | -7.169 | 0.392 | 7.972 | 15.571 | 23.183 | 30.809 | | | | | |
| 0 | -9.781 | -1.850 | 6.100 | 14.066 | 22.049 | 30.042 | | | | | |
| -20 | -11.707 | -3.459 | 4.804 | 13.085 | 21.384 | 29.685 | | | | | |
| -40 | -14.315 | -5.721 | 2.875 | 11.495 | 20.130 | 28.771 | | | | | |
| -50 | -15.693 | -6.933 | 1.840 | 10.632 | 19.436 | 28.259 | | | | | |

表 2 为传感器的零点随温度变化的具体数据。

表 2 传感器的零点随温度变化数据

| 温度/℃ | 80 | 60 | 40 | 25 | 0 | -20 | -40 | -50 |
|---------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 输出电压/mV | 0.876 | -0.356 | -1.74 | -2.701 | -5.09 | -6.837 | -9.245 | -10.52 |

对表2数据进行三阶曲线拟合可得:

$$a_t = 1 \times 10^{-0.6} t^3 - 0.000 \ 3 \times t^2 + 0.101 \ 6 \times t - 9.6$$

表 3 为传感器的灵敏度随温度变化的具体 数据。

表 3 传感器的灵敏度随温度变化数据

| 温度/℃ | 80 | 60 | 40 | 25 | 0 | -20 | -40 | -50 | |
|------------------------|----------------------|------------------|-------|--------|---------------|-------|-------|-------|--|
| 灵敏度/mV | 2.022 | 2.096 | 2.174 | 2.233 | 2.342 | 2.434 | 2.534 | 2.585 | |
| 对表3数据进 | 行三阶曲约 | 线拟合可得: | | 40.000 | | | | | |
| $b_t=2	imes 10^{-0.2}$ | $x^{3} - 7 \times 1$ | $10^{-0.6}x^2 -$ | | | 30.000- | | | • | |
| 0.0045x | +2.34 | | (16) | | } ∃ 20.000 | | | | |

把零点 *a*_i 和灵敏度 *b*_i 的拟合曲线代入式(8) 可得:

$$U'_{t} = a_{0} + \frac{U_{t} - a_{t}}{b_{t}} \times b_{0}$$

$$\tag{17}$$

将环境温度 t = -40 °C, p = -2.0 kPa 时、t =80 °C, p = 15 kPa 时的数据代入式(17), 两点进行 补偿验证。当 t = -40 °C, p = -2.0 kPa 时, 根据 温度实验数据可知, 传感器输出电压U =-14.3145 mV, 代入式(17)计算可得 $U_t =$ -7.2189 mV, 相对于压力点室温时的电压标定 值 $U_o = -7.169$ mV, 电压改变量 $\Delta U = 0.05$ mV; 当t = 80 °C, p = 15 kPa 时, 根据温度实验数据可 知,输出U = 31.209 mV, 代入式(17), 最终得到 补偿电压U = 30.3606 mV, 此时相对应的压力 点电压 $U_o = 30.809$ mV, $\Delta U = 0.45$ mV。

经过算法进行温度补偿后各个温度点的补偿结 果如表4所示。传感器温度补偿前、后的曲线如图 1、2所示。

表4 补偿后全温区性能数据

| | 压力/kPa | | | | | | | | |
|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|--|--|--|
| 温度/ ℃ | -2.0 | 1.4 | 4.8 | 8.2 | 11.6 | 15.0 | | | |
| 0 | | | 输出电 | 压/mV | | | | | |
| 80 | -7.3300 | 0.158 6 | 7.6767 | 15.215 7 | 22.782 1 | 30.360 6 | | | |
| 60 | -7.2677 | 0.264 3 | 7.8228 | 15.399 4 | 22.998 4 | 30.613 2 | | | |
| 40 | -7.256 2 | 0.302 4 | 7.8776 | 15.477 4 | 23.087 4 | 30.720 0 | | | |
| 25 | -7.1690 | 0.392 0 | 7.9720 | 15.571 0 | 23.183 0 | 30.809 0 | | | |
| 0 | -7.312 9 | 0.2507 | 7.832 5 | 15.429 5 | 23.042 8 | 30.665 6 | | | |
| -20 | -7.087 9 | 0.498 8 | 8.0593 | 15.656 0 | 23.269 8 | 30.885 2 | | | |
| -40 | -7.219 3 | 0.362 0 | 7.945 0 | 15.549 0 | 23.166 0 | 30.789 4 | | | |
| -50 | -7.23 6 | 0.341 5 | 7.930 6 | 15.534 0 | 23.152 0 | 30.784 4 | | | |



3 结束语

传感器的灵敏度及零点在温度补偿前出现较明显的变化。经过补偿后,传感器的灵敏度及零点受温度影响降低,精度在温度补偿后上升1个数量级,误差也相应减小,传感器的精确度会在补偿算法后获得进一步提升,且消除了温度这一影响因素对于传感器零点、灵敏度的影响。由于温度补偿的计算量非常小,适合单片机可,广泛应用于工程实践中。

参考文献:

- [1] 李海博. 硅微传感器耐高温技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012:1-2.
- [2] 王小平. 基于 MEMS 的汽车发动机用机油压力传感器 研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2010:13-14.
- [3] 李丹丹,梁庭,李赛男,等. 基于 MEMS 工艺的 SOI 高 温压力传感器设计[J]. 传感技术学报,2015,28(9): 1107-1113.
- [4] 张瑞,刘雨.大量程压电式压力传感器设计[J]. 仪表技 术与传感器,2015(7):21-23.
- [5] 杜永平,何小映.浅谈传感器的温度补偿技术[J]. 国外 电子元器件,2009,17(6):63-64.
- [6] 党瑞荣,张宏伟,宋楠,等.高温高压井下压力传感器的 补偿与校正[J].仪器仪表学报,2016,37(4):737-742.
- [7] 黄建明,张明达. 压力变送器温度补偿技术研究[J]. 国 外电子测量技术,2017,36(6):50-52.