

光模块消光比的补偿方法

王 三, 徐红春

(武汉电信器件有限公司, 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:提出了一种新型光模块消光比补偿方法。该方法首先根据不同温度下驱动芯片上报电流的大小, 结合光功率和消光比的计算公式, 模拟出激光器光功率随电流及电压的变化曲线。然后根据要求调整激光器调制电流的大小, 以保持消光比的稳定。该补偿方式有效地解决了光器件一致性较差的问题, 可以将原来斜效率的指标适当放宽 10%, 从而提高了利用率和成品率, 降低了模块生产成本。

关键词: 光纤收发合一模块; 消光比; K 系数; 斜效率; 补偿; 调制电流

中图分类号: TN256 **文献标识码:** A

Compensation for extinction ratios of optical modules

WANG San, XU Hong-chun

(*State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks,
Wuhan Telecommunication Devices Co., Ltd., Wuhan 430074, China*)

Abstract: A new way of extinction ratio compensation for optical modules is proposed. According to the driver current with different temperatures, combined with the calculating methods for the optical power and extinction ratio, the curves of the laser power with current and voltage changings are simulated. And then the modulation current on principle is adjusted to keep the stability of extinction ratio. The compensation way solves the problem of bad laser efficiency uniformity and extends the value of slope efficiency about ten percent. The proposed method improves utilization and yield products, and reduces product costs.

Key words: optical module; extinction ratio; K factor; slope efficiency; compensation; modulation current

收稿日期: 2011-09-12; 修订日期: 2011-11-19

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2006AA01Z284)

1 引 言

随着接入网、FTTH(Fiber to the Home)以及3G的高速发展,光纤收发合一模块的应用越来越广泛。国内3G和FTTx的建设给光模块企业的生产带来了拐点式的增长,但产能的急剧提升,也对光模块厂家的批量生产提出了苛刻的要求。另外,由于宽温度范围(-40~+85℃)的高速率光模块(2.488、3.125、6、10 Gbps等)颇受市场青睐,于是宽温度范围内模块的平均光功率和消光比的稳定便成为批量生产过程中的突出问题。一直以来生产厂家常用的光模块消光比补偿方法主要有驱动芯片温度补偿、K系数补偿、查找表、数字电位器补偿等,它们都是在激光器一致性较好的基础上完成的。但如果激光器随温度变化,斜效率变化比较离散,一致性较差,传统补偿方式将会失效。因此,工作在宽温度范围(-40~+85℃)或更苛刻温度范围的光模块实现难度较大,传统补偿方式作用有限,且灵活性差,通常需要焊接电阻并不断验证,耗时且工作量较大。因此,本文提出了一种新的补偿方法,其创新之处在于可根据不同温度下驱动芯片上报电流大小,结合光功率和消光比的计算公式,模拟激光器光功率随电流及电压的变化曲线,并根据要求调整激光器调制电流大小,从而保持消光比的稳定。本文以2.488 Gbps的SFP(Small Form-factor Pluggables)模块为例,探讨器件一致性较差时,如何维持模块平均光功率和消光比的稳定,以保证眼图的质量和传输的稳定性。

2 传统光功率及消光比补偿

保持平均光功率和消光比的稳定性,通常采用以下一些方法:(1)采用驱动芯片的APC功能保持器件光功率的稳定,根据背光电流的大小,自动调节偏置电流。设置常温下的调制电流,采取温度补偿和K系数补偿相结合的方式,调节调制

电流的大小,维持消光比稳定^[2]。(2)通过查找表的方式,根据几只光模块随温度变化的校准参数,每2℃为一个步进,设置多个温度点的偏置电流和调制电流^[3]。(3)采用带数字电位器的监控芯片,调节随温度变化对应的数字电位器的值。该方法类似查找表的方式,但更为灵活^[4]。

以上3种方法是目前主流的光功率及消光比温度稳定补偿方法。3种方法的共同之处就是要求采用的光器件一致性较好,需要规定器件的斜效率范围,且温度一致性较好。如果器件之间的差异性较大,则同一个补偿方案对于不同的模块,消光比会呈现较大的离散性。而相关的光模块标准规定,2.488 Gbps的消光比最小值为8.2 dB,光眼图的模板margin最小为10%。通常2.488 Gbps的实验得到最高消光比为11 dB,再大就会导致过冲或者交叉点偏低,影响传输。这样2.488 Gbps工业级温度范围光模块的消光比只能在8.2~11 dB,此数据比较严格且难以保证,特别是对于单纤维双向的器件^[5]。

