

# 光发射模块温度补偿系统的设计与实现

于志翔

(国家卫星气象中心乌鲁木齐气象卫星地面站 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 针对高速小型可插拔式 SFP (small form pluggable) 光发射模块输出光功率随外部温度变化而改变的缺点, 基于 PIC 单片机设计实现了一种自动温度补偿系统。通过改变光发射模块内部的硬件电路设计, 将小型封装的 PIC 单片机嵌入到光发射模块当中, 由编程控制实现对 SFP 光发射模块一系列工作参数的实时监测, 同时根据监测到的温度参数的变化, 利用查找表法对光发射模块的激光偏置电流进行实时补偿, 确保外界温度条件发生改变时光发射模块输出光功率的稳定。实验结果表明当外界温度发生改变时, 光发射模块的输出光功率、总抖动、消光比等性能参数都符合设计要求。

**关键词:** SFP 光发射模块; PIC 单片机; 温度补偿

**中图分类号:** TP274+.2   **文献标识码:** A   **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Design and implementation of temperature compensation system for optical transceiver module

Yu Zhixiang

(Urumqi Meteorological Satellite Ground Station National Satellite Meteorological Center,  
Urumqi 830011, China)

**Abstract:** This paper introduce an automatic temperature compensation system based on the PIC for high speed small form pluggable(SFP) optical transceiver module. Comparing with conventional design, the module includes a micro-computer PIC, it can monitor a series of parameters of optical transceiver in real time by programming. Through this system, the SFP optical transceiver module can complete driver chip's reading and writing rapidly. To ensure that the module can work in the best condition under the different temperature. The experimental results show that all parameters of SFP are regular as the change of temperature.

**Keywords:** SFP optical transceiver module; PIC; temperature compensation

## 1 引言

随着光通信技术的发展, 实现光电、电光转换功能的光收发模块在光纤通信中占有的地位越来越重要, 同时光模块正不断向标准化、智能化、小型化、低成本、低功耗、高速率、远距离方面发展。SFP 光发射模块体积小、支持热拔插, 可以在很大程度上增加光纤通信设备网络端口的密度, 在目前的光通信产品中得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。由于激光器的阈值电流和斜效率会随着温度的变化而波动, 导致光发射模块的输出光功率随温度变化输出不稳定, 增加通信误码率。针对传统光发射模块的这一缺点, 本文在现有光发射模块的基础上增加了数字诊断功能, 可以通过上位机和下位机软件对光发射模块的温度、电压、激光偏置电流、发射

功率等一系列参数进行实时监测, 同时模块自身也具有自适应功能, 可以根据反馈的温度、电压等信息实时调整偏置电流的大小, 即使外界温度发生变化也能保证发射光功率的稳定, 使模块正常工作。

## 2 光发射模块的基本原理

光模块是光纤通信系统中的重要器件, 能够进行光信号和电信号间的转换, 按功能可以分为光接收模块、光发射模块、光收发一体模块和光转发模块等。光发射模块的主要任务是把电信号转换成为光信号, 将激光器、驱动和控制电路及其他光学元件集成在一个封装盒内, 完成输入为标准电平输出为光信号的功能<sup>[4-5]</sup>。图 1 所示为光发射模块的原理。本文光模块系统中控制单元采用 PIC18F26K22

单片机,驱动单元为 GigOptix 公司的 HXT51XX 系列激光器驱动芯片,单片机与驱动芯片之间通过 I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated circuit)总线进行通信。

