

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.04.03

基于 MAX1452 的硅压阻压力传感器 数字补偿设计与拟合分析

姚敏强, 曹晓婷, 李拉免

(中航工业太原航空仪表有限公司传感器技术研究所, 山西 太原 030006)

摘 要: 随着现代科学与技术的高速发展, 高精度传感器的应用日趋成熟。MAX1452 作为一种高度集成的模拟传感器信号处理器, 具有 16 引脚 SSOP 封装、全模拟信号通道、低功耗、温度范围宽等特点, 可用于硅压阻压力传感器的数字补偿。硅压阻压力传感器输出的信号经过 MAX1452 校准补偿版输出模拟信号, 再经过 A/D 转换器输出数字信号, 在这个过程中, MAX1452 全模拟信号通道没有引入量化噪声, 利用 16 位 DAC 实现数字化校正, 16 位 DAC 对信号的偏移量和跨度进行校准, 实现硅压阻压力传感器的数字补偿。

关键词: MAX1452; 硅压阻压力传感器; 偏移量; 跨度

中图分类号: TB935; TH82

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)04-0011-03

Design and Fitting Analysis of Digital Compensation Method of Silicon Piezoresistive Pressure Sensors Based on MAX1452

YAO Minqiang, CAO Xiaoting, LI Latu

(Taiyuan Aviation Instrument Co., Ltd. Sensor Technology Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: With the high-speed development in the modern science and technology, the application of high accuracy sensors is becoming mature. The MAX1452 is a highly integrated analog-sensor signal processor optimized for digital compensation method of silicon piezoresistive pressure sensors. The MAX1452 is packaged with 16-pin SSOP. The MAX1452 provides a fully analog signal path, low power consumption and a wide temperature range. The MAX1452 temperature circuit compensation can transform the signal of silicon piezoresistive pressure sensors into the analog-signal, and then the A/D convertor changes it into digital-signal. In the whole process, the fully analog signal path introduces no quantization noise in the output signal while enabling digitally controlled trimming with the integrated 16-bit DACS. Offset and span are calibrated using 16-bit DACS, allowing the digital compensation of silicon piezoresistive pressure sensors.

Key words: MAX1452; silicon piezoresistive pressure sensor; offset; span

0 引言

硅压阻压力传感器是利用半导体压阻效应制成的, 因而极易在测试或应用过程中受到温度变化影响, 导致传感器输出电压产生温度漂移, 因此, 硅压阻压力传感器的温度补偿是进行压力测量的一项重要工作。硅压阻压力传感器的数字补偿核心是对硅压阻压力传感器的温度漂移进行补偿与修正, MAX1452 补偿电路可以在特定的温度范围内提高传感器的输出准确度和补偿效率^[1]。利用 MAX1452 比例输出电路的标准形式补偿电路, 经过多路传感器补偿软件实现传感器比例

输出电压或电流, 最后再经过 A/D 串口输出数据选择合适的方法进行数据拟合。

1 硅压阻压力传感器

硅压阻压力传感器是利用半导体材料(单晶硅)的压阻效应(固体受力后电阻率发生变化的现象)制成的, 在硅平膜片上利用集成电路工艺, 按一定晶向制成扩散压敏电阻, 当压力作用于硅膜片时, 膜片将产生一定的形变, 形变导致扩散电阻的阻值发生变化^[2]。

硅压阻压力传感器是在 SOI 基体方膜片边缘中央处有四个压敏电阻 R1, R3 和 R2, R4 构成惠斯登电桥, 电桥的激励信号为恒压源, 当传感器受到压力作用时, 桥臂的电阻就会发生相应的变化, 然后将感受

收稿日期: 2016-04-01

作者简介: 姚敏强(1972-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事大气数据与传感器方面的研究。

到的压力变化转化成电压信号输出,传感器工作原理电路见图1。

硅压阻压力传感器在受到温度的影响后会产生零位漂移和灵敏度漂移,扩散电阻的阻值随温度变化引起零位漂移,压阻系数随温度变化引起灵敏度漂移。因此,为了使传感器能够在需要的温度范围达到一定的精度要求,必须对它进行温度的补偿,MAX1452可以在 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$ 范围内以 1.5°C 的间隔进行修正,利用偏移量的温度系数和跨度系数提供独特的温度补偿,可以实现硅压阻压力传感器的数字化补偿^[3,4]。

