

文章编号: 1001-3806(2004)06-0598-04

温度自动补偿技术在 DPL 中的应用

连 悦, 刘文清, 刘建国, 张天舒, 黄书华, 高闽光
(中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要: 针对 DPL 激光器中温度变化对激光输出功率的影响, 设计并实现了基于 TL494 脉宽调制控制器的实时双向温度控制器, 使激光晶体和 Q 开关在任何环境温度下都可以保持恒定的设定温度。通过在实际的 Nd:YVO₄ 半导体二极管抽运激光器上的使用, 证明该技术稳定可靠, 能够使激光器输出功率保持稳定。

关键词: TL494; 激光二极管抽运; 恒温控制; 珀耳帖效应

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

Temperature auto-compensating technology applied in DPL

LIAN Yue, LIU Wenqing, LIU Jianguo, ZHANG Tianshu, HUANG Shuhua, GAO Min-guang
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Temperature change affects the output power of DPL remarkably. A real-time temperature control technique is presented which can keep the laser crystal and Q -switched working at the setting temperature under any environment conditions based on TL494 pulse width modulator used to control the temperature. The technique has been used in Nd:YVO₄ LD pumping laser and got stable output power, which proves it is stable and reliable.

Key words: TL494; LD pumping; constant temperature control; Peltier effect

引 言

现今各种各样的激光器已广泛应用在工业生产和科学研究中。无论是蓝绿激光还是红紫激光, 都存在着因环境温度影响导致激光器不稳定输出问题。半导体激光器的功率及波长会随着温度的变化而变化: 在高温时, 激光器的输出功率明显降低, 波长向长波长方向漂移; 在低温时, 激光器的输出功率将增加, 波长向短波长方向漂移。所以, 为提高激光器恒定输出, 使其应用方向更广, 需应用温度自动补偿技术。

作者的设计围绕 UV 激光器, 采用二极管连续激光抽运 Nd:YVO₄ 激光器、脉冲调 Q 加非线性频率变换的技术, 其高重复频率的三倍频输出波长为 355nm, 可应用于检测生物气溶胶的特征荧光。为保证 UV 激光器不会随着环境温度而造成输出不稳定的影响, 设计中采用 TL494 脉宽调制 PWM 开关电

源控制器及其相关检测、控制、温控电路完成。使 UV 激光器输出功率连续、稳定、可靠。

1 理论分析

二极管激光波长与激光介质的吸收峰重合得越好, 抽运的效率就越高, 激光介质的温度变化对 1064nm 激光输出的稳定性影响极大, 而二次谐波的转换效率与基波强度的平方成正比, 三次谐波的转换效率与基波强度和二次谐波强度的乘积成正比, 因此, 对 355nm 输出的影响就更大, 故设计中需要对两大部分进行控温^[1]。

一是二极管激光器。半导体激光器的工作物质是 p-n 结, 其功率输出的稳定性和阈值电流都对温度敏感。当温度升高时, 就需要更多的载流子注入, 来维持所需粒子数反转, 同时半导体激光器的阈值电流密度和阈值电流升高, 增大的幅度随不同激光器的材料体系和器件结构有关。在连续运转时温度影响阈值电流密度, 其关系如下:

$$J_{th}(T) = J_{th}(T_r) \exp[(T - T_r)/T_0] \quad (1)$$

式中, $J_{th}(T)$ 为工作温度下的阈值电流密度, $J_{th}(T_r)$ 为室温下的阈值电流密度, T 为半导体激光器的工作温度, T_r 为室温, T_0 为表征半导体激光器温度稳

基金项目: 国家八六三计划资助项目(2002AA641020)

作者简介: 连 悦(1974), 男, 博士研究生, 现主要从事环境光学和大气气溶胶检测方面的研究。

E-mail: lian_yue@aiofm.ac.cn

收稿日期: 2003-12-29; 收到修改稿日期: 2004-03-09

定性的特征温度。激光二极管能否正常工作,取决于上式的基本参数。当然,在设计上选择材质工艺的同时,更重要的是解决器件的温控问题。满足温度的恒定性,确保参数稳定,进而保证激光二极管的连续工作输出^[2]。

