

基于 STM32 的大功率 LED 阵列高精度制冷控制系统*

钱依凡, 薛凌云, 洪哲扬

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: LED 结温动态严重影响其光学特性变化规律, 针对大功率 LED 阵列散热需求, 利用半导体制冷器(Thermoelectric Cooler, TEC)设计一套制冷控制系统。开关电源易产生较强电磁干扰, 设计具有快响应时间、高稳定性特点的可编程线性电源驱动 TEC 稳定工作。针对常规线性 PID 对具有非线性特征的 TEC 制冷控制系统存在快速性和超调量难以兼得的问题, 于 STM32 嵌入式实现模糊 RBF 神经网络 PID 控制, 并用 6×3 W 大功率 LED 阵列进行测试, 实验结果证明相比于常规线性 PID 控制, 调节时间缩短, 超调量减少, 温度波动仅为 ±0.1 °C, 该系统在保持大功率 LED 阵列工作环境温度稳定的同时可提升其输出光效。

关键词: STM32; 大功率 LED 阵列; 半导体制冷器; 模糊 RBF 神经网络 PID

中图分类号: TP273; TN364+.2; TB69

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211353

中文引用格式: 钱依凡, 薛凌云, 洪哲扬. 基于 STM32 的大功率 LED 阵列高精度制冷控制系统[J]. 电子技术应用, 2021, 47(9): 75-81.

英文引用格式: Qian Yifan, Xue Lingyun, Hong Zheyang. High-power LED array high-precision refrigeration control system based on STM32[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(9): 75-81.

High-power LED array high-precision refrigeration control system based on STM32

Qian Yifan, Xue Lingyun, Hong Zheyang

(School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The dynamics of the LED junction temperature seriously affect the changing laws of its optical characteristics. Aiming at the heat dissipation requirements of high-power LED arrays, a refrigeration control system is designed using thermoelectric cooler. Switching power supplies are prone to strong electromagnetic interference, a programmable linear power supply with fast response time and high stability is designed to drive TEC to work stably. Aiming at the problem that conventional linear PID has difficulty in achieving both rapidity and overshoot for the TEC refrigeration control system with nonlinear characteristics, this system is embedded in STM32 to realize fuzzy RBF neural network PID control, uses 6×3 W high-power LED array for testing, the experiment results proved that compared with the conventional linear PID control, the TEC refrigeration control system has shortened the adjustment time, reduced the overshoot, and the temperature fluctuation is only ±0.1 °C. The refrigeration control system can improve the output light efficiency while maintaining the stable working environment temperature of the high-power LED array.

Key words: STM32; high-power LED array; thermoelectric cooler; fuzzy RBF neural network PID

0 引言

LED 以其小体积、高亮度、长寿命、节能环保、可 DC 供电与调光等优势被广泛应用于各种指示、显示以及照明系统中。限于当前材料、封装和工艺等技术水平, LED 量子效率低, 在工作过程中会产生大量的热^[1]。由多颗 LED 组成的大功率 LED 阵列不仅表现为单颗 LED 产热严重且 LED 间相互耦合, 其散热问题更加突出。随着 LED 研究与应用的深入, LED 阵列中 LED 功率和集成度亦随之增加, 其单位面积上所产生的热量愈来愈多, 若非在重量和尺寸上指数增加, 单纯依靠被动散热已无

法及时散发大功率 LED 阵列热量^[2], 由此导致 LED 阵列热沉温升问题严重影响 LED 阵列的光学性能与可靠性, 如发光效率降低、波长偏移、颜色偏移、寿命缩短等^[3-5], 而良好的制冷控制不仅能保持 LED 阵列工作环境温度的稳定, 更能提高 LED 的发光效率。

半导体制冷器(Thermoelectric Cooler, TEC)结构简单, 具有热惯性小、制冷速度快、体积小、易于调控、寿命长、无噪声、无污染等优点, 应用范围广泛且非常适合应用于微型制冷领域, 如激光器、医疗器械和空间飞行器上的仪器设备冷却等^[6-7]。TEC 驱动电源大致发展为开关电源和线性电源, 开关电源具有转换效率高的优点, 但易产生较强的电磁干扰; 线性电源的电磁干扰小, 输

* 基金项目: 国家重大科研仪器研制资助项目(61427808)

出电压电流纹波小^[8],设计线性电源驱动 TEC 可使其工作更稳定。

TEC 制冷过程是五大效应综合作用的结果,受其驱动电流、热端散热条件及系统接触热阻等因素多重影响表现出复杂的非线性特征。PID 因结构简单、方便实用常用于半导体制冷控制^[9-10],但 PID 的本质为线性控制,常导致非线性的 TEC 制冷控制系统存在快速性和超调量难以兼得、抗干扰能力差等问题。因此在 TEC 制冷控制的实际应用中,人们将非线性系统理论、智能控制理论等与 PID 控制相结合,提出了多种无需建立复杂热传导模型的 PID 控制算法,实验表明其具有较好的适用性及抗干扰能力^[11-14]。

鉴于以上原因,本文采用 STM32 单片机设计并制作相应制冷控制系统实物,实现模糊 RBF 神经网络 PID 控制策略在该系统的嵌入式应用,并利用 6×3 W 大功率 LED 阵列对该系统进行制冷控制,对制冷效果等进行了实际测量。

