

·光电系统·

基于MSP430F449的半导体激光器温控系统设计

张悦玲, 杨绍岩, 张晓娟

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要:为了改善传统的半导体激光器温度控制系统体积大、噪音大且精度有限等缺点,研制开发了一种基于MSP430F449单片机与DS18B20数字温度传感器的半导体激光器温控系统。结合PID控制算法,利用PWM脉宽调制,控制热电制冷器的驱动电流,实现对激光器的恒温控制。实验表明,该系统温控精度优于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,能够为半导体激光器提供稳定的温度环境。

关键词: MSP430F449; 数字温度传感器; PWM; 热电制冷器

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)03-0010-04

Design of Temperature Control System of Semiconductor Laser Based on MSP430F449

ZHANG Yue-ling, YANG Shao-yan, ZHANG Xiao-juan

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China)

Abstract: To overcome the shortcomings such as big volume, big noise and limited control precision of the traditional temperature control system of the semiconductor laser, a temperature control system of the semiconductor laser is developed based on the MSP430F449 single chip and DS18B20 digital temperature sensor. In the system, the drive current is controlled by using PWM pulse width modulation and combining with PID algorithm, so the constant temperature of the laser is controlled. The experiment results show that the temperature control precision of the system is better than $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, and steady temperature condition can be offered for the semiconductor laser.

Key words: MSP430F449; digital temperature sensor; PWM; thermoelectric cooler (TEC)

半导体激光器体积小、质量轻、转换效率高、使用方便。半导体激光器的运行与驱动电流和工作温度密切相关,电流、温度的起伏会引起光功率的变化,影响输出的准确、稳定。半导体激光器对温度很敏感,温度升高,阈值电流上升,导致输出光功率下降,波长增大。因此需要精确测量和控制激光器的工作温度,保证半导体激光器具有最大的效率和最小的功率波动,并使工作波长稳定^[1-5]。

目前在半导体激光器的温控系统中大部分是全硬件控制,存在电路复杂,自动化程度低等缺点,本系统采用软硬件相结合的方案,有利于提高系统集成度、抗干扰能力和自适应能力,同时减少系统的功耗

和体积。系统使用数字传感器DS18B20,改善了以往传统型温度传感器外围电路复杂,抗干扰性弱、灵敏度低等缺点,直接以数字信号的形式传输给微处理器进行数据采集。结合PID控制算法,利用PWM脉宽调制,控制热电制冷器的驱动电流,实现对激光器的恒温控制。系统有效解决了半导体激光器工作稳定和可靠性问题,进一步提高了半导体激光器的输出指标。

1 系统设计原理与组成

1.1 系统设计原理

收稿日期: 2012-04-19

基金项目: 国家部委基金(9140C150104100C1501)

作者简介: 张悦玲(1979-),女,黑龙江哈尔滨人,工程师,主要从事电路设计与信号处理技术研究。

1.1.1 温度对半导体激光器工作特性的影响

尽管半导体激光器的电光转换效率很高,但也存在各种非辐射复合损耗、自由载流子吸收等损耗机制,使其外微量子效率只能达到20%~30%,也就是说相当部分注入的电功率转化为热量,引起激光器温度升高。

温度对激光器的影响主要有:温度对阈值电流的影响,随着温度升高将引起阈值电流增大,使输出功率下降;温度对 $V-I$ 关系的影响,当注入电流相等时,温度越高的激光器对应的正向压降也越大;温度对输出波长的影响,由于有源层材料的禁带宽度随着温度升高而变窄,使激射波长向长波方向移动,因此可以用温度控制来微调输出激光的峰值波长,以满足对波长要求严格的激光器应用;温度对 $P-I$ 曲线非线性的影响,理想状态下,半导体激光器的 $P-I$ 应该是线性的,PN结过热是产生非线性的原因之一,来源于有源区横(侧)模的不稳定性也是出现 $P-I$ 曲线非线性的主要原因;温度升高还会增加内部缺陷,严重影响激光器的寿命,数据表明,温度每升高25℃,激光器的寿命将减少一半。所以必须给激光器提供恒定而且高度稳定的工作温度,才能保证激光器稳定的输出功率和输出波长。