二是倍频晶体。大多数非线性晶体都存在双折射,双折射使进入晶体的光束分成两束,为寻常光和非常光。非常光的折射率 n_e 与温度变化有直接关系。频率高的倍频折射率 $n(2\omega)$ 较大,取倍频波为 e 光,在晶体的一个特定方向 θ 上,可以满足 $n_o(\omega) = n_e(2\omega)$ 条件,故可得^[3]:

$$n_e^{2\omega}(\theta) = \frac{n_e^{2\omega} n_o^{2\omega}}{[(n_e^{2\omega})^2 \cos^2 \theta + (n_o^{2\omega})^2 \sin^2 \theta]^{1/2}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{[n_e^{2\omega}(\theta)]^2} = \frac{\cos^2 \theta}{(n_o^{2\omega})^2} + \frac{\sin^2 \theta}{(n_e^{2\omega})^2} \quad (3)$$

$$I_{\omega_1 - \omega_2}(z) = \frac{2(\omega_1 - \omega_2)^2 d_{\text{eff}}^2 I_{\omega_1}(z) I_{\omega_2}(z)}{n_1 n_2 n_3 c^3 \epsilon_0} \frac{\sin^2 \varphi}{\varphi^2} \quad (4)$$

式中, d_{eff} 为有效二阶非线性极化系数,倍频波沿传播方向 z 变化, I 为光强, ϵ_0 为介质的介电常数, φ 为相位差, c 为常数。将 $n_o = n_e^{2\omega}(\theta)$ 代入整理可得:

$$\sin^2 \theta = \frac{(n_o^{2\omega})^{-2} - (n_e^{2\omega})^{-2}}{(n_e^{2\omega})^{-2} - (n_o^{2\omega})^{-2}} \quad (5)$$

通过上式可以看出,当温度改变,折射率发生变化,同时晶体的特定相位角 θ 也发生变化,其输出也会随之改变。同样可利用 n_e 随温度变化的性质,通过控温的办法来实现相位匹配。与此同时也认识到,激光腔内的热效应和倍频晶体的热影响相当大^[2]。传统的制冷方式有:液体冷却、气体冷却、传导冷却。

液体冷却一般采用循环水进行,因为水是目前最好也是最常用的冷却液,但水一般皆含有矿物质,沉淀后很容易污染激光器和堵塞管道,同时水的冰点为 0°C ,不适用于野外工作的激光器,且在整体设计上要有泵液流管等,会增加很大体积,很不方便。

气体冷却是采用强迫气体冷却激光器,一般采用风扇完成,根据耗散的热量和空气流的最大温差来确定,采用这种方法的缺点在于控温不够均匀且不适合在野外探测。

传导冷却是采用紧贴热导体,如紫铜将热量传给散热器从而使其冷却,但其缺点在于体积较大,散热精度不高,不适合恶劣的条件环境,如低温环境。

作者的设计克服了原有技术上的不足,采用先进的电子技术、温控调谐技术对二极管激光器、倍频

晶体进行温度调谐控制,使其适应于任何工作环境,在体积不会增加的情况下,保证了在测量过程中的一致性,提高了控温、测量精度,确保低成本,使其能够在控温点上,达到低温进行加热、高温进行制冷的目的。

2 实验仪器

激光光源结构见图 1。图中,1 为电源;2 为激光二极管;3 为聚焦系统;4 为 1064nm 全反镜;5 为激光工作物质;6 为电光 Q 开关;7 为 1064nm 输出镜;8 为二倍频晶体;9 为三倍频晶体;10 为紫外滤光片;11 为热敏电阻;12 为珀耳帖元件。从图 1 可以看出,在整个 UV 激光光源中需控温点有:激光二极管 2、二倍频晶体 8、三倍频晶体 9。同时控温应在 $10^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的范围内。