3 2.488 Gbps SFP 设计方案

本方案采用驱动芯片,最大偏置电流为100 mA,最大调制电流为90 mA;集成非易失寄存器,用于芯片控制及数据通信;带两路IIC总线

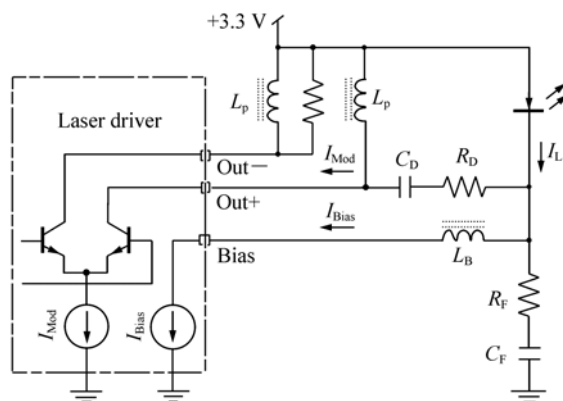


图1 激光器驱动耦合电路图

Fig. 1 Diagram of laser driver coupled interface circuit

线,一路与单片机通信,另外一路提供模块与外部数据通信;自动调节 A/D 转换器,实现数字监控、校准及参数上报;集成驱动与接收在一块芯片上,节约了空间。激光器驱动耦合电路图如图 1 所示。

3.1 发射部分电路简介

驱动部分与光发射次模块(TOSA)采用交流耦合的方式,以提高边沿触发时间,同时避免由于直流耦合带来的压降过大导致 LD 的压降不够而使眼图变形^[6]。Laser + 与 Laser - 均通过电阻上拉,二者之间通过电容耦合,其中 RC 网络起到一定的补偿作用,可减小寄生电感、弛豫振荡和过冲,维持稳定的负载阻抗。由于 Laser + 的匹配电阻会因器件的不同而发生变化,所以只有合理选取匹配电阻,才能很好地解决眼图双线等问题,若过大会扼制消光比的范围,而消光比过大会导致过冲,下降沿缓慢等问题^[7]。背光电流用于稳定光功率大小,自动控制功率(APC)反馈回路,在考虑温度和寿命上的基础上维持恒定平均光功率。选择大范围调制电流(90 mA)与偏置电流(100 mA),可使该装置能够理想地驱动 FP/DFB 激光二极管。

3.2 芯片发射部分主要寄存器

芯片发射部分主要寄存器配置见表 1。

表 1 发射部分主要寄存器

Tab.1 Main register of transmit part

| 地址位 | 寄存器 | 主要功能 |
|---------|-------------|------------------|
| 62H | Imodset | I_{mod} 温度补偿设置 |
| 63H | Tcstart | 温度补偿起始设置 |
| 64H | Tslope | 温度补偿斜效率 |
| 65H | Biasmodcomp | 基于偏置的调制电流补偿 |
| 66H | Apcset | APC 环路设置 |
| 68H | APCCTRL0 | 背光电流及 APC 采样 |
| A0H A1H | TEMP | 温度传感器 ADC |
| A2H A3H | TX POWER | 背光电流 ADC |
| A4H A5H | TX BIAS | 偏置电流 ADC |
| A6H A7H | TX MOD | 调制电流 ADC |
| B1H B2H | BIASADC | 开环偏置电流设置 |
| B3H | Watchdog | 开门狗计数寄存器 |

常规光功率补偿方式有两种:一种是闭环,一种是开环^[8]。闭环方式是利用 PD 的背光电流与寄存器 66H 设置的参考电流进行比较,根据背光变化的大小,芯片自动调节发射功率,从而维持光功率稳定。开环模式是采取编程的方式改变偏置电流大小,用寄存器 B1H, B2H 设置需要的输出光功率。本方案选用闭环方式来维持光功率稳定。