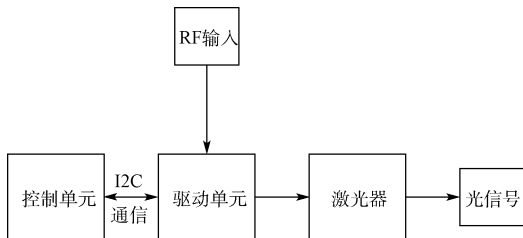


图 1 光发射模块原理

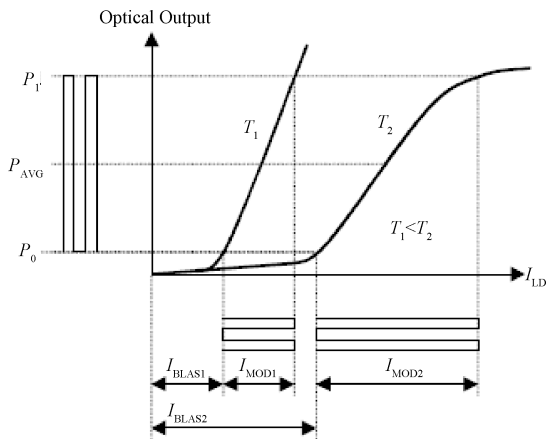


图 2 LD 输出光功率特性图

### 3 光模块温度补偿的原因

激光器的阈值电流和斜效率会随着温度的变化波动,从而导致温度变化时激光器的输出光功率发生变化<sup>[6-7]</sup>。激光二极管(laser diode)是一个电流器件,只有在通过它的正向电流超过阈值电流  $I_{th}$  (threshold current)时才发出激光,为了使 LD 工作,必须对它加上略大于阈值电流的直流偏执电流  $I_{bias}$ 。

图 2 可以看出随着 LD 温度的升高,LD 的斜效率会降低,为了保持输出平均光功率和消光比不变,在温度上升时必须增大  $I_{bias}$  和  $I_{mod}$ ,反之温度降低时必须减小  $I_{bias}$  和  $I_{mod}$ 。本文就是针对激光二极管的这个特性,通过单片机控制激光器驱动芯片,利用查找表法查找不同温度下 EEPROM 中存储的电流值,将值取出写入驱动芯片的存储器中,实现对光发射模块  $I_{bias}$  和  $I_{mod}$  电流的实时自动补偿,控制激光器发光,确保输出光功率和消光比的稳定。

### 4 系统总体设计

光发射模块温度补偿系统的设计主要由上位机软件和

下位机软件以及硬件电路组成。上位机软件的功能主要有以下两部分:1)对光模块的实时状态进行监测,读取光模块的实时电压、电流等基本信息;2)通过 I<sup>2</sup>C 总线对 PIC 单片机 EEPROM 中存储的  $I_{bias}$  和  $I_{mod}$  电流数值进行读写操作,从而完成对光模块的前期调试工作。下位机软件主要是基于 PIC 单片机的嵌入式编程,通过 PIC 单片机的主从 I<sup>2</sup>C、A/D 和 D/A 转换、中断等功能实现对光发射模块驱动芯片的自动控制,从而保证不同温度下光发射模块始终工作在最佳状态。

#### 4.1 上位机软件设计

上位机软件采用 C++ Builder 软件编写,C++ Builder 是由 Borland 公司推出的一款可视化集成开发工具,具有一个专业 C++ 开发环境所能提供的全部功能:快速、高效、灵活的编译器优化,逐步连接,CPU 透视,命令行工具等。它实现了可视化的编程环境和功能强大的编程语言(C++)的完美结合。上位机软件界面如图 3 所示。

