

光通信用的多路半导体激光器监控系统研究[图]

0 引言

光纤通信以其通信容量大、保密性强、重量轻等优点,已成为未来通信的主要手段,且随着 WDM 技术在光通信中的应用,进一步增大了通信容量。由于在一个光通信窗口内同时传输多个波长的光信号,且每路光均承载一定的信息量。因此,对激光光源波长调制精度及稳定性要求很高。

目前国内对单路激光光源的研究日趋成熟,而对多路激光光源配合工作及上层监控系统的研究开展较少。一方面,如果各光源独立工作,在通信前需分别调制各光源波长和功率参数,降低了调制效率,尤其在某个较窄的通信窗口内,更需要高效合理地分配波长资源,单路调节难以实现。另一方面,光源的数字单元多采用单片机和串口控制传输,速度低、通用 I/O 少,难以满足对多路光源的高效控制和高速采集传输的要求。基于此,本文研制了一套多路 LD 监控系统,由上位机统一管理,用 DSP 和 FPGA 双控制器替代单片机,USB 2.0 替代串口通信,与上位机配合实现了快速精确调制多路 LD 参数(波长和功率),实时监测各路 LD 工作状态和图形化显示等功能。实验结果表明,在 1 h 内,温度稳定性达 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$,功率稳定性达 0.5%。

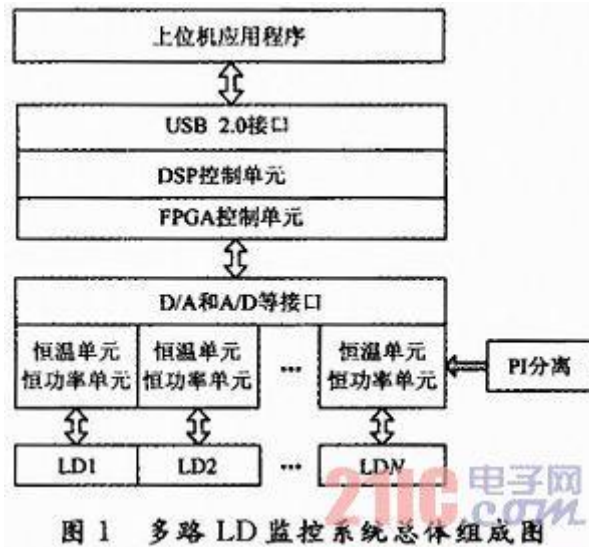
1 多路 LD 监控系统总体设计

如前述,波长调制精度和稳定性直接影响到 WDM 的实现。目前波长调制方法主要有电流-波长调制和温度-波长调制法,各自优缺点见表 1。考虑到光通信对功率稳定性的要求,本文选用温度-波长调制。

表 1 LD 波长调制方法比较

方法	电流-波长调制法	温度-波长调制法
优点	速度快	对功率影响小;线性好
缺点	对功率影响大	

本系统按照自上向下的设计思路,由上位机程序作为监控系统的操作平台,通过 USB 2.0 发送控制命令,包括开/关电源、调制参数(LD 温度和功率初值)和监测。专用于通信领域的 DSP(TMSVC5416)接收并分析命令,配合 FPGA 操作 D/A 和 A/D 等接口,实现参数调制和数据采集,最终由上位机实时显示,多路 LD 监控系统总体组成如图 1 所示。

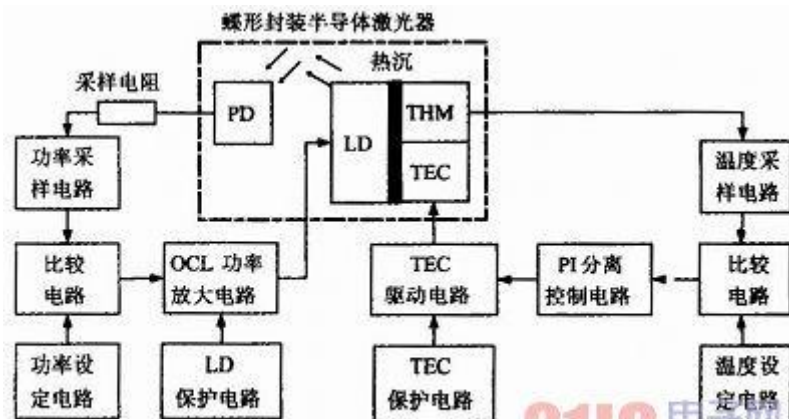


2 控制系统设计

控制系统包括恒温、恒功率控制单元，远程开/关电源和参数设定电路的设计。其中，恒温、恒功率控制单元确保了光源波长、功率的稳定，配合参数设定电路方便了对光源参数的精确调整。

