

·光电系统·

高温环境下高功率半导体激光器驱动电源设计

周冠军, 张雪松, 蔡军, 杨海波

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要: 半导体激光器驱动电源的性能直接影响着激光输出稳定性和激光器寿命。给出了40℃高温环境下100 W高功率光纤耦合半导体激光器模块的驱动电源设计方法, 主要包括: 恒流源设计、TEC双向温度控制器及相应的单片机控制器和保护电路设计等。该驱动电源实现了电流输出范围0~45 A连续可调, 电流控制精度优于1%; 控温范围+15℃~+35℃, 控温精度0.5℃。

关键词: 高功率半导体激光器; 恒流源; TEC温度控制器; 单片机控制器

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)05-0001-04

Design of High-power Diode Laser Driver under High-temperature Environment

ZHOU Guan-jun, ZHANG Xue-song, CAI Jun, YANG Hai-bo

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

Abstract: The output stability and life of laser devices are directly affected by the performances of diode laser drivers. A design method of 100 W high-power fiber coupled diode laser module driver is described under 40℃ high-temperature environment, which includes the design of constant-current sources, a temperature controller with TEC double directions, corresponding MCU controllers and protection circuits. The following functions of diode laser driver are obtained, i.e. the output current can be continuously adjusted from 0 A to 45 A, the current control accuracy is better than 1%, the range of temperature control is +15℃~+35℃ and temperature control precision is 0.5℃.

Key words: high-power diode laser; constant-current source; TEC temperature controller; MCU controller

半导体激光器又称激光二极管(laser diode, LD), 近年来随着半导体激光技术的日趋成熟, 半导体激光器的应用范围也越来越广泛^[1]。由于半导体激光器具有体积小、质量轻、电光转换效率高和寿命长等优点, 因此在材料加工、激光打标、激光打印、激光扫描、激光测距、激光存储、激光显示、激光照明、激光医疗等民用领域, 以及激光打靶、激光制导、激光夜视、激光武器等军事领域得到广泛应用^[1]。除了可以直接利用外, 也可以用作二极管泵浦固体激光器(diode pump solid state laser, DPSSL)及光纤激光器的泵浦源。

统计表明, 激光器失效有约25%是由激光器本身造成的, 约25%是由使用不当造成的, 约50%的原因是由其驱动电源造成的, 可见半导体激光器驱动电源是系统的重要组成部分, 其性能直接影响电光转换效率、激光输出稳定性和激光器寿命。文中介绍了高温工作环境下大功率半导体激光器的驱动电源设计, 主要内容包括恒流源、双向温控器、单片机控制器和保护电路等方面设计。

1 系统组成

大功率半导体激光器驱动电源系统采用模块化

收稿日期: 2012-08-16

基金项目: 国家973计划资助项目(6131310220)

作者简介: 周冠军(1975-), 男, 河北唐山人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为自动控制技术。

的设计思路,这样如果系统中的某个模块出现问题,不会影响到其他模块的工作,同时也有利于系统的调试和维护。

该系统主要由半导体激光器模块、恒流源驱动模块、TEC双向温控器模块、单片机控制器模块等组成,系统特别适合于对DILAS公司100 W高功率光纤耦合输出模块(M1F4S22-795.3-90C-IS9.2MP)的驱动,系统组成框图如图1所示。

