

带有双路 TEC 温控的功率可调 DFB 激光器 驱动电源设计与实现

侯 腾, 张 行, 肖 雷

(中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100036)

摘要: DFB 激光器泵浦对环境温度十分敏感, 为减小环境温度及泵浦发热温度变化对激光器输出造成的影响, 提出了一种带有双路 TEC 温控的功率可调 DFB 激光器驱动电源; 该电源以 STM32 为控制核心, 对激光器光源和晶体内部温度采集与控制的双路温控系统进行研究, 使激光器工作温度恒定; 通过压控恒流源, 连续调节 DFB 激光器功率; 试验结果表明, 该驱动电源相比传统方式, 体积小、电流精度高、温度稳定性好, 应用前景广阔。

关键词: 激光器泵浦; 驱动电源; TEC; STM32

Design and Implementation of A DFB Laser Drive with Dual TEC Module

Hou Teng, Zhang Hang, Xiao Lei

(System Engineering Research Institute, Beijing 100036, China)

Abstract: The DFB Laser is very sensitive to the ambient temperature. In order to reduce the influence if the ambient temperature and the change of the pump heating temperature on the output of the laser, a power adjustable DFB laser supply with dual circuit TEC temperature control is proposed. The power supply takes STM32 as the control core, studies the two way temperature acquisition and control in crystal and Laser, and makes the laser working temperature constant. The power of DFB laser is continuously regulated by voltage controlled constant current source. The test results show that the driving power has the advantages of small volume, high current accuracy, good temperature stability and wide application prospect compared with the traditional way.

Keywords: laser pump; driving source; TEC; STM32

0 引言

近年来, 随着半导体技术的突飞猛进, DFB 激光器因其光束质量高、谱线宽度窄, 在国防、工业、生物、医学和通信等很多领域都有重要的应用^[1]。然而, 由于激光器功率密度高、温度敏感度高, 其发射谱线漂移、倍频晶体的相位匹配等对环境温度十分敏感^[2]。想要推进半导体激光器在各个行业的优势应用, 需设计性能优秀的半导体激光器驱动^[3]。针对激光器驱动电源高精度温控系统性能和激光器功率控制要求, 设计并实现一种以 STM32 为控制核心的 DFB 激光器驱动电源。该电源具有双路 TEC 分别对激光器泵浦和晶体进行温度控制, 并利用压控恒流源控制激光器驱动电流, 实现带有双路 TEC 温控的功率可调 DFB 激光器驱动控制功能。无论是从激光器驱动性能提高, 还是市场经济性, 都有十分重要的意义。

1 驱动电源设计原理

DFB 激光器驱动电源设计原理如图 1 所示。

驱动电源系统主要包括: STM32 控制核心、电源电路、温度采样电路、光功率采样电路、DA 输出电路、TEC 驱动电路、LD 驱动电路和 RS485 串口通讯电路等主要部分组成。

由于 STM32 具有丰富外设接口, 浮点型运算可进一步

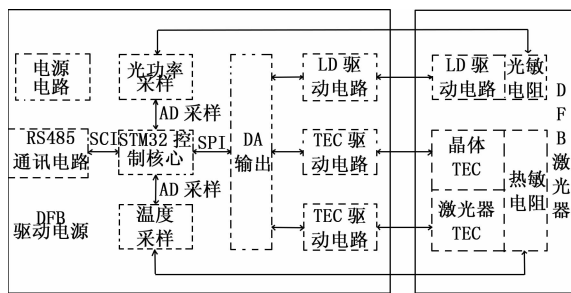


图 1 DFB 驱动电源设计原理图

提高运算效率与精度^[4]。因此, 系统选用 STM32 为核心处理器, 实现 DFB 驱动电源数据采集、控制运算与输出调节。

常见的半导体激光器驱动工作模式有两种^[5], 一种是恒电流工作模式, 另一种是恒功率模式。恒电流模式下, 驱动电源通过设定 LD 驱动电流值, 并对 LD 驱动电流进行采样, 调节输出电流值以达到电流恒定; 恒功率模式下, 驱动电源通过光功率采样电路, 采集泵浦实际发光功率, 调节 LD 驱动电流实现恒功率控制。