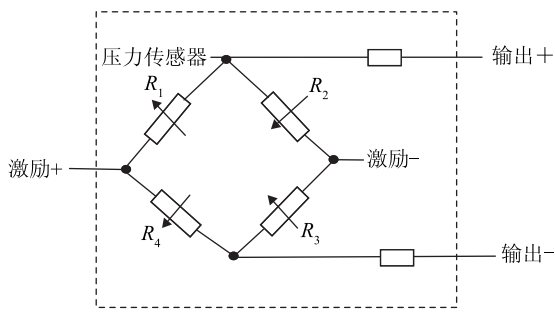


图1 硅压阻压力传感器原理图

2 MAX1452 数字补偿设计

2.1 MAX1452 工作原理

MAX1452 基本工作原理见图2。对于精度应用误差低于0.25%的情况,MAX1452通过偏移量的温度系数(TC)和跨度温度系数(FSOTC)提供寄存器中写入的16位校准系数补偿一阶温度补偿。

当精度应用误差高于0.25%时,如图2所示,MAX1452首先通过偏移量的温度系数(TC)和跨度温度系数(FSOTC)提供寄存器中写入的16位校准系数补偿一阶温度补偿,而残留的高阶项则需利用查询表。有

温度确定系数查找表的地址指针,每当温度发生约 1.5°C 的变化,即为偏移量补偿DAC和FSO补偿DAC提供一对特定的温度补偿值。

MAX1452有两种工作模式:

1)数字模式:当状态锁定控制寄存器被设定为FF00时,MAX1452工作在数字模式下。此时,MAX1452必须与电脑通信,待电脑发出特定命令后才有电压输出;

2)模拟模式:当状态锁定控制寄存器被设定为FFFF时,MAX1452工作在模拟模式下。此时,只要为MAX1452上电(+5V),产品就会有电压输出^[5]。

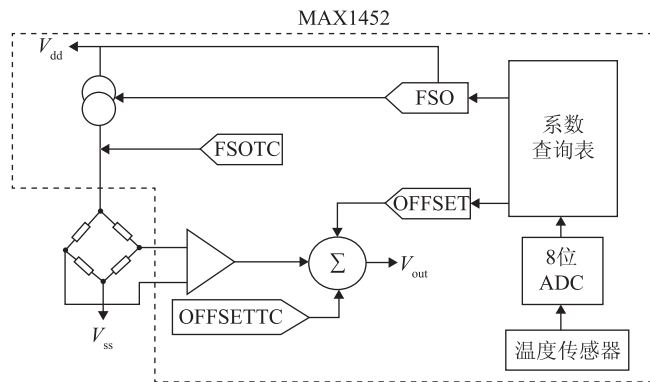


图2 MAX1452 工作原理图

2.2 数字补偿电路的设计

2.2.1 硬件设计

利用MAX1452补偿电路进行温度补偿。

图3是利用MAX1452构成的补偿电路。补偿电路是整个系统的重要组成部分,包括1个高度集成的模拟传感器信号处理芯片MAX1452,一个为1452提供准确稳定的+5V电压的超高精度电压基准MAX6033,一个低功耗、高集成的串行模数转换芯片AD7683。