恒流源:驱动半导体激光器模块,通过调节驱动电流的大小,控制输出激光功率的大小。

TEC双向温度控制器:通过加热或者制冷的方式,控制半导体激光器工作在给定温度。

单片机控制器:控制半导体激光器的工作状态,

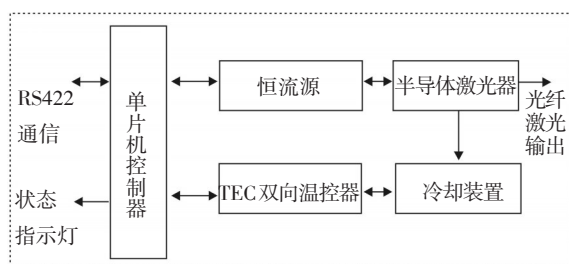


图1 系统原理框图

控制给定驱动电流和给定温控的大小,同时检测实际驱动电流和实际控制温度,并通过RS422串行通信端口可以接收上位机的控制。

冷却装置:主要包括TEC、散热器和风扇,排出半导体激光器和TEC工作时产生的热量,保证半导体激光器工作温度稳定。

RS422通信接口:与上位机进行通讯,接收上位机命令,并返回当前工作状态。

恒流源驱动电路板、TEC双向温控电路板和单片机控制电路板连接如图2所示。

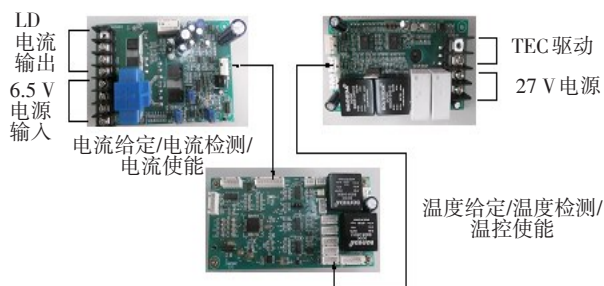


图2 恒流源、温控器和单片机控制器连接关系图

2 恒流源

半导体激光器选用DILAS公司的100 W高功率光纤耦合输出半导体激光器模块,其主要参数包括:功率:94.6 W/43 A;阈值电流:6.2 A;斜坡效率:2.84 W/A;效率:42.4%;UF:5.18 V;温度:24.5 °C;波长(中心):793.7 nm^[2]。

该半导体激光器模块的驱动电流、电压和激光功率输出特性曲线如图3所示。恒流源功能框图如图4所示。

恒流源的设计除了考虑驱动半导体激光器以外,还需要考虑激光器的保护。本小节主要介绍激光器的恒流源驱动,后面第5小节专门介绍激光器的保护。

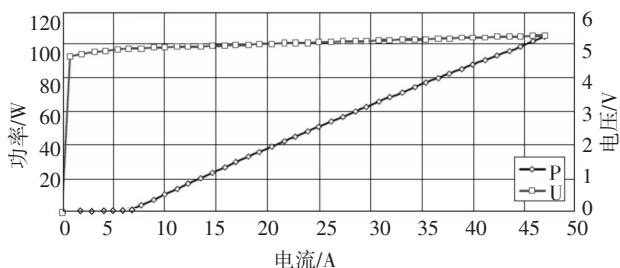


图3 激光输出功率、电压与驱动电流的关系特性

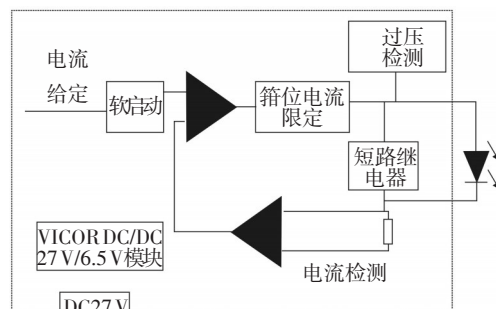


图4 恒流源功能框图

半导体激光器本质上是电流型器件,因此其驱动采用恒流源。设计中恒流源的最大输出电流限定到45 A,大功率MOSFET作为电流调整器件。恒流源利用电流闭环负反馈原理来稳定输出电流,其组成包括:DC/DC电压变换器、电流给定输入电路、误差比较放大电路、电流采样、电流调节输出电路和保护电路等部分组成。

由于总电源输入电压是27 V,故选用VICOR公司的DC/DC电压变换模块。它输出稳定直流电压6.5 V,额定输出功率达300 W,并且具有体积小,效率高,可靠性好等优点。

电流调整器件采用大功率MOSFET,因为输出电流较大,所以采用4个大功率MOSFET并联的形式来扩大输出电流。其导通电流的大小取决于 V_{GS} 的驱动电压大小,因此通过调节 V_{GS} 就能够调节输出电流。采用高速、高稳定的运算放大器作为深度负反馈控制,保证电流调节能在很短的时间内完成大电流转换。为了防止开机瞬态,采用了软启动电路,启动时间大于100 ms。

考虑到采样电流较大,如果采用传统电阻方式来采样电流,就需要考虑其散热问题,这势必增加电路的复杂性;如果选用霍尔电流传感器检测电流,由于其发热很小,发热可以忽略,且由于其输出信号与电流检测电路是隔离的,因此霍尔电流传感器非常适用于本系统中的大电流采样。

