

·光电系统·

## 智能比色测温系统

闫白, 郝晓剑, 周汉昌

(中北大学电子测试技术重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:**针对比色测温技术的输入与输出的非线性特性导致难以自动化的问题,设计了一种新颖的智能比色测温系统,介绍了该系统的测温原理及结构,提出利用查表法和二分搜索进行软件设计,采用插值计算来确定温度,从而实现两路输出电压向温度值的智能计算。它具有体积小、响应快等优点,且大大减小发射率变化带来的干扰,能够实时显示温度,保证了较高的测温精度。

**关键词:**比色测温;查表法;二分搜索;自动化

**中图分类号:**TP212.1<sup>1</sup>;TN702

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-1255(2013)-05-0003-03

## Intellectual Colorimetric Temperature Measurement System

YAN Bai, HAO Xiao-jian, ZHOU Han-chang

(Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of automation due to the nonlinear characteristic between the input and output of colorimetric technology, a new kind of intellectual colorimetric temperature measurement system is designed. Its temperature measurement principle and structure are introduced. Software is designed by look-up table and dichotomous search. And temperature is determined by interpolation calculation. So the intellectual calculation of duplex output voltage to temperature value is realized. It has the advantages of small volume, fast response and the like. And the interference from emissivity changes is reduced greatly. Moreover, temperature can be displayed in real time and higher temperature measurement accuracy is guaranteed.

**Key words:** colorimetric temperature measurement; look-up table; dichotomous search; automation

比色测温具有不影响被测对象的温度场、响应时间短、仪器使用寿命长等优势,在电子、冶金、炼钢等行业应用广泛<sup>[1-3]</sup>。但由于其输出曲线是非线性的,给比色测温系统的智能化实现带来了困难。对于传感器,理想的输入与输出是线性的关系,其线性度越高,测量精度也就越高<sup>[4-6]</sup>。为了实现系统自动化,设计了一种新颖的智能比色测温系统,能够进行温度的实时显示,且系统体积小、成本低、对发射率变化抗干扰能力强、温度能够实时显示等。

### 1 比色测温原理

比色测温原理是由热辐射体在两个波段上的光谱辐射出射度的比值与温度的函数关系来测量温度<sup>[7]</sup>,则

$$R(T) = \frac{I_1(T)}{I_2(T)} = \frac{S(\lambda_1) \times R(\lambda_1) \times \tau(\lambda_1) \times \epsilon(\lambda_1, T) \times \int_{\lambda_1 - \Delta\lambda/2}^{\lambda_1 + \Delta\lambda/2} \frac{C_1}{\lambda^5 e^{C_2/\lambda_1 T}} d\lambda}{S(\lambda_2) \times R(\lambda_2) \times \tau(\lambda_2) \times \epsilon(\lambda_2, T) \times \int_{\lambda_2 - \Delta\lambda/2}^{\lambda_2 + \Delta\lambda/2} \frac{C_1}{\lambda^5 e^{C_2/\lambda_2 T}} d\lambda} \quad (1)$$

收稿日期:2013-07-10

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2012-068);太原市科技局明星专项资助项目(120247-20)

作者简介:闫白(1989-),女,山东枣庄人,硕士研究生,研究方向是光电探测理论与技术;郝晓剑(1969-),女,山西孝义人,博士后,教授,研究方向为动态测试技术与光电仪器设计;周汉昌(1938-),男,上海人,教授,现为仪器科学与动态测试教育部重点实验室光电仪器与新型传感技术方向带头人,研究方向为光电探测理论与技术、特种传感理论与技术、光学仪器及技术。

式中,  $\Delta\lambda$ 是选取的系统带宽,  $S(\lambda)$ 、 $R(\lambda)$ 、 $\tau(\lambda)$ 分别是与波长为 $\lambda$ 下滤光光学系统的光谱透过率、光电探测器响应、光学系统光谱透过率有关。分别令

$$K = \frac{S(\lambda_1) \times R(\lambda_1) \times \tau(\lambda_1) \times \epsilon(\lambda_1, T)}{S(\lambda_2) \times R(\lambda_2) \times \tau(\lambda_2) \times \epsilon(\lambda_2, T)} \quad (2)$$

$$R_1(T) = \frac{\int_{\lambda_1 - \Delta\lambda/2}^{\lambda_1 + \Delta\lambda/2} \frac{C_1}{\lambda^5 e^{C_2/\lambda T}} d\lambda}{\int_{\lambda_2 - \Delta\lambda/2}^{\lambda_2 + \Delta\lambda/2} \frac{C_1}{\lambda^5 e^{C_2/\lambda T}} d\lambda} \quad (3)$$

