

文章编号: 1001-3806(2006)06-0664-03

激光二极管抽运单块 Nd:YAG 激光器电源的研制

高 岚¹, 王景峰^{1,2}, 杨苏辉^{*}, 赵长明¹

(1. 北京理工大学 光电工程系, 北京 100081; 2. 长春理工大学 科技开发中心, 长春 130022)

摘要: 为了研制一种用于抽运单频单块激光器的 LD 电源, 采用恒流电路对 LD 进行驱动, 并应用软件监测的方法对电流的长期稳定性和故障进行监测和调节。运用模糊和比例-积分-微分 (PID) 混合控制温度调节算法, 具有超调小和控制精度高的优点, 并对基本 PID 算法进行了简化。使用了一个分段取值的参数, 在控制范围内使运算速度提高 10 倍以上。实验结果表明, 实现 LD 驱动电流的稳定度优于 2mA, LD 温度长期波动小于 0.1°C, 激光输出的频率在一定温度范围内连续可调。

关键词: 激光技术; 激光电源; 比例-积分-微分; 温度控制

中图分类号: TN 86 **文献标识码:** A

Development of the LD-pumped monolithic Nd:YAG laser power supply

GAO Lan¹, WANG Jingfeng^{1,2}, YANG Suhui^{*}, ZHAO Changming¹

(1. Department of Optoelectronics Engineering Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China 2. Science and Technology Development Center, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract A LD power supply for pumping the monolithic laser is developed and driven by constant current circuit. Software monitoring is applied to test and adjust long period stability and fault of current. Temperature adjustment arithmetic of fuzzy and proportional integral derivative (PID) control is used to gain small overshoot and high control precision. Basic PID arithmetic is simplified by using a subsection chosen value to improve the operation speed more than ten times. Continuously frequency adjustable laser is realized in a certain temperature range whose current stability is less than 2mA, lasting temperature fluctuation is below 0.1°C.

Key words laser technique; laser power supply; proportional integral derivative; temperature control

引 言

影响激光二极管 LD 稳定度的主要因素是工作温度的漂移和驱动电流的变化^[1], 研制了一种具有电流和功率反馈功能的 LD 驱动电路, 采用模拟信号输出的模糊控制和比例积分微分 (proportional integral derivative PID) 控制相结合的算法进行温度控制, 实现了 LD 驱动电流和工作温度的长期稳定。恒温恒流 LD 主要用于抽运单块非平面单向行波环形固体激光器^[2]。单块激光器利用行波振荡克服“空间烧孔”效应, 具有优良频率和幅度稳定特性的单频激光输出。经改进优化后的单块激光器^[3~6]被广泛应用于光谱分析、相干探测、激光雷达等领域^[7,8]。LD 的稳定工作是影响单块单频激光器稳定性的主要因素之一。采用所研制的电源驱动 LD, 实现了单块环型单频激光器的稳定运转。

1 LD 驱动电路设计

对于连续运转的 LD 驱动应具备慢启动和抗电网

浪涌的功能。对于单频激光器的应用着重考虑的是抽运光源具有低的电噪声和高的光功率稳定性。结合了微机控制容易实现复杂功能和模拟控制速度快的优点, 实际电路框图由图 1 给出。

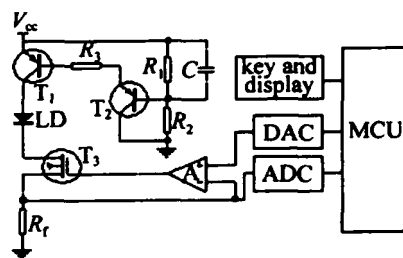


Fig 1 LD constant current source

LD 驱动电路以大功率的场效应管为核心的恒流源构成, 三极管 T_1 和 T_2 构成限流保护电路。 T_2 为 T_1 提供近似的恒流驱动, 正常时 T_1 工作于饱和区, 当 LD 电流超过允许值会使三极管从饱和区工作到放大区, T_1 两端电压升高, 使 LD 两端电压下降达到限制 LD 电流的目的。 C_1 的设计使电路具有缓启动功能, 当上电时, 通过 C_1 充电时间常数的控制, 使保护电路的输出电流逐渐增大。由 T_3 和运放 A 构成了压控恒流源电路。改变 DAC 输出可改变 LD 电流。 V_i 为 DAC 输出电压, R_f 为电流取样电阻。增大电流取样电阻可提