3 双向温度控制器

半导体激光器的激光输出波长与其工作温度有关,温度变化时,激光器输出波长也会随之变化。因此要保证激光器具有稳定的波长输出,就必须使其工作在稳定的温度下。

TEC热电温度控制系统设计主要包括:热负载分析、TEC选择、温度传感器选择、温控器设计、散热器设计、风机选择、风道设计以及合理的装配。

系统的工作环境温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,半导体激光器正常工作温度 $+24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此温度控制器设计成即能加热又能制冷的双向控温模式。

该模块的电光转换效率为42%,这也意味着有58%的电转换成了热量。当100 W激光最大功率输出时,模块所产生的热量 P_{MAX} 为

$$P_{MAX} = 100\text{W}/(42\%) \times 58\% = 138\text{W} \quad (1)$$

TEC需要转移的热量除了LD模块本身产生的热功率 P_{ACTIVE} 外,还有LD模块从周围环境中吸收的热功率 $P_{PASSIVE}$, $P_{PASSIVE}$ 包括传导热功率 P_{COND} 、辐射功率 P_{RAD} 和对流热功率 P_{CONV} 。通过对LD模块外加热屏蔽盒,可以有效减少LD模块以对流和辐射的方式从周围环境中吸收热功率。一般情况下,通过测温传感器连接和制冷块安装进行的传导热功率忽略不计,则需要TEC冷面转移的热功率是

$$P_{PUMP} = P_{ACTIVE} + P_{PASSIVE} = P_{ACTIVE} + P_{COND} + P_{CONV} + P_{RAD} \quad (2)$$

半导体激光器模块的主要散热路径是:模块通过传导方式把热量传递给制冷块。TEC利用热电效

应把制冷块上的热量转移到TEC的冷面,也即散热器上。然后散热器吸收TEC冷面所转移的热量和TEC本身所产生的热量,然后通过强迫风冷的方式把这个热量散到周围环境中去。TEC热电温度控制系统原理图如图5所示。

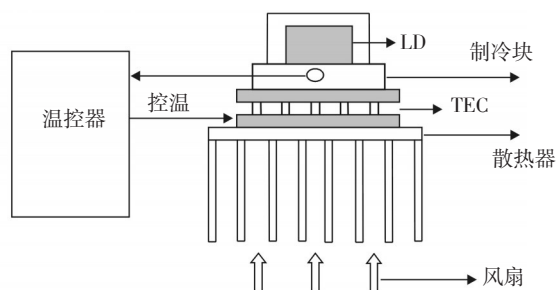


图5 TEC热电温度控制系统原理图

当最高环境温度是 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,半导体激光器模块温度是 $24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,散热器温升最大 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,则TEC冷、热面之间的温差计算如下

$$T_{\Delta} = T_H - T_C = (40 + 15) - 24.5 = 30.5\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

考虑到驱动TEC的功率较大,温度控制器采用PWM开关输出方式来驱动TEC,同时为了减小大功率MOSFET开关管自身所产生的热量,温控器把PWM频率设定在100 Hz。由于热敏电阻具有灵敏度高、体积小和费用低的特点,采用10 k Ω 负温度系统的热敏电阻用于检测温度。

一个热电温度控制系统设计主要包括:热负载分析、TEC选择、温度传感器选择、温控器设计、散热器设计、风机选择、风道设计以及合理的装配。只有这些组成全部设计合理,才能形成一个好的热电温度控制系统。

4 单片机控制器

单片机控制器是整个电源系统的控制核心,其原理框图如图6所示。

单片机芯片选用美国AD公司的ADUC842,它采用8052内核,具有8路ADC和2路DAC控制器,一个串口和一个I²C接口。RS422接口用于和上位机进行串行通讯,DAC7574是一个低功耗,4通道12位电压输出的DAC,它利用I²C接口与单片机控制器通讯,扩展控制器的DAC数量。5 V基准电压源用作片内电压基准,200 μA 恒流源用于检测半导体激光内部温度^[8]。