$$\text{则有 } R(T) = K \cdot R_1(T) \quad (4)$$

式中,  $K$ 是与温度无关的常数,可由静态标定确定<sup>[8]</sup>。

## 2 系统硬件设计

智能比色测温系统由蓝宝石窗、透镜、两个滤光片、光电探测器、 $I$ - $V$ 转换电路、单片机、LCD构成,其原理框图如图1所示。测量时,将智能比色测温系统对准被测温度场,被测温度场会发出光辐射,经蓝宝石窗,再经透镜的调整,以平行光束通过两个不同的滤光片,被光电探测器的光敏面吸收,转化成两路光电流,再经 $I$ - $V$ 转换电路完成电流向电压的转换及信号的放大滤波,利用单片机完成模拟—数字信号的转换,并进行数据处理得到温度,在液晶显示器(LCD)上显示。

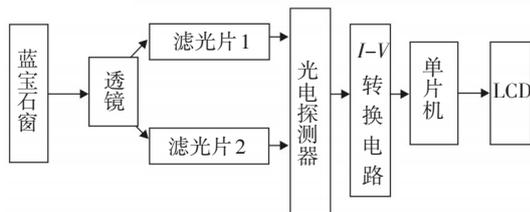


图1 智能比色测温系统的原理框图

### 2.1 光学系统模块

在光学系统模块中,蓝宝石窗是为了隔绝外部高温及防尘;透镜是为了把接收到的光辐射聚焦在滤光片上,增大光敏面接收的辐射能量,从而提高测试的灵敏度;滤光片能够对热辐射光束进行窄带过滤分离来获得所需波段内的热辐射能量。

考虑到透镜的相对孔径(通光口径 $D$ 与焦距 $f$ 的比值)代表系统的聚光能力,且值越大代表聚光能力越强,采用透镜参数为25.4 mm,焦距为40 mm的双凸透镜。根据目标测温范围400~1 000 °C,按照 $R(T)$ - $T$ 曲线线性越好、斜率越大确定系统波长组合,按照灵

敏度曲线平稳且数值较大的原则确定带宽,最终选定的波长组合为650 nm和850 nm,带宽为 $\pm 30$  nm。

### 2.2 光电信号转换模块

光电探测器由四个PIN光电二极管和覆铜板组成,将左右两侧各自的上下两个PIN管相连作为探测器的两个象限,并在左右两个象限所对应的光敏面上各自胶合上不同工作波长的窄带干涉滤光片。该设计有效减小了系统体积,且工艺简单,工作可靠性高。

$I$ - $V$ 转换电路如图2所示。其中光电二极管工作在光伏模式,其暗电流小,输入与输出近似成线性变化,信噪比高。通过稳压二极管加上一个基准电压2.5 V,这样就可以使光电放大电路在单电源+5 V的条件下正常工作,同时满足数据采集存储模块工作时采集的电压信号范围需0~2.5 V的要求。在每个接电源端处都加上了电源滤波电路,它是无源的低通滤波电路,用来防止因其他用电器件的干扰而导致的电源和稳压二极管的不稳定性。

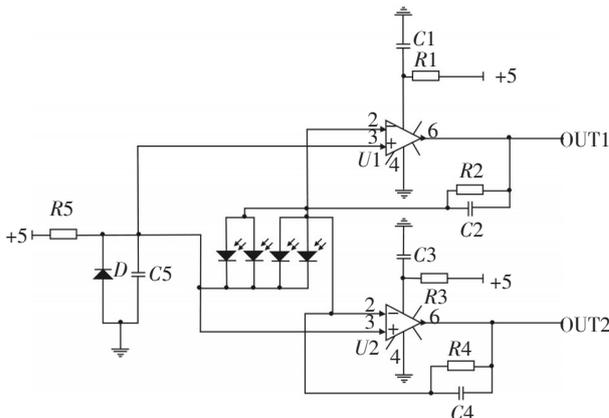


图2  $I$ - $V$ 转换电路

### 2.3 单片机模块

单片机芯片类型选用AT89C51,它具有4 K字节FLASH闪存储器,128字节内部RAM,可反复擦出1 000次,方便产品开发机修改。A/D转换芯片选用了8位双通道芯片ADC0832,它是逐次逼近式A/D转换器,工作频率为250 KHz,转换时间为32  $\mu$ s,一般功耗仅为15 mW。