作者简介: 高 岚 (1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事固态激光雷达的研究。

* 通讯联系人。E-mail: suhuiyang@bit.edu.cn

收稿日期: 2005-10-28 收到修改稿日期: 2005-12-08

高控制精度。但过大的取样电阻会消耗大量的电功率造成升温。电路中采用了低温度系数的阻值较小的取样电阻,同时加强对取样电阻的散热,降低温度对取样信号的影响。小的取样电阻会引起运算放大器的失调电压,对电路影响不可忽略。为补偿运算放大器的误差,通过对电流的检测来进行电流软件微调节。单片机根据测试结果,通过对 DAC 输出电压进行微调来调节电流。软件的监测和微调不但补偿了运算放大器的误差,同时降低了温度漂移对电路的影响。通过软件和硬件相结合的设计,降低了系统的复杂性。

2 温度控制电路设计

考虑到调节的功率比较小,采用了珀耳帖半导体制冷器 (thermal electronic cooler, TEC)。TEC 是利用珀耳帖效应的半导体致冷器件,体积、结构简单容易控制,工作时一端制冷一端制热,通过改变电流方向可完成制冷和加热的控制。为了避免开关工作状态对系统的干扰,采用模拟输出调节的方式。图 2 中给出了温

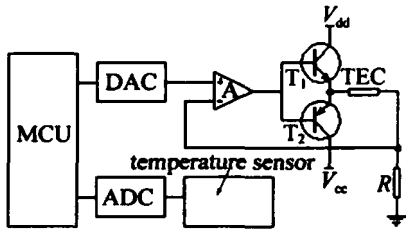


Fig 2 Temperature control

度控制系统的组成,主要由温度传感器、单片机、A/D 信号采集、D/A 输出控制及其它一些外围电路组成。DAC 输出采用了电流驱动双向输出的控制模式,避免了电压控制方式中负载短路的影响。选择了灵敏度高的温度传感器件,并采用简单的中值滤波算法对温度进行测量。对控制算法采用了模糊和 PID 混合控制,这种控制方法比全部采用 PID 控制有更快的响应、小的超调,而且比模糊控制有更高的精度。具体做法是根据被控对象,设定一个偏差温度 E ,当过程控制中偏差温度的绝对值大于 E 时,采用模糊控制;当偏差温度的绝对值小于 E 时,采用增量式 PD 控制算法。

模糊逻辑控制方法就是模仿人的思维方式和人的控制经验来实现的一种控制^[9]。系统中的偏差温度 E 和调整量 U 均为确定数值,首先将偏差温度 E 的精确数值转化为模糊量。偏差温度 E 和调整量 U 的模糊集为: {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}, 论域均为: { - 6 - 5 - 4 - 3 - 2 - 1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}。图 3 是 E 和 U 的隶属函数。根据隶属函数求出 E 的隶属度,根据模糊规则推理,求出 U 语言变量的隶属度,再利用加权平均法进行模糊决策得到相应调整量:

$$U = \frac{\sum \mu(U_i) U_i}{\sum \mu(U_i)} \quad (1)$$

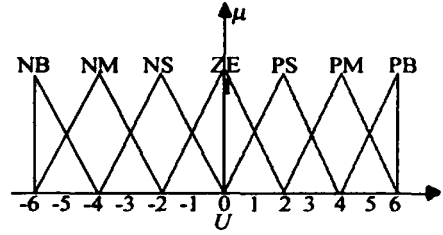


Fig 3 Fuzzification algorithm for E, U

即“反模糊化”。模糊逻辑控制方法优点是处理速度快,但精确度不够。本系统中当偏差温度小于 E 时采用了下面所述的 PID 控制算法。

为简化运算、提高运行速度,结合系统实际对 PID 算法进行简化。PID 控制是一种线性控制器,它根据给定值 $r(t)$ 和实际输出值 $c(t)$ 构成控制偏差:

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (2)$$

将偏差的比例 P、积分 I 和微分 D 通过线性组合构成控制量,对被控对象进行控制。适合于计算机控制的增量式 PID 控制算法为^[10, 11]:

$$\Delta u(k) = K_P \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k - 1)] \quad (3)$$

