

# 一种全数字控制的工业激光器驱动电源

刘 玉, 段士龙

(华中科技大学电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**介绍了一种全数字控制半导体激光器驱动电源方案。方案采用高速数字信号处理器产生高频率高分辨率的数字调制 PWM 直接驱动功率回路, 完全采用软件实现闭环的控制, 结合高精度 AD 采样, 使得输出电流具有高精度、低纹波和高动态响应速度的特点。系统还提供六种保护功能, 具有故障锁定及故障自诊断功能, 具有数字化的远程通讯接口。

**关键词:**半导体激光器; 驱动电源; 全数字化控制; 数字信号处理器

**中图分类号:** TN248.4; TP273

**文献标识码:** B

## A digital controlled laser power supply system

LIU Yu, DUAN Shi-long

(Department of Electronics & Information Engineering, Huazhong University of Sci. & Tech, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A real digital controlled semiconductor laser power supply system is presented. The system use a high-frequency & high-precision digital modulation PWM which is generated by DSP to direct drive power loop, the closed-loop control is completely implemented by software, with high-precision AD the output current has high-precision, low ripple and high dynamic response speed advantages. The system provides seven protections, trouble-lock and fault self-diagnosis functions, it also has a digital remote communication interface.

**Key words:** diode laser; drive source; digital control; DSP

### 1 引言

在当前工业激光精细加工领域, 半导体泵浦激光器以其体积小、质量轻、转换效率高、寿命长、可以直接调制、驱动电源电压低, 工作时安全等优点<sup>[1-2]</sup>, 大量取代氩灯泵浦激光器。由于半导体泵浦激光器是高功率密度器件, 对于其工作电流和电压的稳定度要求很高, 瞬态的电流和电压尖峰都会损伤激光器, 因此除了要求半导体激光器驱动电源具有高电流稳定性、低纹波外, 还需要完善的保护功能。现代工业应用还要求其具有远程通讯接口, 以实现远程监控, 以及远程控制电源的电流达到对激光能量进行直接调制的目的。这些要求, 传统的模拟控制方式已经无法满足。

### 2 系统总体方案

本文介绍的一种基于 TMS320F2812 微控制器的全数字化控制半导体泵浦激光器驱动电源, 它采

用 TMS320F2812 实现高频率、高分辨率的数字调制 PWM 直接驱动功率回路, 完全采用软件实现闭环的控制, 结合高精度 AD 对输出电流进行反馈采样, 以稳定输出电流; 系统还提供六种保护功能; 具有故障锁定及故障自诊断功能; 具有数字化的远程通讯控制接口。其总体结构如图 1 所示。

### 3 主要电路设计

#### 3.1 主功率回路设计

为了提高效率, 主功率回路采用开关电源拓扑, 考虑到负载为最多 12 个 2 V 30 A 的激光二极管, 输出功率最大  $24 \text{ V} \times 30 \text{ A} = 720 \text{ W}$ , 选择半桥式拓扑较为恰当。其工作原理和电路设计方法可以参阅任何一本开关电源教材, 在此从略。

**作者简介:** 刘 玉(1957-), 女, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为数控开关电源, 嵌入式系统设计, 网络通信与网络存储。  
E-mail: liuyu@mail.hust.edu.cn