1 实验方案

经简化,实验测量装置整体示意图如图 1 所示。源表板卡 P1 通过接收温度反馈值进而根据控制策略调整输出不同大小电流驱动 TEC 以不同制冷效率工作,源表板卡 P2 驱动风扇提高 TEC 热端至塔式散热器传递的热量与空气交换速率,源表板卡 P3 可设置电压、电流大小及驱动模式以驱动 LED 正常工作,测控板卡 MC1 主要功能为测量 LED 热沉温度。板卡 P1、P2、P3、MC1 间通过以太网口及交换机建立连接与 PC 上位机进行数据交互。

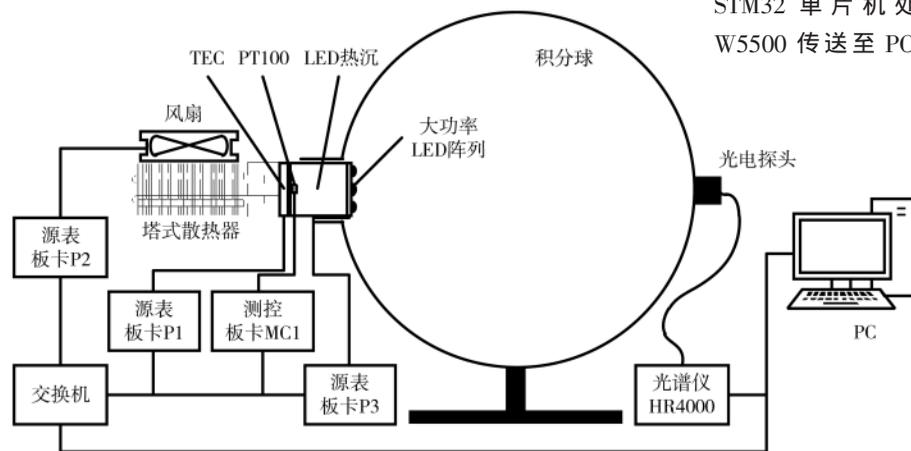


图 1 实验测量装置整体示意图

1.1 系统总体方案

依照分布式与模块化的设计思想,制冷控制系统主要由测控板卡、源表板卡、上位机三部分构成,按照图 2 所示方式进行连接、组合。

该系统以 STM32 作为制冷控制核心,利用嵌入式以太网控制芯片 W5500,通过不同报文帧的设计实现指令上传下达及数据交互。工作时,通过上位机设置预定温

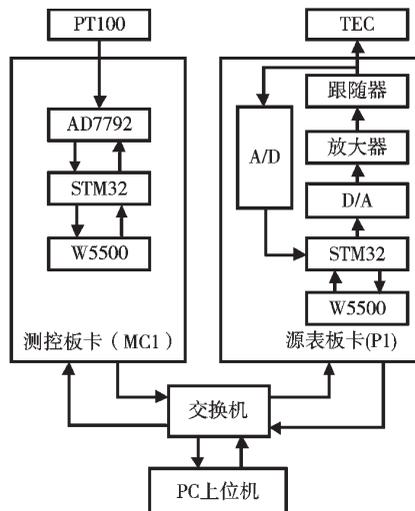


图 2 制冷控制系统组成

度值及制冷控制开启信号后生成参数报文发送至 MC1、P1 分别开启温度采集、制冷控制,PT100 模块采集的电压信号经 AD7792 转换成数字信号交由 STM32 处理生成温度报文后由 W5500 发送至 P1,P1 通过比较设定温度与采集温度的大小输出不同大小的恒定电流,从而驱动 TEC 输出不同的制冷功率,对大功率 LED 阵列进行制冷控制。

1.2 硬件设计

1.2.1 测控板卡

该板卡主要功能为温度测量,温度传感器转换的电压信号经滤波放大及 A/D 转换后经 SPI 总线送入 STM32 单片机处理,STM32 处理后生成温度值送入 W5500 传送至 PC、源表板卡。

为对温度的准确测量,温度传感器的选择尤为重要。铂电阻的稳定度理论上可达 0.1%,其以高稳定度与高测量精度等优势被 ITS-90 国际温标所采用并作为基准测试仪器。本设计采用 IEC751 国际标下的三线制 A 级铂热电阻 PT100,三线制接法在工业上应用成熟,可大大减小导线电阻带来的附加误差^[15]。

PT100 采集所得代表温度变化的阻值信息通过恒流源可转换成电压值方便后续 A/D 处理,本设计采用

ADI 公司生产 24 位 $\Sigma-\Delta$ ADC 内部集成低噪声可编程增益放大器 AD7792 芯片。其不仅自带激励电流源,且内部增益在 1~128 倍间可调,同时 24 位分辨率保证了对象电阻电压变化的辨识能力,均方根噪声仅为 40 nV,满足温度测量的精度需求。图 3 为主要的温度检测电路。

