

基于 FPGA 技术的半导体激光器驱动电源的研制

许文海, 杨明伟, 朱 炜, 顾慧萍

(哈尔滨工业大学 机械电子系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:提出了一种新的连续半导体激光器(LD)驱动电源设计方案,该方案融入 FPGA 技术,采用日立 SH 系列单片机 HD64F7045 为控制核心,实现了高稳定度的激光器驱动和温度控制。LD 驱动单元中,应用负反馈技术分别实现注入电流 I_F 、驱动电压 V_F 和光功率的高稳定控制,还采取了软启动控制、短路开关和限幅保护的措施,有效地保证了 LD 的安全。LD 温度控制单元中,采用了比例积分(PI)控制技术并结合积分分离的思想,实现对 LD 温度的高稳定度的控制。实验表明,注入电流的稳定度达到 10^{-4} 量级,温度稳定度优于 ± 0.01 $^{\circ}\text{C}$,性能比以往的同类系统提高了一个数量级。

关键词: 半导体激光器; 驱动电源; 单片机; FPGA

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0368-05

Development of a laser diode driver based on FPGA

XU Wen-hai, YANG Ming-wei, ZHU Wei, GU Hui-ping

(Department of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A new continue wave laser diode driver, which integrates FPGA technique, with high quality single-chip microcomputer (SCM) HD64F7045 as the controlling center is presented. In the LD controller module, the use of negative feedback technique could stabilize the drive current (I_F), the optical output power (P_o) and the forward voltage (V_F) respectively with high stability. The complete laser diode protection is provided by means of independent current limit and power limit settings, output off shorting circuits, and a slow turn on sequence. In the temperature controller module, the temperature could be controlled precisely with PI control method and the thought of integral separation. Results show that forward current stability can attain 10^{-4} degree, and temperature stability can attain ± 0.01 $^{\circ}\text{C}$.

Key words: Laser diode; Driver; Single-chip microcomputer; FPGA

0 引言

LD 作为一种新型的光源,因其具有体积小、质量轻、效率高、低功率驱动、可直接调制等一系列优点,已经越来越广泛地应用于通信、军事、医疗等领域,其

质量和可靠性在应用系统中起着关键作用。因此,对 LD 的性能提出更高的要求。然而,与其配套的驱动电源的性能直接影响其工作寿命、稳定性等性能^[1]。因此,对提高激光器驱动电源性能的研究是十分必要的。目前的驱动电源大多采用模拟技术实现,参考文献[2~

收稿日期:2004-06-15; 修订日期:2004-08-18

作者简介:许文海(1956-),男,吉林扶余人,教授,博士,主要从事光电信息方面的研究。

5]提出了单片机实现的数字化控制思想,可以较好地解决半导体激光器工作的准确、稳定和可靠性问题,但这些电源工作模式单一,只能实现 LD 的恒电流驱动或恒功率驱动,不能满足当前用户不断增加的使用要求。参考文献[6]介绍了一种基于单片机控制的多功能连续半导体激光器驱动电源,虽然解决了模式单一问题,实现了多种工作模式的稳定驱动,但是驱动稳定性、分辨率和温控精度还需进一步改善和提高。在多功能连续半导体激光器驱动电源基础上^[6],提出了一种新的设计方案,该系统是由模拟子系统和数字子系统构成,数字子系统采用高密度、高速度、可重复编程 FPGA 器件设计并实现,提高了系统的性能指标,并具有可靠性高、成本低、研制周期短的优点。

1 系统实现

1.1 系统结构

整个系统主要由模拟子系统和数字子系统两大部分构成,整体结构如图 1 所示,虚线框内为数字子系统。整个系统以日立 SH 系列单片机 HD64F7045 为控制核心,一片 FPGA 作为模拟部分与单片机的接口,

