

基于 ADuC7028 的 LD 泵浦掺钕钒酸钇 固体激光器控制系统的设计

任晓辉, 汪 曦

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

摘要: 设计了一种基于 ADuC7028 的 LD(激光二极管)泵浦的掺钕钒酸钇固体激光器(Nd:YVO₄)的控制系统。采用积分分离的数字 PID 温度控制,并结合功率反馈控制,根据 LD 驱动电流、激光工作温度与输出光功率三者之间的关系,找寻激光的最佳工作温度。在最佳工作温度下,激光具有较高的电光转换效率。实时监测激光输出功率的稳定性并进行温度的反馈调节,使激光输出功率的稳定性有了很大的改善。

关键词: LD 泵浦; 固体激光器; 数字 PID 温控; 光功率反馈

中图分类号: TP274

文献标识码: A

Study of the controlling system based on ADuC7028 for the LD pumped Nd:YVO₄ solid-state laser

REN Xiao Hui, WANG Yan

(College of Precision Instruments and Optical Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A control system of LD pumped Nd:YVO₄ solid-state laser based on ADuC7028 is introduced. The system adopts an integral separated digital PID temperature control which combined the output power feedback. According to the relationship among the LD drive current, the working temperature and the output light power, it finds out the optimal working temperature. Working under the optimal temperature, the electro-optic conversion efficiency of the laser is higher. Detecting the stability of the output light power real-time to feed-back control the temperature makes the stability of the output light power been highly improved.

Key words: LD pumped; solid laser; digital PID temperature control; light power feedback

激光二极管泵浦的固态激光器 DPSSL 或 DPL(Diode Pumped Solid State Laser)以其效率高、热效应小、体积小和输出光束质量高等优点被广泛应用于材料加工、医疗、军事、测量等领域,同时也成为国内外竞相研究的热点之一。本系统的控制对象是 LD 泵浦的掺钕钒酸钇固体激光器(Nd:YVO₄)。经过磷酸钛氧钾晶体(KTP)内腔倍频后,激光器的输出波长是 532 nm,该波段的激光具有波长短、光子能量高、在水中传输距离远和人眼敏感等优点,在显示、信息传输等领域具有广阔的应用前景。目前,国内的产品主要集中在低档区,存在输出功率不稳定的问题,使得该种激光在应用上受到很大限制。除去谐振腔的设计与制作问题,控制技术是重要的原因之一,温控精度达不到要求,驱动电流不够稳定。本文研究了一种通过温度和功率反馈相结合的控制方

法,使得激光能够自动工作在最佳温度,并能够实时监测功率的稳定性,从而使得输出功率的稳定性得以明显改善,激光的电光转换效率得到一定提高^[1]。

1 系统的硬件组成

本文设计的 DPSSL 驱动器系统工作原理如图 1 所示。系统主要由泵浦激光二极管的驱动电源、温控系统、温度和功率检测电路、ADuC7028 控制核心、键盘控制模块与显示模块等几部分组成。

1.1 LD 驱动电源

半导体激光二极管作为泵浦光源,其输出特性对 DPSSL 的性能起着重要的作用。驱动电流的波动会增加二极管输出激光的强度噪声,并展宽输出波长的谱线,从而影响固态激光器的输出功率和光转换效率。此外,过流、高频干扰、电网浪涌等都会造成激光器的损坏。提