为实现最佳三线式 RTD 配置,需用两个完全匹配的激励电流。在该配置中,若只输出一路激励电流 IOUT1,

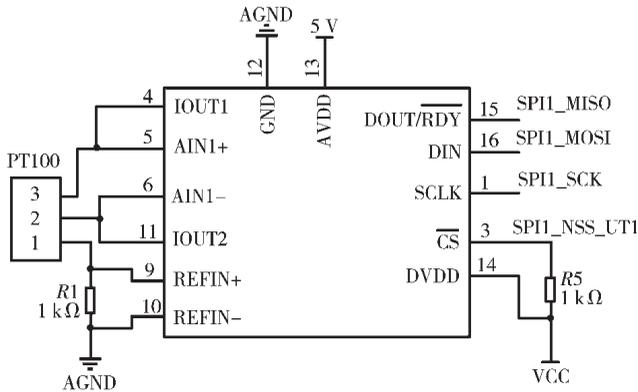


图3 温度采集电路

因PT100引线电阻存在,会在AIN1+引脚与AIN1-引脚间产生电压差,因此需要输出另一路激励电流IOUT2用于补偿IOUT1输出所产生的误差。电流流经REFIN+与REFIN-间的精密电阻可为AD7792提供基准电压,该方案可使模拟电压输入范围随基准电压呈比例变化,同时基准电压变化可补偿任何因激励电流的温漂所导致的模拟输入电压误差,最终保证温度测量的精度与稳定度。

1.2.2 源表板卡

半导体制冷器是电流驱动器件,其制冷功率可通过驱动电流大小调节,输出电流稳定可调、响应时间小、纹波电流小同时具备输出检测反馈的源表设计是半导体制冷器制冷控制精确的基础。

该电源板卡主要包含电压驱动和电流驱动两部分,两者原理基本相同,且本设计最终采用电流驱动半导体制冷器,因此对电流驱动部分进行描述。220 V市电经EMI滤波器、变压器、整流桥、滤波电容后转化为直流电压接入,图4为主要源表电路。

该电路总体为浮地线性电源。左侧光耦TLP521具备隔离功能同时亦能通过副边输出控制MOS管

IRFP250导通或关断进而控制后级输出。最右侧为主体放大电路,设计同时反馈给STM32片内AD采集进而根据PID策略调整DA输出达到恒流目的,其中运放选择为压摆率达 $16\text{ V}/\mu\text{s}$ 、均方根噪声仅为 15 nV 的TL084芯片。其中Q5和Q6是功率对管,用于提高电路驱动能力。C7、C8、C30组合成输出滤波电容,其中D4是稳压二极管有输出过压的抑制作用。该板卡最终可实现电压电流 $0\sim 30\text{ V}$ 、 $0\sim 4\text{ A}$ 调整范围输出,同时板卡装载保险丝,软硬件两方面都具备过流保护作用。