两工作模式下, 驱动电源均可控制激光器内部晶体和泵浦 TEC 电流, 维持晶体和泵浦内部温度稳定。

晶体和泵浦 TEC 以及激光器泵浦驱动电路均为压控恒流源模块。STM32 控制核心通过 SPI 接口, 控制 DA 芯片实现双路 TEC 及 LD 驱动模块控制电压调节, 实现激光器工作点稳定。此外, 系统具有 RS485 串口通讯电路, 用以实现驱动电源远程控制 and 参数调节。

收稿日期: 2018-06-30; 修回日期: 2018-08-13。

作者简介: 侯 腾(1991-)男, 山东泰安人, 工程师, 主要从事导航、制导与控制领域研究工作。

1.1 温度控制原理

DFB 激光器内部设有双路 TEC，分别实现激光器晶体与泵浦的温度控制。TEC 是一种能够同时进行制冷和加热的半导体器件，根据帕尔帖 (Peltier) 效应^[6]，当 TEC 流过单向电流时，它的一面制冷，而另外一面发热；若电流反向，则冷热面互换^[7]。TEC 发热/制冷量与电流大小有关，可通过调节驱动电流大小，实现恒温控制。

晶体与泵浦内部均放置热敏电阻，采集阻值变化实现各组件的温度采样。核心处理器比对温度设定值与采样值，对内部温度进行 PID 闭环调节，驱动 TEC 进行制冷或加热，达到温度恒定控制效果，双路温控系统相互独立，原理相同如图 2 所示。

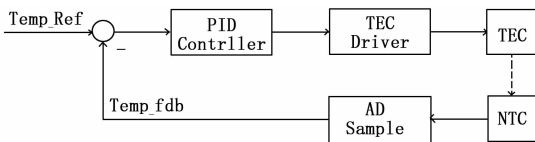


图 2 温度控制系统原理图

1.2 恒功率控制原理

DFB 激光器内部设计有光敏二极管，能够产生与激光器光强大小成线性的受激电流，受激电流大小表征激光器泵浦发光功率^[8]。

激光器驱动电源根据应用需要，可进行十档功率设置。核心控制器通过比较功率设定值与泵浦实际功率值，构成发光功率闭环，利用增强型 PI 控制方法，调节驱动电源供给 LD 驱动电流大小，实现激光器泵浦恒功率控制。

为采集激光器泵浦发光功率，对光敏二极管受激电流进行采样。该受激电流流过光功率采样电路中的精密采样电阻后，经运放调理电路接入核心处理器，通过 AD 采样得到激光器发光功率。核心处理器根据发光功率进行闭环运算，调节 LD 驱动模块的输出电流，达到激光器功率恒定，控制原理如图 3 所示。

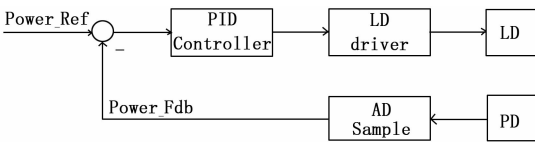


图 3 恒功率控制原理图

2 驱动电源硬件设计

2.1 TEC 驱动电路

TEC 利用半导体材料珀尔帖效应制成，通过控制流经 TEC 的电流方向与大小，可实现 TEC 制冷、加热及制冷发热量控制。由于 TEC 结构简单、工作可靠，在激光器温控领域得以广泛应用^[9]。

