

文章编号: 1001-3806(2004)03-0306-03

全固态激光器的数字式光反馈控制驱动电源

王君立¹, 王云鹏¹, 李大一², 于前洋², 檀慧明²

(1. 吉林大学 交通学院, 长春 130022; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

摘要: 介绍一种采用单片机控制的连续运转无制冷、数字式光反馈稳功率全固态激光器驱动电源, 其输出光功率在 10mW 左右, 系统包括恒流源、保护电路、脉宽调制、光电检测放大电路和高速单片机控制系统等部分, 基于光电检测 LD 光功率输出的非线性控制曲线产生的误差变化, 将特性曲线利用软件的窗口控制算法实现区域控制, 进而有效地对 LD 工作电流进行 PID 稳态控制和光功率参数显示, 结合硬件及软件, 实现了激光二极管的可靠保护以及光功率稳定、准确输出及在稳光输出情况下, 实现激光器的内外调制输出。

关键词: 全固态激光器; 光反馈稳功率; PID 控制; 恒流源; 高速单片机

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

All-solid-stated laser optics feedback controlled power supply

WANG Jun-li¹, WANG Yun-peng¹, LI Da-yi², YU Qian-yang², TAN Hui-ming²

(1. Transportation and Traffic College, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The paper describes a CW, non-cooling, digital all-solid-stated LD pumped Nd: YVO₄ laser driver which adopts microprocessor control, stability power of optics feedback about 10mW output power. The system is composed of stable current source, protection circuit, pulse driver, Si photo-detector amplified and high-speed microprocessor control system. Based on error variety of nonlinear control curves of LD output laser power by Si photo-detector, we take advantage of window node PID control algorithm to achieve high stability of laser power and reduce error amends. Combining appropriate hardware and software in our driver, we have achieved a variety of protection features including the ability to match and harmonize dynamic state and static state relation to gain LD output power instability to $\pm 3\%$ and internal or external pulse width modulation, relay soft and hardware over-current protection and overvoltage shut-off. A continuously adjustable optical output power with high accuracy and stability has been obtained.

Key words: all-solid-stated laser; stability power with optical feedback; PID control; constant current source; high-speed microprocessor

引 言

全固态激光器的运行与驱动电源有很大关系, 瞬态的电流或电压尖峰等许多因素都很容易损坏激光器, 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^[1]。目前, 商品化的激光器输出功率越来越大, 波长范围覆盖可见光及红外, 使用模拟电路实现激光器稳频和抑制噪声的控制都已经很成熟。本文中介绍单片机控制的低功率毫瓦级绿光 532nm 激光器驱动电源实现光功率控制, 事实上, 基

于微型计算机的数字化控制^[2]能够更有效地解决全固态激光器工作的准确、稳定和可靠性问题, 数字化、智能化也是激光器应用的必然趋势。

1 系统工作原理

实现全固态激光器光反馈稳功率驱动电源主要有光电检测放大电路, 恒流源驱动及保护电路, 模数、数模转换器和单片机小系统构成光反馈稳功率控制和实现内外调制输出, 整个系统由单片机控制实现(见图 1)。激光器输出光束经过分光镜分得 5% 左右的输出光功率, 采用光电池来进行光输出功率的检测, 其模拟信号经放大后(输出为 0V ~ 5V)送入 12 位模数转换器 MAX174 转换(范围在 000 ~ 7FFH)为数字信号, 经过高速单片机 DS80C320 处理, 数模转换器 DAC1210 输出控制恒流源, 内外调

基金项目: 国家八六三计划资助项目(863-307-22-51)作者简介: 王君立(1972-), 男, 硕士, 主要从事光电检测、信号与图像处理等方面的研究工作。

E-mail: swjft517@163.net

收稿日期: 2003-07-08; 收到修改稿日期: 2003-08-31

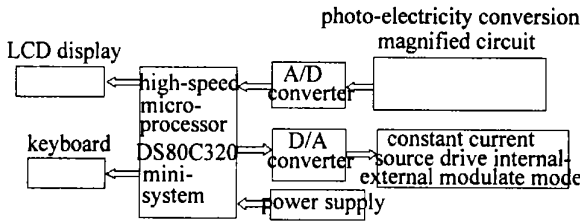


Fig. 1 Structure module of laser power control system

制控制采用 2SC2001 三极管的饱和导通特性进行控制其前端运算放大器来实现。光功率设定从键盘输入,并有以 HD44780 为主控制器的 LCD 模块显示光功率变化参数和电流值,采用 74HC244 做为键盘锁存控制器调节和设定参数,通过 DS1302 时钟芯片检测激光器长时间功率稳定性和 RS-232 串口通讯实现功率变化曲线的检测,为不同激光器的使用情况提供可靠依据。

