

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.01.06

级联 MZM 型高消光比信号产生装置的实现与验证

陈龙泉, 黄震, 孙小强, 张颖艳

(工业和信息化部电信研究院, 北京 100191)

摘要: 消光比是表征光发射机传输性能的重要参数, 在诸多国际标准中均有针对消光比的限制。消光比参数的校准一般通过标准源比对的方式, 此方法关键在于建立稳定、可调消光比的光信号源, 并能够产生尽可能大的消光比数值。本文实现了一种基于级联 MZM 结构的高消光比信号产生装置, 能产生 12.5 Gb/s 以下速率可调的光数字信号, 并能保持输出消光比在 12 dB 以上。

关键词: 消光比; 级联 MZM; 高消光比信号产生装置

中图分类号: TB96

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)01-0021-05

Implementation and Verification of a High Extinct Ratio Generator Base on Cascade MZM

CHEN Longquan, HUANG Zhen, SUN Xiaoqiang, ZHANG Yingyan

(China Academy of Telecommunication Research, MIIT, Beijing 100191, China)

Abstract: Extinction Ratio (ER) is the essential parameter which evaluates the transmission performance of an optical transmitter. Restrictions over ER are also found in international standards. Calibration on ER parameter is primarily implemented through direct comparisons according to the standard ER source. But the critical step is to establish a stable, ER-adjustable optical signal source, which can generate high ER as possible. This paper has implemented a novel structure of a high ER generator based on cascade Mach-Zender Modulator (MZM), which can generate data-rate-adjustable signal (12.5 Gb/s below), and maintain the output ER above 12dB.

Key words: extinction ratio; cascade Mach-Zender Modulator; high extinct ratio generator

0 引言

消光比是表征光发射机传输性能的重要参数, 较高的消光比代表了较小的误码率和较好的光信号质量。尤其在传统的直接调制、幅度调制中, 消光比更用于直观地指示光传输系统的传输性能优劣, 在 ITU G. 703, G. 958, IEEE 802.3ba 等国际标准中均有针对消光比的限制。消光比参数一般通过通信信号分析仪、宽带示波器等仪表获取, 以 dB 形式给出测量结果。^[1]

目前国际上通用的消光比校准方法是建立稳定、理想的参考源, 通过超宽带光示波器(>800GHz BW)精确确定消光比值, 并与被测仪表或模块的测试结果进行对比, 计算出修正因子以去除系统误差。该方案的本质是以理想化的发射机和带宽相对足够大的示波器逼近理论上的消光比, 并通过海量测试的结果, 获取在不同消光比下的典型的修正因子。其关键是建立

起稳定、可调的参考源, 同时要求该参考源需覆盖 4~12 dB 的消光比测量范围。较低的消光比(10 dB 以下)可通过直调激光器简单实现, 而生成 12 dB 及以上的消光比信号, 则需要外调制器的辅助。因此建立输出稳定的高消光比信号产生装置是建立消光比参数校准能力的前提。

本文根据 Jargon 在 OFC 2009 上提出的高消光比发射机的结构, 实现了一种基于级联 MZM 结构的高消光比信号产生装置, 通过两级 MZM 调制器的同步实现逻辑“1”电平和逻辑“0”电平之间的加重, 从而改善输出光信号的消光比。该装置能产生 12.5 Gb/s 以下速率可调的光数字信号, 并能保持输出消光比在 12 dB 以上。

1 基于级联 MZM 结构的高消光比信号产生装置

1.1 高消光比信号产生装置结构

图 1 为高消光比信号产生装置的示意图, 脉冲码型发生器输出电域伪随机序列(PRBS 2^7-1), 经功分器分为两支: 一条支路经放大后作为一级 MZM 调制器的

收稿日期: 2016-12-01; 修回日期: 2017-01-16

作者简介: 陈龙泉(1986-), 男, 博士, 研究方向为仪表计量、节能评估、通信系统测试。

调制信号,另一支路先经过固定的时延后再经放大以驱动二级 MZM 调制器。其中 DFB 激光器中心波长为 1550.12 nm,输出光功率为 8.0 dBm,先后经两级 MZM 调制器后,完成光信号的消光比加重。经加重后的光信号可以通过光采样示波器显示出眼图,若接收端为电采样示波器,则需前置光探测器完成光电转换。