**收稿日期:** 2009-04-24

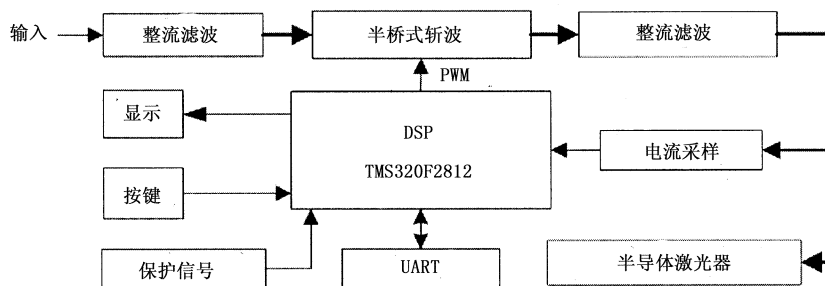


图1 系统总体框图

### 3.2 控制电路设计

由于采用了全数字化的控制方式,控制电路变得非常简洁,如图2所示。

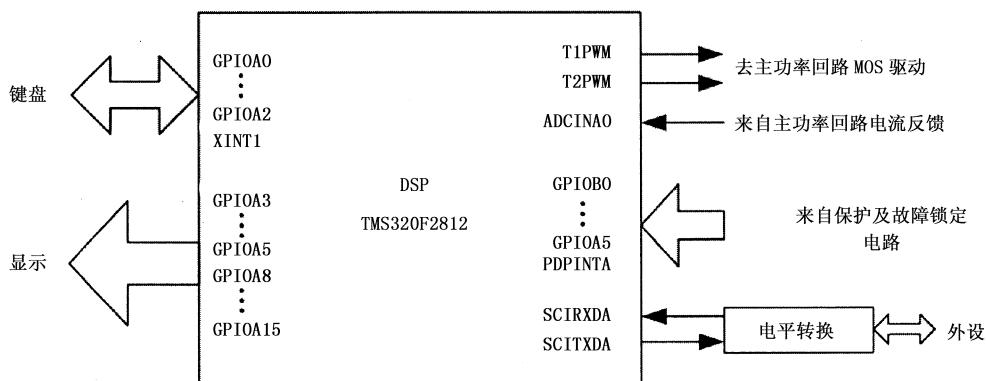


图2 控制电路

采用 74148 对按键编码,键盘编码直接送到 GPIOA0 ~ 2,采用中断方式处理按键,使用 XINT1。显示采用标准的 8 位并行锁存显示方式,GPIOA3 ~ 5 为地址线,GPIOA8 ~ 15 为数据线。使用事件管理器 EVA 的 timer1 产生两路 PWM 信号 T1PWM 和 T2PWM 来驱动半桥桥臂的两个功率 MOS。主功率回路反馈回来的电流送给 ADCINA0 进行 AD 采样。锁存后的 6 路保护信号送到 GPIOB0 ~ 5 以供查询,查询方式采用中断 PDPITA,同时这个管脚还可以在保护时直接关闭事件管理器。与外设的通信采用标准 UART 实现,使用 SCIA 的一对收发管脚,可以通过 UART 实现上位机软件的对电源的控制和监控。

### 3.3 保护电路、故障锁定和自诊断功能设计

为全面保护激光器和提高电源的可靠性,系统提供六种保护。输入欠电压和过电压保护使用简易的比较器监测市电电压即可。超温度和低水压保护直接利用温度开关和水压传感器给出开关量的保护信号即可。输出过电流保护使用软件和硬件两种方法同时实现:硬件上,取一路电流传感器输出的信号

与一个基准电压比较,如果超过比较门限,则输出一个保护信号;软件上,DSP 会检测 AD 采样所获得的电流值,一旦发现大于某个门限值,即表明发生过流。由于该电源是一个恒流源,因此输出一旦开路,负载阻抗瞬间会变得很大,输出电压会急剧上升,因此使用一个比较器监测输出电压即可实现输出开路(过电压)保护。

所有的保护信号会经过一个锁存器锁存,然后再送到 DSP 的 GPIO。这样,即使外部的保护信号撤销,系统仍然处于保护状态,必须重启系统才能撤销保护。此即故障锁定,以避免系统发生保护性的“打嗝”现象而造成损坏。同时,这些保护信号经过或逻辑,产生一个中断信号送给 DSP。DSP 一旦进入保护中断,立即切断 PWM 输出,关闭输出电流,保护激光器。而且此时可以通过查询 GPIO,得知系统发生了哪些故障,输出错误码给维修人员和用户参考,以便快速排查故障,此即故障的自诊断。

