

文章编号: 1001-3806(2017)05-0734-04

基于 DRV595 的激光器恒温控制系统

郭凤玲, 徐广平, 黄宝库

(华北光电技术研究所 激光技术研究部, 北京 100015)

摘要: 半导体激光器的输出波长和功率随温度变化而变化, 为了确保激光器工作性能, 须对其进行恒温控制。采用脉冲宽度调制功率驱动器 DRV595 驱动半导体制冷器的方法, 设计了一种双向大电流输出的高精度温度控制系统。在 S 域对系统进行了建模分析, 搭建经典比例-积分-微分控制器, 采用桥式采样电阻, 纯硬件电路实现, 结构简单, 省掉了数字控制器的复杂软件编写。在常温试验中取得了 $\pm 0.03^\circ\text{C}$ 的控制精度, DRV595 集成脉冲宽度调制和双向 MOSFET, 输出电流最大为 $\pm 4\text{A}$ 。双向电流驱动半导体热电制冷器, 实现了无死区控制。结果表明, 脉冲宽度调制方式驱动和低输出级电阻大大降低了功率耗散。该系统工作稳定、功耗低、控制精度较高, 具有实用价值。

关键词: 激光技术; 温度控制; 比例-积分-微分; DRV595; 半导体激光器

中图分类号: TP273

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2017.05.023

Constant temperature control systems for semiconductor lasers based on DRV595

GUO Fengling, XU Guangping, HUANG Baoku

(Department of Laser Technology Research, North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The output wavelength and power of a semiconductor laser varied with the temperature. In order to ensure the performance of laser, constant temperature must be controlled. A high precision temperature control system of bidirectional high current output was designed by using pulse width modulation power driver DRV595 to drive the semiconductor cooler. In the S domain, the system was modeled and analyzed, and the classical proportional-integral-differential controller was built. The bridge type sampling resistor was adopted to realize the pure hardware circuit. The structure was simple, and the complex software of the digital controller was omitted. After normal temperature test, the control accuracy of $\pm 0.03^\circ\text{C}$ was achieved. Pulse width modulation and bidirectional MOSFET were integrated in DRV595. The biggest output current was $\pm 4\text{A}$. No-dead-time control was realized by using bi-directional current to drive semiconductor cooler. The results show that pulse width modulation mode drive and low output stage resistor greatly reduce power dissipation. The system has the advantages of stable operation, low power consumption, high control accuracy and practical value.

Key words: laser technique; temperature control; proportional-integral-differential; DRV595; semiconductor lasers

引言

激光二极管 (laser diode, LD) 因其成本低、体积小、重量轻等优点在激光设备中广泛应用^[1-2]。LD 的缺点是受温度影响大^[3-4]。阈值电流、功率随温度的变化发生漂移, 发射波长随温度的变化约为 $0.3\text{nm}/^\circ\text{C} \sim 0.4\text{nm}/^\circ\text{C}$ ^[5-6]。目前固体激光器的吸收谱线带宽窄, 因此, 实现对 LD 的恒温控制在激光应用中尤为重要^[7]。

半导体热电制冷器 (thermos electric cooler, TEC) 是利用半导体材料的珀尔帖效应制成的热泵, 体积小、重量轻, 适用于小型温控系统。通过调节 TEC 电流或

电压实现精确控温, 因此, TEC 本身性能的好坏直接影响温控精度。当前, 国外处于领先水平的公司如 Analog Devices 和 Maxim 分别推出 TEC 控制芯片 ADN8830 和 MAX1978, 均可实现 0.01°C 的激光器温控精度。由于其驱动电流均小于 3A , 无法满足该系统较大功率制冷要求。使用大电流恒流源驱动 TEC 的方法, 虽然最大电流可达 7.5A ^[8-9], 但采用单向电流控制, 会出现轻载电流非线性甚至温控死区的问题。本设计中采用金属氧化物半导体场效应管 (metal oxide semiconductor field effect transistor, MOSFET) 构成的 H 桥驱动 TEC, 通过脉冲宽度调制 (pulse width modulation, PWM) 控制 H 桥的方向和导通时间, 实现对 TEC 的高效率、无死区控制。集成电路 DRV595 内部集成 PWM 和 MOSFET 的 H 桥, 通过和外接基准电压的差值产生脉冲波, 内部实现控制 H 桥电流方向和开通时间, 从而驱动 TEC。从外部看, DRV595 的输出正比于