控制器软件采用C51语言进行模块化设计,主要

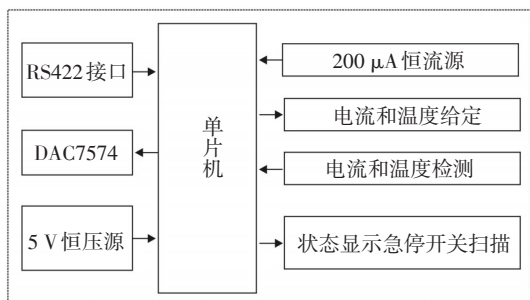


图6 单片机控制器原理框图

包括主程序和中断响应子程序两部分。其中主程序实现对系统的初始化、软启动、软关断、急停按键扫描、实际LD电流检测、实际LD温度检测、接收上位机指令和反馈系统状态等。

整个程序以扫描和中断方式相互配合形成一个有机整体来完成各项功能。主程序工作流程图如图7所示。

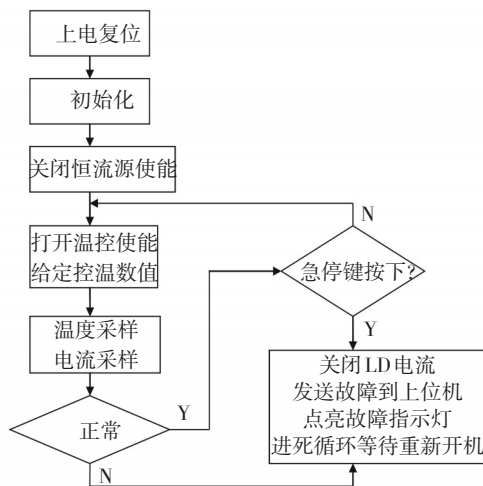


图7 主程序工作流程图

5 半导体激光器的保护

半导体激光器模块是整个系统中的核心器件且比较贵重,因此为了避免时间和经济上损失,需要对其设计完善的保护电路^[9]。能够导致半导体激光器失效的因素主要有电流冲击、过流、过温、反向电压和静电释放(ESD)。

半导体激光器是一种结型器件,浪涌使半导体激光器瞬时承受过电压而可使PN结击穿,在瞬时过电压下的正向过电流所产生的光功率可以使解理面损伤,即使在数纳秒的时间内超过半导体激光器最大允许电流,也会使其损坏。对电流冲击的保护措施主要利用软启动或软关断来实现,在激光器电流

给定的输入端的 R 、 C 积分电路,使电流给定信号以缓升或缓降的方式给定;同时在单片机控制器软件中也加入了软启动和软关断,比如当关闭半导体激光器输出时,控制器以一个较小的步距逐步把激光器电流降到0。

半导体激光器在超过规定的工作温度下,会增加其阈值电流,降低其斜坡效率,同时会加快激光器的老化并将造成激光器的损坏,因此要对激光器采取过温保护。文中激光器工作温度范围是 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,如果单片机控制器检测到半导体激光器温度超过上限 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$,则控制器停止激光器的输出,并且发出温度报警指示。

反向电压和静电释放保护电路原理图如图8所示。

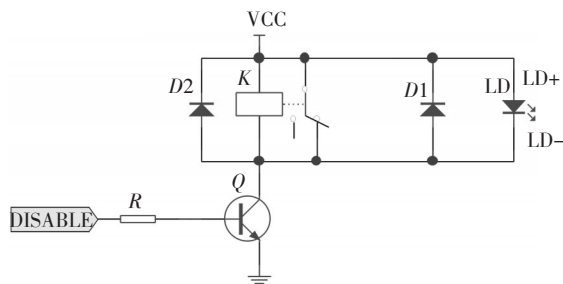


图8 反向电压和静电保护电路原理图

超过 $25\text{ }\mu\text{A}$ 的瞬时反向电流或者大于 2 V 的反向电压就会损坏半导体激光器,因此必须对半导体激光器采取适当的反向电压保护。为此在半导体激光器两端并联一个瞬态抑制保护二极管 $D1$,这样当对半导体激光器加反向电压时,瞬态抑制二极管立即导通,因此就会把激光器两端的电压箝位在一个很低的水平,这样就防止了激光器的反向击穿。

半导体激光器,像多数半导体器件一样对静电释放很敏感,静电释放会使PN结发生静电损伤或击穿,因此应该按照ESD防护进行使用和储存^[10]。对静电释放的保护措施主要依靠并联在激光器两端的继电器 K 的一组常闭触点来实现。当激光器工作时,这组常闭触点首先打开,这时激光器电流可以正常给定;当激光器不工作时,其两端的继电器触点保持常闭状态,也即短路状态。

