

文章编号: 1001-3806(2002)06-0439-02

一种稳定激光器输出光强的新方法

余江¹ 蔡光卉¹ 杨齐民² 宗容¹¹云南大学通信工程系,昆明,650091) ²昆明理工大学激光所,昆明,650051)

摘要: 介绍一种采用数字 PID 控制技术稳定激光器输出光强的新方法。利用输出光强变化,通过数字 PID 调节器反馈控制激光管电流可获得较为稳定的激光输出。采用单片机控制,使得控制电路简化,控制精度提高,整机工作更加稳定可靠。

关键词: 激光器;光强稳定;数字 PID 调节器;单片机

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

A new method to stabilize output intense of a laser

Yu Jiang¹, Cai Guanghui¹, Yang Qimin², Zong Rong¹¹ Department of Communication Engineering, Yunnan University, Kunming, 650091)² Institute of Laser, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650051)

Abstract: This paper introduces a new method to stabilize output intensity of a laser with digital PID control. When the output intensity of a laser is changed, a feedback control signal processed by a digital PID regulator is used to control the current of a laser tube. The method obtains higher intensity stability. With the process of a single chip microcomputer, the control circuit is simplified. The laser is shown to be high precision for control and well stability for operation.

Key words: laser; intensity stability; digital PID regulator; single chip microcomputer

引言

目前,激光应用日益普及,在通信、测量、加工、医疗、军事等领域获得了广泛的应用,尤其是在测试计量领域取得了一系列新的进展,促进了激光应用技术的发展。激光器输出光强的稳定在光电检测中起着重要的作用,在激光加工以及全息照像等应用中也有重要意义,因此,获得高稳定度的激光一直是人们追求的目标。由于激光器输出光强随内部条件及外部环境变化很容易产生波动,要获得十分稳定的光强是非常困难的。传统上,一般采用电路补偿的方法来稳定激光光强,但稳定度不高,难于满足精密测量的要求。人们不断寻求稳定激光光强的方法,其中采用光学双稳态来稳定激光光强就是一种较为有效的方法^[1]。但光学双稳态只能解决变化范围不大条件下的稳定问题,而且难于小型化,应用不广泛。近年来,一些专家提出了针对某类激光器的预测控制方法^[2],取得了一定的稳定效果。

近几年,作者对激光器电源及光强稳定问题进行了研究,取得了一些成果^[3,4]。在此基础上,把计算机控制技术引入激光器的光强控制,通过数字 PID 调节器直接控制激光管电流,从而大大提高了激光器输出光强的稳定性。这种稳定激光器光强的新方法,对各种激光器系统的设计具有指导意义,尤其对激光光电检测及精密加工应用将起到非常重要的作用。

1 放电电流对激光输出功率的影响

影响激光器输出光强稳定的因素很多,例如,He-Ne 激光器的氦气压、放电电流、气体温度等参数对输出光强影响很大,电源波动、环境温度变化等都会使输出激光功率改变。激光输出功率随温度的变化规律是,先随温度的升高而升高,温度升高到一定大小时,其共振转移激发几率达到极值,进一步升温将使这个几率下降,输出功率下降。

实验表明,在一定的气压和温度下,存在一个最佳的放电电流使输出激光功率达到最大,输出功率随放电电流变化的关系如图 1 所示。电流较小时,由于激光管内电子密度小,反转粒子数少,输出功率较小。随着放电电流的增大,反转粒子数增多,输出

作者简介:余江,男,1960年3月出生。副教授。主要从事光电技术信息处理和通信方面的研究。

收稿日期:2001-12-18;收到修改稿日期:2002-03-20

功率增大。当电流达到最佳电流时,输出功率达到最大。若放电电流继续增大,则输出功率将下降,这主要是由于电流增大使电子密度增大,原子之间的碰撞机会增加,反转粒子数反而降低的缘故。

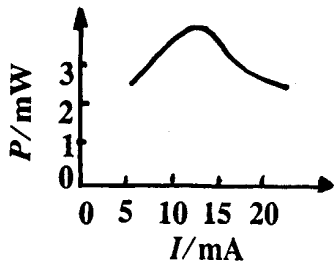


Fig. 1 Output power discharge current characteristic

2 激光光强稳定系统

由于激光器输出受各种因素的影响,发生波动是不可避免的,必须在电路上采取措施稳定输出功率,常用的方法是通过调节激光管放电电流来达到稳定输出功率的目的。在传统的电路反馈控制的基础上,在电流反馈电路中采用了数字 PID 调节器,并通过单片机来实现,使跟踪速度更快,稳态误差更小,输出功率更加稳定。