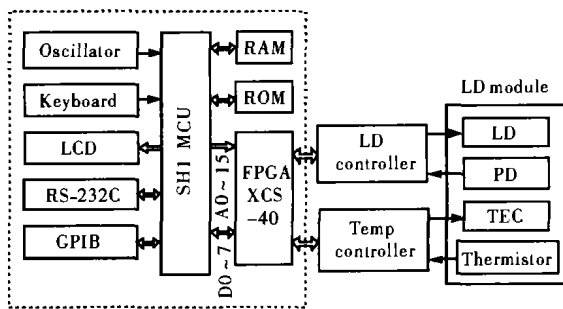


图 1 半导体激光器驱动电源总体框图

Fig.1 Block diagram of LD driver

主要部件还有薄膜键盘、液晶显示器等。由于采用单片机与 FPGA 相结合的方法,由最简单的硬件配置实现了智能化。具有体积小,功能强的特点。

1.2 利用FPGA 设计模拟部分接口电路

由于该系统需要控制多个数模转换器 D/A 及模数转换器 A/D 协调工作,如果由单片机直接控制,必然占用其过多的资源,加重其负担,因为单片机还需要控制显示、键盘和各种接口的工作。

采用高密度、高速度、可重复编程 FPGA 器件作

为 A/D、D/A、开关量控制和处理器之间的逻辑连接,很好地解决了这个问题。这样大大减少了数字电路部分的体积,缩短了设计时间,减少了 PCB 面积,提高了系统的可靠性,使系统的柔性得到了增强。而且使用 FPGA 可以使我们在选用 A/D、D/A 等器件时采用高速的串行 A/D、D/A 器件,不会增加 MCU 的负担,也无需复杂的外围接口电路。

在电路设计中,选择 XILINX 公司生产的可编程逻辑器件 XCS40-3 PQ208C 作为控制元件,先进先出存储器 IDT7206L25 作为存储单元,存储容量为 16384×9 bit。这部分电路与单片机连接的框图如图 2 所示。FPGA 主要实现三个功能:(1)接收 A/D 转换器产生的数据并发往单片机;(2)将单片机设置的数据发往 D/A 转换器;(3)控制模拟部分中各种开关量。FPGA 由单片机控制,接受单片机的指令、数据,根据指令完成对 A/D、D/A 器件的控制。从模拟电路部分采集的数据经过 FPGA 存储在 FIFO 中,当收到读数据指令时,将数据输出给单片机。通过双向缓冲器 74ACT245,实现数据的双向传输。

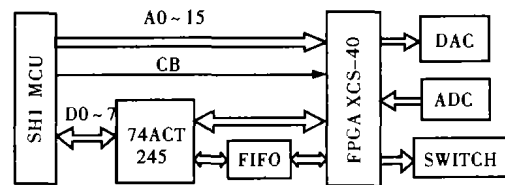


图 2 FPGA 与单片机的连接框图

Fig.2 Block diagram of connection between FPGA and MCU

按照实现的功能,FPGA 内部主要包括:A/D 控制模块、D/A 控制模块、开关量控制模块、FIFO 控制模块。

模块内置了一个看门狗计时器进行全局复位,两个脉冲发生器分别用来作为 A/D 转换和 D/A 转换的触发脉冲。

整个数据采集过程是由 CPU 设定标志寄存器 ADCCNTW(一个四位寄存器)告诉 FPGA 该对哪些 A/D 进行数据采集,采集结束后设定相应的标志寄存器 ADCCNTR 中的低四位为低电平,FIFO 控制主程序会由此将相应的 A/D 数据存储器中的数据发往 FIFO。例如,若 CPU 设定 ADCCNTW[3:0]为 1111,则 4 个 A/D 控制程序中都会被触发,FPGA 将采集 4 个 A/D 的转换数据,采集结束后会设置 ADCCNTR[3:0]

为 0000, 表示 A/D 转换结束, 可以将存储在 ADCDAT1R~ADCDAT4R 中的数据发往输出寄存器 FWR_DAT, FWR_DAT 外接 FIFO 写端口。