2.1 恒温、恒功率单元设计

恒温、恒功率单元组成框图如图2所示，各单元又分为设定、采样和驱动电路，共同作用于蝶形封装的半导体激光器。其中热沉一侧的LD和光电接收器(PD)，组成功率回路；另一侧的热敏电阻(THM)和热电制冷器(TEC)组成温度回路。事先通过标定温度-电压和功率-电压的对应关系，由上位机发送设定值，经D/A电路以电压形式输出到比较电路的一端，同时THM提取LD温度信息，PD串联的采样电阻提取LD功率信息输出到比较电路的另一端，TEC和OCL功率放大电路分别根据设定值和实际值的偏差信号动态调节LD的温度和功率，使其与设定值无限逼近。另外在恒温控制中引入PI分离电路解决了温度-波长调制速度慢，且其稳定性也得到了保证。



2. 2 PI 分离控制电路设计

PI 控制器原理简单、参数易调且实用性强，因此应用广泛。本系统中的比例环节(P)主要是为了提高温度响应速度，积分环节(I)主要是为了消除静差、提高精度，但在大幅度增减温度设定值或外部干扰情况下，短时间内比较电路输出有较大的偏差，造成积分积累达到饱和，可能给恒温单元带来较大的超调，甚至引起振荡。

为了使温度较快进入高稳定状态，本系统采用 PI 分离电路的设计思路，当温度设定值与实际测量温度值偏差较大时，取消积分作用，避免因积分饱和致使其控制量过大，引起超调；当偏差值较小时引入积分作用，消除静差，可有效减小外界干扰，提高温度稳定性。在实际电路中采用电阻串联分压模式，设定两个阈值 U_1 和 U_2 ($U_1 > U_2$)，为防止积分饱和而取消积分作用。PI 加和后输出 $\mu(t)$ 驱动 TEC，数值为正时加热，且数值越高加热功率越大；为负时制冷，且绝对值越大制冷功率越大，如图 3 所示。

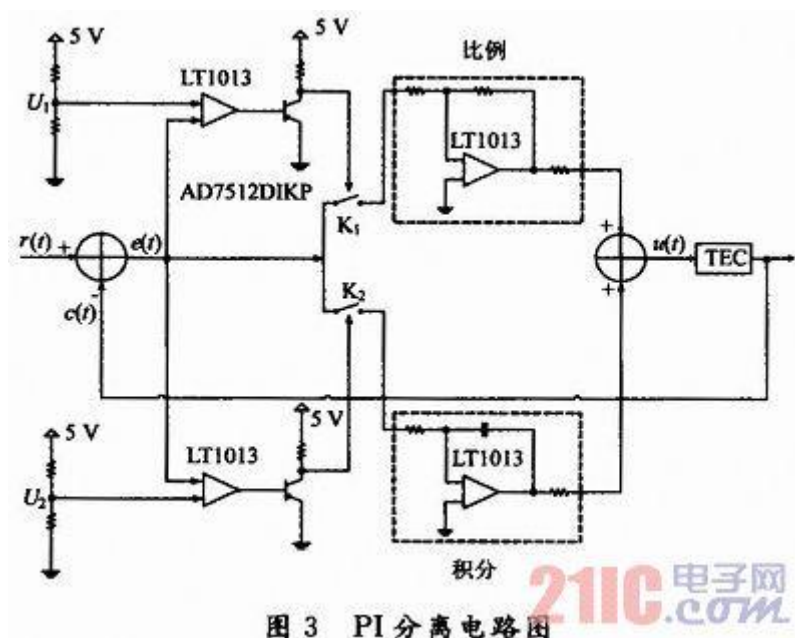


图 3 PI 分离电路图

2. 3 参数设定电路

参数设定包括温度设定和功率设定，实质是通过改变电压，间接调制光源波长和功率。在光通信中，需要同时调制多路激光器参数。鉴于此本文采用多路 16 位串行 D/A(AD5542) 设定电路，替代传统采用电位器分压、手动调整旋钮的方式，有效提高了调节精度和效率，步长为 0.08 mV，电路如图 4 所示。