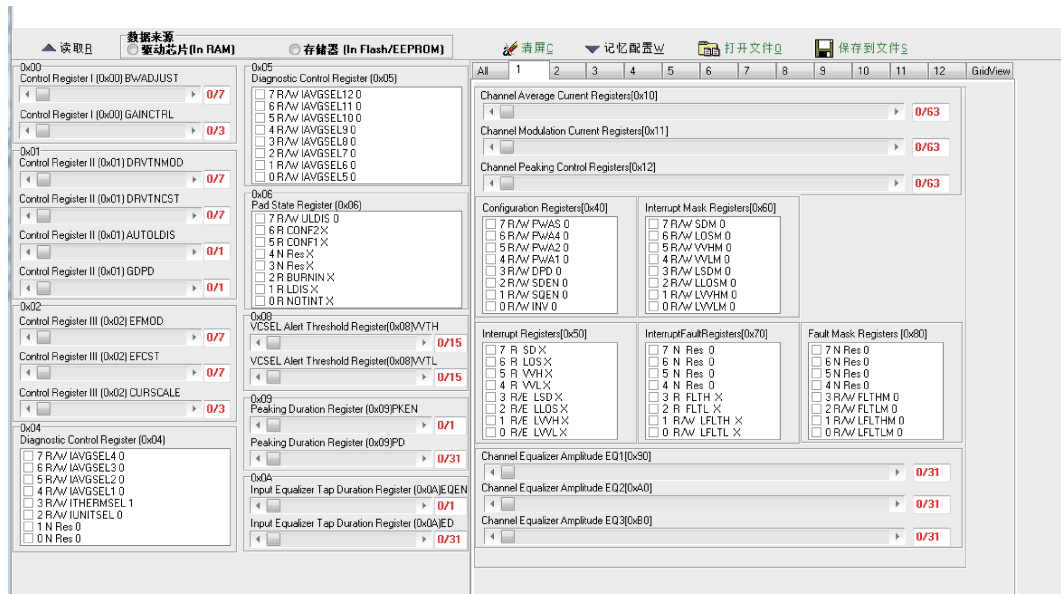


图 3 上位机界面

通过上位机软件可以实时读取光模块的电压、电流以及单片机和驱动芯片内部寄存器的数据,方便对模块进行调试。

#### 4.2 下位机软件设计

下位机软件流程如图4所示。下位机软件主要函数包括初始化函数、中断函数、I<sup>2</sup>C通信函数、电压温度监测函数、温度补偿函数等,核心模块包括3部分:通信功能模块、控制及测量模块、温度补偿模块。

通信功能主要有两部分组成:主I<sup>2</sup>C模块(模拟I<sup>2</sup>C)和从I<sup>2</sup>C模块。主I<sup>2</sup>C主要负责单片机与驱动芯片通信,从I<sup>2</sup>C主要负责上位机(或上级设备)与单片机进行通信。

I<sup>2</sup>C总线是一种由飞利浦(PHILIPS)公司开发的两线式串行总线,由数据总线SDA和时钟总线SCL组成,可以接收和发送数据。图5所示为I<sup>2</sup>C总线时序图,图中可以看到I<sup>2</sup>C总线完成一组数据的传输需要三种信号:起始位:当SCL为高电平时将SDA由高电平拉为低电平,即产生一个起始信号,数据开始传输;应答位:当接收数据的一方接收到8位数据后,向发送数据的一方发送一个特定的低电平脉冲,表示已经收到数据;结束位:当SCL为高电平时将SDA由低电平拉为高电平,即产生一个结束信号,数据传输完毕<sup>[8-11]</sup>。