式中, $\Delta u(k)$ 为调整量的本次输出增量; K_P, K_I, K_D 为控制的 PID 参数; $e(k)$ 为第 k 次测量偏差, $\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1)$ 。完整的计算需要设置 3 个参数和前两次的误差数据进行运算,考虑系统工作在没有剧烈扰动场合,温度控制大的滞后特性,不宜采用较大的比例系数,在设置温度附近, $\Delta e(k)$ 和 $e(k)$ 比较小,且积分参数 K_I 一般取值都较小,对上式进行简化:

$$\Delta u(k) = K_P [c(k - 1) - c(k)] + K_D [c(k - 1) - c(k) + c(k - 1) - c(k - 2)] \approx (K_P + 2K_D) [c(k) - c(k - 1)] \quad (4)$$

这样,不需要确定 PID 3 个参数,只需要对温度的变化率进行反馈就能够完成控制过程,这个公式是在控制温度附近简化得到的。将 $K_P + 2K_D$ 作为一个整体参数,通过对 $K_P + 2K_D$ 的取值分段处理,部分修正在温差较大处引起的误差,可进一步增加简化 PD 算法的适用范围,这样虽然可能使系统误差变大,达到稳态的时间变长,但对 $K_P + 2K_D$ 进行分段寻优处理,补偿省略其它参数产生的误差,就能够将 PID 控制范围延伸到更大的温度范围。在单块激光器的运转过程中,外界的温度变化较小,这样的简化控制程序仍能使在控制温度附近有较高的控制精度。经过这样简化处理后,运算速度较传统算法提高 10 倍以上,并且只需优化一个参数,就能够实现 PD 控制。

3 实验结果与分析

单块 Nd:YAG 环形激光器采用海特光电生产的 LDM 0808 作为抽运源。其中心波长为 808nm,功率可

达 2W, 最佳工作温度为 25℃, 输出电流可设置为 0A ~ 2A。结合激光器的具体结构参数, 温度控制在 2℃之外采用模糊控制, 2℃之内采用了简化的 PID 控制, 图 4 是温度随时间的变化图。通过对参数的分段设置,

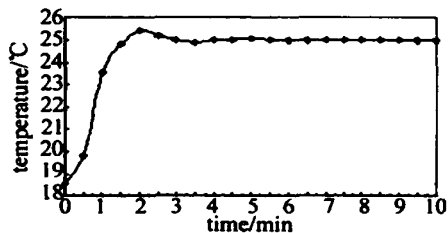


Fig 4 Temperature time waveform

在控制温度附近, 程序计算出控制量的增量最小为 1 个 DAC 步进。在温度控制达到稳定后, 温度漂移小于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 变化率 1s 内小于 0.01°C 。采用精确温控 LD 端面抽运单块 Nd:YAG 激光器, 当 LD 工作稳定后, 测量单块激光器输出功率如图 5 所示, 在 LD 抽运光功率为 1.8W 时, 单块激光器输出功率长期稳定在 300mW。通过 F-P 扫描标准具测量输出单频激光频率稳定, 改变 Nd:YAG 的工作温度可在一定范围内调节激光输出频率。

