

中功率二极管激光器脉冲驱动源研制

郑毅, 朱虹, 李新, 秦鹏

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:介绍了激光二极管脉冲驱动源的控制技术。采用单片机与可编程逻辑器件实现电流脉冲宽度脉冲频率的调节;通过误差反馈和驱动电压叠加实现脉冲恒流控制。运用两点校正法分段拟合 MOSFET 门极驱动电压与 LD 电流对应关系曲线,单片机依据曲线修正驱动电压值,对温度引起的 LD 电流变化进行补偿。实验结果表明采用此方式获得的电流脉冲波形优于采用 PID 控制方法的实验波形。该方法具有温度补偿功能,在温度变化时输出电流稳定。

关键词:激光二极管;脉冲恒流;温度补偿

中图分类号:TN86;TN248.1

文献标识码:A

Development of the LD-pumped Medium Power Pulse Laser Driver

ZHENG Yi, ZHU Hong, LI Xin, QIN Peng

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

Abstract: The control technique of LD-pumped pulse laser driver is introduced. The adjustments of current pulse width and frequency are achieved by using SMC and CPLD. The pulse constant current is achieved by adding the error feedback signal to the driving voltage. Two points' correction is used to fit the curve of MOSFET V_{GS} to I_D . According to this curve, the SMC modifies the value of driving voltage to compensate the current caused by the change of temperature. The experiment result shows that the current pulse achieved using this technique excels which using PID method. And this method can compensate the variation of temperature. It can output constant current when environment temperature is changed.

Key words: LD; pulse constant current; temperature compensate

1 引言

随着半导体激光技术的日益发展和成熟,采用激光二极管或激光二极管阵列替代传统的闪光灯和离子泵浦源已经成为固体激光技术的发展方向。二极管激光器以其尺寸小,质量轻,工作寿命长等优点被广泛地应用于国防、科研、医疗、通讯等领域^[1]。这些应用使得二极管激光器技术在自身发展与完善的同时也带动了相关技术的进步。在二极管激光器的应用中,脉冲输出是一种重要的工作方式,经常应用于激光打标、激光美容、激光测距等方面,因此,如何提供高可靠性、高稳定性和高泵浦效率的脉冲驱

动源成为激光工程应用领域的一个研究重点。

2 LD 脉冲驱动源的工作原理

二极管激光器驱动源的原理框图如图 1 所示。充电模块将供电电压转换为激光二极管的工作电压,然后经过整流滤波提供给由放电开关和 LD 组成的放电回路。

放电开关采用功率 MOSFET, V_{GS} 与 I_D 的关系曲线如图 2 所示,电流 I_D 与 V_{GS} 呈近似线性关系。利

作者简介:郑毅(1979-),男,硕士,工程师,主要从事激光电源技术研究。E-mail: bevenzheng@sohu.com

收稿日期:2007-10-29

用 MOSFET 的这种特性,通过控制放电开关的 V_{GS} 电压就可以控制 LD 电流。控制电路根据这种对应关系产生脉冲电压信号驱动放电开关,并由激光二极管的电流反馈信号调节驱动电压,实现稳定的电流输出。

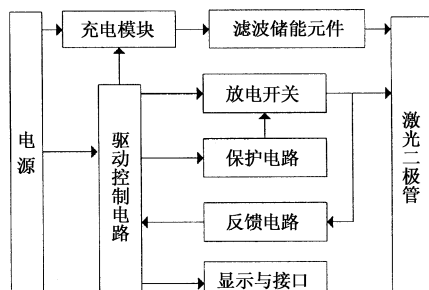
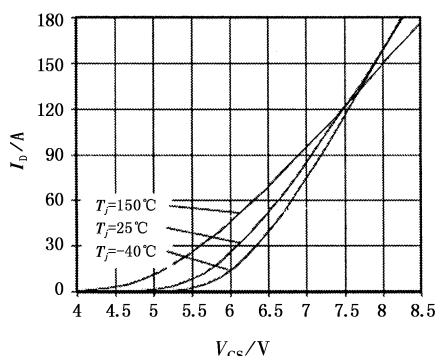


图1 二极管脉冲驱动源组成框图

图2 MOSFET V_{GS} 与 I_D 关系曲线

3 LD 脉冲电流驱动控制

脉冲二极管激光器电源控制技术的关键在于对电流脉冲波形的控制。常见的控制方法有两种。一种是开环控制,首先需要建立 MOSFET 的 I_D 与 V_{GS} 的对应关系表,根据所要输出的电流,通过查表方式选择合适的驱动电压,这种方式设计简单实现方便,但是在系统环境发生变化时输出电流将产生较大变化,因此开环控制适合在输出精度要求较低,驱动源工作环境稳定的条件下使用。对于价格昂贵的 LD 来说,可靠性是设计驱动源的基本要求,采用闭环控制成为高性能驱动源设计的必然选择。按闭环系统误差信号进行 PID 调节的方法以其结构简单,参数易于调整,在闭环控制中应用最为广泛。目前大多数激光驱动源都采用这种控制方式,实现恒流输出。PID 调节的控制规律为:

$$u = K_p(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt}) + u_0 \quad (1)$$