3.3 单片机部分电路简介

单片机电路如图 2 所示,Pin4 和 Pin5 是单片

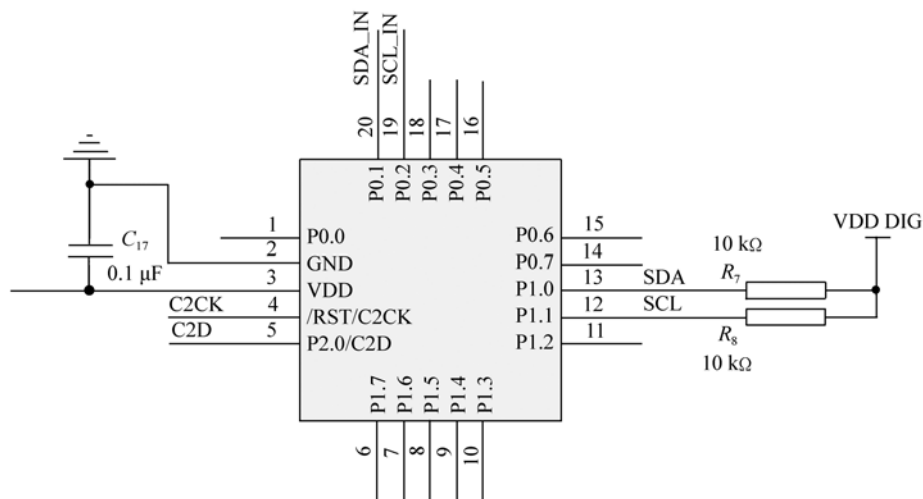


图 2 单片机电路

Fig.2 MCU circuit

机程序下载接口。P1.0、P1.1 是单片机与芯片通信的 IIC 接口。P0.1、P0.2 则是单片机与光模块外部通信 IIC 接口。上位机通过串口或者 USB 转 IIC 的方式与光模块测试板通信,校准光功率、消光比、温度、偏置电流、电源电压,同时通过 IIC 配置驱动芯片的寄存器、监控上报等^[9]。

4 新型消光比补偿方式

4.1 LD 的高低温特性

如前文所述,常规消光比补偿主要有 3 种,这 3 种补偿方式都是建立在激光器件一致性较好的前提下。LD 的 $P-I-V$ 曲线与温度的关系如图 3 所示。对应 θ_1 和 θ_2 两种温度的 $P-I-V$ 曲线图,对应不同的偏置电流和调制电流。温度越高,斜效率越小,需要补偿的电流就越多。 P_1 对应‘1’电平的功率, P_0 对应‘0’电平的功率。 P_{AVG} 是 LD 的出光平均光功率^[10]。

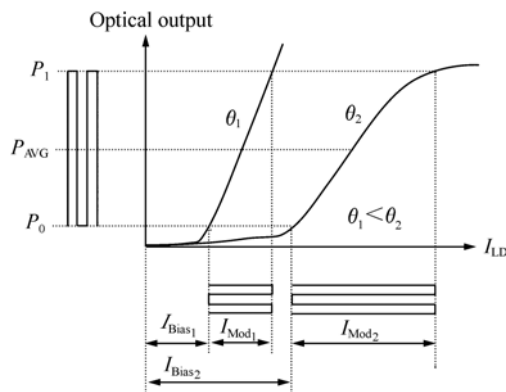


图 3 LD 的 $P-I-V$ 曲线
Fig. 3 $P-I-V$ curves of LD

传统的补偿方式所采用的光器件的一致性较好,且需要规定器件斜效率范围。如果器件之间的差异性较大,对于不同的光模块,在高温条件下斜效率变化非常离散,就会导致消光比高温补偿出现离散分布。有的光模块可能补偿不够,消光比低于标准值 8.2 dB;有的可能补偿过多,大于 11 dB,导致过冲,难以符合 10% 的 margin。这两种情况都会导致发射信号质量较差,接收光模块难以复原信号,使灵敏度劣化,无法满足传输距离