作者简介: 郭凤玲 (1990-), 女, 初级工程师, 主要研究领域为激光应用。

E-mail: guofengling123@163.com

收稿日期: 2016-11-29; 收到修改稿日期: 2017-01-22

输入,相当于控制器中比例-积分-微分环节 (proportional-integral-differential, PID) 的比例 (P) 模块,建模简单。

1 LD 温控系统原理框图

LD 温控系统图 1 所示。这是一个经典的 PID 控制系统,由控制单元、执行单元、反馈单元组成的闭环系统^[10]。LD 的温度可以通过热敏电阻阻值反映,本系统反馈单元为负温度系数(negative temperature coefficient, NTC)的热敏电阻和 3 个精密电阻组成的电桥。采样和基准的差分信号经过集成运算放大器放大 50 倍,输入到 PID, PID 控制器作为控制单元,其输出控制执行单元集成电路 DRV595,在 TEC 两端输出相应的电压差,制冷或加热,达到控制 LD 温度的目的。热敏电阻对温度比较敏感,为避免热敏电阻自身发热,影响测温精度,流过本系统热敏电阻的最大电流不超过 1mA。差分信号放大部分采用 2.5V 作为基准,而非 0V,是因为防止该电路不可放大负差分电压。而控制系统稳定时不可避免的在基准电压上下浮动。此 2.5V 基准电压和 DRV595 驱动单元中的 2.5V 基准电压互消,输出至 TEC 两端的信号仅和差分信号相关,不再受基准电压的影响,从而实现正负差分信号的放大。

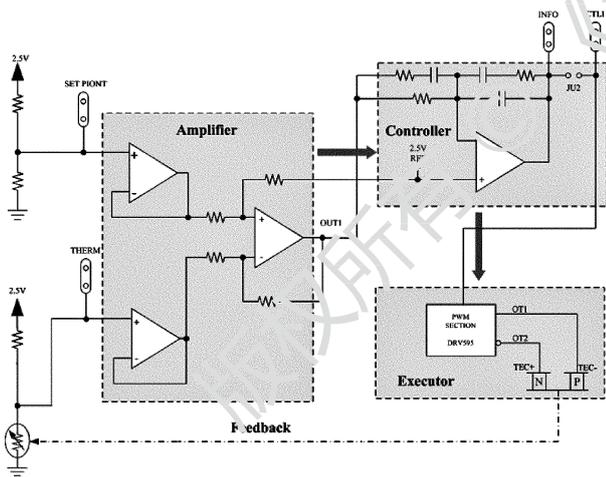


Fig. 1 Block diagram of temperature control system

2 PID 控制系统设计

2.1 子模块建模

整个系统涉及的环节较多,在时域不便分析,在 S 域(复频域)建立各模块的数学模型。由图 1 可知,TEC 为系统的执行结构。TEC 的工作原理如图 2 所示^[11-12]。设 TEC 的制热系数为 E,传热系数为 k,接触面积为 A,初始温度为 T₀,制热后的温度为 T₁,单位时间内制冷器产生的热量为 ΔQ。由能量守恒定律可得:

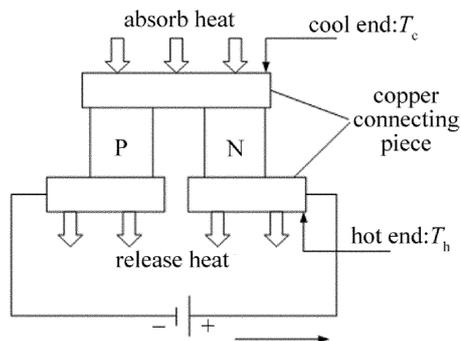


Fig. 2 Theory of TEC

$$E \frac{\partial(T_1 - T_0)}{\partial t} + kA(T_1 - T_0) = \Delta Q \quad (1)$$

$$Q = \frac{U^2}{R} \quad (2)$$

式中, U 表示 TEC 两端电压, R 表示 TEC 的电阻值。可知 Q 和 U 成非线性关系, ΔT = T₁ - T₀, ΔU 为 TEC 两端温度变化后电压的变化值:

$$E \frac{\partial \Delta T}{\partial t} + kA \Delta T = \Delta Q = \Delta U \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta U} \quad (3)$$

转化为 S 域的方程为:

$$\frac{\frac{\Delta Q}{\Delta U}}{Es + kA} = \frac{\Delta T}{\Delta U} = \frac{\frac{\Delta Q}{\Delta U kA}}{Es \frac{1}{kA} + 1} \quad (4)$$

令 $\frac{\Delta Q}{\Delta U kA} = P, \frac{E}{kA} = \tau_1, \frac{\Delta T}{\Delta U} = G(s), G(s)$ 为 TEC 在 S 域的传递函数, s 是复频率。

$$G(s) = \frac{P}{\tau_1 s + 1} \quad (5)$$

(5)式表明, TEC 为 1 阶惯性环节^[13-14]。测量反馈单元近似为比例环节^[14],即系统的反馈传递函数 H(s) = K, K 是比例系数。半导体激光器温度是一个缓慢变化的过程,控制对象 LD 的传递函数为 1 阶惯性环节^[14],则执行结构和控制对象为一个双极点系统。本文中采用 MAX1978 中的 TEC 双系统模型,极点可近似为 0.01Hz 和 1Hz。其对应波特图如图 3 所示^[15]。

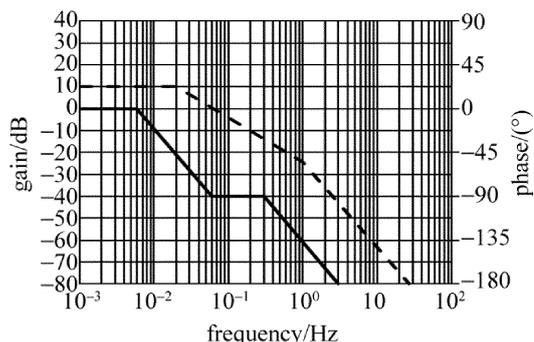


Fig. 3 Relationship of gain, frequency and phase

2.2 PID 控制器设计

为保证系统的温控性能,采用经典 PID 控制。PID 控制器的经典电路结构及其波特图如图 4 所示。由 PID 控制器补偿之前的波特图如图 3 所示,按照自动控制原理中波特图补偿步骤^[15]。考虑到相位裕度等性能指标,补偿电路的第 1 个拐点频率为 0.16Hz,第 2 个拐点选择穿越频率为 1.5Hz,第 3 个拐点频率为 7.5Hz。PID 控制器的配置电阻电容取值见图 4a^[15],图 4b 为图 4a 对应的幅值,即增益的波特图,纵坐标表示 $20\lg A_g$,其中 A_g 为图 4a 对应的传递函数的增益。