式中, e 为控制偏差; K_p 为比例系数; u_0 是控制量的基准; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

在数字控制成为必然发展趋势的今天,利用数字 PID 调节算法实现闭环控制成为脉冲驱动控制的一条实现途径。采用数值方法获得的 PID 调节规律

的公式为:

$$u_i = K_p[e_i + \frac{T}{T_i} \sum_{j=1}^i e_j + \frac{T_d}{T}(e_i - e_{i-1})] + u_0 \quad (2)$$

无论是模拟还是数字 PID 调节,关键是 PID 参数的整定。理想的脉冲二极管激光器驱动电流波形是方波,短的上升和下降时间有利于减小 LD 输出光的无功损耗,恒定的电流幅度保证激光输出的稳定性。为保证 LD 的安全减小电流过冲需要增加积分时间 T_i ; 为了获得比较陡的电流上升下降沿,需要减小积分时间; 为了有较好的动态响应速度需要增加 T_d , 而 T_d 增大容易引起系统的不稳定。驱动源的脉冲输出特性使得稳定输出与较小的电流上升下降时间二者难以兼顾, PID 调节的设计变得相对困难。

为了使输出恒流特性和波形质量都能得到兼顾,在本设计中采用了顺馈控制与反馈控制相结合的复合控制方式,原理框图如图3所示。

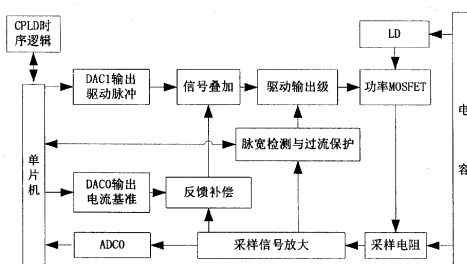


图3 脉冲驱动控制原理

单片机根据设定电流值和环境温度确定首个脉冲的驱动电压 V_0 , 首脉冲输出目的是确定曲线上的第一点, 为了保证 LD 安全, 首脉冲输出电流低于设定值一定幅度是首脉冲驱动电压确定的关键。然后单片机以一个固定步长电压 ΔV_0 与 V_0 相加作为第二个脉冲的驱动电压, 此后单片机根据电流第 n 次与第 $(n-1)$ 次电流采样值和驱动电压值的增量 ΔV_n , 用两点法分段拟合 I_D 与 V_{GS} 对应关系曲线, 依据此对应关系确定 ΔV_{n+1} , 具体计算关系如下:

$$\begin{cases} \Delta I_{E_{n+1}} = I - I_n \\ \Delta V_{n+1} = \frac{\Delta I_{E_{n+1}} \Delta V_n}{I_n - I_{n-1}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, ΔI_E 为期望电流增量; I 为设定电流值。单片机根据期望获得的电流调整量, 依据式(3)计算下一次的驱动电压增量, 然后通过 DAC1 输出第 $(n+1)$ 次驱动电压。由于驱动电压和输出电流的关系曲线在动态的修改, 补偿了 MOSFET 结温 T_J 变化这一主要扰动量引起的电流变化, 实现了顺馈控制。单片机根据设定值通过 DAC0 输出电流基准信号, 基准信号与采样放大信号比较, 经过 PID 补偿电路产生相应补偿电压与 DAC1 输出的驱动脉冲叠加作

为放电开关的驱动信号。反馈电路在脉冲内对驱动电压基础上进行补偿, PID 调节仅需考虑脉冲恒流段动态性能, 而无需考虑电流上升下降沿的要求, 反馈控制系统比较容易设计, 控制效果也更好。

在 LD 脉冲激光器驱动控制电路中, 脉冲频率和宽度的控制由 CPLD 和单片机共同完成。驱动源主程序流程和驱动脉冲发生程序分别如图 4、图 5 所示。设计中采用 C8051F020 单片机, CPLD 产生时钟信号作为单片机内部定时器 T_2 的时钟源, 定时器溢出后产生中断并自动重载。这样就产生了固定频率的中断, 在 T_2 中断处理程序中启动 DAC0, DAC1 并启动 T_3 , 当 T_3 溢出时将两路 D/A 输出刷新为零。 T_3 的定时时间即为驱动信号脉冲宽度。