1.1.2 半导体激光器温控系统组成

该系统主要由以MSP430F449单片机为主控芯片的温度检测电路、温度控制电路、温度显示电路、串口通信电路、温度设定及显示电路、故障检测和报警电路等组成。系统采用MSP430F449作为处理器来实现其对温度的采样、PID控制、以及PWM信号输出,温度检测传感器采用DS18B20。为了方便初期的调试,系统采用RS485串行接口,将采集的数据发往PC机上进行实时的监控,也可以通过上位机进行温度预设。键盘电路具有控制系统的启停、复位以及温度手动给定的功能。同时,采用7段数码管实时显示当前工作

温度值,设置故障检测和报警电路增加系统的可靠性和稳定性。系统组成原理框图如图1所示。

使用MSP430F449对半导体激光器进行温度控制,能有效地增强整机的自动化程度,提高温控器性能价格比,简化硬件结构,为系统的功能扩展,提供了有利条件。

1.2 系统硬件设计

1.2.1 温度检测电路设计

要对半导体激光器的工作温度进行精确的恒温控制,首先要测量所控制目标的当前温度值。在系统中,具体采用美国DALLAS公司生产的单线数字温度传感器DS18B20作为检测元件,与单片机MSP430F449以串行方式通信,以数字信号的形式将当前工作温度值传输到处理器,经过数据处理后,输出给温度控制电路进行温度的精确控制。

DS18B20具有结构简单、体积小、功耗小、抗干扰能力强、使用简单等优点^[6]。特别适合与微处理芯片构成温度测控系统,该芯片测温范围为 $-55\text{℃} \sim +125\text{℃}$,分辨率为9~12位,与传统的热敏电阻相比,它能够直接读出被测温度,并且可根据实际要求通过简单的编程来实现9~12位的数值读取方式。温度转换功率来源于数据总线,因而使用DS18B20温度芯片可使系统结构更趋简单。当给DS18B20上电后,MSP430F449可以通过DQ写入命令,并可读出含有温度信息的数字量。DS18B20温度传感器的内部存储器包括一个高速暂存RAM和一个非易失性的可电擦除的E²PRAM。高速暂存RAM中第5个字节的内容确定温度传感器的数字转换分辨率。设定的分辨率越高,所需要的温度转换时间就越长,转换分辨率由其寄存器R0、R1两位的状态决定。在这里,R0、R1分别设为1^[7],取分辨率12位,相应的测量精度为0.0625℃,需要的转换时间为750μs。

DS18B20数字传感器的内部结构图如图2所示。其在工作时必须严格按照单片机总线器件的工作时序进行^[8]。

(1)对DS18B20复位及写数据工作时序:首先MSP430F449要发送出一个复位脉冲,使传感器复位。MSP430F449将数据线拉低并保持480~960μs,然后再将数据线进行释放。再由上拉电阻拉高15~60μs,后再由DS18B20发出低电平60~240

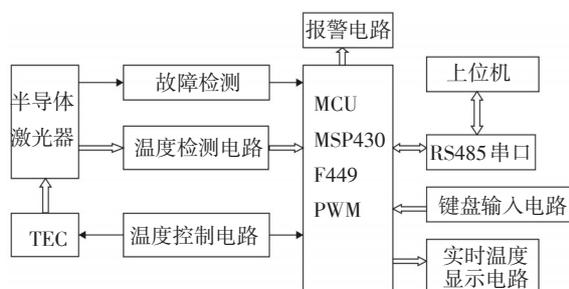


图1 系统原理框图

μs 。然后MSP430F449对该传感器写数据。再将数据线拉低,再写入数据。直到写入的数据有所变化。写数据持续时间应大于 $60\ \mu\text{s}$ 且小于 $120\ \mu\text{s}$,两次写操作时间间隔要大于 $1\ \mu\text{s}$ 。

(2) MSP430F449读DS18B20数据工作时序: MSP430F449会先将数据线拉低,在 $15\ \mu\text{s}$ 之内就得释放单总线,DS18B20在数据线上从高电平跳低之后又在短时间内将数据输送到数据线上,再由MSP430F449立刻读取数据,多次调试得到此系统中DS18B20在完成一个读时序过程,至少需要 $60\ \mu\text{s}$ 。

