

文章编号 :1000-2278(2013)03-0326-05

基于 MAX31855 的陶瓷窑炉测温及驱动程序设计

石长华 谢恩 刘巍 李轲

(景德镇高等专科学校,江西 景德镇 333000)

摘 要

设计了一种新型陶瓷窑炉温度测量方案,该方案选用与 8051 单片机完全兼容的高性能单片机 STC12LE5A60S2 作为主控制器,采用冷端补偿热电偶至数字输出转换器 MAX31855 测量温度。介绍 MAX31855 与 STC12LE5A60S2 芯片 SPI 总线通信接口原理,给出了 MAX31855 的模块化驱动程序,成功地实现 MAX31855 的驱动和陶瓷窑炉温度测量。

关键词 单片机 热电偶 温度补偿 MAX31855

中图分类号:TQ174.6*5 文献标识码:A

0 引言

陶瓷窑炉是实现陶瓷烧成制度的设备,陶瓷窑炉温度的测量是陶瓷工业生产核心技术,为了保证优良的陶瓷质量和成色,需寻找同类陶瓷制品的最佳烧成曲线,则应对每一炉的烧制全程进行实时记录并分析陶瓷窑炉内温度的变化,为同类型的坯和釉生产工艺的改善和规范提供科学依据^[1]。

陶瓷烧制中高温上限多在 1300℃以上,早期的热电偶模数转换器 MAX6675 只有 1024℃上限温度^[2],不能满足陶瓷窑炉测温的要求,设计中采用器件 MAX31855 进行热电偶放大、冷端补偿和模数转换,陶瓷窑炉温度数字信号通过 SPI 串口通信方式与单片机进行通信,测温范围和精度都满足陶瓷窑炉要求,简化了硬件电路设计,保证陶瓷窑炉温度测量的快速、准确。

1 硬件电路设计

1.1 MAX31855 的特点

(1)最高测量温度读数为 +1800℃,最低温度读数为 -270℃,量程范围的精度保持 ±6℃。

收稿日期 2013-04-28

基金项目 江西省教育厅科技研究项目(编号:GJJ08472)

通讯联系人:石长华 E-mail: sch3461@163.com

(2)器件输出 14 位带符号数据,转换器的温度分辨率为 0.25℃,具有冷端补偿功能。

(3)通过 SPI 兼容接口,以只读格式输出数据,方便与各种处理器通信。

(4)具有检测热电偶开路及热电偶对 GND 或 VCC 短路功能。

(5)厂家提供 K、J、N、T、S、R 和 E 型热电偶器件版本。

(6)典型工作电压 3.3V,工作电流 900 μA。

1.2 MAX31855 引脚及功能实现

MAX31855 引脚采用 SOIC-8 封装,各引脚名称及功能如表 1。为实现热电偶信号放大、冷端补偿、模数转换和故障检测等功能,MAX31855 的内部框图如图 1。当片选引脚 SC 为高电平时,MAX31855 没有温度数据输出到 SO 引脚,器件一直在后台执行三项转换工作:内部冷端温度转换、外部热电偶温度转换和热电偶故障检测。通过改变开关 S1~S5 的断开与闭合状态完成不同的转换工作,例如:对内部冷端补偿电路进行温度转换时,断开外部热电偶信号(S4 断开),A/D 转换电路连接到冷端补偿电路(S5 闭合)。T- 保持与内部参考地的连接(S3 闭合),断开故障检测电路(S1 和 S2 断开)。其余两项转换工作可类推,这三项转换需耗时 75ms,编程时两次读取转换后数据时间间隔要大于 75ms。

表 1 MAX31855 引脚说明
Tab.1 The description of MAX31855 pin

引脚	名称	功能
1	GND	接地
2	T-	热电偶输入
3	T+	热电偶输入
4	VCC	电源电压
5	SCK	串行时钟输入
6	CS	片选低电平有效
7	SO	串行数据输出
8	DNC	空脚

将热电偶电压转换为等效的温度值之前,需要补偿热电偶冷端(器件环境温度)与 0°C 实际参考值的差异^[3]。陶瓷窑炉测温常用 S 型热电偶,电压按照大约 9.587μV/°C 的规律变化,按以下线性方程式逼近热电偶特性:

$$V_{OUT} = (0.009587 \text{ mV} / ^\circ\text{C}) \times (T_R - T_{AMB}) \quad (1)$$

式中, V_{OUT} 为热电偶输出电压(mV), T_R 为远端热电偶结温(°C), T_{AMB} 为冷端器件温度(°C)。

1.3 SPI 通信及输出的温度数据格式

MAX31855 处理来自热电偶的读数,并通过 SPI 串口发送数据。片选引脚 CS 为低电平,并在 SCK 端施加时钟信号,从 SO 引脚读取结果。器件始终在后台执行转换,只有 CS 为高电平时才能更新故障状态和温度数据。