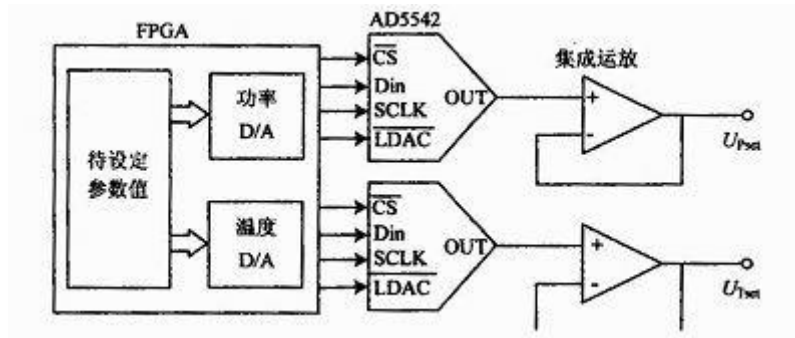


图 4 D/A 电路连接图

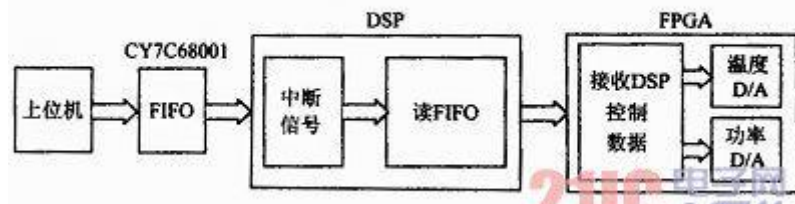


图 5 监控系统参数设定结构图

监控系统参数设定结构图如图 5 所示，工作流程为：首先上位机向 USB 2.0 接口芯片 CY7C68001 的 FIFO 中发送调制参数命令，该命令包括：选择 LD 的路数、设定参数类型(温度或功率)和参数值。其中，CY7C68001 基于应用层编程，内部集成了 4 KB 的 FIFO 空间，不含微处理器内核，属于被动型接口芯片，同时触发 USB 芯片向 DSP 发中断信号，DSP 响应中断 FIFO 中的命令，与 FPGA 协调控制设定参数。

另外远程开/关电源操作与上述类似，上位机发送开/关电源命令，经 DSP 接收命令后，由 FPGA 控制总电源回路上继电器的 I/O 开关量，实现开/关操作。

3 监测系统

监测系统通过对多路 LD 的温度、功率信息实时测量以实现监测。测量电路主要通过 A/D 采集数据，其电路连接如图 6 所示。将温度、功率采样得到的电压经放大器输出到 A/D 的模拟输入端，其中 A/D 芯片选用 16 位高速串行 ADS8321，采样速率为 100 kHz。FPGA 基于其并行流水线控制 A/D 时序，可高速同步测量多路 A/D。

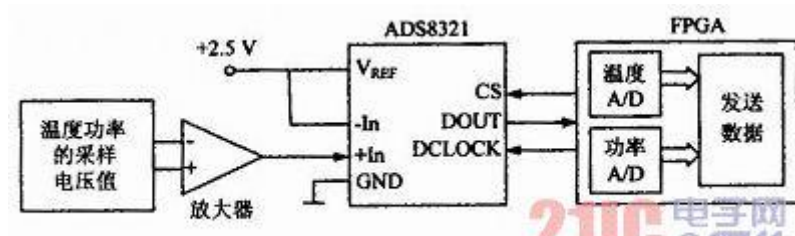


图 6 A/D 电路连接图

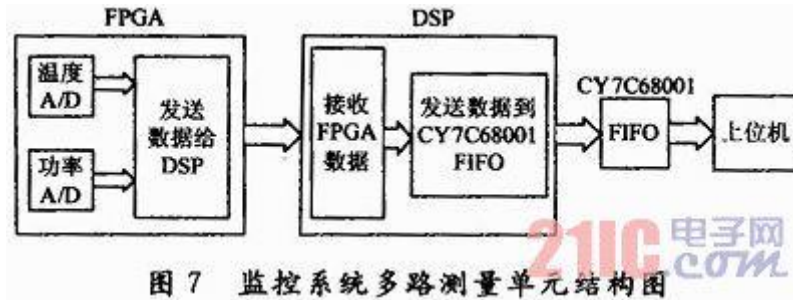


图 7 监控系统多路测量单元结构图

监控系统多路测量单元结构图如图 7 所示，工作流程为：首先上位机通过 USB 2.0 向 DSP 发出监测命令，DSP 响应中断，配合 FPGA 同步控制多路 A/D 时序。再将采集到的数据按 LD 路数、温度和功率参数有规律地存入 DSP 程序数组中，当采集满 512 B 的数据，将数据打包通过 USB 中断传输模式传送至上位机，并将数据通过图形直观显示，以便清晰地观测各路 LD 状态。

4 实验结果与分析

实验中 LD 选用深圳宙兆科技有限公司生产的 DFB，14 引脚 DIP 蝶形封装激光器，中心波长为 1550 nm，波长调节范围从 1527.99~1611.78 nm，输出功率最大 15 W。上位机程序结合 VB 界面美观和 C++ 效率高的优势，采用 VB 调用 C++ 动态链接库的编程模式，实现对多路激光器的控制和监测。软件控制平台包括开/关电源和设定参数，其电压设定最小步长为 0.08 mV，对应的温度和功率设定最小步长分别为 0.001℃ 和 0.1 mW。根据光通信中波长传输窗口及波长-温度线性关系得出 LD 的温度窗口，设定相应温度范围和 LD 路数，软件按等间隔均匀分布原则，自动调制各路 LD 温度。