硅压阻压力传感器通过内部电桥将被测的压力值

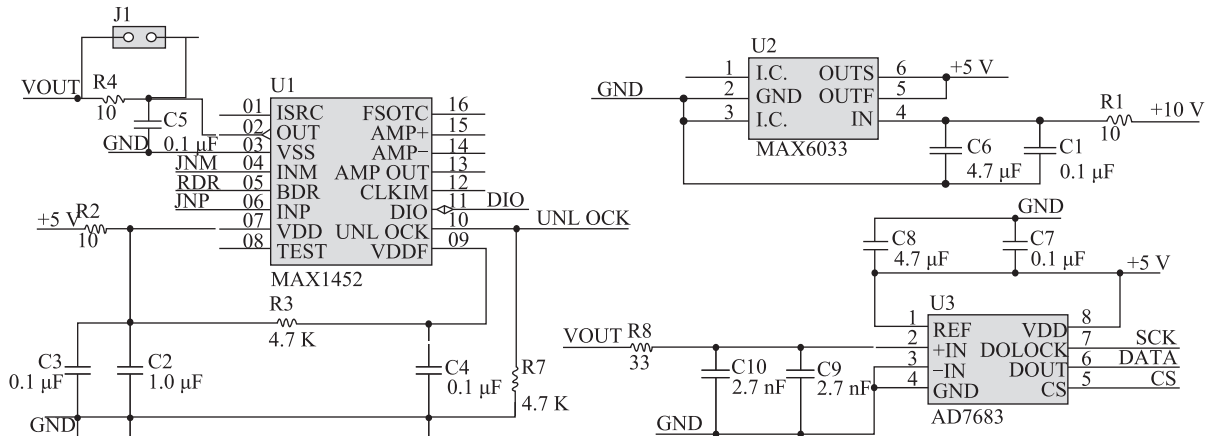


图3 MAX1452 补偿电路

转化为电信号输出，MAX1452 通过 VSS，BDR，INM，INP 这 4 个管脚分别对传感器的电桥提供偏压并读取传感器输出的电信号。MAX1452 用 DIO 口与单片机相连接，用于接收单片机发送来的命令并对单片机发送数据。

2.2.2 补偿步骤

首先设定 FSOTC，FSO，OFFSET，OFFSETTC、传感器极性、输入参考偏移量、放大倍数七个值；再为每只传感器设定一个传感器编号，写入 MAX1452 芯片内特定寄存器内；最后，应把 MAX1452 锁定，使其进入模拟工作模式(出厂工作状态)。详细补偿操作步骤见图 4。

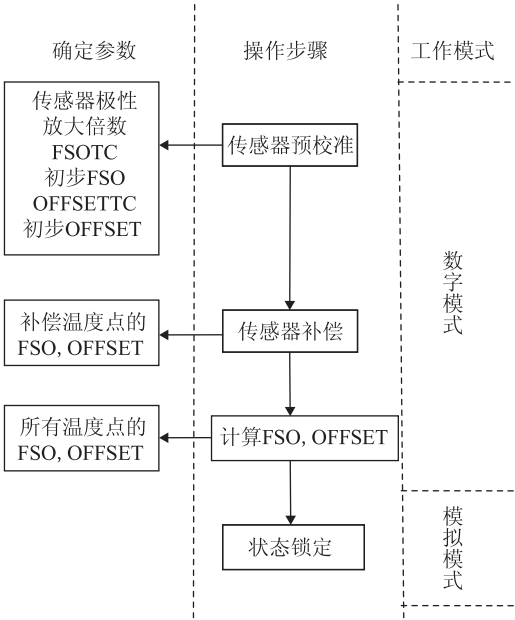


图 4 MAX1452 补偿操作步骤

2.2.3 数据处理

MAX1452 补偿后的模拟信号经过 A/D 转换器输出数字信号，进行下一步的数据处理，借助 Matlab 进行简单的一阶线性或者二次曲线拟合，或者选取特定区间拟合，也可选择两点式拟合。正确选择拟合方法，可以提高传感器的补偿精度。

3 拟合方法分析

基于 MAX1452 的数字补偿技术的关键是补偿温度点的选择，选择正确有效的补偿温度点既能提高传感器的补偿精度，又能节省人力。硅压阻压力传感器一般负温时温度漂移相对较大，所以补偿温度点的选择比较密集，以 10℃ 为跨度进行补偿；正温温度漂移相对较小，以 15℃ 为跨度进行补偿。