图 2 是 MAX31855 的串口时序图,片选引脚 CS 为低电平时,SO 引脚在 SCK 端时钟作用下依次输出数据,通过串口读取完整的热电偶温度、参考端温度和热电偶故障共需要 32 个时钟周期。在时钟下降沿读取输出位,输出顺序为 MSB 至 LSB。

应用编程时 SO 端输出的 32 位数据含有热电偶

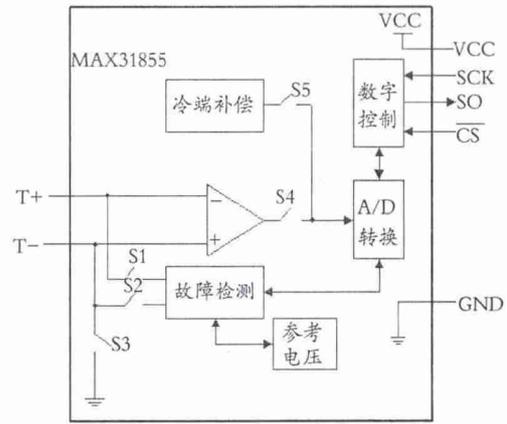


图 1 MAX31855 的内部框图

Fig.1 The internal block diagram of the MAX31855

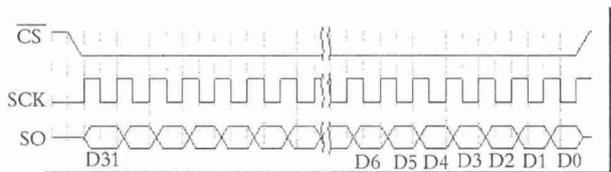


图 2 MAX31855 的串口时序图

Fig.2 The sequence diagram of MAX31855 serial

温度、参考端温度和热电偶故障信息,它是编程依据,表 2 是存储器映射一位加权和功能。由表 2 可知热电偶测得温度数据放在 D[31:18]中,最高位 D31 值是温度符号位,值为 0 表示热电偶测到正的温度,值为 1 表示热电偶测到负温度,正温度按位加权计算即可,负温度要按补码方式算出正确温度。参考端温度数据放在 D[15:4]中, D15 值是参考端温度符号位,正负温度计算与热电偶温度 D[31:18]计算规则相同。热电偶是否有故障由 D16 和 D[2:0]来确定,热电偶正常时都为 0 值;当 D16 值变为 1 时,表示热电偶出现故障,故障类型由最低三位值 D[2:0]确定。

1.4 陶瓷窑炉测温电路

设计的陶瓷窑炉测温电路如图 3,单片机

表 2 存储器映射一位加权和功能

Tab.2 Memory mapping of a weighted sum function

14 位热电偶温度数据				未用	故障	12 位参考端温度数据				未用	故障	故障	故障	
位	D31	D30	...	D18	D17	D16	D15	D14	...	D4	D3	D2	D1	D0
值	符号	MSB	...	LSB	保留	故障标志	符号	MSB	...	LSB	保留	1 表示与电源短路	1 表示与地短路	1 表示开路
		2^{10}	...	2^{-2}				2^6	...	2^{-4}				

