

# 基于通用 MCU 的智能 SFP 光模块设计

苏友章<sup>1</sup>, 周剑扬<sup>1</sup>, 郭元章<sup>2</sup>

(1. 厦门大学电子工程系 福建 厦门 361005 2. 厦门优迅高速芯片有限公司 福建 厦门 361005)

**【摘要】**：本文介绍一种兼容 SFF-8472 协议的智能 SFP 光模块的设计方案，提出了一种通用的光模块数字诊断监测 (DDM) 的设计思路，适用于不同型号 MCU 的 DDM 系统。使用 MCU 的 FLASH 存储 A2H 地址的内容，采用内外部校准相结合的新校准方式，更灵活，更简便。通过实际测试，该方案的精度满足协议的要求。

**【关键词】**：SFP 光模块；数字诊断监测；IIC 总线

## 1、引言

SFP 光模块的数字诊断监测主要是对光模块的供电电压、模块温度、偏置电流、接收光功率、发射光功率等 5 个模拟参量和各种监控信号实时监测。通过分析数字化测量结果判断光模块的通信工作状态，这有利于光通信链路的维护<sup>[1]</sup>。

目前大部分设计方案是采用 MAXIM 公司的 DS1859，该芯片完全兼容 SFF-8472 协议，功能齐全，软件编程简便，但是该芯片价格比较贵，同样很多空间已固定，不灵活，扩展性不好，对于以后版本的升级不方便。本方案采用一片 MCU、EEPROM、数字控制电位器 (DCP) 替代 DS1859，使用软件编程达到满足 SFF-8472 协议要求，用 FLASH 存储 A2H 地址内容以及内外部校准相结合的新校准思想，具有性价比高，可靠性好，扩展性好，校准快速简便等优点。

本文首先介绍五个模拟量的一种新校准原理，接着分析 DDM 系统的控制器 MCU、限幅放大器、激光驱动器、存储单元、DCP 的原理与作用，然后给出软件的设计思路和实现方案，最后通过实验数据验证该方案的可行性。

## 2、参量校准原理

根据 SFF-8472 协议，光模块的供电电压等五个模拟参量有内部校准和外部校准两种方式，内部校准的参数固化在程序里面，虽然可以通过外部界面设置改变，但是不同型号激光器 PD 响应度不一样，内部校准就很不灵活。外部校准，克服了内部校准的缺点，但是，由于要测量 slope 和 offset 两个参数，需人工手调，在批量生产的情况下，测量效率低下。而使用内外部校准相结合的校准方式可以克服上述的缺点。

MCU 使用 Freescale 公司的 HCS08Q 系列芯片，具有稳定的带隙基准电压及线性度较好的温度传感器，电压和温度这两个参数与激光驱动器的参数没关系，可用内部校准方式来校准，参数直接固化在程序内部。

电压的校准方式如公式 1 所示， $V_{DD}$  单位 0.01V， $ADCR_{V_{dd}}$  是参考电压  $V_{DD}$  的 AD 值， $V_{BG}$  是带隙基准电压值 1.2V， $ADCR_{BG}$  是带隙基准电压的 AD 值。

$$V_{DD} = \frac{ADCR_{V_{dd}} \times V_{BG}}{ADCR_{BG}} \times 100 \quad (1)$$

温度校准方式如公式 2 所示，Temp 是当前温度，单位为 0.01℃， $V_{temp}$ 、 $V_{temp25}$  分别为温度传感器当前的和 25℃ 时的电压值，M 是温度斜率系数。

$$Temp = 2500 - \left( \frac{V_{temp} - V_{temp25}}{M} \right) \times 100 \quad (2)$$

根据公式 3，电压和温度换算成协议规定的标准数据格式后，存储在 A2H 相应的地址里。其中， $N_{16ad}$  是 16 位校准后的值，R 是当前实际值，K 是内部校准的精度系数。

$$N_{16ad} = R \times K \quad (3)$$

接收光功率非线性度相对比较明显，SFF-8472 协议采用 4 阶外部校准，但这在应用时校准很麻烦，于是改用和偏置电流和

发射光功率一样的校准方式，得到近似值，如公式 4 所示， $N_{16ad}$  为校准后的标准 16 位数据， $K_{slope}$  为校准增益， $L_{ad}$  为实际采样的 AD 值， $O_{offset}$  为偏置补偿值。

$$N_{16ad} = K_{slope} \times L_{ad} + O_{offset} \quad (4)$$

$K_{slope}$ 、 $L_{ad}$  和  $O_{offset}$  存储在新开辟的空间内，上位机的校准按钮输入实际值，换算成  $N_{16ad}$  后，可通过公式 5 和公式 6 自动换算出近似的  $K_{slope}$  和  $O_{offset}$ 。