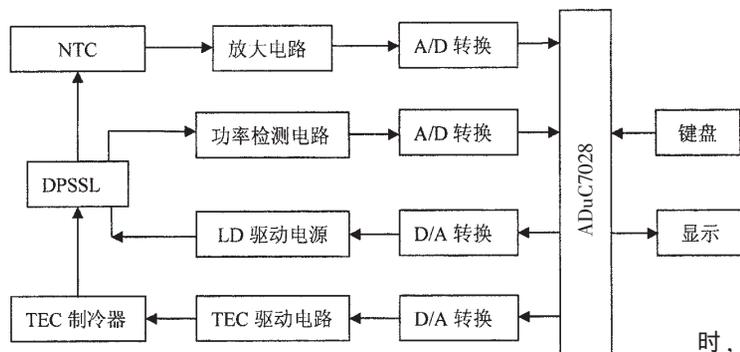


图1 DPSSL控制器的系统原理图

供高性能的泵浦二极管驱动电源,是确保激光输出性能高、安全性能好的前提^[2]。

激光二极管的驱动电源主要由钳位电路、恒流源及其保护电路组成。工作原理图如图2所示,其中A部分电路是钳位电路, V_s 是设定电压,当D/A输出的驱动电压值 $V_d > V_s$ 时,驱动电压被钳制在 V_s ,起过流保护的作用。B部分电路表示的是恒流源电路,二极管 D_1 和电容 C_2 起抑制高频噪声和电网浪涌的保护作用。 Q_1 为达林顿管,能提供大的工作电流。经实验测得,该LD驱动电源能够达到2.46A的电流输出,满足了控制对象掺钕钕酸钕固体激光器50mA~1300mA工作电流的要求。若用公式 $r = \frac{\Delta I_0}{I_0}$ 来表示电流的稳定性^[3](其中 ΔI_0 表示电流的波动值, I_0 表示电流的平均值),测试LD驱动电流的稳定性时接入10 Ω 的负载电阻,用六位半电压测试负载两端的电压,用电压值除以电阻值就可以得到输出的电流值。经过60min的测试得出电流的稳定性为 4.2×10^{-4} 。

1.2 A/D与D/A转换部分的设计

ADuC7028的控制核心是ARM7,有12位A/D和D/A,精度高、抗噪能力强。通过A/D检测温差和功率信号,运算程序计算相应电路的控制量,并通过D/A将数字控制量变为模拟控制量。由于TEC的控制量需要有正有负,才能制冷和加热从而保持温度的恒定。而A/D只能读

入正值,D/A的输出也只能是正值。所以,温差读入ARM7之前,使电路的参考电压加入一个偏置,读入数据到控制器之后,在进行运算之前减去偏置相对应的电压。经过程序运行之后得到的数字控制量在通过D/A^[4]输出之前先加入一个偏置,在转化为模拟量之后经过一个减法电路减去相应的偏置量后进入TEC驱动电路。

1.3 温控电路

LD是温度敏感元件,当LD的内部温度增加时,输出波长也随之增加,波长随温度的偏移量是(0.2~0.3)nm/ $^{\circ}\text{C}$ 。为了实现LD对DPSSL激光晶体的有效抽运,必须调整LD的输出波长使其与激光晶体的吸收峰值相匹配。LD的输出波长主要由其掺杂浓度、工作电流和工作温度决定,一般通过改变激光二极管的工作温度来调整其输出光波长。所有LD的阈值电流随温度增加而明显增加。另外,温度变化对LD的寿命也有很大的影响,高功率LD正常工作时热耗很大,约占总功耗的50%~70%,若不能及时地散热,就会使芯片温度急剧升高,输出功率严重下降,并影响使用寿命,所以必须给激光二极管提供恒定且能够精密调整的工作温度,才能保证DPSSL具有最大的输出功率和最小的功率波动。

固体激光器谐振腔的长度随温度的变化而变化、增益介质及倍频晶体在工作过程中会产生大量的热,对激光输出的质量和功率有很大的影响,所以做好温控系统是获得高质量激光输出的关键。

温度传感器采用的是集成在激光器内部的负温度系数的热敏电阻(NTC),电阻值随温度的变化规律如式(1)所示:

$$R = R_0 \exp(\beta/T - \beta/T_0) \quad (1)$$

其中, R 为温度为 T 时的阻值, R_0 为温度为 T_0 时的阻值,这里 T_0 取298.15K, β 为热敏电阻系数,其值随着温度的变化而变化,变化的大小由材料构成决定。由式(1)可以得出电阻与温度的变化是成指数规律,本系统采用的是软件滤波和式(2)所示的Steinhart-Hart公式拟合的方法^[5],对采集到的温度信号进行处理,这样可以避免复杂的硬件非线性校正,从而提高电路的精度和信噪比。

$$T = [A + B[\ln(R)] + C[\ln(R)]^3]^{-1} \quad (2)$$

其中, T 为热敏电阻值为 R 时的温度。根据激光的数据手册,取 $A = 9.0092 \times 10^{-4}$ 、 $B = 2.5065 \times 10^{-4}$ 、 $C = 1.85 \times 10^{-7}$ 。

2 系统的软件设计

2.1 PID算法设计

采用标准的PID算法^[6],由于积分的累加作用容易出现积分饱和现象,采用积分分离的PID算法可以克服这个缺点。当温差大于一定值时将积分项系数设为0,设定温差阈值为2 $^{\circ}\text{C}$ 。具