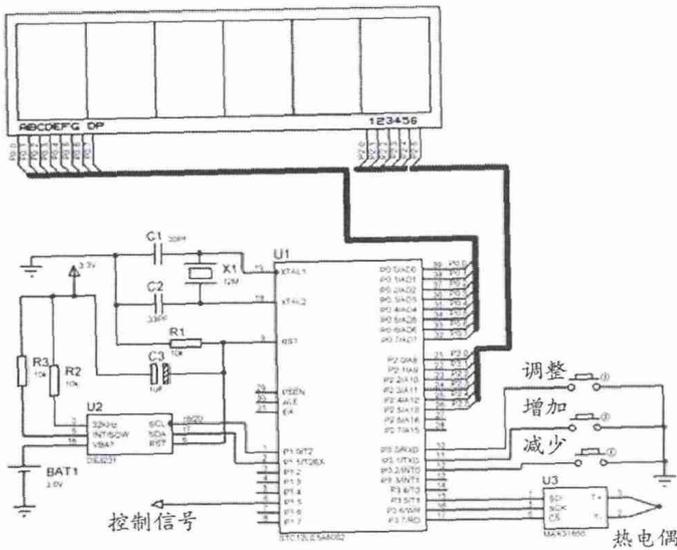


图3 陶瓷窑炉测温电路

Fig.3 The ceramic kiln temperature measurement circuit

STC12LE5A60S2 是宏晶科技生产的单时钟 / 机器周期 (1T) 的单片机,这是一种高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机,它的指令代码完全兼容传统 8051 单片机,但速度比 8051 单片机快 8~12 倍,工作电压为 2.2~3.6 V,片上集成 60K 应用程序空间和 1280 字节的 RAM,有高速串行通信 SPI 接口。本设计方案采用模拟的 SPI 通信方案,STC 单片机是整个电路的控制中心。DS3231 是高精度 I2C 实时时钟 (RTC),具有集成的温补晶振(TCXO)和晶体,室温范围内计时精度为 ±5ppm(±0.432 秒 / 天),提供连续计时电池备份,为仪器提供秒、分、时、星期、日期、月和年信息^[4]。MAX31855 热电偶至数字输出转换器,内置 14 位模 / 数转换器(ADC),器件带有冷端补偿检测和修正,将热电偶采集的陶瓷窑炉温度电压值转换成 14 位数字信号,测量精度为 ±6°C,由于 MAX31855 可与单片机通过 SPI 串口直接连接,大大简化系统的设计,保证了陶瓷窑炉温度测量的快速、准确^[5]。采集到的陶瓷窑炉温度值从单片机的 P0 口输出到数码管上实时显示。电路中还设计了三个功能按键,通电后数码管中显示当前时、分、秒数据,短按“调整”键进入对时状态,可以校对时间,长按“调整”键,当前窑炉温度值整数部分会显示在数码管后四位。

2 软件设计

2.1 MAX31855 驱动程序设计

MAX31855 是 MAX6675 的升级产品,主要有如下三点改进:

(1)测量温度范围扩大,测温上限由原来 1024°C 提高到 1800°C,模 / 数转换后温度表示的二进制位数改成 14 位。

(2)输出数据中含有 12 位冷端温度值,使用者改进测温算法和提高测温精度时可使用此冷端温度值。

(3)输出数据中含有热电偶故障信息。

编写 MAX31855 驱动程序时以上三点都要考虑,项目设计采用模块化编程方法,将 MAX31855 驱动程序全部放在 MAX31855.h 头文件中,程序主要由三个子函数组成。函数 readData_MAX31855(void) 完成读取转换后 32 位二进制数任务,外部调用它就能得到热电偶转换器 MAX31855 全部 32 位数据;函数 readThermocouple(void) 完成从 32 位数据中提取热电偶温度值任务,同时判断热电偶是否有故障,外部调用它时先判断热电偶是否有故障,如出现故障通过 Error_1、Error_2、Error_3 变量值确定故障代码类型,同时停止读出温度值,如无故障则读出热电偶测得摄氏温度值;函数 readJunction(void) 完成读取冷端摄氏温度值任务,外部调用它能得到当前热电偶冷端即当前环境温度。限于篇幅下面仅给出 MAX31855.h 头文件中的子函数 readData_MAX31855()。

```

/*****
*
* 函数名: readData_MAX31855()
* 功能:读取 MAX31855 转换后 32 位数据
* 入口参数: 无
* 返回参数: 无符号长整型变量 data_31855
*****/
**/
unsigned long readData_MAX31855(void)
{
    int bitCount;
    unsigned long data_31855;

    data_31855 = 0; // 清除数据
    CS_MAX31855=1;

```

```

Delayus_MAX31855(10); // 延时一段时间,是为
转换数据留下充足时间
CS_MAX31855=0; // 选中 MAX3185 芯片
for(bitCount=0;bitCount<32;bitCount++) // 读出转
换后 32 位数据
{
    SCK_MAX31855=1;
    data_31855<<=1;
    if(SO_MAX31855==1)
    data_31855=data_31855|0x0001;
    SCK_MAX31855=0;
}
CS_MAX31855=1; // 释放 MAX3185 芯片
return(data_31855);
}

