

文章编号: 1007-6654(2002)02-0085-04

全固化单频激光器的控温系统

樊巧云, 罗玉, 张宽收

(量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所, 山西 太原 030006)

摘要: 文章介绍了一种全固化单频激光器的控温系统;该系统利用 PID 控制原理,针对我们的控制对象,对其参数和整个系统进行了优化设计,并采取一系列抗干扰措施,保证了系统的控制精度和控制速度。用单片机对其多路温度信号的测量和显示进行了程序化控制,有效解决了热敏电阻的非线性问题,简化了系统的硬件结构。该系统体积小,运行可靠,控制精度达 0.005°C (4 h.)

关键词: 单频激光器; 控温系统; 单片机

中图分类号: O431 **文献标识码:** A

以 LD 泵浦的全固化单频激光器以其优良特性,被广泛用于光谱、相干通信、激光雷达、引力波探测、二次谐波产生、参量振荡及压缩态光场产生等领域。要获得这种高效而稳定的激光光源,除了稳定的腔形设计外,许多影响因素(机械振动、空气扰动、外界温度)等都必须考虑在内^[1]。其中,腔内各晶体元件及腔体温度的精确控制对激光器的稳定性起着不可忽视的作用。因此,研制高可靠、高精度的控温系统是提高激光器性能不可缺少的一步。

根据控制对象、精度要求的不同,有各种各样的控温电路。其中以 PID 控制技术最为成熟。但只有其参数 P(比例放大)、I(积分)、D(微分)恰当配合,才能有效解决控制速度和控制精度的矛盾。同时作为一个系统,其各个环节对系统的性能都起着关键性的作用。本文介绍了针对我们的控制对象,对 PID 参数的设置特点,以及对整个系统采取的一系列优化设计和抗干扰措施。另外,系统的控制对象多(4 个),再加上热敏电阻的非线性问题,给温度的测量和显示带来了困难。为了解决这一问题,用单片机对温度的测量和显示进行了程序化控制,这样不但弥补了模拟电路的缺陷,又为系统的功能扩展(智能化保护、数据记录、远程控制)等提供了有利的条件。同时,有效简化了系统的硬件结构。该系统的控制精度为 0.005°C (4 h.),体积小,运行可靠。

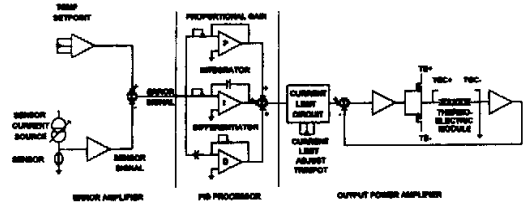


图 1(a) 温控电路原理框图

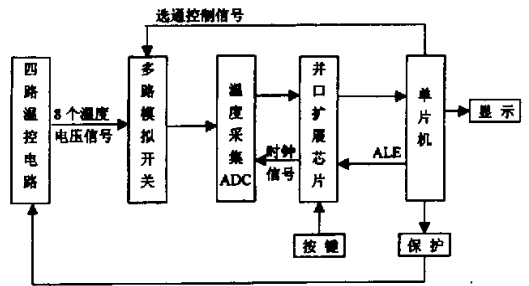


图 1(b) 温度测量显示原理框图

收稿日期: 2002-05-27

基金项目: 国家自然科学基金(9938019)

作者简介: 樊巧云(1978-),女,山西大学光电所硕士研究生,从事量子光学、激光技术等方面的研究。

1.1 温控电路原理

如图 1(a)所示,温控电路主要由三部分组成:误差放大部分,PID 控制部分和输出功率放大部分。被控物体的温度与设置温度之间的差以相应电压差信号的形式送入 PID 自动调节器,其放大系数随控制过程自动调节,放大后的信号去驱动末级功率放大电路,功率放大电路产生相应的电流流经 TEC(半导体制冷块),对安装在 TEC 上的被控物体进行加热或制冷,同时被控物体的温度又被热敏电阻反馈到误差放大部分,从而调整输出电流的大小,直到被控物体的温度稳定在设置温度点。

误差放大部分:这部分主要是提供被控物体实际温度与设置点之间的误差信号。为了测量的方便,流经热敏电阻的电流为恒流,所以只要测量热敏电阻两端的电压就可知相应的温度。这一部分的灵敏度由热敏电阻的灵敏度和误差放大系数来决定,温度范围由热敏电阻的温度范围决定。