1.3 软件设计

1.3.1 下位机软件设计

下位机软件根据上位机下发的目标参数与开启停止指令来实现对制冷系统的控制。系统下位机软件流程如图5所示。

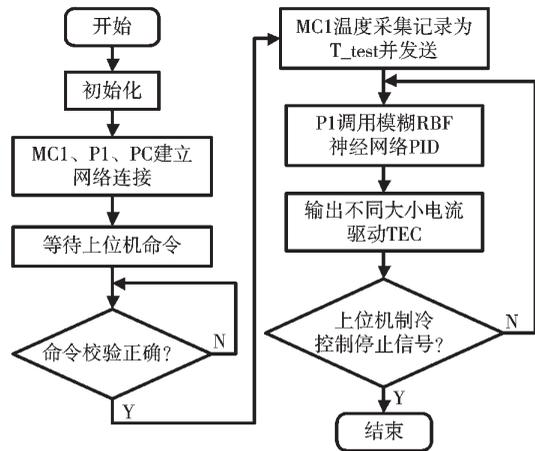


图5 下位机软件流程图

系统上电复位后,开始程序初始化同时MC1、P1、PC建立网络连接,待上位机参数设定后向MC1、P1发送开启制冷控制系统,MC1开启温度采集并发送给P1,P1根

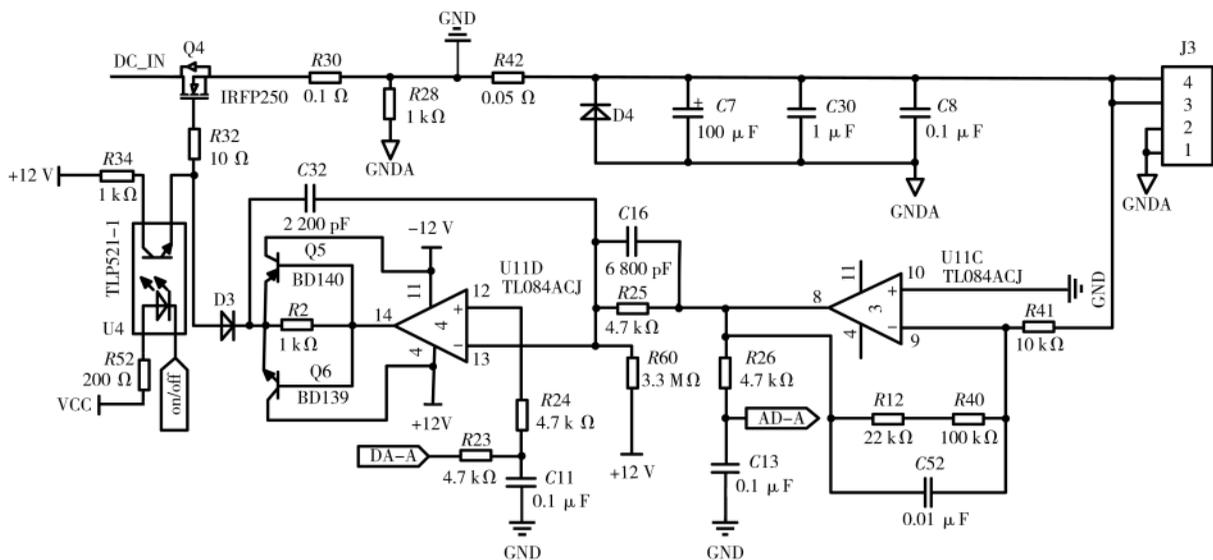


图4 电流驱动电路

据反馈值及设定值调用模糊 RBF 神经网络 PID 进行电输出调节进而驱动 TEC,从而实现制冷控制。当收到上位机制冷控制停止信号后停止制冷控制流程。

1.3.2 模糊 RBF 神经网络 PID

本设计将模糊 RBF 神经网络 PID 嵌入下位机实现。如图 6 所示,以制冷控制温度设定值 $r(k)$ 与检测值 $y(k)$ 的偏差 $e(k)$ 和偏差变化率 $\Delta e(k)$ 为模糊 RBF 神经网络控制器的输入变量,以 PID 增量参数 ΔK_P 、 ΔK_I 、 ΔK_D 为输出变量。模糊 RBF 神经网络以性能指标为目标不断优化神经网络权值,输出最佳 PID 增量参数,PID 控制参数作用于被控对象 TEC 得到实际输出值,以提高半导体制冷温度控制效果。

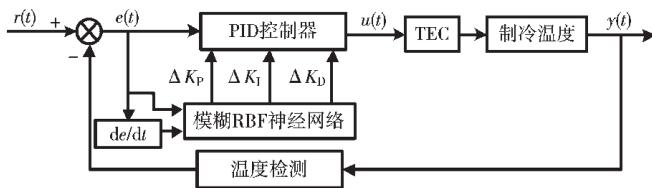


图 6 模糊 RBF 神经网络 PID 控制框图

针对模糊控制结构和 PID 控制器的设计要求,模糊 RBF 神经网络采用两输入三输出四层结形式,其网络结构如图 7 所示。该模糊神经网络第 1~4 层分别为输入层、模糊层、推理层和输出层。

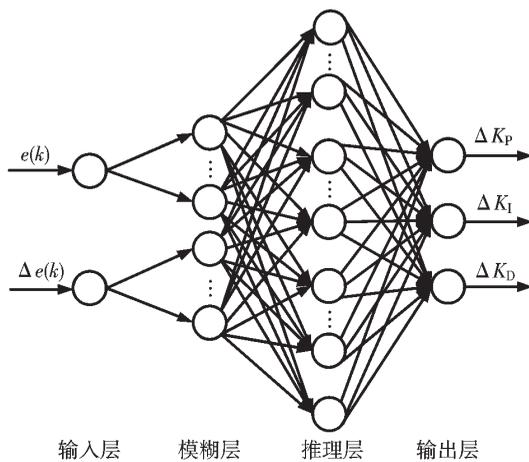


图 7 模糊 RBF 神经网络结构

第一层(输入层):以温度偏差 $e(k)$ 和温度偏差变化率 $\Delta e(k)$ 作为输入量。输入向量 $x=[x_1 \ x_2]^T$, $x_1=e(k)$, $x_2=e(k)-e(k-1)=\Delta e(k)$ 。

第二层(模糊化层):输入向量 $x=[x_1 \ x_2]^T$ 归一至论域 $[-10, 10]$ 。第二层的每个节点代表一个语言变量值,设定 $e(k)$ 和 $\Delta e(k)$ 的模糊子集均为 $\{NB(\text{负大}), NM(\text{负中}), NS(\text{负小}), ZO(\text{零}), PS(\text{正小}), PM(\text{正中}), PB(\text{正大})\}$,其作用为根据隶属函数计算各个输入分量 x_i 的隶属度 μ_i^j ,隶属度函数为高斯型函数,则有:

$$\mu_{ij} = e^{-\frac{(x_i - c_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}} \quad (1)$$

