

光 DPSK 调制系统眼图交叉点控制技术

张慧颖

(吉林化工学院 信息与控制工程学院,吉林 吉林 132022)

摘要:针对光相位调制过程中光调制器受外界影响及输入信号不稳定等因素引起的眼图交叉点上下浮动现象,采用自适应控制方案实现眼图交叉点电压实时控制,通过过零点电平中数控直流电平的改变实现调制信号交叉点的校正,解决眼图交叉点漂移。实验结果表明:输出眼图交叉百分比有明显改善,偏移误差减小,眼图张开效果较好,能有效稳定输出信号。最后验证了方案设计的可行性。

关键词:光相位调制;眼图交叉点;数控直流电平;自适应控制

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)02-0030-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.02.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Eye diagram crossing-point control technology in optical DPSK modulation system

ZHANG Huiying

(College of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin Jilin 132022, China)

Abstract: For the optical phase modulation process, the phenomenon of eye diagram cross-point floating occurs because of the optical modulator affected by external influences and the instability of the input signal. The real-time control of the eye cross-point voltage through the zero-crossing level has realized by an adaptive control scheme. And with the digital control DC level of the zero level circuit changed, the correction of the crossing point of the modulated signals and fluctuation of the eye cross-point has solved. It is verified by experiments that the output percentage of the crossing-point of the eye diagram is obviously improved and the offset error was reduced, the opening effect of eye diagram is better and the output signal is effectively stabilized. Finally, the feasibility of the scheme design is verified.

Key words: optical phase modulation; eye diagram intersection; digitally controlled DC Level; adaptive control

0 引言

近年来,随着军事、民用对大容量、高速率空间光通信发展需求的不断增加,基于差分相移键控(DPSK)调制的相干光通信由于具有较高的接收灵敏度成为研究热点^[1,2]。电光相位调制器具有调制效果好、调制结构简单和无需外加偏置电压等优点被广泛应用于光相位调制系统中。但是,差分编码后的输出电压只有毫伏级,输出幅度较低而且存在波动,经过射频放大后的信号不能满足相位调制器所需的半波电压,因

此,调制后的信号相位点发生波动;电光调制器的调制特性因温度变化^[3]及连续高频信号影响,导致调制后的信号占空比发生改变,在眼图上表现为眼图交叉点上下浮动。目前,围绕调制信号相位点漂移现象研究比较少,2013年,北京邮电大学对射频放大器的增益控制电压和交叉点控制电压进行实验测试,但未做控制方法研究^[4]。鉴于以上原因,本文对 DPSK 光调制系统中眼图交叉点控制方法进行研究,通过自适应 PID(比例-积分-微分)调节生成控制信号,控制过零点电平直流分量的大小,改善眼图交叉点的上下浮动,解决相位调制器的相位漂移现象。

1 眼图交叉点波动

众所周知,眼图既反映数字信号整体特征,也可从中观察码间串扰影响,直观分析眼图可对系统优劣

收稿日期:2018-09-26。

基金项目:吉林省教育厅项目(JJKH20180561KJ)资助。

作者简介:张慧颖(1982-),女,吉林四平人,博士,副教授。主要研究方向是光通信技术、光调制技术和光电检测技术等;主持参与吉林省教育厅项目3项,吉林市科技局项目1项。



程度进行估算,从而判断系统性能的好坏。眼图结构如图 1 所示。

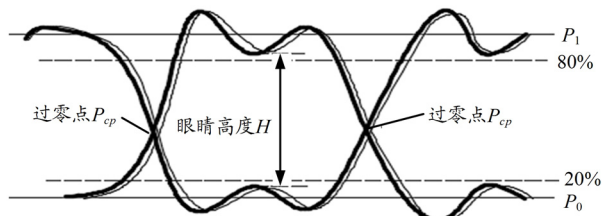


图 1 眼图结构示意图

图 1 中, P_{cp} 表示过零点电平, 称为眼图交叉点。眼图中的“1”电平(P_1)和“0”电平(P_0)为逻辑 1 或 0 的电压位准值。一般情况下, 选取眼图中间的 20% 范围内的逻辑 1 和 0 的平均电平值^[9]。眼高用于衡量信噪比, 表示眼图在垂直轴所张开的大小。眼高定义式如下:

$$H=(P_1-3\sigma_1)-(P_0+3\sigma_0) \quad (1)$$

其中, σ_0 和 σ_1 表示“0”和“1”处电平值的标准值。眼图交叉百分比是用来测量交叉点的振幅和信号“1”与“0”之间位准的关系, 如图 2 所示。

不同的信号位准其交叉比例关系不同。眼图中, 过零百分比最佳值为 50%, 它表示“1”和“0”各占一半的位准; 当接收到的信号“1”的占空比大于“0”的占空比时, 交叉点将向上移动; 相反, 交叉点将向下移动。眼图交叉百分比可表示为:

$$C=[(P_{cp}-P_0)/H]\times 100\% \quad (2)$$

当交叉点上下浮动, 表示信号的上升时间与下降时间不匹配、采样时钟的占空比不同和信号的直流电平波动导致偏离判决门限标准值。DPSK 光通信调制系统中, 由于光调制器受外界环境因素等影响造成光信号的眼图交叉点发生上下浮动, 导致调制后的信号存在相位误差, 严重影响通信质量。

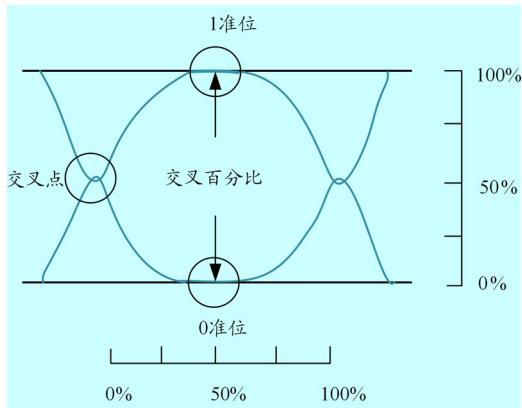


图 2 眼图交叉百分比图示

2 交叉点电压控制方案设计

根据一般分析可知, 眼图交叉百分比应稳定在 50% 处, 通常采用测量信号占空比的方法实现眼图交叉点测量。但是对于高速通信系统, 测量信号占空比难以实现。理论上, 系统输出的平均功率为眼图振幅的一半。因此, 通过测量平均功率并与期望功率进行比较得到控制信号, 经过数/模转换处理后控制过零点电平电路, 改变过零点电平实现调制信号的交叉点校正^[9]。自适应交叉点控制框图如图 3 所示。

交叉点自适应控制工作原理如下: 采用 95:5 的分光器分出 5% 的已调光信号, 经延迟干涉仪转换为强度信号, 再经自适应控制器完成对过零点电平中数控直流电平的控制, 从而实现在射频放大电路中加入直流分量, 改变交叉点的位置。设激光器输出信号 E_i 为:

$$E_i=E_m\exp(j\omega_0t) \quad (3)$$

其中, E_m 表示输出信号强度, ω_0 表示信号角频率, t 表示时间。

设射频输入信号为:

$$u(t)=U_m\cos(\omega_mt) \quad (4)$$

其中, U_m 表示射频信号的幅值, ω_m 表示输入射频信号角频率。

经过过零点电平控制电路及相位调制器后, 输出信号为:

$$E_o=E_m\exp[j\omega_0t+\Phi+j\pi GU_m\cos(\omega_mt)/V_\pi]+E_v \quad (5)$$

其中, Φ 表示相位调制器产生的固定相移; G 表示放大增益; V_π 表示相位调制器所需的半波电压; E_v 表示过零点电平控制电路中直流信号强度。当过零点电平控制电路中的直流电压改变时, 输出信号幅度得以改变。经过延迟干涉仪后, 输出信号总光强为:

$$I=2I_0+2I_0\cos\varphi \quad (6)$$

其中, I_0 表示输入到(MZDI)的光强, φ 表示相位差。当

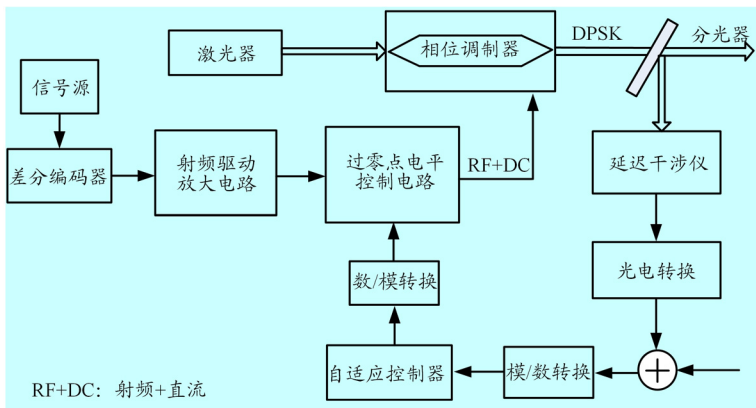


图 3 交叉点自适应控制框图

$\varphi=0$ 或 n 时,输出光强为 $4I_0$ 或 0 ,完成相位信号到强度信号的转换。采用光电检测器(PD)将光信号转换为电信号,经过电流/电压转换后得到输出电压:

$$u_{\text{out}}=P_0 R_f S \quad (7)$$

其中, P_0 表示探测的光功率; R_f 为反馈电阻; S 为探测器的响应度。对探测信号进行 N 次采集,得到平均功率:

$$p=\frac{1}{N} \sum_{N=1}^N u_{\text{out}}^2 \quad (8)$$

设期望功率为 P_r ,输出功率为 $P_0(k)$,则误差信号为:

$$e_k=P_r-P_0(k) \quad (9)$$

当检测到误差信号为正时,说明交叉点下移,通过控制电压(v_c)加入正值直流电平;相反,误差信号为负时,改变 v_c 加入负值直流电平,从而实现交叉点位置的改变。因此, v_c 与直流电平之间存在一定的函数关系 $V=g(v_c)$ 且 g 具有单调性。在控制方法上,采用自适应 PID 算法^[7-9]根据偏差信号与系统输入信号之间的变化,采用自适应规律对控制器参数进行实时修改,直至误差趋向于零。

3 实验测试验证

3.1 过零点电路仿真测试

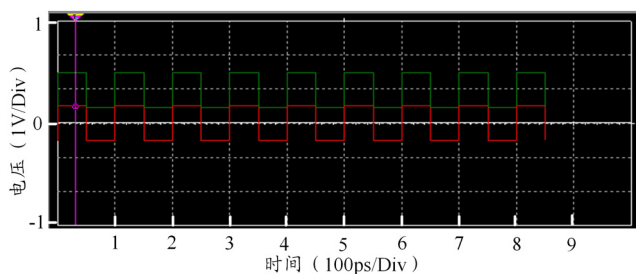
过零点电平控制电路实现从射频端输入的 RF 信号与从直流端输入的 DC 信号叠加。将射频放大器的输出信号接入过零点电平控制电路实现加入直流分量,使电光调制器产生相应的电平特征信号。采用仿真软件 Multisim 验证电路功能。当输入信号幅值为 0.5V 、频率为 10GHz 的脉冲波,直流电平控制范围在 $-1.5\sim+1.5\text{V}$ 之间时,仿真结果如图 4 所示。

图 4 中红色线表示的是输入脉冲波,绿色线表示 RF+DC 后的输出结果。当加入 $+1.5\text{V}$ 电平后输出波形向上移动,曲线得到抬高;当加入 -1.5V 电平后,输出波形的过零点电平被拉低,达到设计要求。