2 全固态激光器稳功率的软件实现

系统软件部分主要包括程序初始化、启动 A/D 转换、算术平均滤波、标度转换、调用 LCD 显示、电路上限控制、启动 D/A 转换、复位看门狗等程序段组成,初始化部分由设定 A/D 地址、D/A 地址,设定 LCD 指令寄存器地址,数据寄存器地址,指令口和数据口写、读地址,串口读、写缓冲区地址等部分组成;系统对 5 次采样进行算术平均滤波,标度转换后送 LCD 显示,将采样值与给定值比较,进入分段窗口式 PID 算法子程序,来满足系统非线性的被控要求,所得数据与电路上限输出值(0810H)比较后,启动 D/A 输出控制恒流源。主程序循环一周需 8ms,采用查询法一周对看门狗复位一次,将看门狗的超时时间设定为 26ms。

根据光功率检测非线性系统控制要求,简化为区域线性控制区来实现对光功率反馈的窗口控制(图 2 所示为主流程图)。

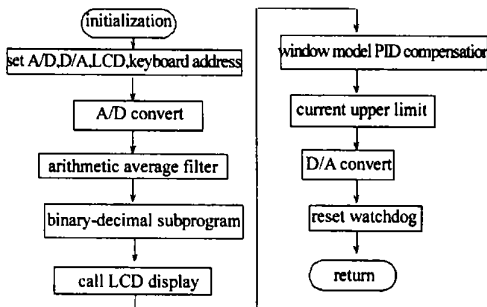


Fig. 2 Flowchart of optics feedback control system main program

(1) $|e(k)| \leq \frac{3}{5}U(i)$: 采用 PID 算法进行系统校正并进入输出电流保持,保持控制精度,使功率稳

定输出;(2) $|e(k)| > \frac{3}{5}U(i)$: 偏差 $|e(k)|$ 较大,调整 K_p 和 T_d ,采用 PD 控制,可避免过大超调改善系统动态特性,使输出电流向下调整,返回采样来调整功率进入稳态。实验中采用动态特性法进行参数整定,不断实践才可获得最佳匹配效果和应用参数的确定,其最佳匹配 PID 调节器系数为 $K_p = 6, T_i = 10, T_d = 3$ 左右。整定步骤可分为:(1)数字调节器不加入控制系统中,将控制量调到给定值附近,然后突然改变给定值,给系统一个阶跃信号;(2)通过记录被调量在阶跃输入下的整个变化过程曲线;(3)在曲线最大斜率处作切线,求得滞后对象时间常数 T 及比值 T/τ ;(4)由求得的 τ, T 及 T/τ ,即可求得数字调节器有关参数 K_p, T_d, T_i 及 T 。延迟时间 τ ,时间常数 T ,飞行速度 $\varepsilon = K/(TP_1)$ 。 P_1 为所加的阶跃幅值。一般情况下取 $T_d/T_i = 1/3 \sim 1/4$ 为最佳范围,并获得 $\varepsilon = |e(k)| = \frac{3}{5}U(i)$ 为允许误差偏量,即所谓门限值。

3 系统实验结果分析

532nm 绿光全固态激光器光功率控制系统实验检测主要是 LD 光功率和电流参数,LD 恒流源与光功率对比曲线分别采集 1Ω 取样电阻上的电压量(大约 0.3V)到 A/D 采集卡和使用功率计检测 LD 光功率到 A/D 采集卡(PCI-5413D、PCI 总线 DC/DC 光隔 12 位 32 路 A/D 板)测得数据结果。功率计检测近 90% 的光功率参数值,以验证光功率的稳定性,脉冲调制和电压输出波形检测主要使用 LeCroy 9361C Dual 300MHz 和 Tektronix TDS210 双通道数字式示波器检测。激光器稳定性数据是以最大值-最小值功率稳定性(峰-峰值)分析^[3]:

$$\sigma\% = \frac{(P_{\max} - P_{\min})/2}{(\sum_{i=1}^k P_i)/k} \times 100\%。$$

3.1 系统未加光反馈控制的测试结果

在未加光反馈控制电路的某一台激光器中进行测试所得其最大输出功率 $P_{\max} = 11.23\text{mW}$,最小输出光功率 $P_{\min} = 5.81\text{mW}$,峰-峰值稳定性 $\sigma = 11.16\%$ 。