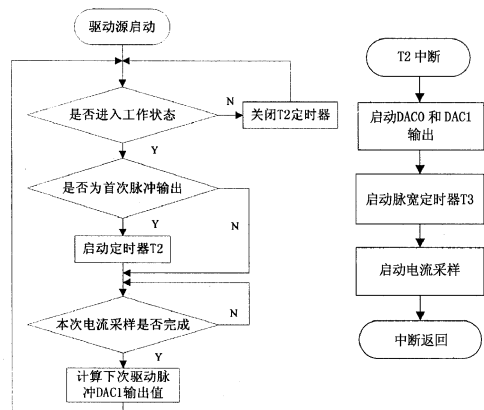


图4 驱动源主程序流程 图5 脉冲输出中断服务程序流程

对于任何激光二极管驱动源, 保护电路都是必不可少的组成部分。在本设计中, 分别对电流幅度和脉冲宽度进行了监测。单片机根据设定电流值确定保护信号比较基准, 通过 SPI 总线输出给保护电路 DAC 芯片, 保护电路将电流采样信号与基准信号比较输出电平信号。当过流发生时, 比较器翻转, 关断驱动级信号输出, 实现了过流保护。过流保护信号具有保持功能, 只有对系统复位过流信号才会消失。这样保证了激光器驱动源出现故障后不会继续工作, 防止了 LD 的损坏。作为脉冲输出的激光器, 如果由于某种原因脉宽输出过大, 或单片机故障而无法正常控制脉冲时间, 同样会损坏 LD, 为了防止此种现象出现, 保护电路中设计了脉宽检测电路。由 DAC1 输出脉冲的上升沿启动脉宽定时器, 在定时时间内若不出现驱动脉冲下降沿, 定时器输出信号将关断驱动级输出。此信号同样具有保持功能。

4 实验结果分析

为了验证本文论述的 LD 脉冲驱动电流控制方法的可行性及其特点, 分别采用本文论述的方式与单纯使用 PID 控制实现电流脉冲输出的方法进行了对比实验。

图 6 为采用复合控制方式获得的 MOSFTE 门极电压和 LD 电流脉冲的实验波形。图 7 为使用 PID 调节进行电流脉冲控制的实验波形。两图中 1 通道为放电开关的门极驱动电压波形, 2 通道为流过 LD 的电流脉冲波形。比较实验结果可以看出, 采用文中控制方法, 电流脉冲的上升时间短。使用 PID 控制方式要获得稳定的电流需要较长的调节过程, 影响电流上升下降时间。对激光器而言, 在泵浦能量低于激光工作物质发光的阈值时, 能量将以热的方式耗散。这将导致电光效率的降低和激光器温控功耗的增大。

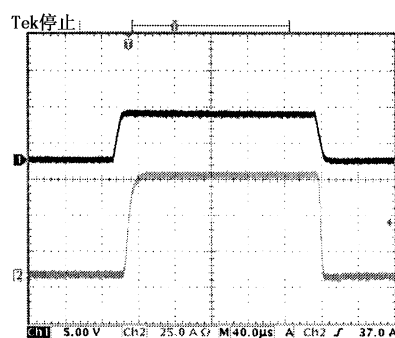


图6 采用复合控制方式驱动电压和 LD 电流波形

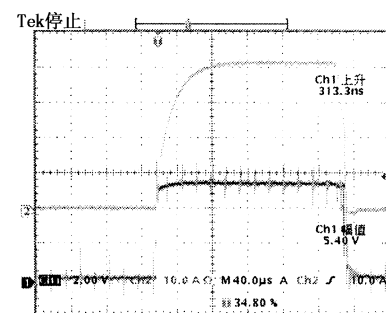


图7 PID调节产生的开关驱动电压和 LD 电流波形

5 结论

本文讨论了脉冲激光二极管驱动源控制技术, 对采用开环控制、反馈控制和复合控制方式进行了分析和对比。介绍了驱动脉冲脉宽和频率控制方式、保护方式。通过实验验证表明采用本文介绍的脉冲激光驱动源, 能够获得良好的电流波形, 控制方法可行, 运行稳定安全。

参考文献:

- [1] 邵峰利, 曹军胜, 等. 基于 PCI-6014 的程控半导体激光器驱动电源设计[J]. 应用激光, 2006, 35(5): 449-451.
- [2] 潘卫军, 郭云霄, 等. 带有温度自适应调节的 LD 阵列驱动电源的设计[J]. 激光技术, 2006, 30(3): 295-297.
- [3] 高岚, 王景峰, 等. 激光二极管抽运单块 Nd:YAG 激光器电源的研制[J]. 激光技术, 2006, 30(6): 664-666.