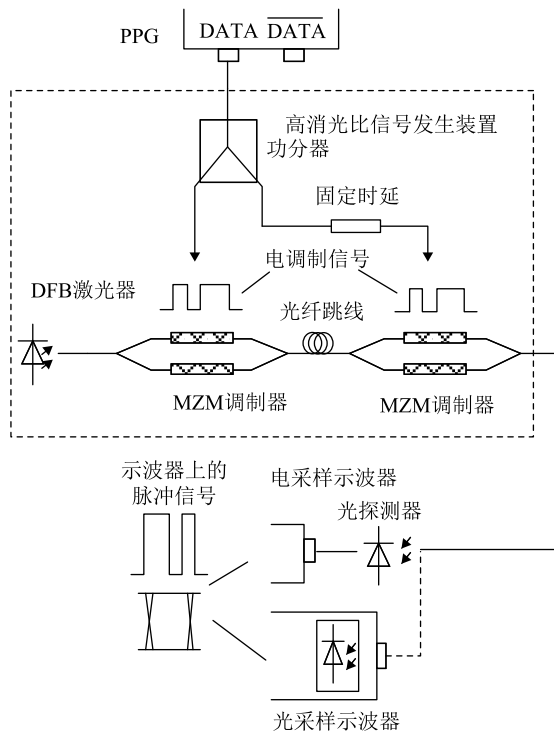


图 1 高消光比信号产生装置示意图

要保证最终生成高消光比信号,加载至两级 MZM 调制器上的电域信号应保持同步。两支路的电信号自功分器起分开,分别进入两级 MZM 调制器,两路信号经过的路径不一致:经过第一级 MZM 调制器后,由光纤跳线(ΔL_1)会引入时延 Δt_1 ,同时两路信号的连接线缆之间也存在一定的相位偏离 $\Delta\Phi$ (rad),故电域信号在进入第二级 MZM 调制器前需经过固定的时延线(ΔL_2)的调整,以保证两路信号保持同步。

$$\Delta L_2 = \left(\frac{\Delta L_1}{C_1} + \frac{\Delta\Phi}{2\pi R} \right) C_2 \quad (1)$$

式中: C_1 为单模光纤中的光速; C_2 为同轴电缆中的光速; R 为输入射频信号的速率。在搭建高消光比信号产生装置的过程中,固定时延线可暂时用可调时延线代替。

1.2 高消光比信号产生装置原理

高消光比信号产生装置启用了两级 MZM 调制器,以完成光信号眼图的加重,一般的推挽式结构的 MZM

调制器的传递函数可以表示为

$$E_{\text{out}} = E_{\text{in}} \cdot \cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias}} + V_{\text{in}}) \right] \quad (2)$$

根据 IEC 61280-2-2: 2008 中消光比的定义可以得出

$$ER = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{E_1^2}{E_0^2} \right) \\ = 20 \cdot \lg \frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias}} + V_{\text{Mark}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias}} + V_{\text{Space}}) \right]} \quad (3)$$

式中: V_{Mark} , V_{Space} 分别为电域 NRZ 信号的“1”电平和“0”电平的幅度。

对于单级 MZM 调制器的输出,其消光比可表示为

$$ER_{\text{out-1}} = 20 \cdot \lg \frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-1}} + V_{\text{Mark-1}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-1}} + V_{\text{Space-1}}) \right]} \quad (4)$$

两级 MZM 调制器输出的消光比可表示为

$$ER_{\text{out-2}} = 20 \cdot \lg \left[\frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-1}} + V_{\text{Mark-1}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-1}} + V_{\text{Space-1}}) \right]} \cdot \frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Mark-2}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Space-2}}) \right]} \right] \\ = ER_{\text{out-1}} + 20 \cdot \lg \frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Mark-2}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Space-2}}) \right]} \quad (5)$$

通过调整 MZM 调制器的偏置电压,式(5)中第二项一直为正值,因此两级 MZM 调制器的输出必然会带来消光比的提升。

$$\Delta ER = 20 \cdot \lg \frac{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Mark-2}}) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_{\text{Bias-2}} + V_{\text{Space-2}}) \right]} \quad (6)$$

2 输出的消光比测试结果

2.1 测试环境及仪表说明

环境温度为 20 ~ 25 °C; 相对湿度为 25% ~ 75%; 电源规格为 220 V, 50 Hz。

测试方法如图 2 所示,通过脉冲码型发生器输出

一定速率的射频信号，作为高消光比信号产生装置的电域信号输入；通过调节高消光比信号产生装置中两级 MZM 调制器的偏置电压和相对时延，保证输出的光信号眼图清晰、稳定；输出的高消光比信号再进入通信信号分析仪内，获取稳定的眼图后读取消光比值。输入电域信号的速率由脉冲码型发生器控制。