式中, c_{ij} 和 σ_{ij} 分别是第 i 个输入变量第 j 个模糊集合的隶属度函数的中心和宽度, $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m_i$ 。 $n=2$ 是输入量的维数, m_i 为 x_i 的模糊分割数。该层节点数为 14。

c_{ij} 的选取以全交迭、对称和不均匀分布为原则。以 $e(k)$ 为例,隶属度函数如图 8 所示。

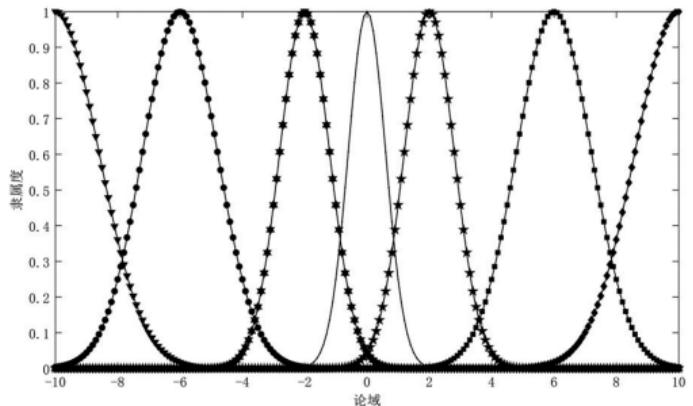


图 8 隶属度函数

输出公式为:

$$O_n^{(1)} = \begin{cases} \mu A_i(x_1), & i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; n=i \\ \mu B_j(x_1), & j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; n=i+7 \end{cases} \quad (2)$$

第三层(模糊推理层):节点数等于输入变量的模糊子集个数乘积,共 49 个节点。该层每个节点代表一条模糊规则,通过与模糊化层的连接完成模糊规则的匹配,实现各节点之间模糊运算,每一个神经元的输出为:

$$O_n^{(3)} = \mu A_i(x_1) \mu B_j(x_1) \quad (3)$$

式中 $j, k=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; n=7(j-1)+k$ 。

第四层(输出层):该层节点数为 3,其作用为实现 PID 参数的增量清晰化,采用重心法:

$$O_n^{(4)} = \frac{\sum_{i=1}^{49} O_i^{(3)} \omega_{ni}}{\sum_{i=1}^{49} O_i^{(3)}} \quad (4)$$

式中 $n=1, 2, 3$ 。

采用梯度下降法改变模糊 RBF 神经网络第三层与第四层之间的连接权值,优化输出。性能指标函数如式(5)所示。

$$J(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (r(k) - y(k))^2 = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (e(k)) \quad (5)$$

式中 m 为每次学习采样个数。

则每次权值的修正量公式为:

$$\Delta \omega_{ni} = -\eta \frac{\partial J(\omega)}{\partial \omega_{ni}} \quad (6)$$

式中 η 为学习速率。

对式(6)分解得:

$$\frac{\partial J(\omega)}{\partial \omega_{li}} = \sum_{n=1}^m \frac{\partial J}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial u(k-1)} \frac{\partial u(k-1)}{\partial O_i^{(4)}(k-1)} \frac{\partial O_i^{(4)}(k-1)}{\partial \omega_{li}} \quad (7)$$

对式(7)中每项进行推算得:

第1项:

$$\frac{\partial J(\omega)}{\partial y(k)} = e(k) \quad (8)$$

第2项:

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k-1)} \approx \text{sgn} \left(\frac{y(k) - y(k-1)}{u(k-1) - u(k-2)} \right) \quad (9)$$

第3项:增量式PID计算公式为:

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i[e(k)] + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (10)$$

将增量式PID计算公式带入权值修正的分解公式

第3项可得:

$$\frac{\partial u(k-1)}{\partial O_i^{(4)}(k-1)} = e(k-1) - e(k-2) \quad (11)$$

$$\frac{\partial u(k-1)}{\partial O_2^{(4)}(k-1)} = e(k-1) \quad (12)$$

$$\frac{\partial u(k-1)}{\partial O_3^{(4)}(k-1)} = e(k-1) - 2e(k-2) + e(k-3) \quad (13)$$

第4项:

$$\frac{\partial O_i^{(4)}(k-1)}{\partial \omega_{li}} = \frac{O_i^{(3)}(k-1)}{\sum_{i=1}^{49} O_i^3(k-1)} \quad (14)$$

由上可得,权值修正量为:

$$\Delta \omega_{li} = -\eta \frac{\partial J(\omega)}{\partial \omega_{li}} = -\eta \sum_{k=1}^m e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k-1)} [e(k-1) - e(k-2)] \frac{O_i^{(3)}(k-1)}{\sum_{i=1}^{49} O_i^3(k-1)} \quad (15)$$

$$\Delta \omega_{2i} = -\eta \frac{\partial J(\omega)}{\partial \omega_{2i}} = -\eta \sum_{k=1}^m e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k-1)} e(k-1) \frac{O_i^{(3)}(k-1)}{\sum_{i=1}^{49} O_i^3(k-1)} \quad (16)$$

$$\Delta \omega_{3i} = -\eta \frac{\partial J(\omega)}{\partial \omega_{3i}} = -\eta \sum_{k=1}^m e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k-1)} [e(k-1) - 2e(k-2) + e(k-3)] \cdot \frac{O_i^{(3)}(k-1)}{\sum_{i=1}^{49} O_i^3(k-1)} \quad (17)$$

每次权值调整公式为:

$$\omega_{li}(k) = \omega_{li}(k-1) + \Delta \omega_{li} \quad (18)$$

式中 k 表示权值修正次数。

1.3.3 上位机软件设计

本文使用 Qt 平台设计开发 TEC 制冷控制上位机方便操作人员控制系统工作、实时观测系统温度状态并记录实验过程数据。上位机软件基于 UDP 协议,通过以太网、交换机与下位机进行通信,利用报文帧的不同设计判别指令与数据报文,采用判断帧头帧尾、数据长度位、异或校验位来保证传输数据的可靠性。操作人员可通过上位机进行参数配置及下达控制命令,实验过程中相关数据可保存为相应 TXT 格式文件,方便后续分析。系统上位机软件界面如图 9 所示。