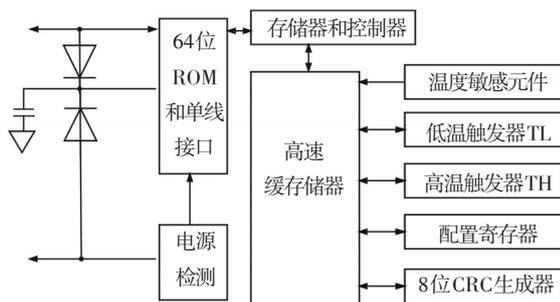


图2 DS18B20内部结构图

1.2.2 温度控制电路设计

考虑到半导体激光器比较小巧,因此温度控制器也应该有较小的体积,半导体致冷器能很好地满足这个要求^[9]。使用的热电制冷装置是由热电效应比较显著、热电致冷功率比较高的热电制冷器(TEC)构成。温度传感器将测得温度转变为数字信号,送入MSP430F449进行数据处理后,经过PID控制后,得出热电制冷器的驱动信号,调整数字电位器值,从而改变驱动电压,经功率放大后转换成电流驱动热电制冷器。

对TEC采用PWM驱动器控制^[10]。PWM由MSP430F449单片机的定时器产生,通过改变定时寄存器的值来改变PWM的占空比,计数方式采用连续增计数模式,PWM占空比值与T1的三角波数据比较,输出PWM信号经过140N10放大,实现TEC电流的改变,已达到控制半导体制冷片工作的目的。

根据前面叙述,为了使系统具有良好的瞬态响应、控制精度和较强的抗干扰能力,用DS18B20读取

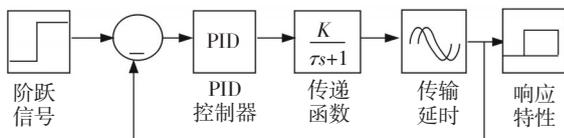


图3 PID控制原理框图

温度采样值,采用数字PID控制^[5],其控制原理框图如图3所示。

在温度控制过程中,数字温度传感器DS18B20和TEC都具有一定的热惯性,可以用一阶惯性环节来描述^[11],温控系统的传递函数为

$$H(s) = \frac{(K_P + \frac{1}{\tau_1 s})}{1 + (K_P + \frac{1}{\tau_1 s}) * \frac{1}{\tau_2 s}} = \frac{K_P \tau_1 \tau_2 s^2 + (K_P \tau_1 + \tau_2) s + 1}{\tau_1 \tau_2 s^2 + \tau_1 (K_P + 1) s + 1} \quad (1)$$

式中, K_P 表示温度控制的比例系数; τ_1 表示PI环节的积分时间常数; τ_2 表示惯性时间常数。

$$\text{令 } \xi = \frac{K_P + 1}{2} \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}}, \xi \text{ 为阻尼比, 在这里, } \tau_1 = 1 \text{ s,}$$

根据温度传感器和TEC的特性参数 τ_2 约为 $25\ \text{s}$,调节 K_P 即可改变阻尼比 ξ 。 ξ 太大或者太小都会影响系统的稳定性。实验发现, ξ 在 $0.6 \sim 0.8$ 之间时,系统的响应在最短时间内趋于稳定。

采取直接测量的方法^[5],先设定在某时刻 $t=t_0$ 驱动TEC对激光器制冷,即对模型施加阶跃信号,测量激光器温度响应即得到该系统的阶跃响应特性。

多次测量拟合得到结果平均后作为最终结果,参与仿真。选择合适的PID参数进行实际控温试验,最终整定PID参数。

1.2.3 温度显示及通讯接口设计

为了实时显示当前温度信息,采用MSP430F449驱动3个LED十进制数码显示,方便人工监测,系统同PC机的数据通信要通过RS485串行接口进行,采用MAXIM公司生产的MAX485作为接口的电平转换芯片^[9],MAX485包含两路接收器和驱动器,RS-485总线相对于其他的总线系统而言,结构更简单、软件更丰富。通过串口通信可以实现上位机对系统的控制启停、温度设定等功能,同时也可以实时将采集到的当前温度信息及故障检测信息传送给PC机,以便实现系统的自动化控制功能。

1.3 系统软件设计

半导体激光器温控系统的软件采用模块化方法进行编程,由主程序、温度采集子程序、温度显示程序、温度控制子程序、中断控制程序等组成。其中主程序完成系统初始化和对采集到的温度进行计算