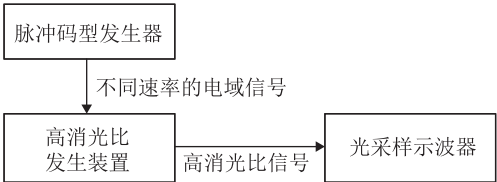


图 2 测试方法示意图

通信信号分析仪的触发源选择为脉冲码型发生器的辅助时钟输出（一般为 $1/N$ 时钟， $N=2^k$ ），或经由时钟恢复模块提供时钟源。读取消光比值需经 100 次以上的累积获取。

测试仪表见表 1。

表 1 测试仪表列表

序号	仪表/设备名称	型号	生产厂家	出厂编号
1	通信信号分析仪	86100D	Agilent	MY53150742
2	光电采集模块	86105C	Agilent	US53030301
3	高消光比信号产生装置	/	泰尔实验室	/
4	脉冲码型发生器	MP1763C	Anritsu	6200450719

2.2 多速率下的消光比测试结果

保持输入射频信号幅度和两级 MZM 调制器的偏置电压不变，选取多个速率进行消光比的测量，如表 2 所示。

表 2 各速率下消光比测试结果

速率	消光比 ER/dB
155.52 Mb/s STM-1	18.68
622.08 Mb/s STM-4	20.59
2488.32 Mb/s STM-16	15.79
9953.28 Mb/s STM-64	12.47
1062.5 Mb/s FC1063	14.81
1250 Mb/s Gigabit Ethernet	14.10
10.312 Gb/s 10Gb Ethernet	12.50
10.519 Gb/s 10GFC	12.53
11.096 Gb/s 10Gb Ethernet FEC	12.74
11.317 Gb/s 10GFC FEC	12.69
2666 Mb/s STM-16 FEC	16.72
10.664 Gb/s STM-64 FEC	12.62
10.709 Gb/s STM-64 FEC	12.66

该装置输出的信号眼图如图 3 所示，眼皮张开度良好，“1”电平和“0”电平眼宽较窄，消光比达 12.53 dB。

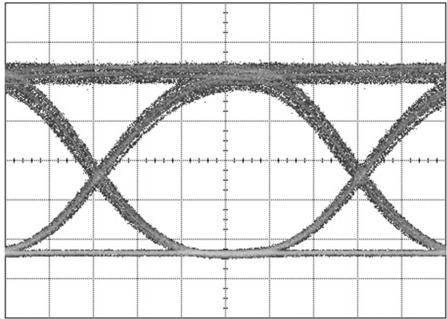


图 3 10.519 Gb/s 10GFC 眼图

2.3 重复性测试结果

保持输入射频信号幅度和两级 MZM 调制器的偏置电压不变，在 STM-64 速率下进行消光比的测量，连续测量 20 次，得到如表 3 所示的结果。以多次测量的算术平均值作为最佳估计值，并由贝塞尔公式计算实验标准差，作为由测量重复性引入的标准不确定度。

表 3 STM-64 速率下消光比测试结果

序号	消光比 ER/dB	序号	消光比 ER/dB
1	12.42	11	12.47
2	12.47	12	12.45
3	12.47	13	12.44
4	12.49	14	12.47
5	12.51	15	12.48
6	12.50	16	12.46
7	12.49	17	12.44
8	12.47	18	12.43
9	12.46	19	12.42
10	12.47	20	12.52

经计算，该条件下测得的 $ER_{STM-64} = 12.47$ dB，由测量重复性引入的标准不确定度为 0.01 dB。

2.4 稳定度测试

以 STM-16 信号为例，如图 4，打开高消光比信号产生装置 12 min 后消光比达 12 dB，至 20 min 后就稳定在 16 dB 上下。由于高消光比信号产生装置内部封装了直流稳压偏置电路、电光调制器、窄线宽激光器、偏置控制器等，各组成器件共用同一电源模块。直流稳压偏置电路在启动后经预热一段时间才能达到预设的最佳偏置点；电光调制器工作过程中，由于受到温度变化、外部环境振动以及输入光偏振态变化等因素的影响，其工作特性难以很快达到稳定状态；窄线宽