PID 控制部分:在自动控制系统中,总是希望在稳定工作的状况下具有较高的质量,即持续时间短,超调量小,摆动次数少。为了保持系统的精度,就需要系统有很高的放大系数,然而放大系数一高又会造成系统不稳定,或者调节过程不稳定而产生振荡。因此调节过程中,自控系统的精度与稳定性之间产生了矛盾,随着集成运放的出现和发展,集成运放 PI、PD、PID 已成为解决这对矛盾的必要工具,而且它们已经系列化、标准化。因为 PID 调节器实际上是一个放大系数可自动调节的放大器,动态时放大系数低,而静态时放大系数较高。从而解决了精度与稳定性之间的矛盾。

如图 1(a)所示,我们采用并联形式的 PID 控制电路,它的优点是 P、I、D 参数可独立调节。对积分支路来说,当误差信号输入时,由于电容上的电压不能突变,C 相当于短路,放大器处于较深的比例负反馈状态,增益下降,因而调节过程缓慢而稳定。随着偏差的减小,C 上的压降逐渐增大,放大器的反馈减弱,放大倍数也逐渐增大。当调节过程结束时,C 相当于开路,放大器又恢复开环时的高增益状态,保持良好的静态精度。对微分支路来说,同样由于电容上的电压不能突变,在最初的瞬间,反馈电压达不到反向输入端,放大器相当于开环,增益特别大。随着电容的充电,反馈电压逐渐增大,增益逐渐减小。等到充电结束,放大器恢复到比例放大器状态。微分作用能反映输入信号的变化趋势,输入变化越陡,微分作用越强。微分作用所具有的这种超前的控制作用,可以加速系统的过渡过程,减小调节时间。总之,微分和积分相反而又相成,只有恰当配合才能达到良好的控制效果^[2,3]。

输出功率放大:用功率场效应管作为功率放大器件,输出电流方向是双向的,分别产生加热、制冷作用。输出电流

应根据被控物体承受的温度范围和 TEC 所能承受的最大电流加以限制。

1.2 测量显示原理

如图 1(b)所示,单片机扫描按键状态,根据要求去控制模拟开关,选通所要查看的温度电压信号,该信号经 A/D 转换后送给单片机,单片机经查表后,将相应的温度值显示到液晶显示屏上,在查表前若发现温度电压值超出正常范围,单片机会发出控制信号去触发保护系统。

温度信号的转换在速度上要求不高,但对精度要求高,考虑到成本,选用 14 位的双积分型模数转换芯片 ICL7135,其转换时间为 330 ms,输入电压范围为 -2V ~ +2V,分辨率 0.1mV,并可实现差分输入,有效防止了对前级电路的影响。转换的时钟信号来自单片机的地址锁存(\overline{ALE})信号经 8155 作十二分频后的输出。但是其输出格式为 BCD 码,没有锁存功能,为了与单片机接口,其输出接多功能并口扩展芯片 8155。单片机选用与 INTEL8031 全兼容的 ATMEL89C55,因为本应用对计算速度要求不高,31 系列单片机具有成本低、组态灵活、通用性好等优点,89C55 内部还有 32 K 存储器,可节省外部程序存储器电路^[4,5]。

2 系统的优化设计

对一个控温系统来说,除了对自动调节器的 P、I、D 各个参数恰当设置外,温度传感器的选择和安装、散热效果等都对系统的控制精度和稳定性起着不可忽视的作用。

2.1 温度传感器的选择及安装

从线性度、温度范围、灵敏度、物理尺寸四个方面考虑对其进行选择。象 RTD、LM355、AD592 等温度传感器其灵敏度低,适合于控温精度不超过 0.01℃ 的情况。针对我们控温精度要求高(0.005℃),控温范围小(20℃ ~ 40℃)的情况,选用热敏电阻做温度传感器。其灵敏度为 700 Ω/℃,体积小容易安装。另外,热敏电阻必须提供精确的温度信号给控温系统,为了提高其精确度,安装热敏电阻的孔打的尽量小,并用导热物质填充其空隙,这样来保证其良好接触,同时防止热敏电阻的滑动。