6 实验结果及结论

实验测试结果证明,系统能够在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温环境
(下转第9页)

负延迟模块使得触发后电路采集过程还能持续一定的时间,存储器是循环存储,负延迟的设计保证了被测信号的完整,负延迟模块通过18位计数器来实现。

5 结 论

介绍了基于CPLD的C8051F单片机高速数据采集系统的设计方法,详细阐述了CPLD各模块的设计方法,通过时序仿真验证了系统设计的正确性与可行性。该系统在实践中应用于某项目的爆炸压力信号的测量中,实现了数据的采集存储与读取。试验结果证明,该系统能够满足空间狭小的测试环境和高速采集的要求,稳定可靠。

参考文献

[1] 万光毅,孙九安,蔡建平. SoC单片机实验、实践与应用设计—基于C8051F020系列[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.

- [2] 周兴华.手把手教你CPLD/FPGA与单片机联合设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [3] 马佰振,原晓洁,范锦彪.基于CPLD的4通道存储测试系统设计[J]. 电子测试,2011(8):48-52.
- [4] J E Scott.铁电存储器[M]. 北京:清华大学出版社出版,2004:46-54.
- [5] 赵振华,赵小庆.串行FRAM FM25H20原理及应用[J]. 国外电子元器件,2008(10):41-45.
- [6] 童长飞.C8051F系列单片机开发与C语言编程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [7] 张迎新,雷文,姚静波.C8051F系列SOC单片机原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [8] 薛小刚,葛毅敏. Xilinx ISE 9.X FPGA/CPLD设计指南[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [9] 侯伯亨,刘凯,顾新.VHDL硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.
- [10] Analog Device AD7274 Data Sheet 2005[S].
- [11] 朱仕永,祖静,范锦彪. 基于CPLD的弹载加速度存储测试仪[J]. 探测与控制学报,2009(3):43-46.
- [12] 巩林萍,张凯,祖静,等.基于CPLD的可变频采样存储测试系统的设计[J]. 计量与测试技术,2009(11):38-40.

(上接第4页)

下正常工作,在100 W最大激光功率输出时,温控器能够把温度能够控制在23.5℃,控温精度达到0.5℃,控温时间不超过3 min。驱动电流能够在0~50 A范围内连续可调,电流调整精度超过3%。

整个系统由于采用了模块化的结构设计,使其整体布局简洁,安装调试方便。恒流源驱动电路采用VICOR DC/DC电源模块和大功率MOSFET,使整个驱动电路得到了简化,并且有效地抑制了总电源输入的浪涌冲击,保证了半导体激光器不受外部供电电源的干扰。双向温度控制器采用PWM开关方式驱动TEC的方法,提高了驱动效率,同时减少了大功率MOSFET散热。目前该系统已经用作DPSSL的泵浦源,通过近半年的使用,系统工作正常,表明该系统设计合理,性能稳定可靠。

参考文献

[1] 马晓宇,王俊,刘素平. 国内大功率半导体激光器研究及

应用现状[J]. 红外与激光工程,2008(4):189-194.

- [2] DILAS Operating instructions for DL-modules M1F-IS9.2, www.dilas.com, 2007-07-30.
- [3] VICOR. 24V input maxi family DC-DC converter module, www.vicorpower.com, 2012-10-01.
- [4] Wavelength Electronics. Optimizing thermoelectric temperature control systems, www.teamwavelength.com, 2012-09-14.
- [5] Marlow Industries, Inc. Thermoelectric cooling systems design guide, www.marlow.com, 2008-08-02.
- [6] ILX Lightwave corp. Selecting and using thermistors for temperature control, www.ilxlightwave.com, 2012-07-04.
- [7] FERROTEC. 热电技术指南, www.ferrotec.com.cn, 2010-07-25.
- [8] Analogy Devices, Inc. ADuC841/842 datasheet. www.analog.com,2012-10-05.
- [9] 范珩,田小建. 半导体激光器驱动器安全保护电的设计[J]. 微计算机信息,2008,24:299-300.
- [10] ILX Lightwave corp. Protecting your laser diode, www.ilx-lightwave.com, 2010-10-03.