

一种宽温度范围电光调制器偏压控制装置的研究

刘志强^{1,3}, 王贝贝¹, 唐玉春², 李传起^{4,1*}, 陆叶¹, 伍浩成³, 李文甫³

(1. 广西师范大学 电子工程学院, 广西 桂林 541004; 2. 装备发展部军代局驻上海地区军代室, 上海 200437)

(3. 中国电子科技集团公司 第三十四研究所, 广西 桂林 541004; 4. 南宁师范大学 物理与电子学院, 南宁 530001)

摘要: 在光纤通信中, 电光调制器传输特性曲线易受环境温度等因素的影响发生漂移, 严重影响系统的通信质量。通过介绍 LiNbO₃ 电光调制器的工作机理, 分析了调制器静态工作点随温度剧烈变化对输出波形的影响, 通过外加电导频信号和内置光电二极管 (PD) 检测的方法, 设计了一款具有自动锁定最佳工作点功能的偏压控制装置。实验结果表明: 该偏压控制装置可以工作在 -55 ℃~+80 ℃宽温度范围内, 使调制器的传输特性曲线不随外界环境温度的变化而变化, 能够很好地满足电光调制器在恶劣环境中的应用要求。

关键词: 电光调制器; 偏压控制; 宽温度范围; 电导频; 内置光电二极管

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)07-0042-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.07.010

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Research on a wide temperature range electro-optic modulator bias control device

LIU Zhiqiang^{1,3}, WANG Beibei¹, TANG Yuchun², LI Chuanqi^{4,1*}, LU Ye¹, WU Haocheng³, LI Wenfu³

(1. College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi 541004, China; 2. Military Agency of the Ministry of Equipment Development stationed in Shanghai, Shanghai 200437, China; 3. The No.34 Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China; 4. College of Physics and Electronic, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: In optical fiber communication, the transmission characteristic curve of electro-optic modulator is susceptible to drift due to factors such as ambient temperature, which seriously affects the communication quality of the system. This paper introduces the working principle of LiNbO₃ electro-optic modulator, analyzes the influence of the static working point of the modulator on the output waveform with the drastic change of temperature, and designs a bias control device with the function of automatically locking the optimal working point through the method of external conductance signal and built-in photo-diode (PD) detection. By experimental verification, the bias control device can work in -55 ℃~+80 ℃ temperature range wide, which makes the transmission characteristic of the modulator is not along with the change of external environment temperature change, and can satisfy the requirement of electro-optic modulator bad environment application.

Key words: electro-optic modulator; bias control; wide temperature range; conductance frequency; built-in PD

0 引言

随着通信技术的不断发展, 光纤通信由于具有大

容量、长距离以及超高速率等优势, 已成为现代通信技术的重要支柱^[1]。为了实现光纤通信, 目前主要利用内调制技术和外调制技术完成对电信号的调制。但内调制的响应速度和消光比都无法满足高速光通信的应用需求, 而外调制不仅具有极高的带宽和超高的速率, 还具有较高的消光比和输出光功率^[2], 因此通常采用外调制技术作为高速光通信 (特别是射频微波通信) 的主要调制方式。

目前, 常用的外调制器有电光、磁光和声光调制器等^[3], 其中铌酸锂 (LiNbO₃) 电光调制器由于具有较高的调制带宽、较低的驱动电压、较小的插入损耗以及

收稿日期: 2019-05-28。

基金项目: 广西科技重大专项计划广西创新驱动发展项目 (桂科 AA18118032) 资助; 广西科技计划 (桂科 AB17292082) 资助。

作者简介: 刘志强 (1972-), 男, 研究员, 广西壮族自
治区光学学会理事。长期在科研一线从事光纤通信
技术和光纤激光技术的应用研究, 完成国家重大科
技专项、预研等项目, 研制成果在国家重大工程和重
大科技专项中获得推广应用。