2.2 散热装置

如果散热效果不好,在制冷过程中,会导致 TEC 的制冷面温度升高,温度升高又会使制冷电流加大,制冷电流的加大又会导致 TEC 制冷面温度的进一步升高,这种恶性循环最终导致热漂移现象的出现。系统中,散热元件的选择受到激光器整体腔设计的限制,同时,散热装置与 TEC 的接触面之间不能涂导热硅胶,因为导热硅胶受热后会污染腔内晶体。由于这些因素的限制,使得好的散热效果实现起来有一定困难。系统中,有效利用了整体腔好的导热效果,在安装

上尽量保证其与 TEC 制冷面良好接触,尽可能减小空气缝隙,基本上达到了好的散热效果。

2.3 对 P、I、D 参数的优化设置

一个典型的控温过程如图 2 所示,定义 $T_{overshoot}$ 为被控物体的温度第一次经过温度设置点后的偏离温度。 T_{decay} 是温度返回温度设置点以后,又再次同方向偏离开设置点的温度值。根据 $T_{overshoot}$ 和 T_{decay} 就能知道系统的衰减速率,从而判断系统的稳定性。

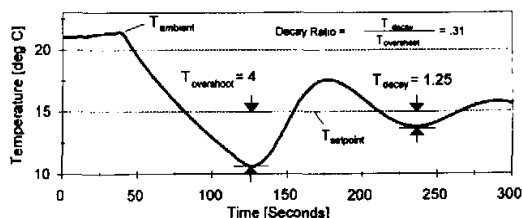


图 2 温度设置点为 30°时的控温

图 3(a)给出了当积分时间常数一定(1s),系统响应随比

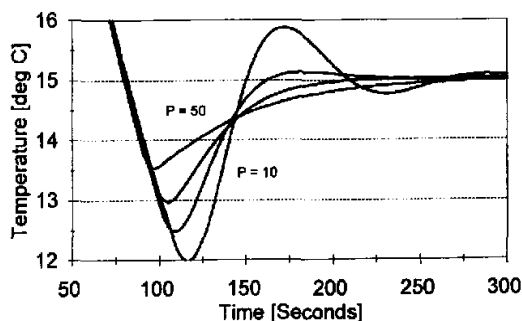


图 3(a) 当积分时间常数为 1s 时,系统响应随比例放大系数变化的关系

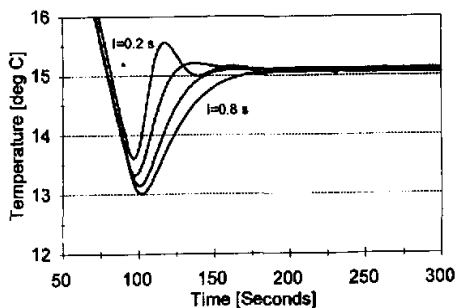


图 3(b) 当比例放大系数为 30 时,系统响应随积分时间的变化关系

例放大系数变化的关系。从图中可看出,比例放大系数越大, $T_{overshoot}$ 就越小,系统就越稳定。但是系统建立稳定所需时间就越长。(b)给出了比例放大系数一定(30)时,系统响应随积分时间常数的变化关系。从图中可看出,积分时间的缩短,会减小 $T_{overshoot}$ 的值,但也引起了系统短时间的振荡。积分时间的增长,又会增长系统建立稳定的时间。

衰减速率是衡量系统稳定性的一个重要指标,其值由下式给出

$$\text{Decay Ratio} = \frac{T_{decay}}{T_{overshoot}}$$

其值越大,系统越不稳定,其值超过 0.25 就说明系统会因响应太慢而造成不稳定。如果超过 0.25,可增大比例放大系数使其值小于 0.25。对加热系统一般将其值调在 0 到 0.1 之间。

在优化参数的过程中,如果其值超过 0.25,先增大比例放大系数使其值接近于 0,然后再减小积分时间常数使其值稍大于 0。微分时间一般设置为积分时间常数的四分之一。同时,使系统在使用的温度范围内,对不同的温度设置点都有好的响应特性。

3 系统抗干扰措施

隔离:系统对温度的测量和显示是必须的,为了减小测量显示电路对系统控制的干扰,采取了光电隔离的措施。同时,由于的系统是多路控温,为了减小各路之间的互相干扰,控温的主电源相互独立,并采用低噪声的线形电源。