3.2 采用模拟光反馈控制的测试结果

在加模拟光反馈控制(PID 控制器)电路激光器中,对光功率稳定性进行测试(如图 3 所示), $P_{\max} = 9.97\text{mW}, P_{\min} = 6.81\text{mW}, \sigma = 7.16\%$ 。

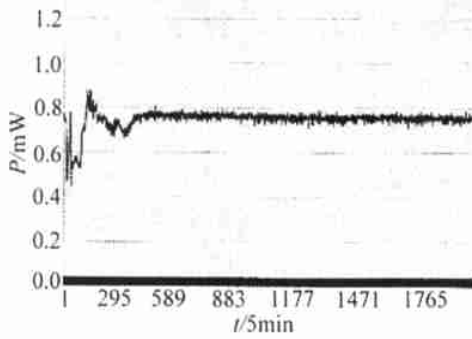


Fig. 3 Laser power control system curves with analogy

3.3 恒流源输出电流与光功率输出控制曲线对比关系曲线结果

通过实验每隔 5min 采集一次,所得近 12h 的检测结果,为了显示清晰,电流和功率值均被放大,图 4 中由于启动激光器加入比例积分环节而使前端超调,并带有调节所引起的短时振荡,这是由于在恒流源反馈控制和光反馈带来的叠加噪音而致,图中系列 1 为电流值随时间变化曲线,系列 2 为输出功率随时间变化曲线。表明当电流升高时,功率下降;当电流下降时,功率升高。进一步表明光功率控制系统所发生作用,从而使电流与功率发生对比关系。

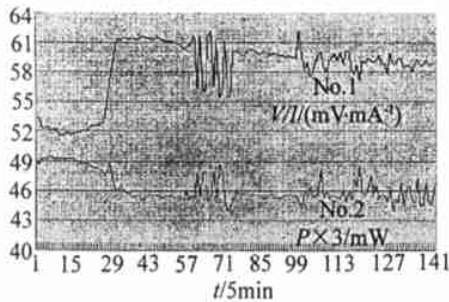


Fig. 4 Output control curve between constant current and laser power

3.4 数字式光功率控制的测试结果曲线

通过窗口式 PID 的数字式光反馈控制,明显降低模拟控制引起的超调和小幅振荡,使激光输出平均功率得到进一步稳定,实验对 532nm 绿光激光器进行 1h 的检测光功率变化曲线(见图 5),其均方根

稳定性小于 $\pm 1.2\%/h$,经 12h 测试 $P_{max} = 9.01mW$, $P_{min} = 8.65mW$,均方根稳定性 $\sigma = 1.08\%$,峰-峰值功率稳定性 $\sigma = 2.16\%$ 。

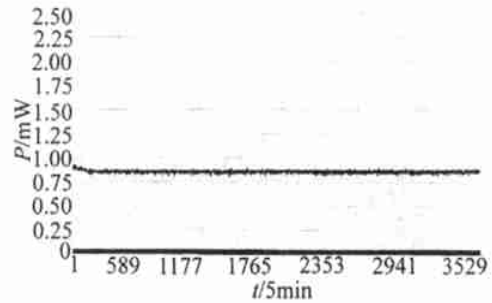


Fig. 5 LD output power curves by digital optics feedback control

4 结束语

使用模拟比例-积分电路控制实现全固态激光器光反馈控制改善了激光器输出功率稳定性,但其反馈控制中存在超调,叠加了光反馈产生的部分噪音,同时限制了激光器平均功率的稳定输出。数字式光功率控制能在内外调制时实现光反馈功率控制特性,但由于数字控制的不连续性,导致激光噪音,为保证激光器的可靠工作并输出稳定的功率,还需注意解决,实际制作过程中,系统采用较好的接地问题,优化了数字板和模拟板分离设计,从而降低高频电磁辐射的干扰,使激光器正常稳定工作。应用中测试了多台激光器,经实测,系统输出功率稳定性在 $\pm 2\%$ 左右,获得了很好的控制效果。

参考文献

- [1] 邹文栋,高益庆. 单片机控制的半导体激光驱动电源 [J]. 激光杂志,2002,23(4):70-71.
- [2] OTSUKA K, KO J Y, CHERN J L et al. Instabilities in a laser-diode-pumped microchip solid-state laser with feedback [J]. Phys Rev, 1999, A60(5):3389-3391.
- [3] YAN P, HE B, WEI G H. Experiment research on a highly stable LD-pumped solid state laser [J]. Chinese Journal of Laser, 2000, B89(6):481-487.