以 GE 传感器为例，通过实验探究拟合数据的最佳方法，本文采用上述温度点的选择，对 GE 30 kPa 传感器进行补偿测试输出，测试数据如表 1。

主要的拟合方法：

1) 全量程拟合是选取全量程(本实验 3 kPa 为跨度)内所有压力点数据利用进行 Matlab 进行简单的一阶线性或者二次曲线拟合。本实验全量程拟合结果为

一阶线性拟合： $y_1=9.501x-4.671$

二次曲线拟合： $y_2=-0.01452x^2+9.566x-4.726$

式中： x 为电压值； y 为压力值。

2) 特定区间拟合是根据自己量程区间的精度要求，选择拟合区间利用 Matlab 进行简单的一阶线性拟合。本实验选择 24~33 kPa 区间的拟合结果为

$y_3=9.478x-4.598$

表 1 测试数据

压力点 /kPa	标准电压 /V	-40℃	-30℃	-20℃	-10℃	0℃	10℃	25℃	40℃	55℃	70℃
0	0.5	0.501	0.498	0.499	0.5	0.496	0.498	0.494	0.491	0.489	0.485
3	0.8158	0.815	0.809	0.811	0.812	0.81	0.81	0.807	0.806	0.804	0.802
6	1.1316	1.127	1.125	1.123	1.126	1.123	1.124	1.123	1.119	1.12	1.117
9	1.4474	1.442	1.44	1.438	1.44	1.437	1.439	1.438	1.436	1.434	1.431
12	1.7631	1.757	1.756	1.753	1.754	1.752	1.756	1.753	1.751	1.75	1.745
15	2.0789	2.073	2.072	2.069	2.069	2.069	2.071	2.069	2.065	2.064	2.061
18	2.3947	2.39	2.389	2.385	2.385	2.384	2.386	2.384	2.382	2.38	2.376
21	2.7105	2.707	2.706	2.701	2.701	2.699	2.702	2.7	2.701	2.699	2.695
24	3.0263	3.023	3.022	3.017	3.016	3.015	3.019	3.016	3.016	3.016	3.013
27	3.3421	3.339	3.339	3.334	3.332	3.331	3.336	3.334	3.331	3.333	3.33
30	3.6579	3.656	3.656	3.651	3.647	3.649	3.651	3.652	3.647	3.649	3.645
33	3.9737	3.972	3.972	3.967	3.964	3.967	3.967	3.97	3.963	3.965	3.961

该项测量误差已包含在测量重复性中，不需要重复分析。

引入各不确定度分量的因素互不相关, 由方和根法, 合成标准不确定度为

取 $k=2$, 扩展不确定度为

$$U = 2 \times 2.1 \text{ } \mu\text{m} = 4.2 \text{ } \mu\text{m}$$

不确定度分析结果符合 1/3~1/10 的测量原则, 此方法能够满足人字齿轮齿面对称度公差为 0.05 mm 的要求。

在加工人字齿轮过程中,对其两侧齿面的对称度误差采用专用测具进行在线检测的方法比较普遍,但在其他测量设备如三坐标测量机上测量的方法仍然需要研究。本文所述的人字齿轮的检测方法,能够解决

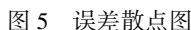
3) 两点式拟合是指选择零点和满量程两点或选取任意两点做一阶线性拟合。

本实验两点式拟合结果为

零点和满量程拟合: $y_4 = 9.505x - 4.706$

24 kPa 点和 33 kPa 点拟合: $\gamma_5 = 9.478x - 4.6$

由图 5 分析, 传感器精度误差的基本趋势是低温正偏差, 高温负偏差; Matlab 全压力点的拟合方法优于两点式拟合, 全量程来看, Matlab 分析中一次和二次拟合误差较小, 可以作为最优拟合法, 误差均匀的分布在 $-0.1 \sim 0.1$ 之间, 在 $24 \sim 33$ kPa 区间, 一次方拟合精度较高, 全量程二次方拟合精度较高, 可以根据需要选择拟合方法。



人字齿轮两侧齿面的对称度在三坐标测量机上检测的问题,经过不确定度分析验证,此种方法可以给出准确的对称度值,不仅不需要破坏零件,检测效率也较高,为检测人字齿轮对称度提供了很好的方法,具有参考价值。

- [1] 王成, 方宗德, 贾海涛, 等. 修形人字齿轮传动误差计算与试验研究[J]. 中国机械工程, 20(20): 2427-2430.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 1182-2008/ISO/TS 1101: 2004 产品几何技术规范(GPS) 几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] 国家质量技术监督局. JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国计量出版社, 1999.
- [4] 海克斯康测量技术公司. 实用坐标测量技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 21-22.
- [5] 王世辰, 吕亚丹, 高春田. 人字齿轮对中偏差的计算和控制[J]. 机械工程师, 2002(8): 63-64.

本文给出了利用 MAX1452 补偿硅压阻压力传感器的方法,着重介绍了数字补偿技术的原理和软硬件设计,分析了补偿温度点的选择、拟合方法的验证。测试表明:该技术稳定可靠,通讯方便,精度可达 0.1%。

- [1] 刘鹏, 杨学友, 杨凌辉, 等. 基于 MAX1452 硅压力传感器温度补偿系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(4): 61-64.
- [2] 赵岩, 李永红, 王恩怀. 基于 MAX1452 的 MEMS 压力传感器校准系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2009(10): 94-96.
- [3] 孙凤玲, 于海超, 王金文, 等. 硅压阻式压力传感器温度补偿建模与算法研究[J]. 微纳电子技术, 2007, 44(7): 48-50.
- [4] 樊尚春, 彭春荣. 硅压阻压力传感器的温度特性及其补偿[J]. 微纳电子技术, 2003(8): 484-488.
- [5] 赵妍, 刘志珍. 基于 MAX1452 的压力传感器温度补偿[J]. 电气应用, 2006, 25(4): 137-139.