由于 DFB 激光器内部集成有两路 TEC，对应于激光器内部晶体与泵浦温度控制。因此，驱动电源需要提供两路 TEC 驱动，独立进行晶体和泵浦 TEC 驱动控制。

两路 TEC 参数相同如下：TEC 最大电压均为 5 V，其允许通过的最大电流为 3.5 A，最高控制温度可达 60℃，满足激光器 25℃ 理想工作温度要求。

针对两路 TEC 电气指标，选用鞍山核心电子公司的 TEC 专用驱动模块 TEC-5V-4A-D，该模块输入电压 5 V，最大输出电流为 4 A，体积小、效率可达 90%，可靠性高，符合 TEC 驱动设计指标。TEC 驱动模块及引脚如图 4 所示，该模块控制电路如图 5。

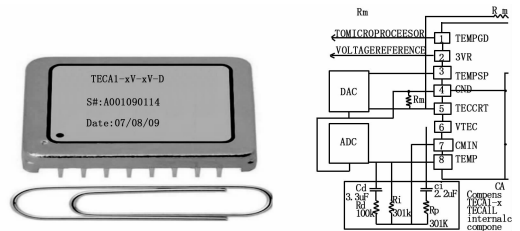


图 4 TEC 驱动模块及引脚图

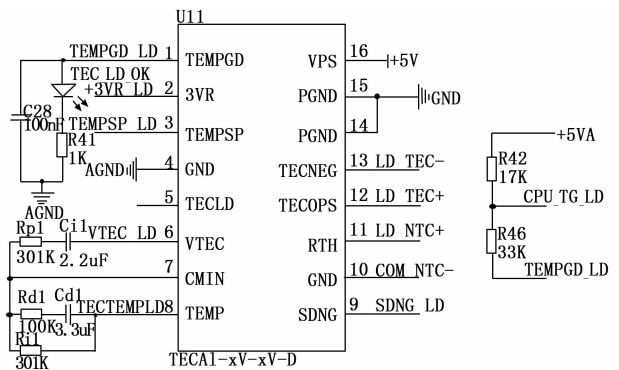


图 5 TEC 驱动模块控制电路图

控制核心通过设定 TEMPSP 引脚电压，设定驱动模块当前控制温度的指令值。该引脚电压与 2 脚参考电压比例决定 TEC 驱动设定温度，对应范围为 0~100% 对应 15~50℃。

电阻 R_{p1} 、 R_{d1} 、 R_{i1} 及电容 C_{i1} 、 C_{d1} 形成外部补偿网络，补偿网络参数根据不同 TEC 进行整定，实现 TEC 电流快速稳定响应。

驱动模块与激光器内部两热敏电阻相连，热敏电阻是一种对温度十分敏感的器件，通常由一些金属氧化物高温烧结而成，一般制成珠状、片状及杠状等各种形状^[10]。内部集成负温度系数热敏电阻 (NTC)，该电阻 25℃ 下阻值 10 K，10℃ 时阻值约为 20 K，40℃ 时阻值急剧下降到 5 K，温度感应敏感，精度较高。通常，热敏电阻的温度-阻值关系可以用经验公式^[11]表征为：

$$R_T = A \times \exp\left(\frac{\beta}{T}\right)$$

其中： R_T 为温度为 T 时的阻值， A 为与热敏电阻材料结构相关的具有电阻量纲的参数， β 为热敏电阻固有阻值系数， T 为绝对温度。

驱动模块根据热敏电阻当前阻值，根据电阻阻值表及 β 值，得到激光器内各部位温度，实现激光器内部温度检测。控制器比对温度设定值与实际反馈值，对 TEC 进行驱动输出控制，实现系统的恒温控制。

2.2 LD 驱动电路

LD 泵浦源需驱动电路产生恒流源，且输出稳定无浪涌

电流。

设计电源驱动的激光器所需电流 0~1.5 A 连续可调, LD 端电压 0~2.4 V, 选用 ATLS1.5A104D 驱动模块进行 LD 控制。

ATLS1.5A104D 为 ADI 公司 LD 驱动专用模块, 该模块满幅时输出电流噪声小于 0.95 μA, 电流阶跃响应时间小于 200 nS, 具有良好输出稳定性与快速性。外部 DAC 取内部参考基准电压, 并给定电流设定引脚, 调节模块驱动电流, 驱动模块及引脚如图 6 所示。