```

2.2 主程序设计

主程序主要完成时间调整及显示、热电偶故障判断、陶瓷窑炉温度测量三个主要功能,采用模块化程序设计方法,程序流程图如图 4 所示。

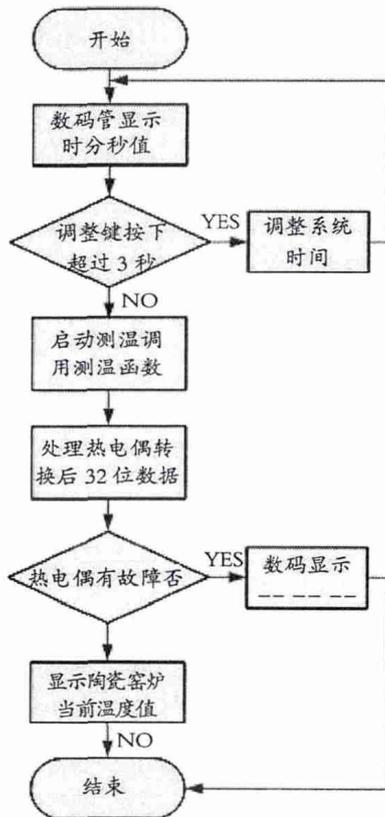


图 4 主程序流程图

Fig.4 The main program flow chart

3 实验分析

本系统主要进行两个测试实验,一个是实验室精度测试,另一个是陶瓷生产现场测温范围测试。

3.1 精度测试

为了测试系统的测量精度,用一精密校准的电压源替代热电偶,提供与 S 型热电偶在 0°C 至 +1300°C 范围内输出相对应的精密电压^[6],测温结果如表 3 所示,由表 3 可知测温误差不超过 6°C,硬件设计符合陶瓷生产实际测温精度要求。

表 3 系统精度测试(实验环境温度 24°C)

Tab.3 The precision test of the system (the temperature of the experiment environment: 24°C)

标准电压 mV	A/D 转换后数 据(hex)	系统测到 温度°C	标准电压对应 的温度°C
0.055	009C 1880	9.75	10
0.299	0318 1880	49.50	50
0.646	0650 1880	101.00	100
1.441	0CAC 1880	202.75	200
4.233	1F6C 18C0	502.75	500
6.743	2C18 18C0	705.50	700
9.587	3EC8 18C0	1004.50	1000
11.951	4B5C 18C0	1205.75	1200

3.2 测温范围测试

陶瓷生产现场测试时,采用设计硬件与原有梭式陶瓷窑测温仪并行比较方法,同步测量了几个不同产品烧制过程,测量日用茶杯烧成时最高可测量温度 1290°C,测量电瓷中的高压绝缘子烧成时最高可测量温度 1456°C,结论是设计的硬件完全满足陶瓷生产测温范围的要求。

4 结束语

本文设计了一种新型陶瓷窑炉温度测量方案,该方案选用冷端补偿热电偶至数字输出转换器 MAX31855 测量温度。采用 MAX31855 将热电偶测

温时复杂的线性化、冷端补偿及数字化输出等集中在一个芯片上,简化了硬件电路设计,完整地给出MAX31855的模块化驱动程序,成功地实现MAX31855的驱动和陶瓷窑炉温度测量。实际运行结果表明,该系统抗干扰能力强、结构简单、可靠性高,测量精度和范围都满足陶瓷生产要求,具有良好的实用价值。

参考文献

- 1 张金敏. 基于数据融合的陶瓷窑炉温度记录仪的研究. 自动化与仪器仪表,2010, 04: 116 ~ 118
- 2 陈源,杨波,唐宏伟,李海娜. 基于 MAX6675 的两路温度采集系统的设计. 信息系统工程,2011,11: 31 ~ 32
- 3 Joseph Shtargot,Sohail Mirza. 利用先进的热电偶和高分辨率 $\Delta - \Sigma$ ADC 实现高精度温度测量. 世界电子元器件, 2012, 02: 43 ~ 48
- 4 李黎. 浅议具有理性主义设计思维的宋代瓷器造型. 中国陶瓷,2012 ~ 8
- 5 方洁,陈伟. 基于 DS3231 的高精度时钟接口设计. 电子设计工程,2010,02,134 ~ 136
- 6 参见 NIST 在线数据库,网址 http://srdata.nist.gov/its90/main/its90_main_page.html
- 7 李鹏飞. 陶瓷用聚合物分散剂的制备及应用研究进展. 中国陶瓷,2012 ~ 11

Design of Driver and Thermoscope of Ceramic Kiln Based on MAX31855

SHI Changhua XIE En LIU Wei LI Ke
(Jingdezhen University, Jingdezhen, Jiangxi 333000)

Abstract

A new scheme has been designed to measure the temperature of ceramic kilns. We choose as the main control STC12LE5A60S2, a high-performance MCU that is completely compatible with 8051 MCU. The measuring tool is MAX31855, a transformer which can compensate at the cold end and export the thermocouple signal. The principles of SPI trunk communication interface of MAX31855 and STC12LE5A60S2 chip are introduced, and the modularized drivers of MAX31855 are designed, through which the temperature of ceramic kilns can be measured.

Key words MCU; thermocouple; temperature compensation; MAX31855

Received on Apr.28,2013

HI Changhua, E-mail: sch3461@163.com