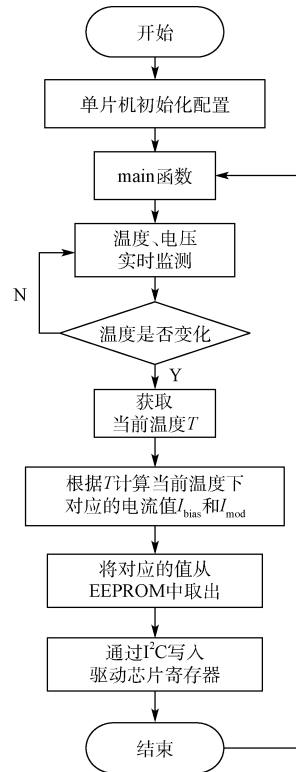


图4 下位机软件总体设计流程

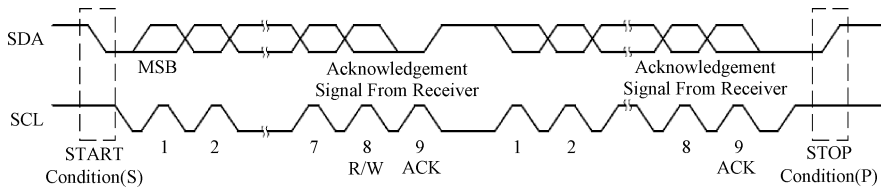


图5 I<sup>2</sup>C总线时序图

控制及测量模块的功能是负责控制光驱动芯片正常工作,同时实时监测芯片温度以及电压,将监测的温度和电压信息通过V<sub>therm</sub>管脚实时反馈给单片机。

温度补偿模块的功能:根据实时监测的温度,通过主I<sup>2</sup>C将单片机EEPROM中对应相应温度的BIAS和MOD电流值写到光驱动芯片的寄存器中,保证模块在高低温正常工作。

#### 5 联合调试结果

如图6~8所示为光发射模块在低温-40℃、常温25℃和高温80℃下通过示波器捕捉的眼图信息。从图中可以看出常温下眼图张得最大,码间串扰最小;上升沿和下降沿时间最短,抖动小;消光比也符合设计要求。随着温度的升高和降低,由于芯片性能影响,高温和低温时眼图

应该比常温时差,但是由于光模块的自动温度补偿系统,光模块自动调节 $I_{bias}$ 和 $I_{mod}$ 电流的大小,从图6和8中可以看出,眼图基本与常温下相差不大,从表1可以看出光模块各项数据也都符合设计要求。

表1 不同温度下光模块各功能参数比较

温度/ ℃	上升沿时 间/ps	下降沿时 间/ps	总抖动/ ps	消光比/ dB
-40	48.7	68.6	36.96	4.71
25	40.9	62.3	32.01	5.38
80	43.3	66.5	33.23	4.68