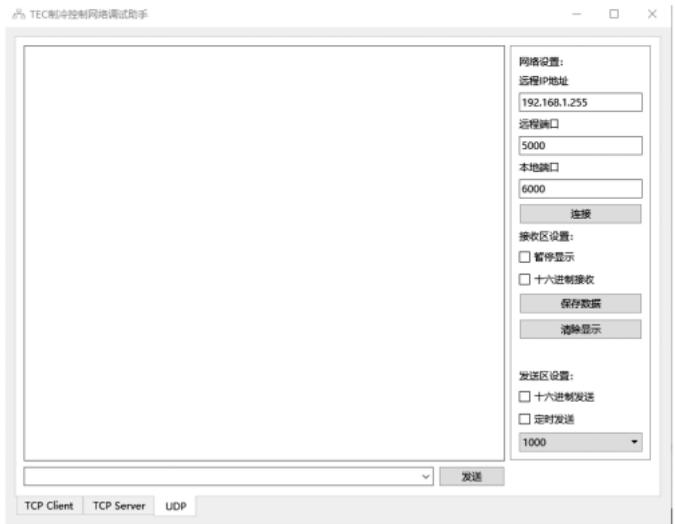
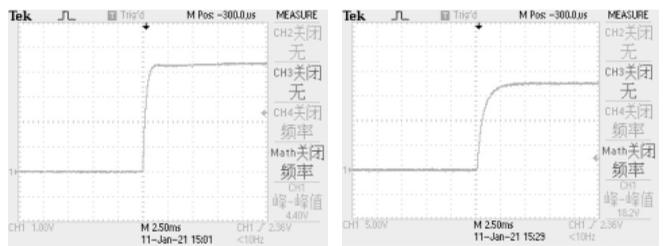


图9 上位机软件界面

2 实验结果

2.1 源表响应时间与稳定性实验

源表响应快、纹波小、稳定度高是 TEC 正常工作及制冷控制高精度的基础。源表外接极限功率 300 W、10 Ω 可调水泥电阻负载,设定不同大小电流后利用 TDS 2024C 示波器对输出电压进行测量,测量所得部分瞬态响应波形如图 10 所示。调整示波器为交流耦合模式,进行纹波测量,所得部分波形如图 11 所示。该板卡可实现电压电流 0~30 V、0~4 A 调整范围输出,在带载情况下设定不同大小电流开出测试时,该源表响应时间范围为 2.5 ms~5 ms,纹波峰峰值范围为 24 mV~38 mV,纹波系数范围为 0.21%~0.55%,满足 TEC 工作及控制需求。



(a) 1 A

(b) 4 A

图10 不同大小电流瞬态响应波形

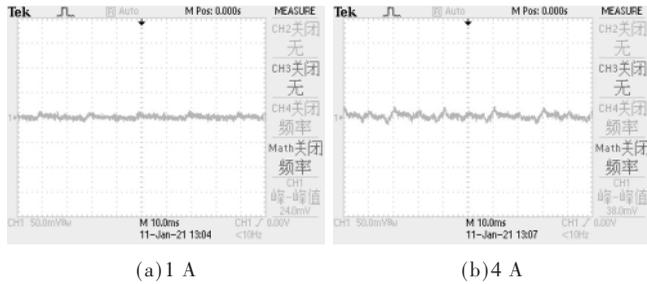


图 11 不同大小电流纹波波形

2.2 大功率 LED 阵列温升实验

利用 6×3 W 的大功率 LED 阵列作为热源, 因需将 LED 阵列置于积分球内对输出光学性能进行监测同时提高阵列散热性能, 设计 Φ46×38 mm 圆柱状 LED 热沉, 将 LED 阵列铝基板与 LED 阵列热沉相连, TEC 冷端与另一端 LED 阵列热沉相连, TEC 热端与带风扇的塔式散热器相连, 通过在各接触面涂抹高导热系数导热硅胶固定连接并降低接触热阻。

实验过程中环境温度保持在 10~14 ℃, 在 TEC 制冷控制未工作时, 对大功率 LED 阵列热沉温度进行测量记录, 绘制如图 12 所示。

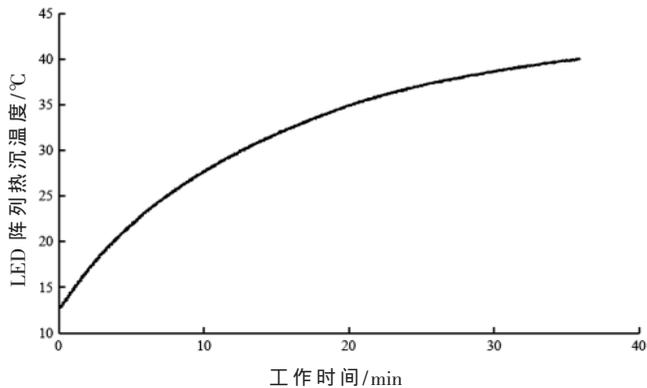


图 12 大功率 LED 阵列热沉升温曲线

该 LED 阵列实际工作功率约为 12.6 W, 在 Φ46×38 mm 圆柱状 LED 热沉条件下, 热沉温度在 36 min 内便上升到 40 ℃ 以上, 并且呈不断上升趋势。说明即使在拥有被动散热条件下, 在未施加制冷控制时, 该 LED 阵列的散热问题仍然非常严重。