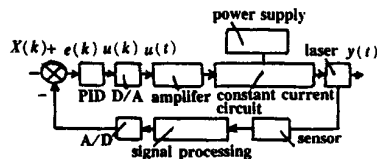


Fig. 2 Block diagram

激光光强稳定系统原理框图见图 2。当电源波动、温度起伏、干扰等因素引起激光输出光强发生变化时,这一变化经传感器检测并转变为电压变化,信号处理器对该信号进行处理放大,A/D 变换器把信号转换为数字信号后与给定电压进行比较产生误差电压,数字 PID 调节器对误差电压进行比例、积分、微分处理,输出信号经 D/A 变换及放大后去控制激光器电源的恒流电路,通过调节激光管电流达到光强稳定的目的。

3 数字 PID 控制的实现

PID 控制是应用最广泛的一种控制规律,PID 调节器输出与输入之间为比例-积分-微分的关系。数字 PID 控制对函数进行离散化,便于计算机控制,便于数字滤波及抗干扰处理,因而,具有更好的控制性能。数字 PID 调节器如图 3 所示,它由比例、积分、微分 3 个控制部分组成,比例控制用来减小稳态误差,提高系统的动态响应速度;积分控制用来消

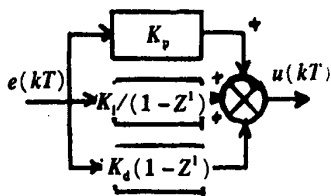


Fig. 3 Digital PID regulator

除系统的稳态误差;微分控制能够预测偏差,产生超前的校正作用,改善动态性能。

数字 PID 调节器输出控制信号 $u(kT)$ 为:

$$u(kT) = K_p \{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(jT) + \frac{T_d}{T} [e(kT) - e(kT - T)] \} \quad (1)$$

式中, T 为采样周期, T_i 为积分时间; T_d 为微分时间; K_p 为比例系数。

由于激光器输出光强受电源波动、温度变化、大气影响较大,要通过建立光强变化的数学模型来求解数字 PID 调节器中的参数是很困难的,故可采用实验参数整定法来确定 T, K_p, T_i, T_d 4 个参数。

光强稳定系统中的 A/D, D/A, PID 运算均由单片机 8098 来实现。单片机 8098 属 MCS-96 系列,片内具有 4 路 10 位 A/D 变换器,一路 PWM 输出可

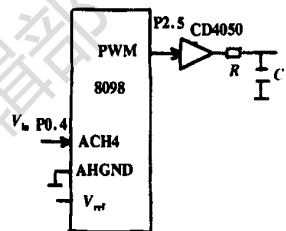


Fig. 4 8098 I/O circuit

用作 D/A 变换。单片机 8098 的输入和输出接口如图 4 所示。传感器送来的模拟信号 V_{in} 送到输入端口 P0.4, V_{ref} 接参考电压,片内完成 A/D 变换。A/D 变换后的数字量为: $D = 1024 V_{in} / V_{ref}$ 。

用设定值减去 D 值得到误差信号,然后对误差信号进行 PID 数字运算,PID 算法用软件来实现。运算结果经处理后去进行脉宽调制,从单片机 PWM (P2.5) 口输出。由于 PWM 输出波形的平均值与脉冲占空比成正比,故只要把 PWM 输出信号进行滤波,便可实现 D/A 变换。图 4 中 CD4050 为电平转换电路,R,C 为阻容滤波器。

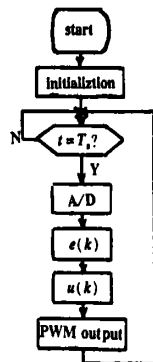


Fig. 5 Program diagram

主程序框图如图 5 所示,每当到采样时刻,即 $t = T_s$ 时,单片机对光强信号进行一次采样,完成 A/D 变换,PID 运算,以脉宽调制 (PWM) 的方式输出控制信号,然后等待下一采样时刻到来进行另一次采样控制循环。

4 结果与讨论

采用 8098 单片机控制,利用数字 PID 调节器对 He-Ne 激光器的输出光强进行控制,获得了较为稳定的输出功

(下转第 443 页)

阶相干函数及 $u_2(t)$ 的四阶相干函数, 其中前两项形成了实高斯场的常数本底。 $u_1(t)$ 及 $u_2(t)$ 的二阶相干函数使拍频信号呈现阻尼振荡, 频率为 $\omega_2 - \omega_1$ 、衰减率为 $\gamma_1 + \gamma_2$ 的阻尼振荡使实高斯模型下阻尼振荡的幅度比其它两种模型都大。

3 比较与讨论

图 3 是 Markovian 场混沌场模型、相散场模型、实高斯场 3 种模型窄带情形下拍频信号的强度随变化的情况, 其中所选参数为 $\gamma_1 = 108\text{ps}^{-1}$, $\gamma_2 = 116\text{ps}^{-1}$, $\omega_1 = 514.9\text{nm}$, $\omega_2 = 497.9\text{nm}$, $k = 0$, $\alpha = 1$, $B_1 = B_2 = B = 0.6$ 。由图 3 求得拍频信号的调制周期为 51.68fs, 故测量原子能级分裂的精度可达到飞秒量级。从图中可以看出, 实高斯模型下, 拍频信号的幅度最大且衰减最慢, 混沌模型与相散模型下的拍频信号幅度接近, 但相散模型下衰减最快。