稳压与滤波:为提高控温精度,温度设置点的电压来自三端稳压器 MAX875 的输出,其输出电压精度为 0.0008V。为防止来自电源线路的干扰,在电源输入端接噪声滤波器,在电路板上,设置去耦电容和高频滤波电容等元件,滤除电源中的高频干扰。同时,尽量减小线间的电磁耦合^[6]。

4 系统运行结果

图 4 是环境温度为 21°C 时,系统对全固化单频激光器的腔内各元件(KTP、YVO₄、LD)及腔体的控制情况。(a)给出了系统对它们的控制速度,即建立稳定所需的时间。从图中可看出控制速度不但与稳定温度点和环境温度的差值有关,与控制对象也有关系。由于腔体的体积大,又与外界直接接触,因对流、辐射、传导引起的热交换较大,所以对它的控制速度最慢。LD 因其稳定温度点与环境温度差最小,所以对它的控制速度最快。

系统的衰减速率接近于零,提高了系统的稳定性。(b)给出了系统的控制精度,图中是任选一路在控温稳定后,进行每隔 15 min 记录的结果。从图中可看出其精度为 0.005°C (4 h)。

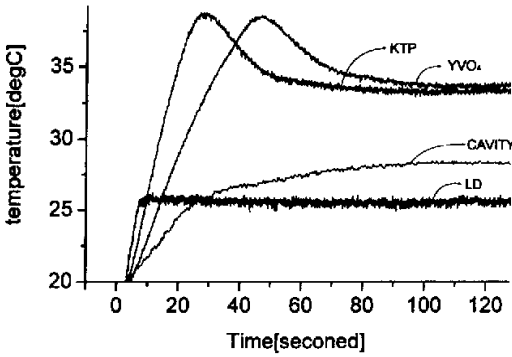


图 4(a) 环境温度为 21°时,系统的控制速度

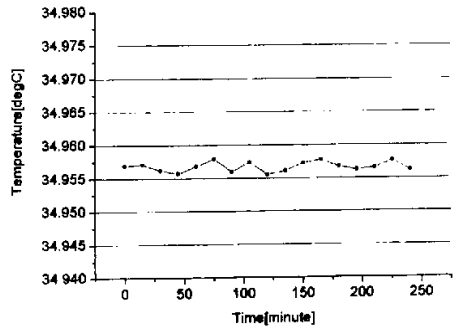


图 4(b) 系统的控制精度

5 改进方法

对腔体的控制速度太慢,如果选用功率大的 TEC 会提高其控制速度,但功率大的 TEC 控制起来会对控制精度有

影响,所以要兼顾两者选择合适功率的 TEC。另外,控温系统的最终目的是提高激光器输出功率的效率和稳定性,如果对温度稳定点的设置能根据输出功率的变化进行反馈设置,就会极大的提高系统的性能。

参考文献:

- [1] 张靖,张宽收,等. 全固化单频 Nd:YVO₄ 环形激光器 [J]. 中国激光, 2000, 27(8): 694 - 696.
- [2] 孔有林. 集成运算放大器及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1980. 227.
- [3] 秦世才,王朝英. 集成运算放大器应用原理 [M]. 天津: 天津科学出版社,1983. 227.
- [4] 蔡美琴. MSC-51 系列单片机系统及其应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 188.
- [5] 刘乐善,叶济忠. 微型计算机接口技术原理及应用 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社,1996. 129.
- [6] 王运谦. 激光电源的程序化控制 [J]. 激光与红外, 1998, 28(3): 149 - 151.

Temperature Control System of LD - pumped All - solid - state Single - frequency Laser

FAN Qiao - yun, LUO Yu, ZHANG Kuan - shou

(State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Institute of Opt - Electronic Research of Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: A temperature control system of LD - pumped single - frequency laser. s introduced in this paper on the basis of principle of PID - control, The optimization of the P,I,D parameters and the mechanical assembly of the system, is given and it's high performance is achieved by taking antiinterference measures. Microprocessor are used for the measurement of the temperature signal. The fluctuation of the system is less than 0.005°C (4 hr.) and it is reliable and compact.

Key words: single - frequency laser; temperature control system; microprocessor