2.3 半导体制冷精度及稳定度实验

在环境温度为 11.0 ℃ 时, 通过预整定, 确定 P、I、D 参数的初始值: $K_p=12.0$, $K_i=0.12$, $K_d=0.5$ 。在设定制冷目标温度为 5 ℃ 时, 分别使用常规 PID 与模糊 RBF 神经网络 PID 控制策略, 实验结果如图 13 所示。为了更加清晰地反映两者曲线的差别, 将图中 50 s 至 400 s 控制曲线放大以插图形式展示于右半部。

实验结果表明, 使用常规 PID 控制 TEC 时, 温度从 11.0 ℃ 初次下降到 5 ℃ 需要 90 s, 并且于 182 s 时出现最

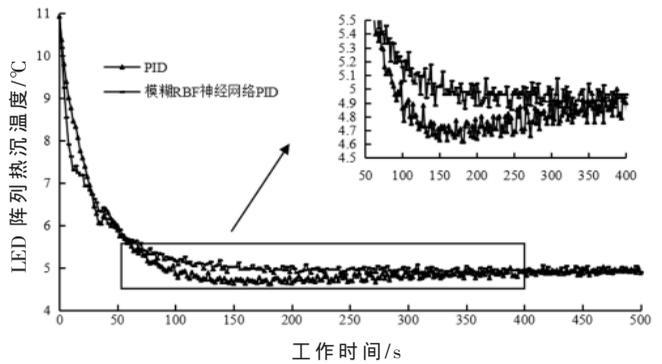


图 13 线性 PID 与模糊 RBF 神经网络 PID 的实验输出对比

大超调, 超调量为 0.38 ℃, 而在 388 s 时才上升至 5 ℃, 此后误差在波动中逐渐减小, 最终温度控制在 5 ± 0.2 ℃ 以内。

在相同条件下, 使用模糊 RBF 神经网络 PID 控制 TEC。相比于常规 PID 控制, 温度从 11.0 ℃ 下降到 5 ℃ 虽然需要 116 s, 但是于 184 s 便已出现最大超调量, 仅为 0.14 ℃, 超调量与超调时间均有改善。而后, 制冷控制系统进入稳态, 在 362 s 后系统便能使温度控制在 5 ± 0.08 ℃ 以内, 经稳定性测试, 其进入稳态后, 系统可将温度控制在 5 ± 0.1 ℃ 以内。

由大功率 LED 阵列温升实验可知, 大功率 LED 阵列的温升是一个非线性过程, 其热沉温度在经过 36 min 便上升到 40 ℃ 以上且呈不断上升趋势, 非常适合作为热源对进入稳态后的系统进行带载及干扰测试。在相同条件下, 对上面进入稳态后的系统于 9 min 时开启大功率 LED 阵列, 测试结果如图 14 所示。

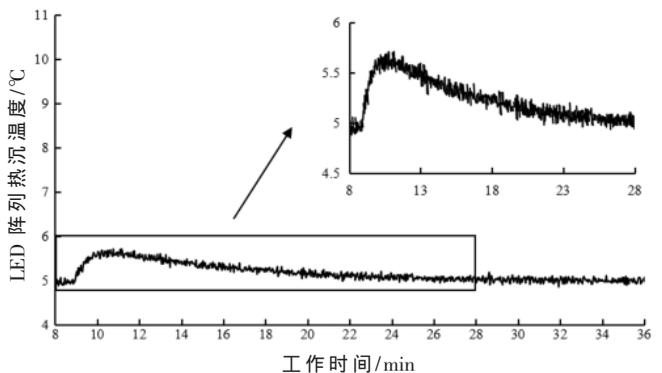


图 14 制冷控制时开启大功率 LED 阵列后热沉温度曲线

由图 14 可知, 9 min 时开启大功率 LED 阵列后, 系统最大偏离 0.7 ℃, 经过 13.5 min 后系统重新降至 5 ℃, 此后系统便能使温度控制在 5 ± 0.1 ℃ 以内, 表明该系统具备较好的带载及抗干扰能力。相较于大功率 LED 阵列经过 36 min 后仍呈温度上升趋势, 该制冷控制系统可大大缩短热平衡时间。