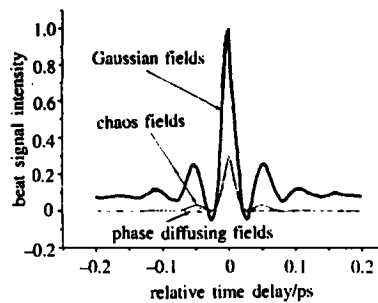


Fig. 3 The beat signal intensity versus relative time delay in Markovian fields when beams are narrow band

4 结论

从图 3 及前面的理论分析可知, 泵浦光为窄带

情形时, PCUMS 对应于饱和吸收光谱学, 其拍频信号振荡频率为 $\omega_2 - \omega_1$ 。调谐 ω_1 及 ω_2 分别到 ω_1 及 ω_2 时即可用于测量原子的能级分裂, 其测量精度仅取决于激光线宽。级联三能级系统在 Markovian 场中的五阶非线性效应 (NFPBCTMS), 实高斯模型下取决于八阶相干函数的拍频信号的常数本底来自于 Markovian 场的幅度涨落, 其峰值功率高、可调谐范围大, 在测量原子能级分裂时可得到消除多普勒极限增宽的精度; 相散模型下拍频信号峰值与混沌模型基本一致, 而衰减最快。因此, Markovian 场的相位涨落不影响拍频信号的峰值, 但影响测量原子能级分裂的精度及可调谐范围。相位涨落是影响测量原子能级分裂精度的主要因素, 这也正说明了 PCUMS 的优点。

参 考 文 献

- [1] Morita N, Yajima T. Phys Rev, 1984, 30(5): 2525 ~ 2535.
- [2] De Beer D, van Wagenen V G, Beach R *et al.* Phys Rev Lett, 1986, 56(11): 1128 ~ 1131.
- [3] Fu P M, Mi X, Yu Z H *et al.* Phys Rev, 1997, A52(6): 4867 ~ 4870.
- [4] Zhang Y P, Tang T T, Sun L Q *et al.* Phys Rev, 2000, A61(2): 3809.
- [5] Zhang Y P, Sun L Q, Tang T T *et al.* Phys Rev, 2000, A61(5): 3819.
- [6] Zhang Y P, de Araujo C B, Eyley E E. Phys Rev, 2001, A63(4): 3802.
- [7] Zhang Y P, Wu H C, Lu K Q *et al.* Chinese Physics, 2001, 10(3): 206 ~ 213.
- [8] 张彦鹏, 王鹏飞, 张 禄 *et al.* 光子学报, 2000, 29(1): 34 ~ 39.

(上接第 440 页)

率。激光输出功率随时间变化的稳定性曲线见图 6, 图 6a 为无数字 PID 调节器的情况, 图 6b 为有数字 PID 调节器的情况。

(1) 采用数字 PID 调节器可获得较高的输出光强稳定性。并且数字量便于滤波、判断调节等控制, 可获得更好的控制性能。例如, 由于 He-Ne 激光器输出功率与灯管电流并非单

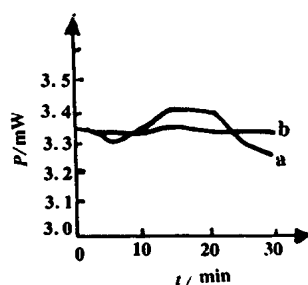


Fig. 6 Output power-time characteristic

调上升关系, 因此, 在反馈控制环节中, 增加了对控制信号 $u(kT)$ 进行分析处理的部分, 若发生多次采

样增加恒流电流而输出激光功率反而下降的情况, 则由单片机控制改变 $u(kT)$ 调节方向, 避免了由于干扰造成较大的波动。(2) 利用输出激光功率反馈直接对激光管电流进行控制, 比通过控制激光管电压, 间接稳定激光管电流的方式具有更好的控制性能。(3) 选用适当的单片机可使控制电路简化, 例如在片内完成 A/D, D/A, PID 运算等功能, 外围电路少, 控制稳定性提高, 并易于实现对整机电路的各种保护功能, 整机工作更加稳定可靠。

参 考 文 献

- [1] 李淳飞. 光学学报, 1984, 4(10): 907 ~ 909.
- [2] 鲁 岚, 陈清明. 激光技术, 1999, 23(4): 234 ~ 236.
- [3] 余 江, 杨齐民, 宗 容. 应用激光, 2000, 20(5): 225 ~ 227.
- [4] 余 江, 杨齐民, 宗 容. 激光杂志, 2000, 21(6): 10 ~ 11.