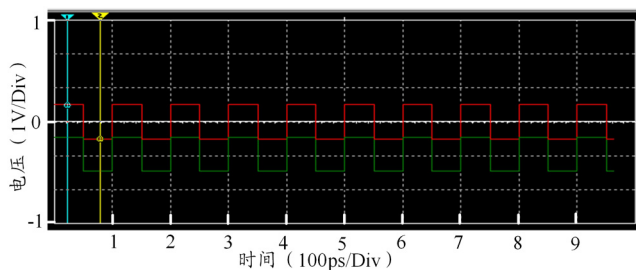
3.2 交叉点环路实验测试

本文搭建传输速率为 10Gb/s 的 DPSK 发射单元。主要器件有:电光相位调制器 MPZ-LN-20、射频驱动放大器 DR-DG-12-MO、10 位 DAC 模块 AD5333、ZX85-12G-S+型电平转换电路、用于解调的延迟干涉仪(MZDI)和波长为 1550nm 、线宽为 5kHz 的窄线宽激光器等。实验环路测试搭建如图 5 所示。

系统中,信号源输出的信号经过差分编码后输入



(a) 直流电平+1.5V 时



(b) 直流电平-1.5V 时

图 4 零点电平电路仿真结果

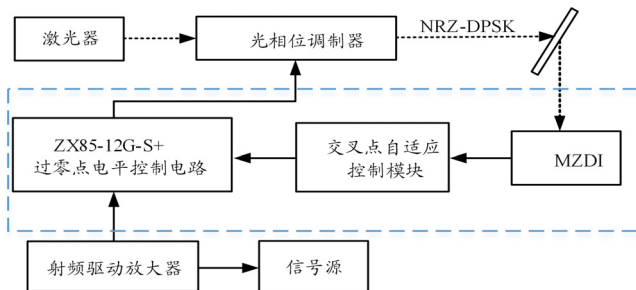


图 5 交叉点自适应控制测试框图

到射频放大器中。由于本部分是进行自适应控制电路的调节能力测试,为便于分析,本文采用信号源发出的信号替代差分编码输出信号。

3.2.1 开路测试

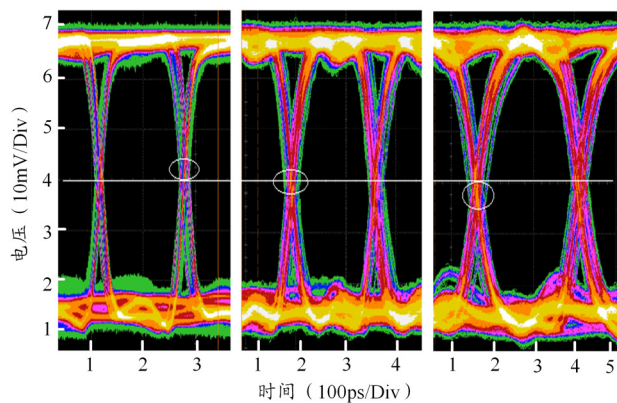
首先,对无反馈回路的交叉点环路进行测试。设置射频放大增益控制电压 $V_{\text{amp}}=0.5\text{V}$,输入信号幅度为 300mV ,当射频放大器的眼图交叉点电压 V_{∞} 变化时,不同 V_{∞} 下的眼图对比图如图 6 所示,观测到的眼图结果有:

① $V_{\infty}=0.8\text{V}$ 时,眼图交叉点在垂直方向向上移动,相对于标准点(50%)略有增大趋势;

② $V_{\infty}=0.9\text{V}$ 时,眼图交叉点百分比约为标准值,此时交叉点趋近于中间位置;

③ $V_{\infty}=1.0\text{V}$ 时,眼图交叉点在垂直方向向下移动,此时眼图交叉点百分比具有减小趋势。

从图 6 看出,在开环情况下,交叉点电压 $V_{\infty}=0.9\text{V}$



(a) $V_{oe}=0.8V$ (b) $V_{oe}=0.9V$ (c) $V_{oe}=1.0V$

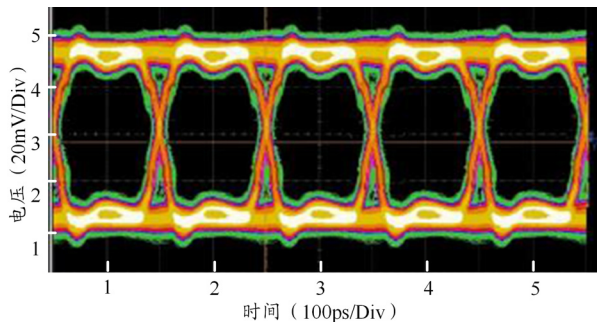
图6 不同 V_{oe} 下眼图对比图

时眼图交叉点处于较理想状态。改变交叉点电压可实现眼图交叉点位置的调整。由于光相位调制器在工作时,受到外界环境因素影响及调制器长时间工作后温度升高等影响,即使不改变控制电压,交叉点也会出现上下波动。若交叉点电压设置不合理,则会影响通信质量。因此,为保证调制系统长期稳定工作,实现眼图交叉点的实时控制是完全必要的。