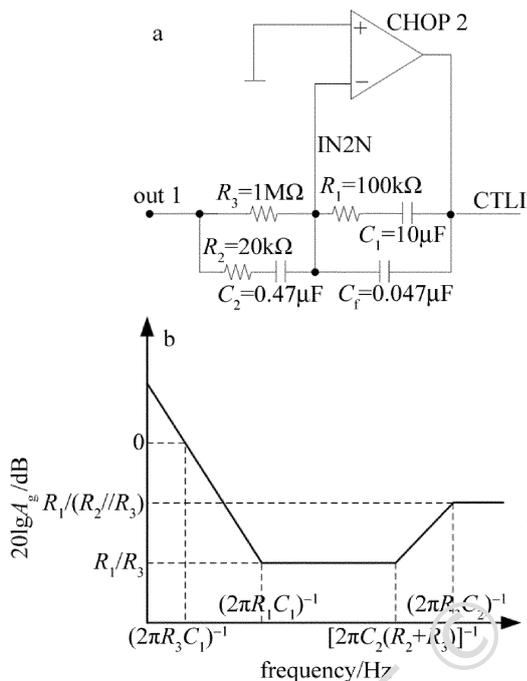


Fig. 4 Model and Bode plot of PID compensation circuit

3 驱动单元设计

DRV595 是一款高效、高电流的功率驱动器。单电源供电,供电范围 4.5V ~ 26V,最大可产生 ±4A 的输出电流,内部 PWM 方式运行和低输出级电阻大大降低了放大器内的功率耗散,广泛应用于 TEC 驱动。DRV595 内部高达 1.2MHz 的开关频率,外围滤波需要

Table 1 Pin definition and function

name of pin	description
SDZ	shutdown logic input
IN + , IN -	positive and negative differential input
GND	ground
Hi-Z	input for fast disable/enable of outputs
FS2 , FS1 , FS0	frequency selection input
SYNC	clock input/output for synchronizing multiple devices
PVCC	power supply
BSP , BSN	boot strap for negative and output
OUTP , OUTN	output

的电容值变小,从而减小了整个电路印制电路板 (printed circuit board, PCB) 尺寸,达到小型化的目的。

PWM 功率放大器可分为三部分:控制电路部分、电压-脉宽转换电路部分、开关式功率驱动电路部分。DRV593 采用了先进的 PWM 技术,其电路包括输入控制部分、三角波发生器部分、H 桥电路驱动逻辑控制部分以及 H 桥电路。各引脚号、引脚定义、功能如表 1 所示^[16]。

设置后的 TEC 驱动电路如图 5 所示。虽然 DRV595 采用脉冲宽度调制,但是最终输出的是连续变化的模拟量与控制端输入电压信号成线性关系。图 5 中 R_{19} 的阻值为 20kΩ, R_{16} 不接。DRV595 的输出电压和输入电压关系式^[16]为

$$V_{TEC} = K \times (V_{IN+} - V_{IN-}) = K \times (V_{IN+} - 2.5V) \quad (6)$$

式中,取 $K = 10$,在 s 域中为比例环节。

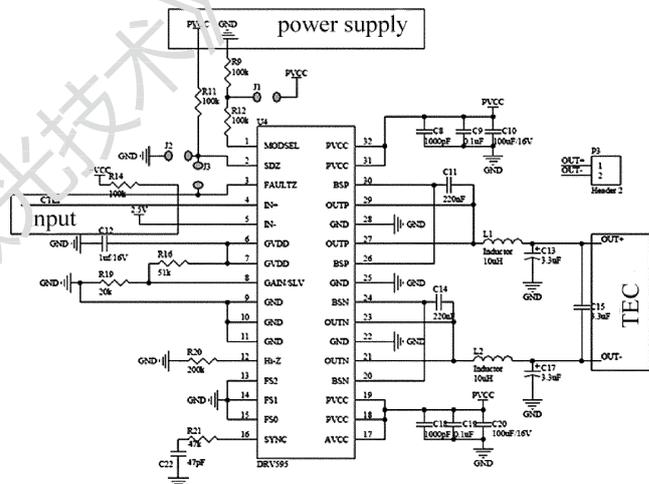


Fig. 5 DRV595 drive circuit

4 实验结果

在外界环境温度为 19℃、稳定温度为 25℃ 时,当激光器温度稳定情况下,每 2min 记录一次,连续记录 20 个数据,该温度值如表 2 所示。从表中可知温控的精度为 ±0.03℃,工作稳定,满足系统要求。