$$K_{slope} = \frac{N_{16ad}}{L_{ad}} \quad (5)$$

$$O_{offset} = N_{16ad} \% L_{ad} \quad (6)$$

偏置电流、接收和发射光功率采用外部校准的思想，但是 slope 和 offset 能自动换算得到，不需要测量，而且存储数据是使用内部校准的方式，即把 A2H 地址 38H~5BH 的参数设置为内部校准方式的值，同时 A0H 地址 5CH 的第四位置 0，第五位置 1，表明五个模拟量的数据存储值为实际转换后的值，内部校准存储方式，这很方便兼容协议和其他厂商的产品。

## 3、SFP 光模块的 DDM 系统设计

SFP 光模块 DDM 的系统结构如图 1 所示，DDM 系统主要由七部分组成，分别是控制器 MCU、限幅放大器、激光驱动器、存储单元、DCP、TOSA、ROSA 组成。上位机、MCU 和 EEPROM 之间的通信是通过 IIC 总线，MCU 控制着 DDM 系统的各个模块，并作为上位机的 IIC 从器件。

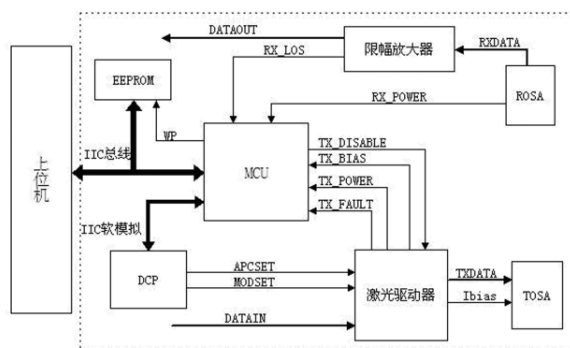


图 1 DDM 系统框图

### 3.1 控制器 MCU

MCU 是整个 DDM 系统的监测控制中心，具有足够容量的 FLASH 和 RAM；具有多通道的 ADC 功能，并且内置温度传感器和带隙基准电压通道；内置 IIC 控制模块，既可做主模式，也可以做从模式。

### 3.2 限幅放大器

光信号经 ROSA 中 PD 转为电信号，此电信号幅度极小，数据从 RXDATA 送到限幅放大器，放大后从 DATAOUT 输出给其他设备。RX\_LOS 端是用来检测模块是否有接收到光信号，连接到 MCU 的 IO 口上供实时监测，正常情况下该端口是低电平，当信号丢失时则变成高电平。将 ROSA 中 PD 响应电流通过下拉

电阻转换成电压,AD采集后,经校准可换算成接收光功率RX\_POWER。

3.3 激光驱动器

当激光驱动器正常工作时,数据从 DATAIN 端输入,经驱动器调制后的信号从 TXDATA 端输出,去驱动 TOSA。Ibias 为 TOSA 提供偏置电流,Ibias 大约是 TX\_BIAS 引脚电流的 80 倍。MCU 采集 TX\_BIAS 和 TX\_POWER 的电压信号,校准后可得到激光器偏置电流和发射光功率。TX\_FAULT 用来监控激光驱动器是否发生故障,TX\_DISABLE 用来控制激光驱动器的运行状态。

3.4 存储单元

根据 SFF-8472 协议 [4],存储单元有 A0H 和 A2H 两部分,A0H 用于存放 SFP 模块的一些基本通用信息,如公司信息、生产日期、序列号、模块类型、波长和传输长度等。写保护端 WP 连接到 MCU,写操作受 MCU 控制。

A2H 存储单元用 MCU 的 RAM 和 FLASH 代替 EEPROM。MCU 实时采集到的 5 个模拟参数的数字化测量结果、报警警告标志位、系统状态标志位、用户自定义标志位等常常改变又不需要保护的数据存储在 RAM 中,等待上位机采集。报警警告阈值、内外校准参数、光通信系数、某些用户自定义参数等需要保护的数据存储在 FLASH 中,一旦上位机改变这些数据,MCU 接收到新数据后,就要写到 FLASH 保存起来,若掉电或者故障等缘故重启系统,则先从 FLASH 中把这些保护的数据读出来给 RAM,等待上位机读取。

3.5 数字控制电位器 DCP

DCP 的作用是,当温度变化比较大的时候,可以通过查表方式来自动调整电阻值以达到 TX\_BIAS 和 TX\_POWER 的补偿作用,从而能够自动控制消光比和稳定平均光功率。