激光器、偏置控制器也属于温度敏感器件。因此各组成器件需经历一段时间的预热才能达到稳定工作状态,高消光比信号发生装置才能输出期望数值的消光比信号。

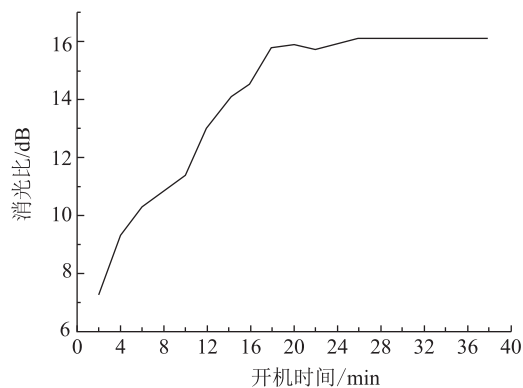


图4 稳定度测试

3 消光比增强量测试

消光比的增强量指的是在两级 MZM 调制器的架构下,保持前一级 MZM 调制器工作状态不变的条件下,加入第二级 MZM 调制器消光比的改善值。

由式(6)可知,消光比的增强与加载至调制器上的偏置电压和输入“1”电平和“0”电平的信号幅度直接相关。而对于实际的调制器来说,式中的 V_{π} 对输入射频分量与直流分量并不相同。将输入调制器的“1”电平和“0”电平在调制曲线上的偏置点分别表示为 V_{Mark} 和 V_{Space} ,表现为以 V_{Bias} 为中心,向前后伸展 $V_{\text{RF}}/2$ 的起伏信号(图5所示)。可见通过调节调制器的偏置点和输入射频信号的频率均可调节“1”电平和“0”电平的位置,提高消光比的根本途径是使得“1”电平越高,“0”电平越低,因此输入射频信号越高, V_{Mark} 和 V_{Space} 差异越大,尤其是 V_{Space} 进一步减小,会导致消光比大幅提高。

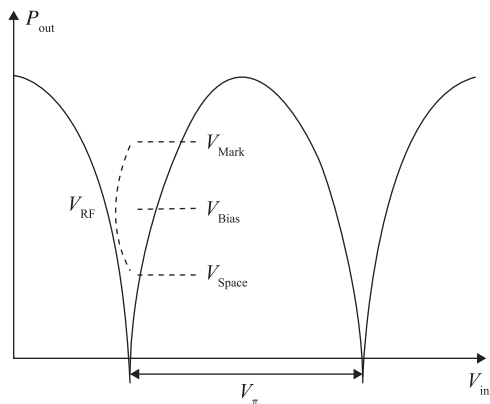


图5 调制器的 P - V 调制曲线

因此式(6)可进一步转换为仅取决于调制器的偏置电压和输入射频信号幅度的形式

$$\Delta ER = 20 \cdot \lg \frac{\cos\left(\frac{\pi}{V_{\pi-DC}} V_{\text{Bias}} + \frac{\pi}{2 \cdot V_{\pi-RF}} V_{\text{RF}}\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{V_{\pi-DC}} V_{\text{Bias}} - \frac{\pi}{2 \cdot V_{\pi-RF}} V_{\text{RF}}\right)} \quad (7)$$

下面以 STM-64 信号展开针对消光比增强量的分析。

1)保持输入射频信号幅度不变,保证调制器工作在线性工作区,缓慢调节调制器偏置电压的大小,可以得到如图6所示的测试结果,红色虚线为理论计算结果,可见随偏置电压的微调,消光比也在不断地变化,在线性工作区内表现出一致的变化方向。但由于输入信号幅度不平衡,两级调制器时延不匹配,调制器工艺等问题导致测得值与理论值仍存在一定的差异,难于达到理论可达的增强量。观察消光比增强量与偏置电压的变化趋势,可见由偏置电压不稳定性引入的误差约为 1.8 dB/V,在不确定度评定中需要将直流偏置的不稳定性列入讨论。

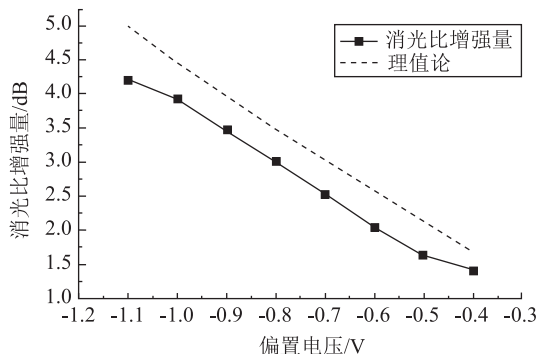


图6 消光比增强量与偏置电压的关系曲线

2)保持调制器的偏置点不变,保证调制器工作在线性工作区,缓慢调节输入射频信号的幅度,可以得到如图7所示的测试结果,虚线为理论计算结果,可见随输入射频信号幅度的增大,消光比也在不断地提高,而且输入信号幅度越大,消光比提升越剧烈。但同样消光比增强量由于系统实现的不够理想、输入信号质量、调制器漂移等因素导致测得值与理论值仍存在一定的差异,难于达到理论可达的增强量。观察消光比增强量与输入信号幅度的变化趋势,可见由输入信号幅度不稳定性引入的误差约为 1.9 dB/V,在不确定度评定中需要将直流偏置的不稳定性列入讨论。