Table 2 Temperature of laser diode

time/ min	temperature/ ℃	time/ min	temperature/ ℃	time/ min	temperature/ ℃
2	24.983	16	25.021	30	25.025
4	24.982	18	25.029	32	25.004
6	24.999	20	25.028	34	25.021
8	24.010	22	25.014	36	25.007
10	25.019	24	25.023	38	25.015
12	25.018	26	25.010	40	24.99
14	25.023	28	25.014		

5 结 论

对整个温控系统分模块进行了建模,并分析了PID补偿控制网络。TEC的驱动采用专门PWM驱动芯片DRV595,对TEC模块进行双向电流控制,并且最大输出电流为 $\pm 4\text{A}$,避免了控制死区和小负载非线性问题。实验结果证明,本系统的控制精度为 $\pm 0.03^\circ\text{C}$,能够满足半导体激光器的温度控制要求。

参 考 文 献

- [1] ZHAO G, LI J, PENG X J, *et al.* Compact repetitive diode-pumped slab lasers without thermoelectric coolers [J]. *Laser Technology*, 2016, 40(5):625-628 (in Chinese).
- [2] REN W B, DONG Sh Y, XU B Sh, *et al.* Research advance and development of laser remanufacture closed-loop control systems [J]. *Laser Technology*, 2016, 40(1):103-108 (in Chinese).
- [3] CHEN W, YANG Zh, ZHANG W. Design of high precision laser temperature control circuit [J]. *Laser Technology*, 2014, 38(5):669-674 (in Chinese).
- [4] LIAO Zh Y, DENG H F, WU L H, *et al.* Design of high precision constant temperature control systems based on laser diodes [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(6):771-775 (in Chinese).
- [5] XU G P, FENG G X, GENG L. Temperature control of high density TEC based on MCU operation [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(3):254-256 (in Chinese).
- [6] YUAN J G, ZHAN Ch, LI X G, *et al.* Accurate controlling system of the output and frequency for laser diodes [J]. *Laser Technology*, 2014, 30(6):650-663 (in Chinese).
- [7] FANG L H, WEN J G, JIANG Y Ch, *et al.* Design of a temperature control system for semiconductor laser based on digital filtering [J]. *Laser Technology*, 2016, 40(5):701-705 (in Chinese).
- [8] WANG Z Q, DUAN J, ZENG X Y. Research of precise temperature control systems of high-power semiconductor lasers [J]. *Laser Technology*, 2015, 39(3):353-356 (in Chinese).
- [9] GAO P D, ZHANG F Q. Design and implementation control system for high precision temperature of semiconductor lasers [J]. *Laser Technology*, 2014, 38(2):353-356 (in Chinese).
- [10] LÜ F, GAO F, ZHENG Q, *et al.* Application of temperature control system based on AND8831 in laser [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2011, 34(7):1096-1099 (in Chinese).
- [11] JIANG H L. Design of thermostat system for high power semiconductor laser [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2004, 25(4):320-322 (in Chinese).
- [12] WANG X Z, HOU H Y, ZHAI Zh Sh, *et al.* Mathematical modeling and parameter identification of temperature control system based on thermoelectric [J]. *Laser Technology*, 2015, 39(6):789-793 (in Chinese).
- [13] YAN S, LI D G, YU Zh L. Research on the simulation of temperature control of semiconductor laser based on ADRC [J]. *Industrial Instrumentation and Automation*, 2013(1):3-5 (in Chinese).
- [14] LI Q. Study on temperature control system of laser diode [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2010: 15-25 (in Chinese).
- [15] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS INC. MAX1978/MAX1979 integrated temperature controller for peltier modules [EB/OL]. (2003-05-10) [2016-10-30]. <http://www.maximintegrated.com>.
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. 15V/ $\pm 4\text{A}$ high-efficiency PWM power driver (Rev. A) [EB/OL]. (2013-05-13) [2016-10-30]. <http://www.ti.com.cn>.