等;温度采集子程序主要完成由温度传感器传送数据的处理;温度显示子程序完成向数码的显示送数;中断控制程序则实现串口通信、键盘输入等功能。程序流程图如图4所示。

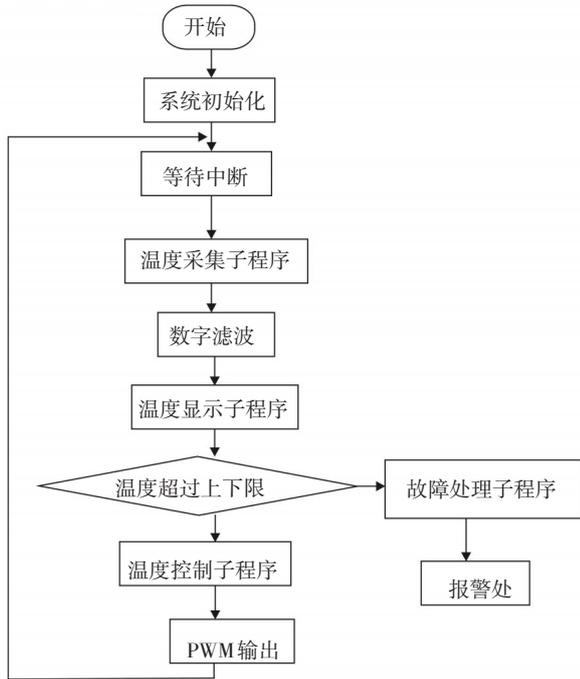


图4 温控器软件程序流程图

2 实验结果

完成以上程序编写后,首先利用仿真器进行温度测量模拟,设定温度在25℃,利用快速观测窗口检

表1 温度控制实验数据表

| 设定温度值/℃ | 测得温度值/℃ | 稳定时间/s |
|---------|---------|--------|
| 20.00 | 20.06 | <120 |
| 23.50 | 23.53 | <120 |
| 25.00 | 25.04 | <120 |
| 27.50 | 27.46 | <120 |

测到的温度值为24.87℃。在实际测试工作中,在外界温度为31℃时,设定不同温度值时,该温度控制系统能使被控物体的温度稳定在设定温度值上下,温

度稳定时间小于120s,精度可达到0.1℃以下,达到了系统温控要求。实验数据如表1所示。

3 结束语

采用MSP430F449单片机的高速处理能力,结合DS18B20精准的温度读取能力,以及利用PID控制,开发出的新型高精度、高集成度的半导体激光器温控系统,经过实验验证,系统的控制精度达到±0.1℃,能够达到良好的控温效果。该系统性能稳定,实用性强,有很高的抗干扰能力和较高的精度,且能进行频率、脉宽调节,不仅适用于半导体激光器温度控制,而且适用于抗干扰要求较高的其他温度的采集与控制系统。

参考文献

- [1] 李智奇,白小平,陈晓龙,等.MSP430系列超低功耗单片机原理与系统设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,2008:307-312.
- [2] 徐兴建,袁自钧,赵永礼,等.基于DSP与数字温度传感器的温度控制系统[J].现代电子技术,2010(9):129-131.
- [3] 陈大勇,张立航.LD在开关电源驱动下的结温与输出特性研究[J].光电技术应用,2010,25(3):35-37.
- [4] 惠兆峰,白泽生.新型数字温度传感器DS18B20原理及其应用研究[J].延安大学学报,2010,29(1):59-61.
- [5] 江文杰,蔡建乐,林业风,等.基于ADuc812的半导体激光器智能温控及驱动电源设计[J].科学技术与工程,2007,7(10):2221-2224.
- [6] 马云峰.数字温度传感器DS18B20的原理与应用[J].世界电子元器件,2002(1):47-48.
- [7] 孙传友,孙晓斌,汉泽西,等.测控系统原理与设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002:162-166.
- [8] 徐明梓.基于单片机的温控装置系统[J].信息与电脑,2010(2):42-44.
- [9] 贾文超,刘增俊,李娟娟,等.基于FPGA的半导体激光器驱动电源的设计[J].气象水文海洋仪器,2008(3):48-51.
- [10] 刘泊,曹瑞明.基于单片机的LD控制系统的设计[J].应用光学,2008,29(2):203-206.
- [11] 崔玮,徐根林.DSP和DS18B20的温度测量系统[J].微机计算机信息,2007,23(14):166-168.