要求^[11]。

4.2 新型消光比补偿

提出的方法所用光模块是 2.5 Gbps 15 km 单纤双向 SFP,应用于工业级温度为 $-40 \sim +85$ °C,发射平均光功率典型值为 -2.5 dBm ($-5 \sim 0$ dBm),消光比介于 8.2 dB 和 11 dB 之间。考虑测试误差和插拔重复性各 ± 0.5 dBm,全温度范围的光功率为 $-4 \sim -1$ dBm,温度变化对光功率的影响若按 ± 1 dBm 计算,则在常温下的光功率为 $-3 \sim -2$ dBm ($501.1 \sim 631 \mu\text{W}$),取典型值为 -2.5 dBm ($562.3 \mu\text{W}$)。设定在 $+25$ °C 时, $P_{AVG} = -2.5$ dBm,消光比 $EX = 10$ dB。

$$P_{AVG} = \frac{P_1 + P_0}{2}, \quad (1)$$

$$EX = 10 \lg \frac{P_1}{P_0}. \quad (2)$$

据 $P_{AVG} = 562.3 \mu\text{W}$, 计算出 $P_1 + P_0 = 1124.6 \mu\text{W}$; $EX = 10$ dB, 计算出 $P_1/P_0 = 10$ 。因此得到: $P_0 = 102.2 \mu\text{W}$, $P_1 = 1022.4 \mu\text{W}$ 。本方法发射部分采用交流耦合的方式,当温度为 θ_1 时,斜效率为 $SE(t_1)$:

$$EX_1 = \frac{P_1}{P_0} = \frac{(I_{Bias_1} + \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1})SE(t_1)}{(I_{Bias_1} - \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1})SE(t_1)} = \frac{I_{Bias_1} + \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1}}{I_{Bias_1} - \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1}}, \quad (3)$$

当温度为 θ_2 时,斜效率为 $SE(t_2)$:

$$EX_2 = \frac{P_1}{P_0} = \frac{(I_{Bias_2} + \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2})SE(t_2)}{(I_{Bias_2} - \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2})SE(t_2)} = \frac{I_{Bias_2} + \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2}}{I_{Bias_2} - \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2}}. \quad (4)$$

如果要在 θ_1 与 θ_2 条件下消光比保持不变,则 $EX_1 = EX_2$ 。

$$EX_1 = EX_2 = \frac{I_{Bias_1} + \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1}}{I_{Bias_1} - \frac{I_{Mod_1}}{2} - I_{TH1}} = \frac{I_{Bias_2} + \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2}}{I_{Bias_2} - \frac{I_{Mod_2}}{2} - I_{TH2}} \quad (5)$$

通过化简得到:

$$\frac{I_{Bias_2} - I_{TH2}}{I_{Mod_2}} = \frac{I_{Bias_1} - I_{TH1}}{I_{Mod_1}} \quad (6)$$

设定 θ_1 为 $+25\text{ }^\circ\text{C}$, 则 I_{Bias_1}, I_{Mod_1} 可以通过驱动芯片的设置及上报读取。再根据 $P_1, P_0, I_{Bias_1}, I_{Mod_1}$, 由下面的公式求出 $+25\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下的斜效率 SE 和 I_{TH} 。

$$P_1 = SE \cdot \left(\frac{I_{Mod}}{2} + I_{Bias} - I_{TH} \right) \quad (7)$$

$$P_0 = SE \cdot \left(I_{Bias} - \frac{I_{Mod}}{2} - I_{TH} \right) \quad (8)$$

同理, θ_2 温度下, 通过设置两组偏置电流和调制电流, 也可以得到 θ_2 温度下的模拟 $P-I-V$ 曲线。先求出 $SE(\theta_2)$ 和 $I_{TH}(\theta_2)$, 再根据公式计算, 通过 APC 上报读取 I_{Bias_2} , 以求出保证 EXT 不变情况下所需的 I_{Mod_2} 的值, 再通过驱动芯片寄存器配置直接更改此时调制电流的大小。这样无论温度如何变化, 斜效率变化如何不一致, 都能够通过软件模拟及计算的方式, 调整得到稳定的消光