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件设计思想

比色测温系统的软件工作流程图如图3所示。

它主要是为了完成调理电路输出的两路电压值向温度值转换计算的过程,根据两路电压值和 $K$ 求出 $R_1$ ,然后采用查表法,即查询相应的 $T-R_1$ 分度表,插值计算求各测量点的温度,然后在液晶显示器(LCD)显示。定期对智能比色测温系统静态标定后,可直接改写软件程序中的 $K$ 值,操作方便且保证较高精度。

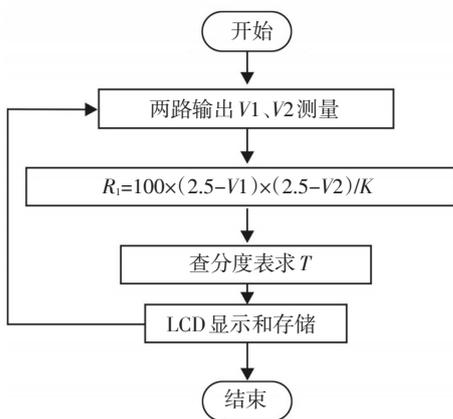


图3 智能比色测温系统软件工作流程图

### 3.2 非线性参数的标度变换

查表法,即将输入 $R_1$ 与输出 $T$ 按一定的方法作成分度表,写入内存,然后利用对分搜索根据输入查找对应结果<sup>[9-10]</sup>。考虑测温范围集中在 $600\sim 1\ 000\ ^\circ\text{C}$ ,表1列出了10的整数倍的 $T$ 与对应 $100\times R_1$ 值。每个温度对应的 $100\times R_1$ 均为5位数字,在8位微处理机中占据2个字节的内存。搜索方法采用对分搜索来查取分度表,需要 $\ln 400/\ln 2\approx 8$ 次可以查到 $100\times R_1$ 对应的十位数值。然后,利用线性插值法求得个位和小数位,最终写出对应的温度。

表1 温度与 $100\times R_1$ 分度表

$T/^\circ\text{C}$	600	610	...	790	800	...	990	1 000
$R_1$	10 110	9 450	...	3 483	3 328	...	1 604	1 553

例如,以 $R_1$ 是3 378为例,则由表1查取十位上结果为79,由于 $790\ ^\circ\text{C}$ 对应的 $R_1$ 是3 483, $800\ ^\circ\text{C}$ 对应的 $R_1$ 是3 328,由

$$\frac{3\ 483 - 3\ 378}{3\ 483 - 3\ 328} \times 10 = 6.77$$

可以得到个位和小数位。由此求出该 $R_1$ 对应的温度值为 $790+6.77=796.77\ ^\circ\text{C}$ 。

### 4 系统仿真

单片机模块仿真结果如图4所示。Proteus为嵌入式系统软、硬件设计提供仿真平台。仿真时以两路分压电路的电压代替两路光电流信号作为两路模拟量输入。显示采用LCD1602两行显示。

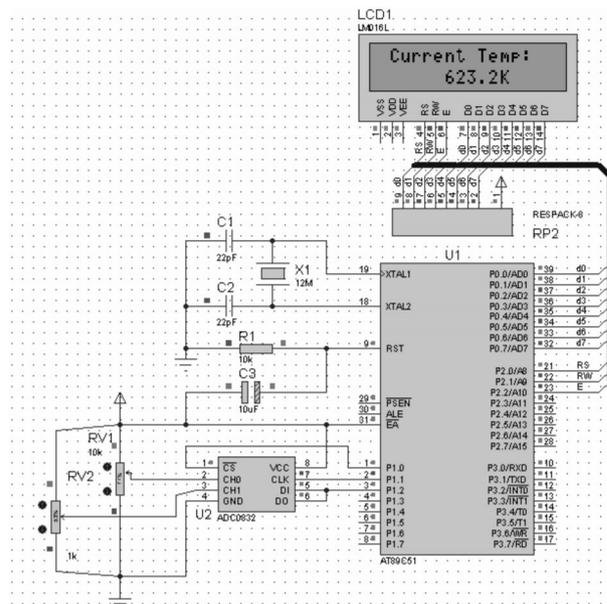


图4 单片机模块仿真结果

### 5 结论

智能比色测温系统体积小、成本低、对发射率变化抗干扰能力强、温度实时显示,实现系统自动化。采用查表法做成分度表来编写软件程序,并利用对分搜索根据输入快速查找对应的温度,根据线性插值公式来计算温度的个位、十位和小数位,较好地解决了非线性问题,具有较高的精度,并实现了系统的自动化。

### 参考文献

- [1] 张津,章宗和. 镁合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:21-85.
- [2] 丁文江. 镁合金科学与技术[M]. 北京:科学出版社,2006: 161-164.
- [3] 潘复生,韩恩厚. 高性能变形镁合金及加工技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007:15-78.
- [4] 魏国,王昕. 基于B样条递推最小二乘的温度传感器非线性校正[J]. 传感器与微系统,2008(12):54-56.