1.3 单片机及其外围电路

该部分从电路类型上主要包括单片机芯片、存储器电路、晶振电路、上电复位电路、译码、信号控制电路等。

HD64F7045F28 属于 SH7040 系列单片机, 执行速度快。片内有 4K RAM、256K FALSH ROM。片内模块有: 终端控制器 INTC、用户断点控制器 UBC、总线控制器 BSC、DMAC(4 通道)多功能定时器(16 位, 5 通道)、串行通信接口 SCI (2 通道)、片内时钟发生器 CPG、比较匹配计数器(2 通道)、A/D 转换器等(10 位 8 通道)、看门狗定时器(WDT)。该单片机功能强大, 只用一片就可以实现控制、数据处理等功能, 减少了硬件, 大大地提高了整机的抗干扰能力。

HD64F7045F28 单片机片内有 4 K RAM, 256 K FALSH ROM。由于系统的控制复杂, 单片机的运行程序以及数据存储量都需要大量的存储空间, 片内的存储器不能满足要求, 所以外扩程序及数据存储器。外扩 512 K 16 位程序存储器和 512 K 16 位数据存储器。

单片机采用外部时钟电路, 外部振荡源采用可编程振荡器 EX0-3C, 晶振频率 $f=14.3181$ MHz, 输出频率从 $f\sim f/2^8$, 在电路的设计中, 选用晶振频率 $f/2$ 。复位电路的设计使用系统复位芯片 PST600D, 当监测电压在 4.0~4.4 V 时, 产生复位信号。

1.4 键盘和显示器

大屏幕液晶显示器, 可直观清楚地显示出各种设定的参数以及实时工作状态中的驱动电流值、温度值和监测光功率值。

设定是由方向键和旋钮配合进行, 操作简单; 上下键选择项目, 左右键移动光标, 取消键返回原来画面, 确定键完成数据输入, 旋钮改变设定值。键盘还包括 LD 开关、温度开关、选择开关、设定开关、运行开关、停止开关。操作者可以方便地设定驱动电流、工作温度大小, 还可以完成驱动方式、量程、激光器极性和各种限定值等选择功能。

1.5 A/D 和 D/A 接口的串行实现

SPI 总线是 motorola 公司提出的一个同步串行外

设接口, 容许 CPU 与各种外围接口器件 (包括模数转换器、数模转换器、液晶显示驱动器等) 以串行方式进行通讯、交换信息。它使用 4 条线: 串行时钟线 (SCK)、主机输入/从机输出线 (MISO)、主机输出/从机输入线 (MISI)、在低电平时有效的使能信号线 (CS)。这样仅需 3~4 根数据线和控制线即可扩展具有 SPI 接口的各种 I/O 器件。显然, 这种总线扩展方法与并行扩展相比有着不可比拟的优点:

(1) 连线较少, 简化电路设计。并行总线扩展方法通常需要 8 根数据线和 8~16 根地址线、2~3 根控制线。而这种设计, 仅需 4 根数据和控制线即可完成并行扩展所实现的功能;

(2) 器件统一编址, 与系统地址无关, 操作独立性好;

(3) 器件操作遵循统一的规范, 使系统软硬件具有良好的通用性;

(4) 非常适合光电隔离设计, 使系统工作可靠性增加。

由于 FPGA 的采用, 可以选用高速的支持串行总线 (SPI) 的 A/D、D/A 器件。在本文中, A/D 器件选用的是 16 位的逐次比较型高速串行数模转换器 ADS8321, 该芯片双极性输入, 低功耗, 采样速度快, 有同步串行接口; D/A 器件选用的是 16 位的高速串行模数转换器 DAC7513, 该芯片单电源供电, 功耗低, 速度快。

1.6 模拟子系统

模拟子系统包括两部分, LD 驱动部分和温度驱动部分。LD 驱动部分可以实现对 LD 进行不同驱动方式的高稳定驱动, 温度驱动部分可以实现对 LD 温度进行高稳定度控制的功能。

LD 驱动部分采用反馈技术, 能分别稳定注入电流 I_F 、驱动电压 V_F 和光功率, 实现对 LD 不同方式的驱动。LD 的驱动方式有四种: 电流恒定控制 (ACC)、内 PD 功率恒定控制 (AMC)、外 PD 功率恒定控制 (APC)、电压恒定控制 (AVC)。ACC 工作模式通过电流采样反馈为 I_F 提供有源控制, 从而使电流漂移最小且使 LD 输出稳定性最大, 与温度控制配合使用, 这种方式最佳。稳定光功率有两种方式, 可以通过利用 LD 内部的 PD 或通过外部 PD 来实现, 这两种方式原