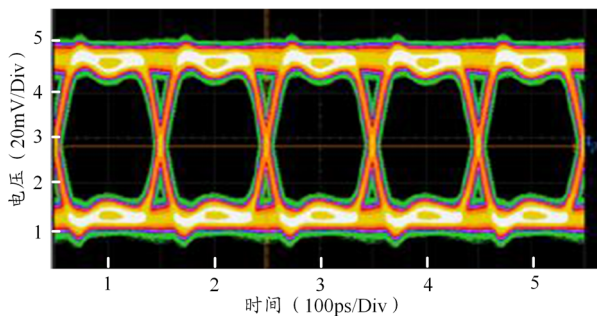
3.2.2 自适应环路测试

保持射频输入信号 300mV 和增益控制电压 0.5V 不变,引入交叉点自适应控制回路,通过采集调制后的信号值得到控制信号,改变直流电平从而改变交叉点的位置。当交叉点控制电压在 0.78V 时,控制前后输出眼图如图 7 所示。

从图 7 可看出,当起始输入控制值使得输出眼图交叉点上移时,通过零点电平控制电路中加反向直流电压改变交叉点位置。经过交叉点自动调整后,眼图交叉点得到改善,交叉点向下移动,逐渐趋于理想值 50%,眼图质量得到提高,达到了对眼图交叉点控制的目的。



(a) 眼图交叉点控制前



(b) 眼图交叉点控制后

图7 控制前后眼图变化

4 结束语

本文在简要分析眼图交叉点波动的基础上,重点设计了交叉点自适应控制方案并完成其理论分析。在 Multisim 仿真软件中完成过零点电路仿真,验证其控制的正确性。在实验室环境下,我们搭建了通信速率为 10Gb/s 的光 DPSK 调制系统,完成交叉点开路和自适应环路测试。由测试结果看出,在实现交叉点控制后,输出眼图交叉点得到改善,解决了眼图交叉点波动现象,能有效稳定输出信号。本文研究内容为光 DPSK 调制技术提供了理论依据。

参考文献:

- [1] WANG K, LIU B, ZHANG L, et al. Review of Coded Modulation Free Space Optical Communication System[J]. China Communications, 2015, 12 (11): 62-78.
- [2] WAQAS A, ARAIN S, SHAIKH M N, et al. Performance analysis of advance modulation schemes for free space optical networks[C]//2016 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), July 10-14, 2016, Trento, Italy. New York: IEEE, 2016: 1-4.
- [3] 杨明金, 陈长新. LiNbO₃ 晶体的温度变化对调 Q 的影响[J]. 激光技术, 1979(4): 37-42.
- [4] 吴刚. DWDM 网络中 DPSK 调制与解调系统的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [5] 黄葆华. 通信原理 [M]. 第 2 版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.
- [6] 战永兴. 一种提高眼图交叉点稳定性的控制装置及方法: CN 102143105 A[P]. 2011-08-03.
- [7] NAIR A P, SELVAGANESAN N, LALITHAMBIKA V R. Lyapunov based PD/PID in model reference adaptive control for satellite launch vehicle systems[J]. Aerospace Science & Technology, 2016, 51: 70-77.
- [8] ALIREZA F, MASOUM M A S, MOAYED M. A new adaptive configuration of PID type fuzzy logic controller [J]. Isa Transactions, 2015, 56: 222-240.
- [9] 李煜, 张德强, 冯殿义. 自适应模糊 PID 反应釜温度控制系统研究与实现[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2016, 36(6): 375-378.