DCP 采用 DS3902,具有两个电阻 R0、R1,默认器件地址为 A2H,防止和 SFF-8472 协议中的 A2H 冲突,DCP 没接入 IIC 总线,而是通过 MCU 两个 IO 口模拟 IIC 协议进行通信。R0 和 R1 的高端分别连接到激光驱动器的 MODSET 和 APCSET 端,低端在 DCP 内部接地,当地址 02H 和 03H 的值改变,TX\_BIAS 和 TX\_POWER 的值就会相应的变化。

4、DDM 系统的软件设计

DDM 系统主流程图如图 2 所示,IIC 中断子程序如图 3 所示,光模块启动后,MCU 的系统寄存器初始化,设置系统时钟为 8MHz,之后读取存放在起始地址为 E000H 的 FLASH 中的 A2H 需要保护的数据,送到 RAM 中的数组,以便上位机读取和 MCU 的数据处理。



图2 DDM系统主流程图

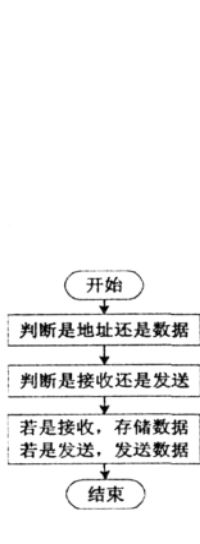


图3 IIC中断子程序

接着,设置 IIC 通道为普通 KBI 中断通道,检测上位机的

SCL 信号,测量 IIC 速率的近似值,然后初始化 DDM 的 IIC 控制模块,以适应不同速率的上位机。然后初始化 ADC、TPM、GPIO 等模块,并开中断,启动各个模块。

在主循环体内,若检测到 DCP 的寄存器值有发生变化,写新值。若采集到上位机有改变 A2H 中需要保护的数据时,则关中断,把这部分数据写到 FLASH 里,之后再开中断。实时采集 RX\_LOS 和 TX\_FAULT 信号,并每隔 100ms 采集一次模块温度等 5 个模拟参量,与设定的报警、告警阈值比较,若超出,则把相应的标志位置位。若没报警,则调用温度查询表,更改 DCP 阻值进行补偿,以稳定平均光功率和消光比。

5、验证与测试

实际测量 5 个模拟量的数值如图 4 所示,温度为 34.70℃,电压为 3.29V,发射偏置电流为 12.73mA,发射光功率为 -5.35dbm,接收光功率为 -17.58dbm。

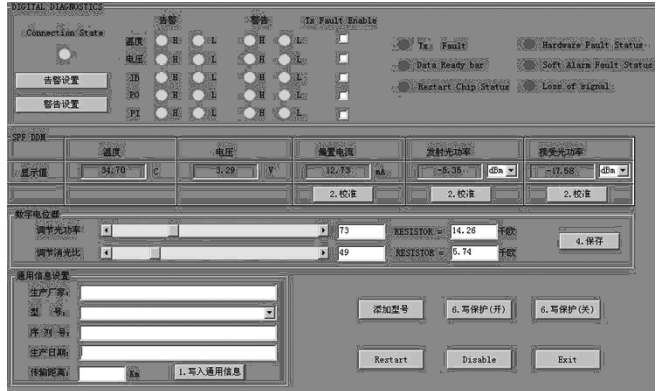


图4 上位机界面

发射光信号接到通信信号分析仪,眼图良好,使用光功率计、万用表、电压源、温度计分别测量光功率、偏置电流、电源电压、环境温度,用软件测量值和仪器测量值比较分析,均满足 SFF-8472 协议规定的五个模拟参量的精度范围。

6、结束语

该方案经过验证,完全兼容 SFF-8472 协议,精度满足要求,在同类产品中具有可靠性、易扩展、性价比高、校准简便等优点。在智能 SFP 光模块的设计方面有较好的参考价值,并且今后还可升级,完成包括消光比、平均光功率等全自动测试功能。不足之处,接收光功率用近似线性的算法,虽然精度满足,但是不够精确。

参考文献:

1. 张岩滨. 智能 SFP 光模块数据诊断功能的应用 [J]. 世界电子元器件, 2004 (8).
2. 邵红洲、谢显中. 智能 SFP 光模块及应用 [J]. 光通信技术, 2006 (6).
3. 程社成、邓燕妮. 带数字诊断功能的小封装光模块研究 [硕士学位论文], 武汉: 武汉理工大学, 2006.4
4. SFF-8472. DIGITAL DIAGNOSTIC MONITORING INTERFACE FOR OPTICAL TRANS -CEIVERS REV9.3 2002-8.