理相同,当LD工作时,内部PD管或者外部PD接收激光功率并转化为一个监测电流,该监测电流经过电流/电压转换后,通过反馈网络与设定值比较,形成闭环负反馈控制。AVC是特定场合下简单而又有用的模式。当需要LD的驱动电压恒定时,就可以采用这种模式。文中驱动电流分为四个量程:2、20、200、2000 mA,最大驱动电流可达2 A,这种设计适于不同驱动电流的各类激光器,可提高驱动精度。

温度的变化对LD的特性有很大影响,为保证LD工作的稳定性和可靠性,还必须对LD采取合理的温度控制措施。其原理是温度的变化经温度传感器转变为电信号,然后将其与设定的温度进行比较,偏差信号经控制调节电路处理,然后驱动执行元件工作,使温度稳定在设定温度附近。其中温度传感器是组件中的热敏电阻,用来测量LD的温度,其灵敏度高。执行元件是组件中的TEC,是利用帕尔帖效应的半导体制冷器件,体积小、结构简单,易控制。工作时,一端制冷,另一端制热,所以可通过改变电流方向变换制冷或制热。采用PI的控制技术作为核心,以减少静态误差、提高控制精度。为了防止积分饱和,采用积分分离的思想对积分项加以处理。具体方法为当设定值与测量值的偏差大于某一通过实验确定的规定阈值(或称积分界限)时,取消积分项的作用,仅比例项起作用;只有当偏差小于该规定的阈值时,才加入积分项的作用。为了保护TEC,防止因其电流过大而损坏,还增加了限幅电路。

一个好的LD驱动源必须在驱动LD的同时还可以保护工作中的LD。采用软启动的方式来防止正向浪涌击穿。软启动过程由单片机控制实现,这种方式可靠性高,稳定性好;为了防止LD在不工作情况下的静电和不可估计信号的击穿,采用管脚短接的方法;在LD工作状态下,为了防止其因电流过大而损坏,设计了LD的限幅电路。

2 实验结果与分析

2.1 注入电流和工作温度的稳定度分析

将仪器开机,接入激光器,预热30 min后,测量该电源的注入电流和工作温度的稳定度。

采用6位半的数字万用表直接测量与激光器串联的取样电阻的压降的方法,分别测量了四个量程:2、20、200、2000 mA的注入电流的稳定度,如表1所示。结果表明注入电流的稳定度达到 10^{-4} 量级。

表1 注入电流稳定性数据

Tab.1 Data of forward current stability

Component /mA	2	20	200	2000
Maximum error	0.000007	0.00008	0.0007	0.002
Relative error	0.0007	0.0008	0.0007	0.0002

采用6位半的数字万用表直接测量热敏电阻的压降的方法测量该电源的温度稳定度。在室温为13.08℃时,分别在0、15、25、45℃进行了120 min的稳定性试验,结果表明,稳定性优于 ± 0.01 ℃。且越接近室温,控制精度越高。

2.2 性能比较

把该电源与参考文献[6]中介绍的电源的几项主要性能进行了比较,结果如表2所示。

表2 与参考文献[6]中的系统性能对比

Tab.2 Comparison with the driver in reference[6]

Specifications	Driver in Ref.[6]	Driver in the paper
Drive mode	ACC, APC, AVC	ACC, APC, AVC, AMC
Current range	2 A	2 mA, 20 mA, 200 mA, 2 A
Forward current stability	10^{-3}	10^{-4}
Temperature stability	± 0.1 ℃	± 0.01 ℃

由于该设计方案采用先进的FPGA设计技术,并选用16位的高速的串行A/D、D/A器件,使得系统整体性能与参考文献[6]中的系统相比提高了一个数量级,而且使用更加方便,工作更加稳定。

3 结论

该方案融入了FPGA设计技术,实现了高稳定度的激光器驱动和温度控制。实验表明,该系统具有稳定度高、抗干扰能力强、使用方便和对LD无损害的

优点,可以提供快速和准确的 LD 驱动。

参考文献:

- [1] 滕明,闫丽丽.选择电源改进激光二极管性能[J].红外与激光技术,1994,23(4):58-61.
- [2] 邹文栋,高益庆.单片机控制的半导体激光驱动电源[J].激光杂志,2002,23(4):70-71.