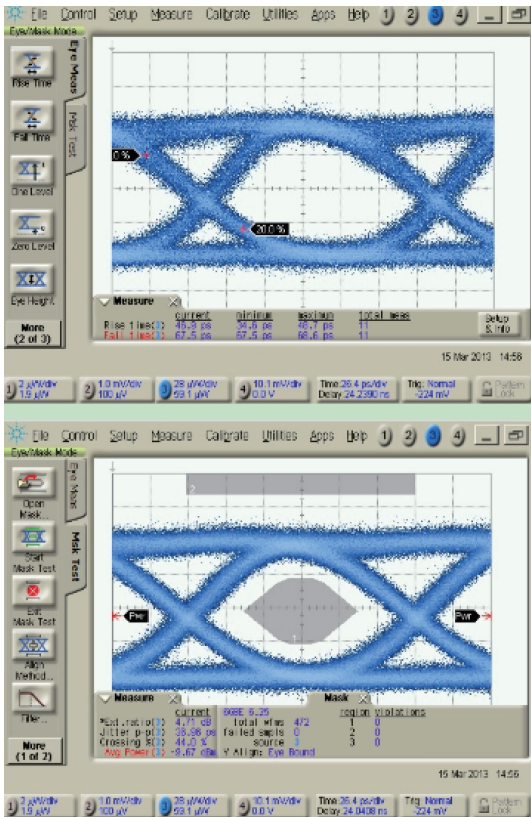


图 6 -40 °C 光发射模块眼图

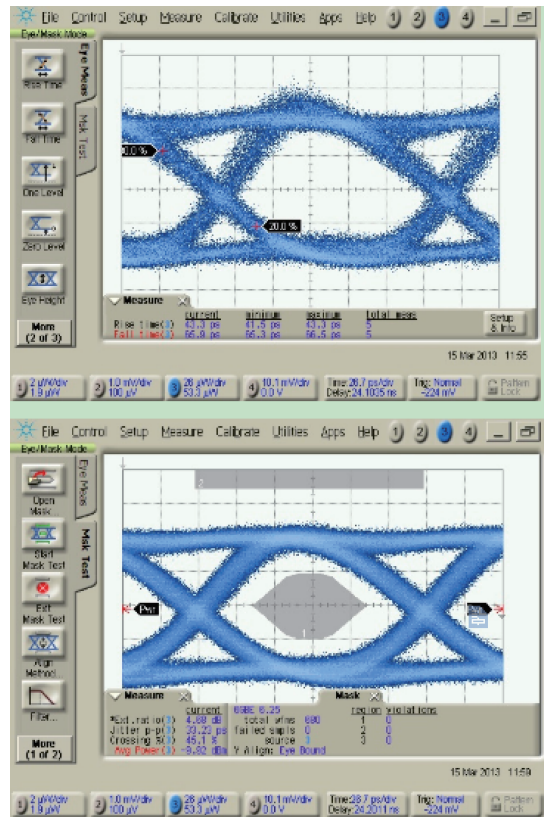


图 8 80 °C 光发射模块眼图

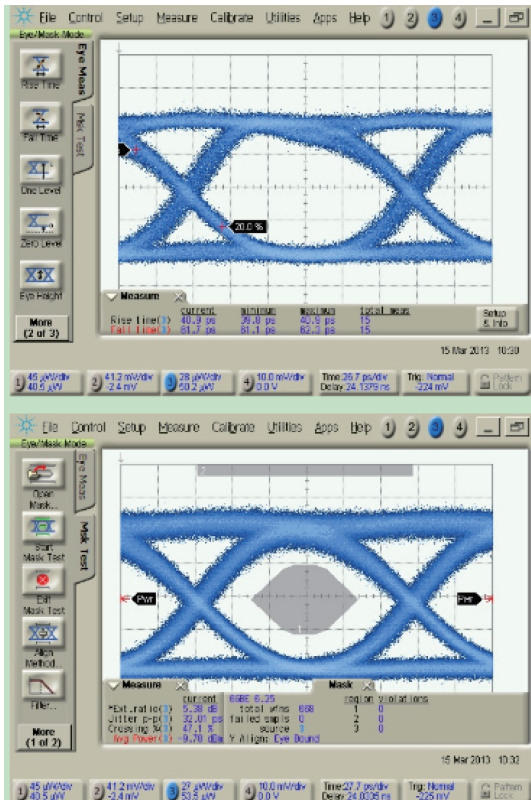


图 7 25 °C 光发射模块眼图

## 6 结 论

本文针对光发射模块基于 PIC 单片机设计实现了一种自动温度补偿系统,可以实现对光模块内部各项数据的实时监测,同时根据温度变化通过查找表发对光模块驱动芯片参数进行自动设置,使光模块在不同温度下都可以工作在最佳状态,很好的解决了外部温度变化导致光发射模块的输出光功率不稳定的问题,提高了传输数据的准确率,确保了通信质量。通过联合调试实验和对光模块眼图对比分析,系统完全实现了自动补偿功能,各项指标都符合设计要求。

## 参考文献

- [1] 王妮,侯韶华. 基于 SFP 光模块控制系统的设计和实现[J]. 光通信技术,2010(9):36-38.
- [2] 葛建军,胡毅. 高速 SFP 光模块消光比的温度补偿研究[J]. 光通信研究,2010(5):40-43.
- [3] 周东杰,都磊,金雷,等. 基于 FPGA 的新型 SFP 光模块监测系统[J]. 计算机系统应用,2013,22(4):161-163.
- [4] 万新星,任海兰. 10 Gbit/s XFP 光模块的设计[J]. 光通信研究,2012(2):51-55.
- [5] 朱晓琳,张秦艳. 基于 I2C 接口访问的光模块系统设计[J]. 设计参考,2010,12(1):69-71.
- [6] 王三. 光模块消光比的补偿方法[J]. 中国光学,2011,4(6):648-653.

(下转第 181 页)