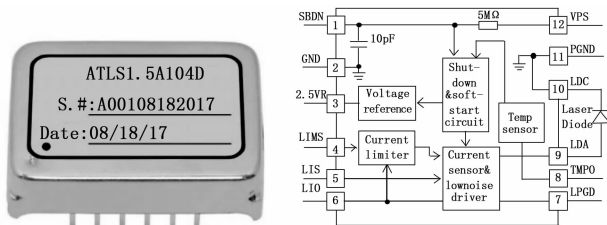


图 6 LD 驱动模块及引脚图

设计驱动模块外围电路如图 7 所示。

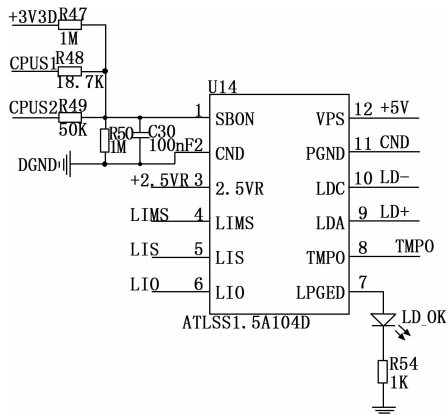


图 7 LD 驱动模块控制电路图

通过设定 LD 驱动模块 LIMS 及 LIM 引脚电压, 分别设定当前驱动电流限值与输出值。其中, LIMS 引脚电压可对 LD 驱动模块最大输出电流进行限制, LD 驱动输出电流不大于该引脚设定的最大值, 从而为激光器泵浦提供过流保护功能, LIM 引脚为 LD 驱动模块输出电流进行设定, 设定电压 0~2.5 V 线性对应于驱动电流 0~ I_{MAX} , 其中 I_{MAX} 为 LIMS 脚设定的最大输出电流值。

SBDN 脚为驱动模块工作模式设定脚, 电阻 R47、R48、R49 为工作模式设定电路, 通过控制器 I/O 引脚不同输出状态, 调整分压情况以改变该脚电压值, 可进行停止、待机与工作三种工作模式切换。

驱动模块具有输出电流反馈引脚 LIO, 该引脚实时反馈驱动模块输出的驱动电流大小, 反馈对应关系为 0~2.5 V 对应于驱动电流 0~ I_{MAX} 。STM32 控制核心通过 AD 采样得到 LIO 脚电压, 解算出 LD 驱动输出电流, 根据该驱动电流反馈, 调整驱动模块 LIM 电流设定值, 实现 LD 工作电流与功率的连续动态调节。

2.3 温度与光功率采样电路

温度采样利用 TEC 驱动模块及调理电路进行。TEC 驱动模块除具有工作温度设定脚外, 还提供温度反馈量引脚 TEMP, 该引脚输出的电压信号, 表征当前热敏电阻阻值下的温度值, 线性对应关系为 0~5 V 对应 15~35 ℃。

光功率采样则是利用激光器泵浦光敏二极管进行。为获取激光器泵浦实际功率, 激光器内部 LD 光源旁置有小棱镜, 对光源进行衰减折射, 折射后的光照亮光敏二极管, 产生受激电流。通过采样该电流得到 LD 发光功率反馈。

温度与光功率采样电路实现方法原理相同。信号经调理电路后, 经运算放大器放大, 进入核心控制器 AD 采样模块, 对相应信号进行采集。由于温度及光功率采样精度直接影响激光器控制效果, 选用双路内部补偿频率的高增益运放 LM358 进行信号调理, 采样电路如图 8 所示。