整体看来,启用高消光比信号发生装置后,输出消光比存在一定程度的提高,对于 12.5 Gb/s 以内的各速率下的光数字信号均可保持消光比在 12 dB 以上。受

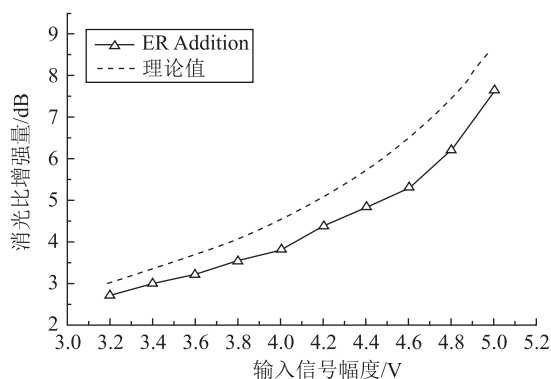


图7 消光比增强量与输入信号幅度的关系曲线

限于光通信系统的消光比要求,对于消光比参数的校准范围不可能局限于6~10 dB以内,因此建立级联型MZM型高消光比信号产生装置以获取更高数值的消光比对于精确评估光通信系统性能、光电器件传输质量更为必要。

图8为实际采用的消光比参数校准的示意图,采用直接比较法,高消光比信号发生装置的输出信号依次进入超宽带光示波器和待校设备,以超宽带光示波器的结果(ER_0)作为参考值,被较设备的示值(ER_i)为实际值。在不确定度计算中,需将高消光比信号发生装置中由直流偏置和输入信号幅度引入的主要影响因素包含在内。

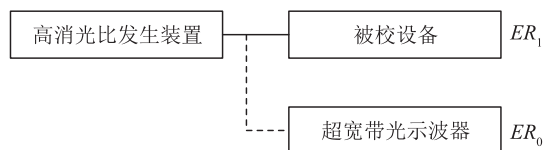


图8 消光比参数校准

4 结束语

本文介绍了一种基于级联MZM结构的高消光比信号产生装置,并分析了其设计原理,测试了其在开机特性,速率适应性方面的性能,并对消光比增强因素进行分析,与实验结果进行比对和验证。该高消光比信号产生装置能产生12.5 Gb/s以内的各速率下的光数字信号,并能保持输出消光比在12 dB以上,能有效地应用于消光比参数的校准。

参考文献

- [1] Jargon J A, Wu X, Hale P D, et al. Transmitter for calibrating extinction ratio measurements of optical receivers[C]// Optical Society of America. Optical Fiber Communication Conference. 2009; JWA24.
- [2] International Electrotechnical Commission. IEC 61280-2-2: Fibre Optic Communication Subsystem Test Procedures - Part 2-2: Digital Systems - Optical Eye Pattern, Waveform, and Extinction Ratio Measurement[S]. 2008.
- [3] 李春艳, 吴易明, 高立民, 等. 采用双调制方式测量消光比参数[J]. 光学精密工程, 2014, 22(3): 582-587.
- [4] Elsherif M A, Malekmohammadi A. Performance enhancement of mapping multiplexing technique utilising dual-drive Mach-Zehnder modulator for metropolitan area networks [J]. Optoelectronics, IET, 2014, 9(2): 108-115.
- [5] Azadeh M. Fiber optics engineering[M]. Springer, 2009.
- [6] Yuan Y, Yang J, Wu B, et al. A calibration scheme of optical path correlator scan speed and position based 3×3 coupler and dual Mach-Zehnder interferometer[C]//International Society for Optics and Photonics. International Conference on Optical Fibre Sensors (OFS24). 2015; 96346S.

中图仪器更名公告

尊敬的广大客户、合作伙伴与各界朋友:

为适应市场和公司战略发展需要,依据公司章程的规定并经深圳市市场监督管理局批准,原“深圳市中图仪器科技有限公司”更名为“深圳市中图仪器股份有限公司”,并已于2016年11月29日完成工商更名变更登记。

公司更名后,依照相关法律规定:企业主体和法律关系不受任何影响。本公司原以“深圳市中图仪器科技有限公司”之名称所开展的一切业务、签订的所有合同、作出的服务承诺继续有效,无任何变化,现一切均由“深圳市中图仪器股份有限公司”继续履行。

若因我公司名称变更给您带来不便,我们深表歉意!衷心感谢您一贯的支持和关注,我们将一如既往地与您保持长远的、愉快的合作关系,并希望继续得到您的关心和支持!

深圳市中图仪器股份有限公司

2017年1月3日