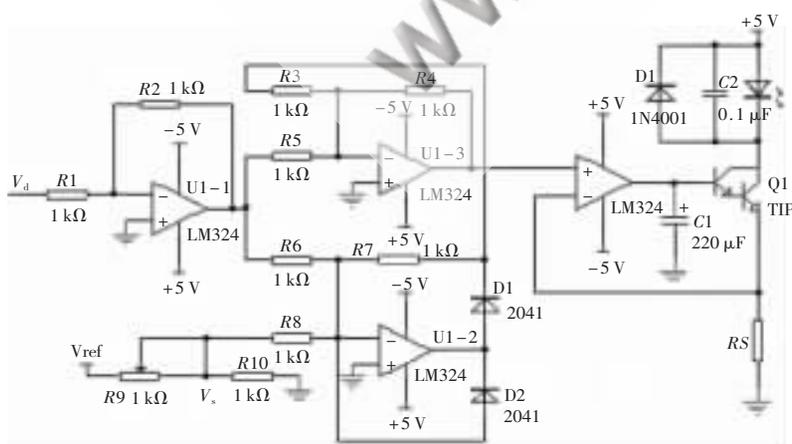


图2 LD驱动电源电路图

硬件纵横 Hardware Technique

体的程序流程如图 3 所示。

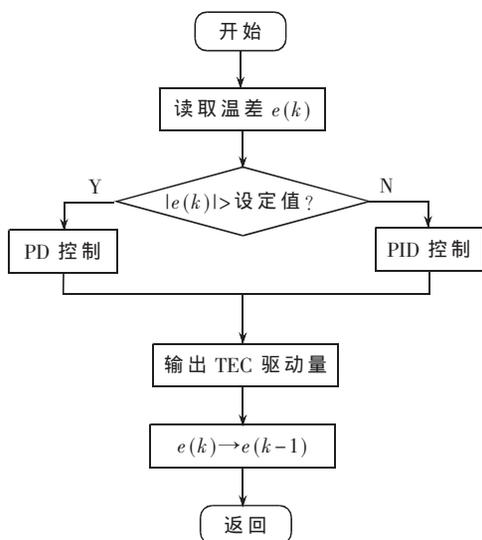


图 3 积分分离的 PID 程序流程

2.2 系统的软件流程

系统的控制逻辑分为温度反馈控制和功率反馈控制。考虑到工作温度对激光二极管的寿命的影响和激光工作效率的问题,选取 25 °C 为激光的初始工作温度,在温度控制达到一定精度后,调用 LD 驱动电流慢启动程序,逐步上升 LD 驱动电流,直到光功率检测出激光的输出功率与额定功率相等(50 mW)。接下来调用寻找激光最佳工作温度的子程序,重新调整 LD 的驱动电流使激光的输出为额定光功率值。实时地检测功率 power monitor 电压的波动情况, power monitor 值是激光输出的部分光经过功率检测电路所对应的电压值, power monitor 电压波动情况反映了输出光功率的稳定情况。其中光电转换器件是集成在激光器内部信号为 BPW34 的光电二极管,具体电路如图 4 所示。根据反馈的功率及其稳定性来决定是否重新寻找最佳温度。实践表明,如果激光工作在最佳温度处,那么激光输出光功率的稳定性也能达到最大。具体流程如图 5 所示。

实践中选用 LD 泵浦的掺钕钒酸钇(Nd:YVO₄)固体激光器,环境温度为 25 °C,每隔 0.5 min 测试一次激光的工作温度,连续测试 10 min,测试结果如图 6 所示。实验表明:控温精度能够达到±0.05 °C。激光输出功率的稳

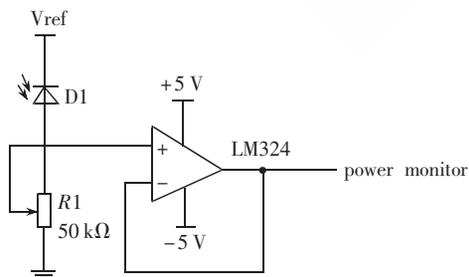


图 4 功率检测电路

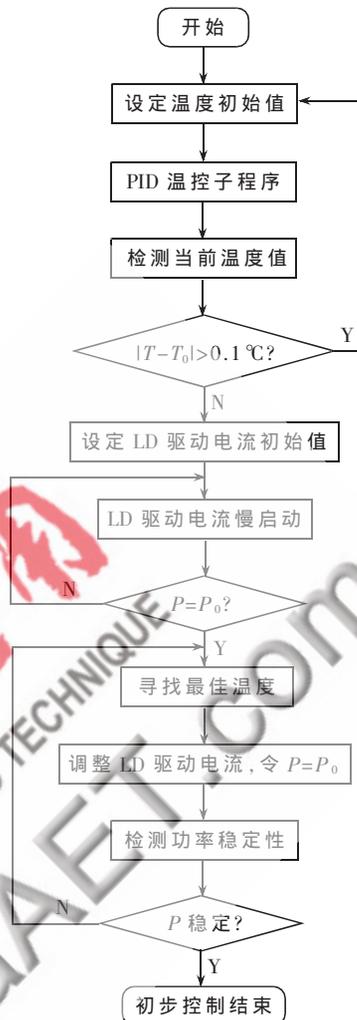


图 5 系统初步控制流程图

定性也有了明显的改善,用示波器检测 power monitor 的电压,图 7(a)的图像是控制之前某一时刻 power monitor 的电压数据曲线,图 7(b)的图像是控制之后某一时刻 power monitor 的电压数据曲线。可以看出,功率谱的周