根据各模块相互结合起来可以得到整个系统的组成,并在 QUARTUS II 中实现,仿真结果如图 14 所示。

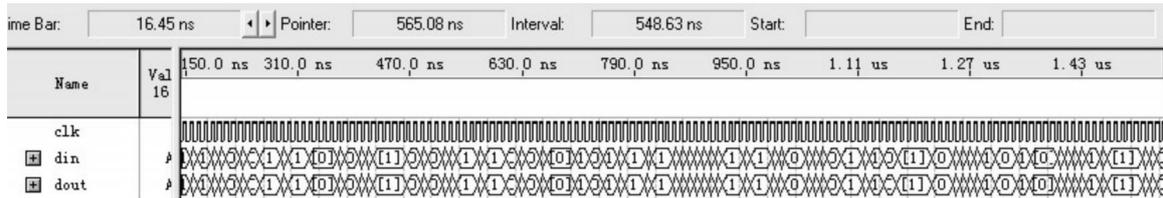


图 14 仿真结果

通过对设计输入的数据和均衡后的数据的比较,容易发现对于加入高斯白噪声后的信号进行均衡的效果明显,基本消除了噪声的影响,并且错误率比较低,达到了信道均衡的目的。

## 4 结 论

通过对 GO-MC-CDMA 系统中传统 LS 信道估计的改进,通过 MATLAB 产生源数据,在 QUARTUS II 中采用 VHDL 进行编程,并用 FPGA 实现系统的各模块,最终实现了模糊自适应的 LS 信道估计功能,根据前面的描述可以看出,本设计的结构简单,运算量小,易于实现。实验仿真结果证明,此系统不仅解决了对噪声敏感的问题,并且减小了误差,具有实际应用价值。

## 参考文献

- [1] CAI X,ZHOU S, GIANNIKIS G.Group-orthogonal multicarrier CDMA[J]. IEEE Trans Communications,2004,52 (1): 90-99.
- [2] 王艺衡.基于 MIMO-OFDM 的信道估计算法研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2009.
- [3] FERRARA S,MATSUMOTO T,NICILLO M,et al.Soft iterative channel estimation with subspace and rank tracking[J]. Signal Processing, 2007, 14(1):1461-1472.
- [4] QIAO Y,YU S,SU P,et al.Research on an iterative algorithm of LS channel estimation in MIMO OFDM systems[J].IEEE Trans Broadcast, 2005, 51(1):149-153.
- [5] 王超.GO-MC-CDMA 基带处理系统研究及信道估计实现[D].湖南:南华大学,2011.
- [6] 周锋,陆洪武,姜俊奇.OFDM 水声通信信道估计技术研究[J].电子技术应用,2009(7).
- [7] 王彦.GO-MC-CDMA 模糊自适应 LS 信道估计器研究[J].通信学报,2011,33(6):165-171.
- [8] 袁静,高永安.MIMO-OFDM 系统信道估计中的最优导频设计[J].电子技术应用,2011(1).
- [9] 郑英华.衰落信道下 OFDM 系统信道估计技术研究与实现[D].重庆:重庆大学,2009.
- [10] 孙居颖.OFDM 系统信道估计算法研究[D].北京:北京工业大学,2005.
- [11] 葛万成.正交频分复用系统中改进的 FFT 插值算法[J]. 同济大学学报(自然科学版),2010(4).
- [12] 朱耀麟.自调匀整模糊控制系统设计及 FPGA 实现[J]. 天津工业大学学报,2010,29(6):63-67.

(上接第 5 页)

- [5] 唐建文,张勇.基于神经网络的热电偶非线性校正[J].仪器仪表学报,2008(8):63-69.
- [6] 陈晓颖,顾广耀.智能测温系统中热电偶的非线性处理[J].物理测试,2010(7):24-27.
- [7] 朱剑华,郝晓剑.基于比色测温的瞬态高温测试方法及系统实现[J].自动化与仪表,2010(9):5-8.
- [8] 张晨朝,郝晓剑,姜三平,等.基于象限探测器的瞬态高温比色测试系统标定方法研究[J].科技信息,2012(2):166-168.
- [9] 刘少强,黄惟一.基于插值计算与优化的铂电阻非线性校正方法[J].仪器仪表学报,2003(4):215-220.
- [10] 徐国文,蔡忠春.热电偶热电势与温度值换算的线性插值方法[J].计量与测试技术,2010(2):12-13.