## 4 数字控制器设计

本系统的控制结构如图 3 所示。

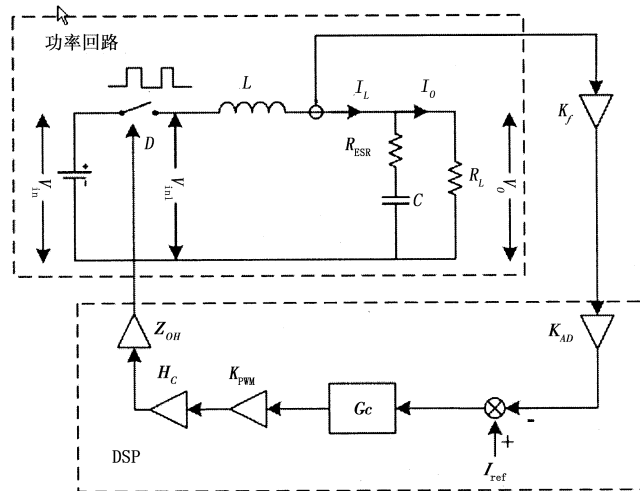


图 3 系统控制结构图

图中将电流采样点放在电感回路可以提高系统的动态响应速度,  $I_L$  的平均值等于  $I_o$ 。  $K_f$  是电流传感器的增益,  $K_f = 0.082 \text{ V/A}$  (电流传感器的电流传输比为 1000:1, 使用的采样电阻是  $82 \Omega$ )。  $K_{AD}$  是 AD 采样的增益, AD 的参考电压是 3 V, 位数为 12 位, 则  $K_{AD} = 4095/3 = 1365/\text{V}$ 。  $K_{PWM}$  是 PWM 模块的增益,  $K_{PWM} = 1/3000$  (PWM 计数器周期的倒数, 由于 PWM 时钟 150 MHz, 周期为 50 kHz, 故计数器周期为  $150 \text{ MHz}/50 \text{ kHz} = 3000$ )。  $G_c$  则为要设计的数字控制器。

此处我们采用数字控制器的直接设计方法<sup>[3]</sup>。 可以很容易计算出, 功率回路的传递函数在未离散化之前为:

$$G(s) = \frac{I_L(s)}{D(s)} = \frac{2V_{in} [s(R_{ESR} + R_L)C + 1]}{s^2(R_{ESR} + R_L)LC + s(R_{ESR}R_LC + L) + R_L}$$

其中,  $V_{in} = 150 \text{ V}/3 = 50 \text{ V}$  (变压器匝比 3:1), 实测  $R_{ESR} = 10 \text{ m}\Omega$ ,  $C = 19800 \mu\text{F}$ ,  $L = 20 \mu\text{H}$ ,  $R_L$  取  $0.5 \Omega$ 。

将 AD 的转换时间延时和程序计算的延时合成一个延时, 为:

$$H_c = e^{-sT}$$

将 ADC 的采样过程和数字 PWM 的保持过程合成为一个采样保持过程<sup>[4]</sup>, 取简单的零阶保持器形式, 其传递函数为:

$$Z_{OH} = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$

这里的  $T$  为采样周期, 也是 PWM 的周期, 为  $20 \mu\text{s}$ 。 用它来将功率回路直接离散化, 并将  $K_f, K_{AD}$  和  $H_c$  均纳入系统的开环传递函数, 采用 MATLAB 的函数“TF( )”及参数“inputdelay”和“zoh”计算系统未补偿时的开环传递函数为:

$$G_z(z) = z^{-1} \frac{0.03317z - 0.0331}{z^2 - 1.987z + 0.9883}$$

再利用 MATLAB 的设计工具 SISOTOOL 直接设计我们需要的数字控制器。 采用极零点补偿的方法, 优先考虑稳定性, 设计带宽为 2.45 kHz, 相位裕度  $53.7^\circ$  时, 补偿后系统的开环 Bode 图如图 4 所示。