*通信作者: 李传起 (E-mail: lcq@mailbox.gxnu.edu.cn)。



复杂环境下稳定的工作性能等优点,获得广泛应用^[4]。然而,外界环境温度的剧烈变化、输入被传射频信号的正常起伏和介质热积累效应等因素都会引起 LiNbO₃ 电光调制器的传输特性曲线发生漂移^[5],导致被传射频信号产生畸变,严重影响系统的通信质量^[6]。为克服上述因素对电光调制器传输特性曲线的影响,使其在任何情况下都保持在最佳工作点上工作,本文对电光调制器宽温度范围的偏压控制装置进行研究。

1 调制器工作机理

LiNbO₃ 电光调制器是利用晶体的电光效应来完成对光波的调制,其工作原理图如图 1 所示。输入光波 E_{in} 经过第一个 Y 分支被分成频率、相位等性质都相同的 2 路信号,然后被送入电光调制器的 2 条光波导中^[7]。光波导选用电光系数相对较高的 LiNbO₃ 晶体材料,它的折射率会随着外加偏压 V_1 和 V_2 的变化而变化,同时 2 条光支路的相位 φ_1 和 φ_2 也会随之发生变化。调相后的两路光波信号相互叠加后得到光信号 E_{out} 从输出端输出。根据光波的干涉原理,2 条光支路的相位 φ_1 和 φ_2 的差值控制着输出光信号的幅值:当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ 时,2 束光相干加强,此时 E_{out} 幅值最大;当 $\varphi_1 - \varphi_2 = \pm\pi$ 时,相干抵消,此时 E_{out} 幅值最小^[8]。

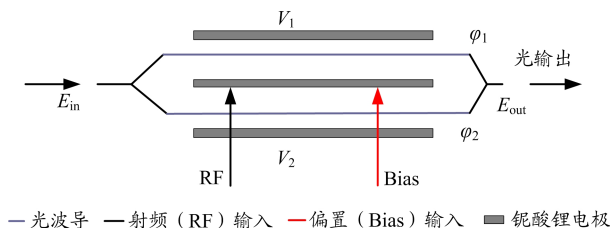


图 1 电光调制器工作原理图

电光调制器工作特性曲线如图 2 所示,它表示调制器通透率 T 与偏压 V 的关系。为了满足线性调制,电光调制器的直流偏压必须始终工作在最佳工作点上。因此,需要外加一种宽温度范围的偏压控制电路,对直流偏压进行实时监测,通过监测结果适时调整直流偏压值,使电光调制器稳定工作在最佳工作点上。

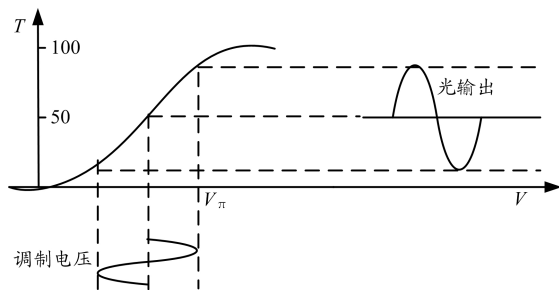


图 2 电光调制器工作特性曲线

2 温度剧烈变化对调制器输出性能的影响

理想 LiNbO₃ 电光调制器的传递函数为^[9]:

$$P_{out} = \frac{T_d}{2} P_{in} \left[1 + \sin\left(\frac{\pi}{V_\pi} V\right) \right] \quad (1)$$

其中, P_{in} 和 P_{out} 分别表示 LiNbO₃ 电光调制器的输入和输出光功率; T_d 为调制器的插入损耗; V_π 为调制器的半波电压; V 表示外加在调制器上的电压值,包括偏置电压 V_b 和射频输入信号 $V_{s(t)}$ 两部分。同时,假设由于温度变化产生的漂移电压为 V_{piao} ,则可得传递函数为:

$$P_{out} = \frac{T_d}{2} P_{in} \left[1 + \sin\left(\frac{\pi}{V_\pi} (V_{s(t)} + V_b + V_{piao}) \right) \right] \quad (2)$$