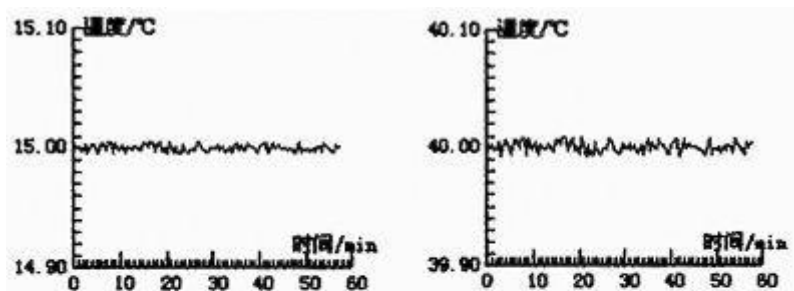


图 8 温度稳定性曲线

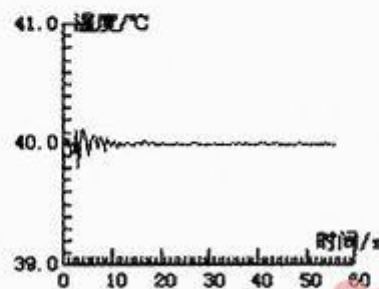


图 9 PI 分离控制温度曲线

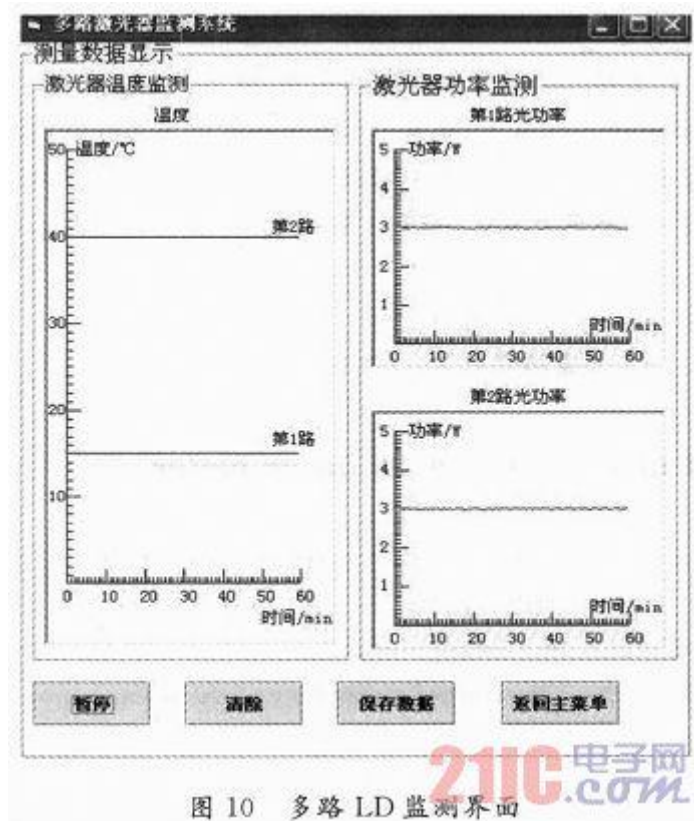


图 10 多路 LD 监测界面

实验中，室温为 20°C ，设定 LD 功率为 3 W ，温度范围为 $15.0\sim 40.0^{\circ}\text{C}$ ，设定 LD 为 2 路，点击发送选项，即可同时对两路 LD 参数调制。结果如图 8~图 10 所示。实验结果表明温度偏差可控制在 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，且越接近室温控制效果越好，功率 1 h 稳定性在 0.5% 以内。另外，温度参数在重新调整后会出现振荡，取 P1 分离电路中阈值电压 $U_1=0.2\text{ V}$ ， $U_2=2\text{ V}$ ，适当调整 PI 参数，可使温度快速进入稳定。

5 结论

本文针对 WDM 技术对激光器光源的要求，采用恒温与恒功率电路组合构成模拟单元，DSP 与 FPGA 模块组合构建数控单元，由上位机远程监控，可以实现对多路 LD 参数的高效调制和实时同步监测。采用本文的 PI 分离控制方法可以快速实现高精度温度稳定控制。实验结果表明，在 1 h 内温度稳定性达 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，功率稳定性达 0.5% ，满足光通信中对激光器光源的需求。

作者：刘通 孙琳 唐文彦 来源：现代电子技术