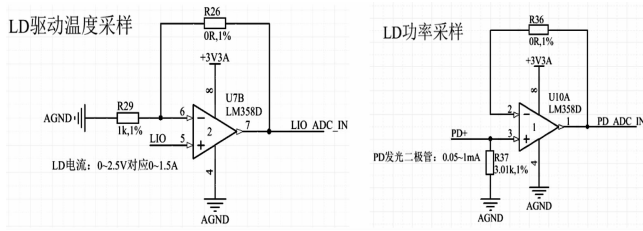


图 8 温度与光功率采样电路

2.4 DA 输出电路

驱动电源中, 2 路 TEC 及 LD 驱动模块均可等效为压控恒流源, 需通过设定电压值提供控制指令。因此, 核心控制器需提供 3 路电压给定信号, 实现 LD 及 2 路 TEC 的驱动控制。

STM32 最多只有 1 路 DA 接口, 因此, 需要外扩 DA 芯片实现多路电压输出。选用 TI 公司 TLV5614 集成芯片, 该 DAC 具有 SPI 数据接口, 使能及输出更新控制端, 分辨率可达 12 位, 动态响应时间小于 3 μs。

通过 SPI 接口与核心控制器连接, 实现 4 路 DA 输出扩展, DA 输出电路设计如图 9 所示。

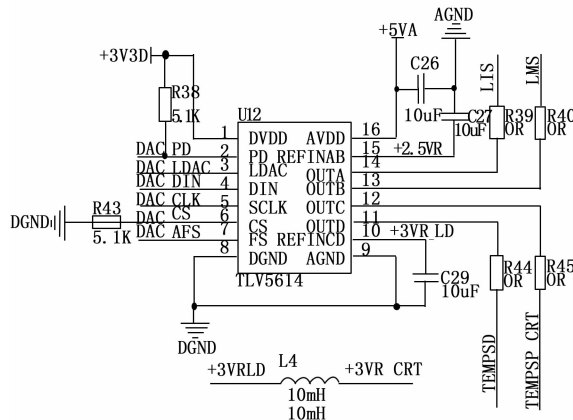


图 9 DA 输出电路设计

3 驱动电源软件设计

驱动电源软件设计有远程工作参数设定, 双路 TEC 温度采样、LD 电流采样、光功率采样, 双路 TEC 温度控制,

LD 功率控制，故障诊断与保护等功能，流程如图 10 所示。

测得驱动电源 LD 驱动电流输出如图 11 所示。

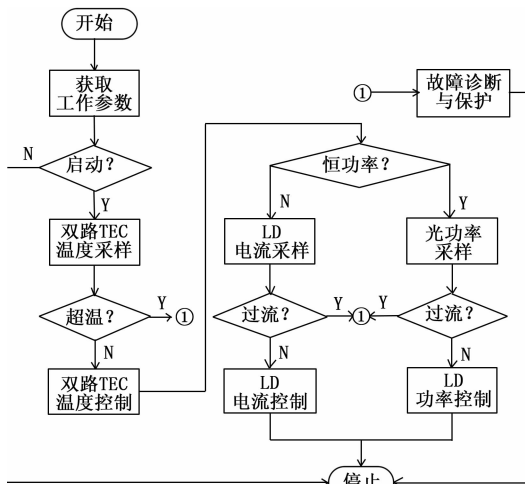


图 10 驱动电源软件流程图

控制核心通过 RS422 通讯接口获取驱动电源启停、工作模式、最大工作电流、恒功率档位及功率等工作参数，判断是否启动激光器电源输出。

激光器电源输出启动后，进行采样与控制输出计算，分别执行恒温控制子函数、恒流或恒功率控制子函数。控制子函数根据 1.1 与 1.2 中算法模型，采用 PI 控制方法，控制双路 TEC 温度及 LD 功率输出保持稳定。

由于 LD 泵浦光源额定工作电流为 1.5 A，如果调节时驱动电流从零瞬间上升至较大值，该电流冲击变化会对激光器泵浦造成损伤，进而减少激光器的使用寿命^[12]；当激光器关断时，流经泵浦电路从较高值瞬间降为零同样会对激光器造成伤害。因此，在 LD 电流控制与 LD 功率控制子函数中，设计软件延时启动及关断电路，控制驱动电流在到达设定值过程中缓慢上升或下降，对激光器进行保护。软启动过程如下：