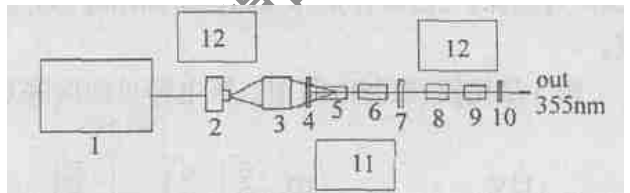


Fig. 1 UV laser lamp house structure

根据上述的分析,作者设计了一种新型激光器控温系统,由控温元件、探测传感元件、温控模块 3 部分组成。

控温元件选用珀耳帖效应元件进行现场控温,利用其元件热电效应特征来对所需控温点进行升、降温控制,使其始终在指定的温度下工作。

探测传感元件在系统中,选用负温度系数 (NTC) 的高精度热敏电阻进行测量,根据实际激光腔内的温度,实时监视测量^[4]。

温控模块是整个控温系统的核心部分,它是通过脉宽调制输出的方式进行,并对外部元件控温。

控制电路由 PWM 开关电源控制器 TL494 构成的闭环控制系统组成,通过功率开关控制其工作。TL494 实现温度控制,内部设有两个误差放大器,具有死区调整功能,软启动功能,输出形式既可单端也可双端,可实现振荡外同步。最高工作频率 300kHz ,内部基准电压 5V ,输入电压 $\leq 41\text{V}$,工作温度范围 $-20^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 。通过两路误差放大器分别进行高、低温状态监测,其切换电路由 LM393 比较电路和放大控制电路及 4 路继电器切换电路完成。由于该设计是一个固定频率脉冲宽度调制控制的电路,所以其输出升温、降温有一个逐步的过程,使其较好地控制在指定的温度范围内。

图2是在整个温控电路中最前端探测采样部分。图中,热敏电阻 RM_1 (系统中安装位置在图1中

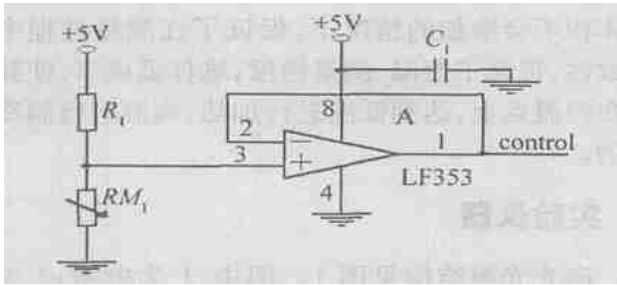


Fig. 2 Detecting and keeping circuit

的激光二极管 2、二倍频晶体 8、三倍频晶体 9 上)和分压电阻 R_1 构成通路,测量热敏电阻的阻值变化通过 R_1 上电压的变化反演表现出来,然后通过由 LF353 放大器构成的跟随器输出接入控制电路。电源转换电路采用 78L05 集成电路,其电路属于固定正电压输出的三端稳压器,内部由基准电压回路、恒流源、过流保护、过压保护和短路保护回路等部分组成。