2.4 大功率 LED 阵列光学性能对比

将 6×3 W 大功率 LED 阵列置于积分球内, 利用 Ocean

Optics 光谱仪 HR4000 对其进行光学特性测量, 获得光谱曲线如图 15 所示。

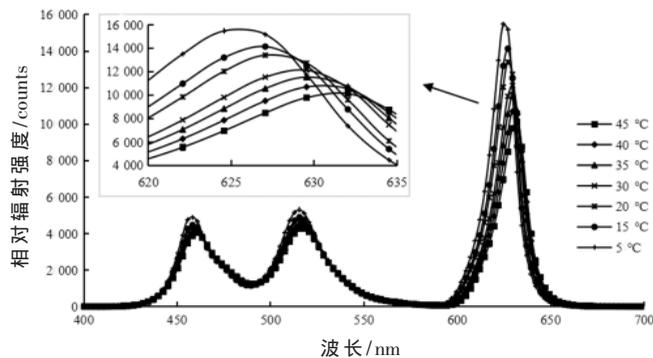


图 15 LED 阵列热沉不同温度下输出光谱对比

图 15 中左部分为蓝光 LED 所发蓝光, 峰值波长为 460 nm 左右, 中间部分为绿光 LED 所发绿光, 峰值波长为 515 nm 左右, 右部分为红光 LED 所发红光, 峰值波长为 625 nm 左右。

随 LED 阵列热沉温度升高, 不同种类 LED 的峰值波长均发生不同程度的红移, 在控制 LED 热沉温度从 5 °C 到 45 °C 过程中, 蓝光 LED 峰值波长从 457.8 nm 偏移至 460.3 nm, 绿光 LED 峰值波长从 515.0 nm 偏移至 517.1 nm, 红光 LED 峰值波长从 625.8 nm 偏移至 631.5 nm; 谱线半高宽随着温度上升不断加大, 其颜色纯度降低, 光强峰值呈不断下降趋势, 红光 LED 的相对辐射强度从 15 706 降至 10 180, 相较于控制 LED 热沉温度为 20 °C 时测量所得相对辐射强度为 13 481 时, 其光强下降可达 24.5%。可见, 良好的制冷控制不仅可防止 LED 阵列因温升所导致的波长、颜色的偏移, 亦可提高其输出光效。

3 结论

本文设计了一套以 STM32 微处理器为控制核心的 TEC 制冷控制系统, 采用上下位机架构, 设计安全可靠的可编程线性电源驱动 TEC 工作, 实现了温度的设定、测量、显示与控制。通过模糊 RBF 神经网络 PID 算法对温度进行控制, 实验证明相较于常规线性 PID, 系统的动态特性大大改善, 在调节时间、超调控制等方面表现出更佳的控制效果, 同时具有一定的抗干扰能力, 该算法对类似的过程控制系统具有一定的参考意义。本文对 LED 阵列光学性能与热沉温度的关系进行测量, 随热沉温度增大, 其峰值波长与颜色均发生不同程度偏移, 施加制冷控制后使其工作温度稳定的同时提高了光效。

参考文献

[1] 田传军, 张希艳, 邹军, 等. 温度对大功率 LED 照明系统

光电参数的影响[J]. 发光学报, 2010, 31(1): 96-100.

[2] 余兴建, 舒伟程, 胡润, 等. 高出品质 LED 封装: 现状及进展[J]. 中国科学: 技术科学, 2017, 47(9): 891-922.

[3] TSAI M Y, CHEN C H, KANG C S. Thermal measurements and analyses of low-cost high-power LED packages and their modules[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 2(5): 845-854.

[4] CHOI J H, SHIN M W. Thermal investigation of LED lighting module[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 52(5): 830-835.

[5] CHUNG C H, YANG K S, CHIEN K H, et al. Heat transfer characteristics in high power LED packaging[J]. Smart Science, 2014, 2(1).

[6] 王怀光, 吴定海, 陈彦龙, 等. 半导体制冷技术研究综述[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(11): 132-134, 137.

[7] 吴雷, 高明, 张涛, 等. 热电制冷的应用与优化综述[J]. 制冷学报, 2019, 40(6): 1-12.

[8] 苏艺俊, 马奎, 胡锐, 等. 智能化分段线性恒流 LED 驱动电源设计[J]. 电子技术应用, 2017, 43(11): 38-42.

[9] 王怀光, 范红波, 任国全, 等. 基于增量式 PID 控制的半导体制冷温控系统[J]. 现代制造工程, 2013(11): 110-113.

[10] 邢素霞, 潘子妍, 王睿, 等. 高精度半导体激光器驱动控制系统设计[J]. 电子测量技术, 2020, 43(17): 174-180.

[11] SONG S J, WANG J J. Dynamic model of thermoelectric cooler and temperature control based on adaptive fuzzy-PID[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 130-134: 1919-1924.

[12] ZHANG J J. Automatic PID temperature control of thermoelectric cooler based on MSP430[J]. Advanced Materials Research, 2013, 709: 404-407.

[13] 曹琳, 李海龙, 刘华坤. 高精度温度控制的半导体制冷系统实验研究[J]. 南京理工大学学报, 2019, 43(3): 345-352.

[14] 吴聿聪, 杨遂军, 丁炯, 等. 基于斯特林散热的半导体制冷器温度控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2019(11): 53-56, 60.

[15] 蔡改贫, 熊洋, 许琴. 基于 STM32 的球磨机运行状态监测系统设计[J]. 电子技术应用, 2015, 41(3): 72-74.

(收稿日期: 2021-01-30)

作者简介:

钱依凡(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统。

薛凌云(1967-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向: 自动控制与检测、嵌入式系统。

洪哲扬(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所