开环 Bode 图

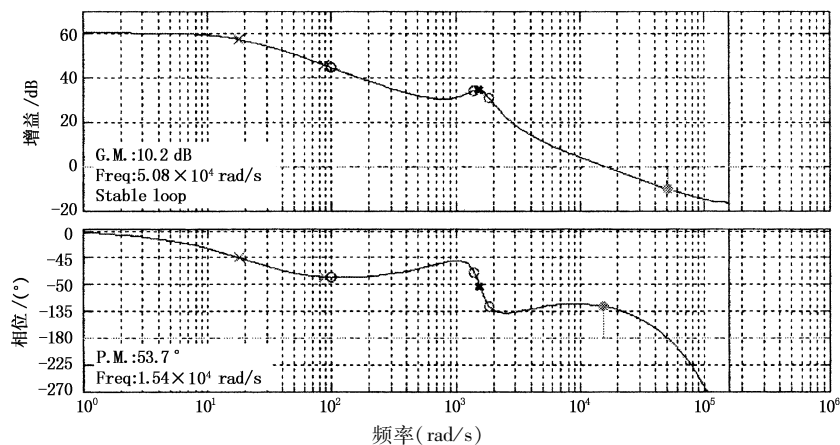


图 4 控制系统开环 Bode 图

设计的数字控制器的传输函数为:

$$G_c(z) = \frac{0.083223(z-0.9723)(z-0.9636)}{(z-0.9983)(z-1)}$$

转化为差分方程:

$$y(n) = 1.99791y(n-1) - 0.99791y(n-2) + 0.08322r(n) - 0.16111r(n-1) + 0.07797r(n-2)$$

上式即可直接编程实现。

需要注意的问题:

a) 功率回路在离散化以后,与模拟控制方式相比,由于增加了延时,会使系统在高频端相位滞后速度剧烈加快。在计算补偿之前系统的开环传递函数时,很容易忘记考虑 ADC 的采样延时和程序的计算延时,这样算出来的系统模型是错误的,据此设计的控制器会不稳定(表现为 PWM 的占空比剧烈抖动)。

b) 在对数字控制器编程实现时,一定要注意有限字长效应造成计算的误差,要尽量使用高精度的浮点数(由于 TMS320F2812 时钟高达 150 MHz,只需要保证在一个 PWM 周期内计算完毕一次补偿即可,不用担心 CPU 速度不够)。

## 5 试验结果和分析

根据以上技术方案,我们与某企业合作研制了一台全数字化控制的半导体激光器驱动电源,通过长时间试验和测试,电源运行稳定,性能优良,为合作企业创造了较大的经济效益。

在市电 230 V,室温 25 °C,负载为 8 个 2 V 30 A 的半导体激光二极管串联的情况下测试两个关键技术指标:测得输出电流 5 ~ 25 A 范围内的任何频率的电流纹波小于 20 mA,输出电流从 5 ~ 25 A 的上升时间约 5 ms(按 10% ~ 90%),超调量为 0。

由试验结果可见,该电源的输出电流纹波非常小,从而可以使半导体激光器输出的激光功率非常稳定,有利于实现激光的更加精细的加工;输出电流的上升时间很快,这对直接调制激光功率,实现诸如激光灰度图像标记等高难度的应用非常有利,而且超调量为 0,对于保护半导体激光器也很有利。

## 6 结语

本文介绍的数控半导体激光器驱动电源,其优势是非常明显的:由于采用开关模式的功率回路,工作效率非常高。而微处理器和监控软件的引入,可以使电源具有自我监控能力,可以实时地监控电源本身的各种运行参数和状态,实现对电源管理的无人职守与远程监控。故障诊断功能可以使维护人员远程观察和控制电源设备的运行参数和状态,当出现故障时,可将故障信息及时上报,提高故障排除的效率。而且由于采用全数字化控制技术,可以有效地缩小电源体积,降低成本,采用优异的、智能化的控制策略,可以大大提高设备的可靠性和对用户的适应性。

## 参考文献:

- [1] 刘国军,薄报学,曲状,等. 高功率半导体激光器技术发展与研究[J]. 红外与激光工程,2007,36:4-6.
- [2] 辛国,锋瞿,荣辉,等. 大功率半导体激光器的最新进展[J]. 激光与光电子学进展,2006,43(2):3-8.
- [3] 邹雪涛,蔡丽娟. 开关变换器中数字控制设计方法的研究[J]. 通信电源技术,2006,23(6):19-21.
- [4] David Figoli. Implementing a digital power supply with TMS320C28x\_digital signal controllers TI developer conference[C]. TI Application Report,2005.