图3是比较、控制电路图。该电路可实时完成

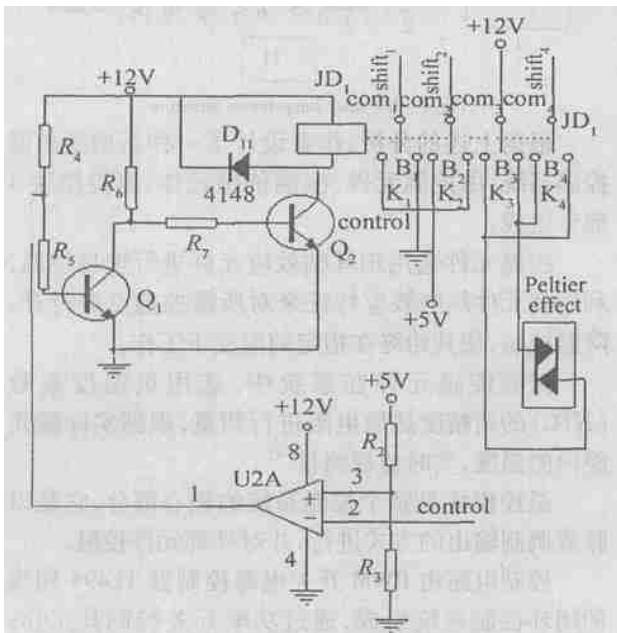


Fig. 3 Compare and control circuit

加热、制冷分路选通控制的功能。图中,Peltier effect 为接入的珀耳帖效应元件,进行温度控制的是输出控制端。珀耳帖元件是双向的,正负极对调就能够由加热变制冷。由于在温度转换判别中,必须有一个控制门限,故而根据光学设计要求温度控制在 $10^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的范围。图中由 U2A 构成比较电路,其比较器第 3 端为基准电压,第 2 端为测试后的反演电压值^[5]。

JD_1 为继电器, D_{11} 为续流二极管,可以为继电器

在断电瞬间产生的反向电动势提供泄放回路,保护三极管和继电器不至于损坏。 JD_1 为 4 路触点继电器,其中升温选通 ($shift_1$) 和降温选通 ($shift_2$) 两路给 TL494 提供需加热或制冷的唯一参比电压选通。 $+12\text{V}$ 和 $shift_4$ 则为 PWM 脉宽调制后的状态输出。

在图 4 中,主要完成了具有唯一性的两路温度判别。利用 TL494 的独特调制输出控制功能,进行

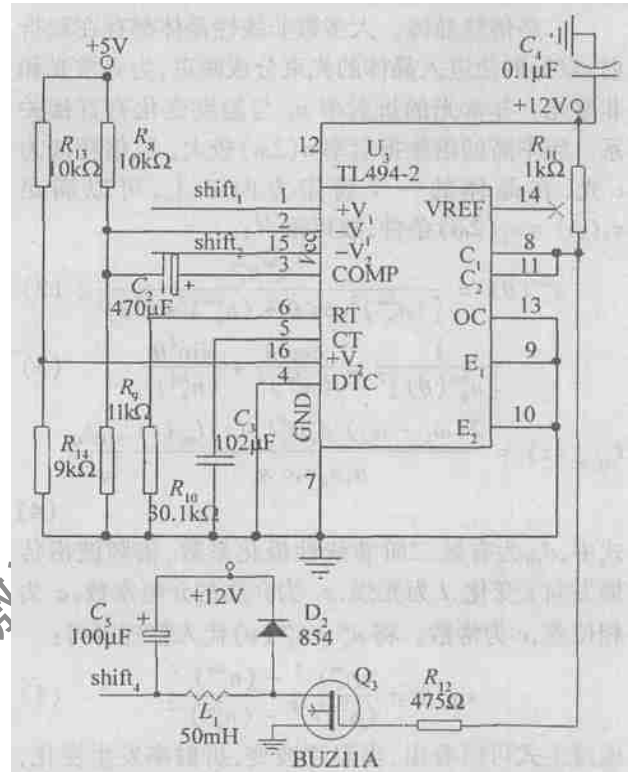


Fig. 4 TL494 Temperature control circuit

切换控制。在系统中使用开关电源控制器 TL494 作为核心温控器件。TL494 是一种脉宽调整型电源控制器。内部设有两个误差放大器,具有死区调整功能,软启动功能,输出形式既可单端也可双端,可实现振荡外同步。 $shift_1, shift_2$ 分别为热敏电阻输出端,并分别输入到误差放大器 1 脚, 15 脚的两端。由图 2 可以看出, $shift_1$ 和 $shift_2$ 两路只有唯一的选通量输出。在误差放大器 1 的负输入端输入的是由基准电压源通过分压电阻提供的 2.5V 电压,当图 2 中 RM_1 和 R_1 的阻值相等时(误差放大器 1 的正端也输入 2.5V 电压),误差放大器 1 的输出为 0。在 TL494 的输出端是由内部两个三极管 Q_1, Q_2 组成,将它们并联在一起共用一路输出。三极管 Q_1, Q_2 与电阻 R_{11} 组成共射极电路,即当三极管截止时其输出电压 12V ,导通时电压降低。当输出电压为 12V 时,场效应管 Q_3 的电流 I_d 最大,电感 L_1 相当于通路, $shift_4$ 的电压值为 0。当 TL494 的输出电压值降低时,由于电感 L_1 的感应电动势效应, $shift_4$ 的电压