比。

由于单片机不会随着温度的变化无休止地模拟 $P-I-V$ 曲线, 也不会无休止地计算需要的调制电流, 因为这样会消耗大量的资源, 也会增加许多额外的功耗。因此, 通过几个不同 TOSA 随着温度的消光比变化, 结合商业级温度范围 $0 \sim +70\text{ }^\circ\text{C}$, 在 $65, 75, 85\text{ }^\circ\text{C}$ 这 3 个温度点进行了模拟和计算, 最后通过 60 个不同模块进行验证, 结果发现: 消光比均在 $9 \sim 10.5\text{ dB}$, 眼图质量得到了保证。

5 结 论

本文采用驱动芯片结合单片机, 通过软件模拟 $P-I-V$ 曲线, 确保了在宽温度范围内器件 LD 在斜效率一致性较差的情况下, 仍然能够得到稳定的消光比, 从而保证了眼图质量。得到的结果可使很多用户将原来斜效率的指标适当放宽 10% , 从而提高近 10% 的利用率, 并降低成本, 还能将常规补偿方式不合格的器件用这种方式重新加以利用。该补偿方法使用灵活, 随时可以通过修改软件得到想要的结果。由于模拟曲线不可能与实际完全吻合, 校准上报和真实值也存在一定差异, 因此, 适当选取几个温度点模拟和计算, 能够得到更加精确的结果。

参考文献:

- [1] 刘明, 吴椿烽, 张慧, 等. RoF 技术在光通信领域中的研究与应用[J]. 光通信技术, 2009, 33(6): 43-46, LIU M, WU CH F, ZHANG H, et al.. Study and application of RoF technology in the optical communication[J]. *Opt. Communication Technol.*, 2009, 33(6): 43-46. (in Chinese)
- [2] KASZUBOWSKA A, HU L, BARRY L P. Remote down conversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection[J]. *IEEE Photonic Technol. Lett.*, 2006, 18(4): 562-564.
- [3] 周城, 张仲, 赵朋, 等. LD 泵浦 Nd:GdVO₄/Cr:YAG 固体激光器[J]. 光子学报, 2006, 35(6): 801-803. ZHOU CH, ZHANG ZH, ZHAO P, et al.. LD pumped Nd:GdVO₄/Cr:YAG solid state laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(5): 801-803. (in Chinese)
- [4] 李广, 黄旭光. 利用电光 FM 调制抑制零级中心频带—实现超高频光波通信[J]. 光子学报, 2008, 37(10): 1966-1969. LI G, HUANG X G. Achieving ultra high frequency RoF communication based on restraining zero rank central band with EO-FM modulation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(10): 1966-1969. (in Chinese)
- [5] KASZUBOWSKA A, HU L, BARRY L P. Remote downconversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection[J]. *IEEE Photonic Technol. Lett.*, 2006, 18(4): 562-564.

- [6] CHEN K, WEN H, WEN S. A radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation and wavelength reuse for up-link connection[J]. *IEEE Photonic Technol. Lett.*, 2006, 18(9):2056-2058.
- [7] KOONEN A M J, NG'OMA A. *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home; System Technologies and Development Strategies*[M]. New York: Wiley, 2006.
- [8] ZHOU M T, SHARMA A B, ZHANG J G, *et al.*. A novel configuration for millimeter-waveradio-over-fiber(ROF) transmission systems with remote local-oscillator delivery[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(11):1725-1729.
- [9] ZHANG Y, ZHANG X L, HUANG X. Experimental investigation on slow light via four-wave mixing in semiconductor optical amplifiers[J]. *SPIE*, 2009, 7279:72791T.
- [10] 袁福来, 刘汉奎, 肖顺文, 等. 偏振效应损伤的光通信系统失效概率估算[J]. *光子学报*, 2009, 38(2):329-333.
YUAN F L, LIU H K, XIAO SH W, *et al.*. Evaluation of outage probability of optical communication system impaired by polarization effects[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, 38(2):329-333. (in Chinese)
- [10] PESALA BALA, CHEN ZH Y, ALEXANDER V, *et al.*. Experimental demonstration of slow light in semiconductor optical amplifiers[J]. *Opt. Express*, 2006, 14(26):12968.

作者简介:王 三(1983—),男,湖北云梦人,硕士,工程师,主要从事高速光模块方面的研究。

E-mail:wangsan@wtd.com.cn