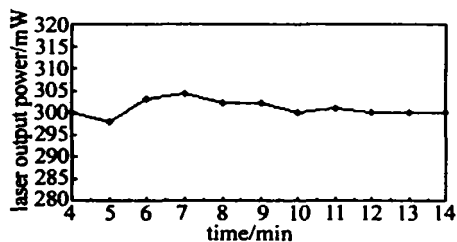


Fig 5 Laser output power

4 结论

实验结果表明, 采用软硬件结合的控制, 能够实现 LD 驱动电流的长期稳定和可靠工作。模糊控制和简

化 PD 算法相结合, 使温度控制参数的确定更为简单。对控制参数的分段处理, 进一步扩大了 PD 的控制范围, 提高了运算速度, 获得了良好的温度稳定效果。

参考文献

- [1] MEIS Sh Pay attention to avoid the cavity and surge breakdown of the laser diode arrays [J]. *Laser & Infrared* 1998, 28(1): 4~6 (in Chinese).
- [2] KANE T J, BYER R L. Monolithic unidirectional single mode Nd:YAG ring laser [J]. *Opt Lett* 1985, 10(2): 65~67.
- [3] ZANG E J, CAO J P, LI Ch Y *et al*. Experimental investigation of fast frequency tuning on monolithic semiconducting ring lasers with PZT [J]. *Chinese Journal of Lasers* 2004, 31(8): 931~934 (in Chinese).
- [4] WU K Y. Diode pumped monolithic unidirectional nonplanar single-frequency ring laser [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology* 2001, 10(2): 175~179 (in Chinese).
- [5] WANG X, YANG SH, SUN W F *et al*. Laser diode pumped high slope efficiency monolithic unidirectional single frequency ring laser [J]. *Chinese Journal of Lasers* 2005, 32(2): 149~152 (in Chinese).
- [6] ZHAO Y, GAO Ch Q, CAO Y L *et al*. Study on laser diode pumped 1319nm single frequency laser tuning and noise suppression [J]. *Laser Technology* 2004, 28(5): 466~468 (in Chinese).
- [7] YANG SH, WU K Y, WEI G H. Novel single-frequency diode pumped solid-state lasers and their applications in laser ranging and velocimetry [J]. *Chinese Physical Letters* 2001, 18(7): 906~908 (in Chinese).
- [8] START T M, FISCHLER M A. Context-based vision recognition object using information from both 2-D and 3-D imagery [J]. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1991, 13(10): 1050~1065.
- [9] DOU Zh Zh. Fuzzy logic control technology [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1995. 78~108 (in Chinese).
- [10] ZHANG H N, TIAN X J, LUO Q L. Design of PI control parts on the constant temperature system of laser diode [J]. *Journal of Jilin University*, 2003, 21(2): 220~222 (in Chinese).
- [11] TAO Y H. New type of PID control and its application [M]. Beijing: China Machine Press, 1998. 95~128 (in Chinese).

(上接第 649 页)

柱型涂层/基底系统中声表面波波形的有效工具。

参考文献

- [1] ZHANG Sh Y. Laser ultrasound and nondestructive evaluation in materials [J]. *Applied Acoustics* 1992, 11(4): 1~6 (in Chinese).
- [2] SHEN Zh H, ZHANG Sh Y. Laser induced ultrasound in film-substrate system [J]. *Acta Acoustica Sinica* 2002, 27(3): 203~208 (in Chinese).
- [3] COULETTE R, LAFOND E, NADALM H *et al*. Laser-generated ultrasound applied to two-layered materials characterization: semi-analytical model and experimental validation [J]. *Ultrasonics* 1998, 36(1~5): 239~243.
- [4] MURRAY T W, KRISHNASWAMY S, ACHENBACH J D. Laser-generation of ultrasound in film and coatings [J]. *APL*, 1999, 74(23): 3561~3563.
- [5] CHENG A, MURRAY T W, ACHENBACH J D. Simulation of laser-generated ultrasonic waves in layered plates [J]. *J Acoust Soc Amer* 2001, 110(2): 845~855.
- [6] XU B Q, SHEN Zh H, NIX W *et al*. Time frequency analysis of laser-induced acoustic surface wave in coating-substrate system [J]. *Laser Technology* 2004, 28(6): 609~612 (in Chinese).
- [7] KAWALD U, DESMET C, LAUR K S W *et al*. Investigation of the dispersion relations of surface acoustic waves propagating on a layered cylinder [J]. *J Acoust Soc Amer* 1996, 99(2): 926~930.
- [8] KEY M, VALLE C, JACOBS L J *et al*. Development of dispersion curves for two-layered cylinders using laser ultrasonics [J]. *J Acoust Soc Amer* 1999, 106(2): 582~588.
- [9] SCHUBERT F, KOEHLER B, PEFFER A. Time domain modeling of axisymmetric wave propagation in isotropic elastic media with CEFIT-cylindrical elastodynamics: finite integration technique [J]. *Journal of Computational Acoustics* 2001, 9(3): 1127~1146.
- [10] SOHN Y, KRISHNASWAMY S M. Mass spring lattice modeling of the scanning laser source technique [J]. *Ultrasonics* 2002, 39(8): 543~551.