为 12V, 系统停止加热。只有当误差放大器的输出为 0 时, 系统才能保持现有的温度不变。

图 5 是热敏电阻-温度特性图。从图 5 可以看出, 在常温下时, RM_1 的阻值大于 R_1 , 于是误差放大器输出为高电平, 输出脉冲方波变窄, 导致三极管导通的时间变短, 对于系统加热来说, 加热时间长。在系统加热后, R_1 的阻值逐渐变小。当其阻值小于 R_1 的 $36k\Omega$ 时, 输出方波变宽, 加热时间变短。系统通过检测 R_1 上的电压 CONVTEMP 就可以推算出此时的温度, 完成了对温度的闭环控制。

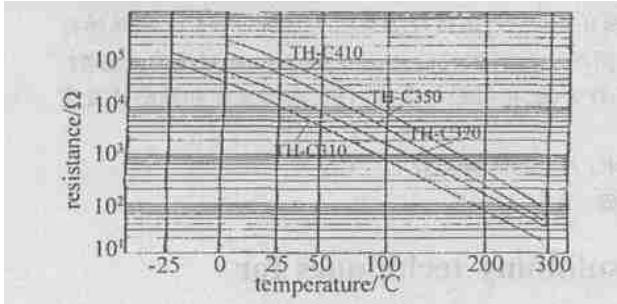


Fig. 5 Resistance-temperature relationship curves

3 实验结果

设计完成以后, 对该系统进行了详细的测量和验证, 其实测数据及分析见表 1 和表 2。

Table 1 Measured date and analysis of temperature

time/min	temperature/°C	absolute error/°C	relative error/%
20	10.2	0.2	1.98
40	10.1	0.1	0.99
60	10.0	0.0	0.00
80	9.8	0.2	1.98
100	10.0	0.0	1.98
120	10.1	0.1	0.99
140	10.3	0.3	2.97
average error		0.13	1.27

由表 1 和表 2 可知, 不同时间段, 温度的平均绝对误差为 0.13°C, 平均相对误差为 1.27%, 能量输出的平均绝对误差为 0.016J, 平均相对误差为

Table 2 Measured date and analysis of energy

time/min	energy/J	absolute error/J	relative error/%
20	24.97	0.03	0.12
40	25.02	0.02	0.08
60	25.00	0.00	0.00
80	25.00	0.00	0.00
100	25.03	0.03	0.12
120	25.01	0.01	0.04
140	24.98	0.02	0.08
average error		0.016	0.063

0.063%。通过数据分析不难看出, 输出完全控制在要求范围内。通过对 PWM 控制, 控制输出信号始终和控制差值(设定温度和实际温度的差)成正比, 差值小时, 控制输出也变小, 直到保持动态平衡。

4 结 论

该设计实现了 UV 激光器光源温控调谐系统的设计与制作, 实验表明, 其性能完全能够达到设计要求的指标, 使激光器在升温 and 降温的控制下, 有一个稳定的激光光源输出。其结构简单、安装方便, 并可广泛应用于各种激光器的恒温控制中, 完全实现了脉宽调制控制温调节的功能, 相信会有更好的应用前景并将在激光领域起到重要作用。

参 考 文 献

- [1] AGNESI A, REALI G C, GOBBI P G. 430MW single transverse mode diode pumped Nd:VO₄ laser at 671nm [J]. IEEE J Q E, 1998, 34(7): 1297~ 1300.
- [2] 马养武. 激光器件 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 119~ 243.
- [3] 陆同兴, 路秩群. 激光光谱技术原理及应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999. 143~ 160.
- [4] 陈小华. 现代敏感元器件实用技术手册 [M]. 北京: 北京人民邮电出版社, 1998. 1~ 264.
- [5] 沙占友. 智能化集成温度传感器原理与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 10~ 84.