- [3] 刘奎学,尹裕,解澎.高精度电流、温度控制器在半导体激光器中的应用[J].电子工业专用设备,2002,31(3):167-170.
- [4] 王明生,张娜,单江东,等.半导体激光器驱动与控制系统的分析与设计[J].吉林大学学报(理学版),2002,41(2):206-208.
- [5] 史全林,辛德胜,张剑家,等.连续半导体激光器驱动电源[J].长春光学精密机械学院学报,2001,24(1):12-15.
- [6] 许文海,杨明伟,唐文彦.一种多功能半导体激光器驱动电源的研制[J].红外与激光工程,2004,34(5):465-468.

(上接第 347 页)

从图 4 可以看出,本文提出的加密方法将五重密钥安置在不同的变换域上,只要一个密钥参数与正确参数有很小的偏差,都不能得到正确的解密结果,因而有着极强的保密性能。

3 总结

本文首次采用空域-分频域混合编码的方法,对光学图像在不同变换域上实行编码,并将波长因子引入加密过程,成功实现了光学图像的加密和解密。尽管加密过程公开,但本文提出的方法在不同变换域上设置密钥,使得系统保密性能得到了极大的提高。该方法可广泛用于光学安全等相关领域,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Philippe Refregier,Bahram Javidi.Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding[J]. Opt Lett, 1995,20(7):767-769.
- [2] Bahram Javidi,Takanori Nomura. Secure information by use of digital holography[J].Optics Letter,2000,25(1):28-30.
- [3] Peng X, Yu L F, Cai L L.Double-lock for image encryption with virtual optical wavelength[J].Opt Express,2002,10(1):41-45.
- [4] Tan Xiao-di,Osamu Matoba,Yoshiko Okada-Shudo,et al. Secure optical memory system with polarization encryption[J]. App Opt, 2001,40(14):2310-2315.
- [5] Tan Xiao-di ,Osamu Matoba,Tsutomu Shimura,et al.Secure optical

storage that use fully phase encryption [J]. App Opt,2000,39(35):6689-6694.

- [6] Heanue J F,Bashaw M C,Hesselink L.Encrypted holographic data storage based on orthogonal-phase-code multiplexing[J].App Opt, 1995,34(26):6012-6015.
- [7] Paul C Mogensen, Jesper Glickstad. Phase-only optical encryption [J].Opt Lett, 2000,25(8):566-568.
- [8] Su Wei -chia,Sun Ching -cherng,Chen Yu -cheng,et al.Duplication of phase key for random-phase-encrypted volume holograms[J]. App Opt,2004,43(8):1728-1733.
- [9] Seo Dong -hoan,Kim Soo -joong.Interferometric phase-only optical encryption system that uses a reference wave[J]. Opt Lett, 2003, 28(5):304-306.
- [10] Osamu Matoba,Bahram Javidi.Encrypted optical memory system using three-dimensional keys in the Fresnel domain[J].Opt Lett, 1999,24(11):762-764.
- [11] Unnikrishnan G,Joseph J,Singh K.Optical encryption by double-random phase encoding in the fractional Fourier domain[J].Opt Lett,2000,25(12):887-889.
- [12] Gopinathan Unnikrishnan, Joby Joseph, Kehar Singh. Fractional Fourier domain encrypted holographic memory by use of an anamorphic optical system[J].App Opt,2001,40(2):299-306.
- [13] Hennelly B,Sheridan J T. Optical image encryption by random shifting in fractional Fourier domains[J].Opt Lett, 2003,28(4):269-271.
- [14] 于力,朱邦和,刘邦田.用于光学图像加密的分数傅里叶变换双相位编码[J].光子学报,2001,30(7):904-907.
- [15] 苏显渝,李继陶.信息光学[M].北京:科学出版社,1999.