软件对电流变化斜率进行限定，电流从 0~1.5 A 最快变化时间设定为 1 秒，即调节过程中，电流变化速率不超过 1.5 A/s，从而避免电流突变造成的激光器损坏。

故障诊断与保护子函数对激光器进行实时保护。当检测到 LD 过流、晶体或泵浦超温或远程通讯接口设定急停时，进入该子函数。激光器驱动电源将立即停止电流输出，并将相应故障代码通过通讯接口上传，实现激光器故障诊断与保护功能。

4 试验结果与分析

为验证设计 DFB 激光器驱动电源驱动效果，搭建试验平台分别对 DFB 激光器驱动电源的驱动电流、温控系统温度以及激光器恒功率等性能指标进行测试。

4.1 驱动电流测试

因激光器工作需要恒温环境且电流不宜发生突变，驱动电源电流测试采用 LD 模拟负载进行。电流测试主要考察电流动态响应与稳态误差。

4.1.1 电流动态响应

电流动态响应测试时，设计幅值为 1 A 阶跃电流指令。

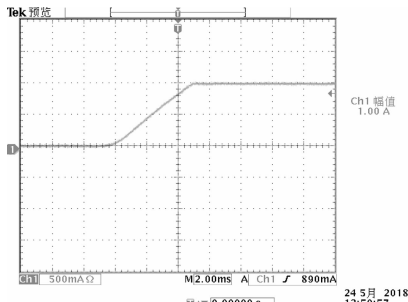


图 11 电流动态响应曲线

由图 11 可以看出，当电流指令给定为 1 A 阶跃时，驱动电源 LD 电流在 6 ms 内上升至设定值，响应迅速且准确达到设定值。当电流达到设定值后，无超调震荡现象发生。由此可知，驱动电源具有良好的动态响应特性。

4.1.2 电路稳态误差

驱动电源给定为 1 A 电流指令，待驱动电流上升过程结束后，测量输出电流稳态误差，电流波形如图 12 所示。

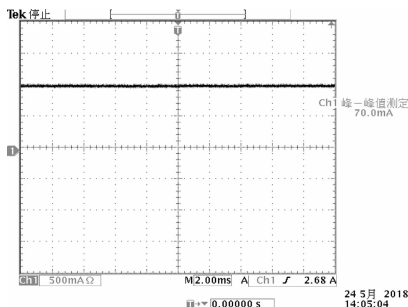


图 12 电流稳态误差曲线

由图 12 看出，使用示波器交流耦合档对输出电流 1 A 时进行稳态误差测量，LD 驱动电流的最大误差不超过 ±0.035 A。测量结果表明，当驱动电源稳定运行时，驱动电源具有良好的稳态性能。

上述试验表明，激光器驱动电源在阶跃及稳态测试时，具有良好的动态响应及较小的稳态误差，电流输出控制精度高。激光器驱动电源设计

4.2 双路 TEC 温度控制测试

DFB 激光器在 25℃ 时为最佳工作状态，因此将晶体与泵浦 TEC 控制的目标温度均设定为 25℃。测试时保持 LD 光源点亮，以改变激光器内部环境温度。通过采集热敏电阻值反应当前实际温度，进行双路温度控制测试，持续 1 小时，测试结果记录于表 1 所示。

试验表明，该双路 TEC 温度控制电路工作稳定，当激光器内部 LD 光源连续工作时，晶体及泵浦 TEC 温度控制精度不超过 ±0.1℃，温控效果良好，达到设计指标要求。

4.3 激光器恒功率测试

通过远程通讯接口，设定激光器光功率为 80 mW，对激光器驱动电源提供 1 A 的 LD 驱动电流。对激光器输出光功率稳定性进行测试，试验结果如表 2 所示。

(下转第 277 页)