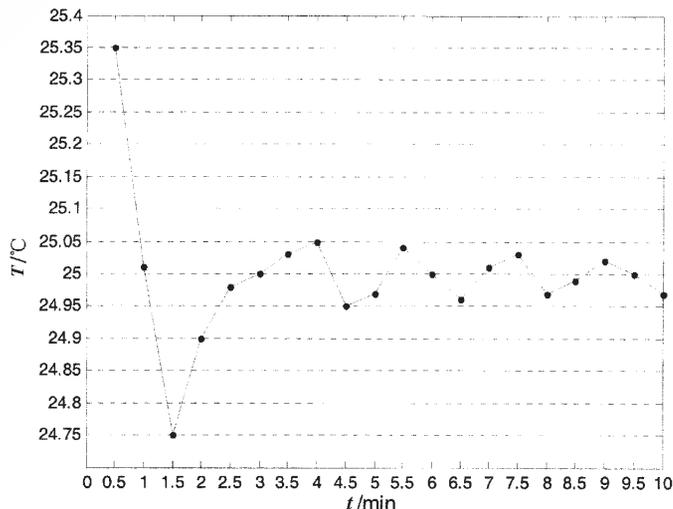


图 6 激光器的温度—时间曲线

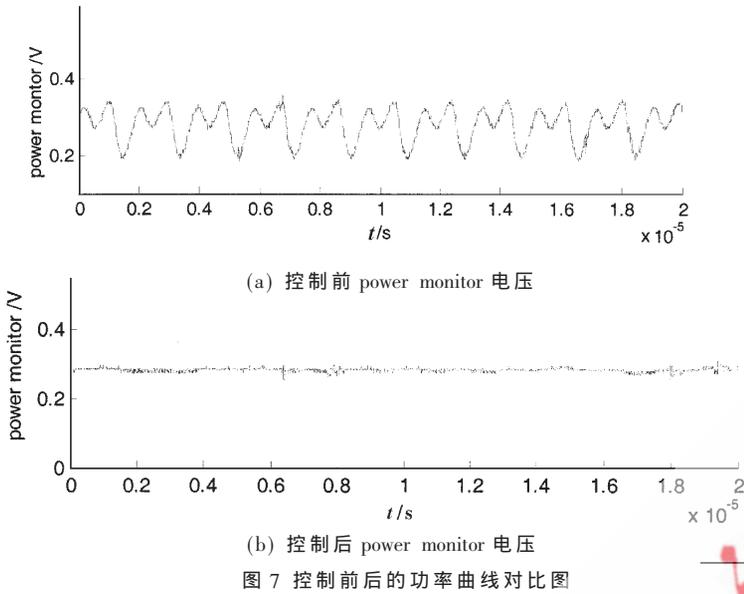


图 7 控制前后的功率曲线对比图

周期性起伏现象消失,输出光功率的稳定性有了很大的改善。

参考文献

[1] 黄马波.低噪声 LD 泵浦固体激光器及其控制电路设计 [D].湖北:中国优秀硕士学位论文全文数据库,2006.

[2] 袁波江,薛大建,陆璇辉.低噪声半导体激光器驱动电源的研制[J].光学仪器,2005,27(5):69-71.

[3] 张秀勇,高春清,高明伟.用于低噪声 DPL 激光器的高稳定性 LD 驱动源的研制[J].光学技术,2007,33(5):778-780.

[4] 房怀英,杨建红.基于 ARM 系统激光器的温度和功率反馈补偿系统的设计[J].安徽工业大学学报,2009,26(2):151-154.

[5] 黎洪生,陈武勤,刘苏敏.基于 PID 算法的大功率泵浦激光器温控系统设计[J].工业控制计算机,2009,22(6):57-58.

[6] 冯巧玲,吴娟.自动控制原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.

(收稿日期:2009-12-23)

作者简介:

任晓辉,女,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:科学仪器与自动控制。

汪,男,1955年生,教授,博士生导师,主要研究方向:质谱与光谱分析测试技术及仪器研究。