通常情况下,为了避免射频输入信号对调制信号产生干扰,其调制度应该远远小于调制信号的调制度。假设输入的正弦导频信号 $V_{s(t)} = A \sin(\omega t)$,且 $P_{in} = 20 \text{ mW}$, $V_\pi = 5 \text{ V}$, $T_d = 2.8 \text{ dB}$,输入射频信号的频率 $f = 1 \text{ kHz}$,即 $\omega = 2\pi f = 2000\pi$,幅度 $A = 0.1 \text{ V}$,则经过射频输入信号调制的光信号为:

$$V_{s(t)} = 0.1 \sin(2000\pi t) \quad (3)$$

假设调制器工作在最佳工作点,即 $V_b = V_\pi/2$ 处,通过 Matlab 软件仿真可以得到漂移电压 V_{piao} 对调制器输出波形的影响。图 3(a)~图 3(d)分别是漂移电压 V_{piao} 依次为 0 V 、 -0.01 V 、 0.01 V 和 0.04 V 情况下的输出波形图。从图 3(a)可以看出,当调制器不发生漂移(即 $V_{piao} = 0$)时,输出波形是一条光滑的正弦波信号。通过图 3(b)~图 3(d)可以得到:不同大小的漂移电压会使调制器的输出波形发生不同程度的畸变,即输出波形的畸变程度与漂移电压的大小有关。另外,对比图 3(b)、图 3(c)可以发现,当漂移电压的大小互为相反数时,调制器有相同的输出波形,只是存在着大小为 π 的相位差。

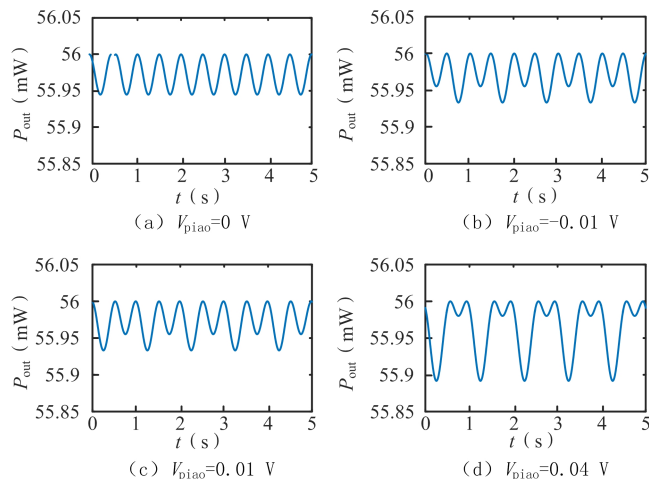


图 3 不同漂移电压对调制器输出波形的影响

图3的仿真结果表明:通过动态调整调制器的漂移电压,使 $V_{\text{piao}} \approx 0 \text{ V}$,可以保证在不同的温度下调制器都能工作在最佳工作点上,从而使输出光功率不随温度变化而产生波动,确保输入被传射频信号经调制器调制后不失真传输。

3 设计方案

根据上述仿真结果,本文采用外加电导频信号和内置光电二极管(PD)检测的方法,设计的偏压控制电路原理如图4所示。该电路由振荡器产生一个频率为1 kHz、幅度为0.1 V的电导频信号加载到调制器的偏压输入端口。当电导频信号调制到光信号上后,通过电光调制器的内置PD探测器对已调光信号进行检测输出。此时,输出的电信号除了包含需要的1 kHz正弦脉冲信号外,还混杂了传输的射频信号、噪声信号以及1 kHz脉冲的倍频信号。因此,需要对输出信号进行带通滤波,滤除混杂信号,得到所需的输出导频信号。输出导频信号经模/数(A/D)采样后送入控制器进行分析处理。若信号没有发生畸变,则说明调制器工作在最佳工作点上,此时不对偏压控制进行调整;若信号发生畸变,则说明调制器没有工作在最佳工作点上,此时控制器输出一个调整值,经数/模(D/A)转换后与1 kHz的脉冲信号进行叠加,加载到调制器的偏压输入端口,改变了调制器的偏置电压,使其工作在最佳工作点。

本设计通过调节偏置电压对调制器工作点进行动态调整,从而保证其工作在最佳工作点上。

图4 偏置控制电路原理图

4 实验结果分析

本文根据偏压控制装置的设计方案,研制了光调制器模块,该调制器模块的工作波长为1540~1560 nm,被传射频信号的带宽为0.8~18 GHz。选择3个调制器模块样品在常温+25℃、低温-55℃以及高温+80℃的情况下对其传输性能进行了测试。3个不同样品的输入光功率 P_1 均为13.64 dBm, P_2 表示样品在3种温度下的输出光功率,计算出不同温度下光插入损耗 P_1-P_2 的值,以及低温、高温情况下输出光功率与常温输出光功率的波动差值 ΔP_1 和 ΔP_2 ,结果如表1所示。

表1 不同环境温度输出光功率的测试

样品	输入 功率 P_1 (dBm)	常温(+25℃)			低温(-55℃)			高温(+80℃)		
		P_2 (dBm)	P_1-P_2 (dBm)	ΔP_1 (dBm)	P_2 (dBm)	P_1-P_2 (dBm)	ΔP_1 (dBm)	P_2 (dBm)	P_1-P_2 (dBm)	ΔP_2 (dBm)
1	13.64	10.44	3.20	10.40	3.24	0.04	10.48	3.16	0.04	
2	13.64	10.56	3.08	10.49	3.15	0.07	10.56	3.08	0.00	
3	13.64	10.53	3.11	10.47	3.17	0.06	10.52	3.12	0.01	

分析表1可知:同一样品在不同温度下插入损耗最大波动值为0.08;在低温-55℃和高温+80℃的环境下,输出光功率与常温+25℃输出光功率的波动范围 $\Delta P \leq 0.07$,即随着外界环境温度的剧烈变化,调制器的输出光功率不会发生明显的波动。因此,本文设计的宽温度范围的偏压控制装置可以有效控制电光调制器输出光功率的波动,保证了电光调制器始终工作在最佳工作点上。

5 结束语

本文通过外加电导频信号和内置PD检测的方法,设计了一款具有自动锁定最佳工作点功能的宽温度范围的偏压控制装置。实验证明:该偏压控制装置能很好地适应外界环境温度的剧烈变化,从而保证LiNbO₃电光调制器工作的稳定性,可以满足高速长距离光纤通信的应用要求。

参考文献:

- [1] 冯振华,付松年,唐明,等. LiNbO₃ 马赫-曾德尔调制器任意偏置工作点锁定技术的研究[J]. 光学学报,2012,32(12):1-6.
- [2] 陈学永,马贵斌,左朋莎,等. 基于双导频信号外调制射频光传输技术的研究[J]. 测控技术,2015,34(12):13-15.
- [3] 郑爽. 大容量高速光纤通信系统中 PoLMux 技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
- [4] 邹晖,胡毅,田军,等. M-Z 外调制器最佳偏置点稳定控制[J]. 光通信研究,2008,147(3):30-32.
- [5] 刘江涛. 电光调制器自动偏置控制系统及装置研究[D]. 长春:长春理工大学,2008.
- [6] 高法德. 电光调制器偏置电压漂移检测及校正技术研究[D]. 长春:长春理工大学,2016.
- [7] PAK S C, KHURGIN J B, SHPANTZER J, et al. Closed-loop bias control of optical quadrature modulator[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(21): 2209-2211.
- [8] 贺志学. FSK 关键技术及其在光标记交换中的应用[D]. 武汉:华中科技大学,2008.
- [9] NAZARATHY M, BERGER J, KAGAN Y. Progress in externally modulated AM CATV transmission systems[J]. Journal of Light-wave Technology, 1993, 11(1): 82-105.