

高速电光调制器偏置电压自动控制技术

唐雁峰, 李洪祚, 李锐
(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

摘要 采用电光检测的方法和误差分析的方式判断和识别电光调制晶体半波电压的漂移。利用PID控制算法实现高速电光调制系统偏置电压高精度自动调节。最后对研究的偏置电压自动控制系统应用于电光调制晶体,进行高速率调制实验。实验结果表明:采用偏置电压自动控制技术,改变了给电光调制晶体加载一个固定偏置电压的传统方式,使电光调制器偏置电压始终位于线性区的中点,以保证不失真调制,克服了电光调制器的半波电压受环境温度等多种因素的影响变化而电光调制晶体的半波电压发生漂移的问题。

关键词 激光通信; 电光调制; 偏置电压自动控制; 高速率

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.04.015

中图分类号 TN202; TN29 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)04-0069-04

激光调制技术是现代激光通信的关键技术之一。由于电光调制技术采用外调制方式,减小了啁啾现象的影响,更容易实现高速调制,因此在高速率无线光通信系统中被广为利用。

半波电压是描述晶体电光效应的一个重要参数,在应用电光调制器时,给晶体加载一个偏置电压来保证晶体在信号调制时可以工作在线性区,从而保证调制信号不失真。

传统的偏置电压方式是给电光调制器加载固定偏置电压。但电光调制器工作在高速率调制状态下,由于介质的热积累效应,会使电光调制晶体的半波电压发生漂移,如果给晶体提供固定的偏置电压,则使电光调制器偏离了其线性区中点,使调制信号变差。本文采用电光调制器偏置电压自动控制技术,将反馈闭环系统应用到偏置电压加载部分,实时监测电光调制器半波电压的漂移,使偏置电压跟随半波电压的变化,保证电光调制器静态工作点保持在线性区的中点。

1 电光调制器半波电压漂移

1.1 半波电压漂移模型

根据半波电压的值,可以估计出利用电光效应控制透光强度所需要的电压值。在横向效应的电光调制晶体中,其半波电压 V_{π} 的数学模型^[2]为:

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2n_0^3 r_{22}} \frac{d}{l} \quad (1)$$

式中: d 为晶体在 x 方向的横向尺寸; l 为晶体的长度; λ 为光源波长; n_0 为横向调制晶体中 o 光方向的折射率; r_{22} 是电光晶体的电光效应系数。

温度对电光效应各个参量影响最大的是电光晶体的折射率^[1]。在单轴晶体中, E_1, E_2 光就是 o 光和 e 光, o 光在铌酸锂的折射率色散公式为^[2]:

$$n_o^2 = 4.9310 + \frac{0.1173 + 1.64 \times 10^{-8} T^2}{\lambda^2 - (0.212 + 2.7 \times 10^{-8} T^2)^2} - 2.78 \times 10^{-2} \lambda^2 \quad (2)$$

* 收稿日期:2010-10-27

基金项目:国家“863”计划资助项目(2008AA01Z225)

作者简介:唐雁峰(1980-),男,河北张家口人,讲师,博士生,主要从事光通信调制技术研究。

E-mail: tangyanfeng1980@126.com

由式(2)可见,在光源波长确定的条件下,折射率由温度决定。将式(2)代入式(1)中,可以获得半波电压与温度之间的关系为:

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2r_{22} \left[4.9310 + \frac{0.1173 + 1.64 \times 10^{-8} T^2}{\lambda^2 - (0.212 + 2.7 \times 10^{-8} T^2)^2} - 2.78 \times 10^{-2} \lambda^2 \right]^{\frac{3}{2}} l} d \quad (3)$$

本文采用的电光调制系统中 λ 为 800 nm, l 为 3 mm, d 为 1 mm, r_{22} 为 3.4×10^{-12} m/V, 其半波电压随温度变化的曲线见图 1。可见。大功率电光调制晶体的半波电压随温度变化而变化,当半波电压发生变化,而加载在晶体上的偏置电压固定不变时,会导致偏置电压偏离晶体线性区的中点,出现调制失真的问题。

1.2 半波电压漂移检测

横向电光调制输出激光强度 I 和入射激光强度 I_0 的函数关系为:

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (4)$$

式中 δ 是两偏振光分量的相位差,当晶体所加电压 $V = V_0 + V_m \sin \omega t$ 等于半波电压 V_{π} 时,两偏振光经过晶体产生 $\lambda/2$ 的光程差,其相位差为 $\delta = \pi$,此时透光率 $T = 100\%$,则式(4)可改写成^[4]:

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\pi}{2V_{\pi}} (V_0 + V_m \sin \omega t) \quad (5)$$

式中: V_0 为直流偏压(决定电光调制器的工作点); $V_m \sin \omega t$ 为调制信号。可以看出,改变 V_0 或 V_m , 输出光强度将相应地有所变化。由式(5)可知,如果直流偏置电压 V_0 不变,调制信号幅度 V_m 不变,则当晶体半波电压 V_{π} 发生漂移时,则输出激光强度 I 的大小会有变化,因此本文提出半波电压检测的方案是采用光电检测器监测电光调制器的输入和输出光强,光强的变化将反映出半波电压的变化,分光比为 99: 1。

2 电光调制晶体偏置电压设置

2.1 电光调制器偏置工作点的经典设置方法

采用电光调制器进行激光调制,静态工作点的设置非常重要。电光调制特性曲线见图 2,当工作点选在特性曲线中点,即 $V = V_{\pi/2}$ 时,此刻透光率 $T = 50\%$,该处的调制曲线近似直线,称为调制器的线性工作区,能够调制出线性不失真的信号。如果选在 $V = 0$ 或 $V = V_{\pi}$ 时,调制信号将会出现倍频失真。传统的偏置电压设置方式有 2 种:①在电光调制器上加一个固定的直流偏置电压,其值为半波电压的一半即 $V_{\pi}/2$ ^[10];②在调制器中插入一个 $\lambda/4$ 波片,称为光学偏置,其效果与加 $V_{\pi}/2$ 的直流偏压一样。

这 2 种方式共同点是给电光调制器加载了固定的偏置电压。当电光调制器应用在高速率系统中时,由于高速调制信号在晶体上产生的热积累导致了晶体温度升高,从而改变了晶体的半波电压,这时固定的偏置电压将偏离特性曲线中点,造成调制失真^[6]。

2.2 电光调制器偏置电压自动控制原理

本文提出的偏置电压自动控制技术是对第一种传统加载方式的改进。在第一种传统加载方式基础上,引入了闭环反馈系统,对晶体半波电压进行实时监测,利用自动控制系统按照半波电压的变化调节偏置电压,以保证偏置电压在线性区中点。图 3 为本控制系统的整体结构图。

本文采用光电检测方法,在电光调制器的前后分别加一个分光片,对调制前后的激光进行相同百分比取样,然后通过光电转换电路将激光信号转换成电压信号。当调制器工作在线性调制区的中点时,由调制特性

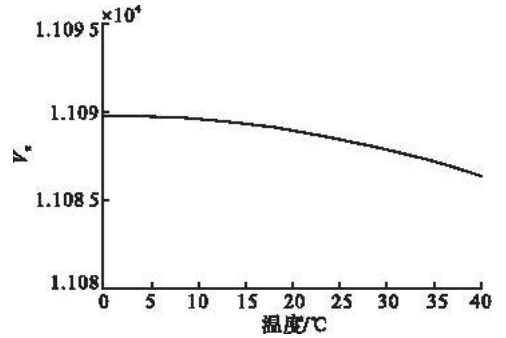


图 1 半波电压随温度变化漂移曲线

Fig. 1 Curve of shifting about half-voltage with temperature

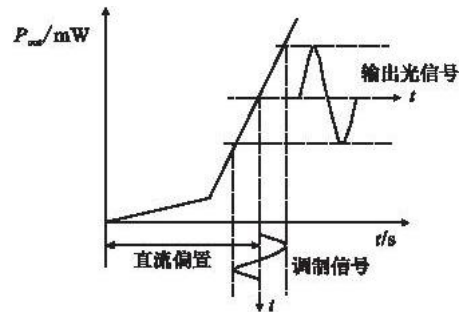


图 2 电光调制器调制特性曲线

Fig. 2 Curve of modulation characteristic about EOM

曲线可知透光率是 50%,即调制后的激光功率应该是调制前的一半,所以将光电转换后得到的 2 个不等的电压经过 2 个不同增益(A1 和 A2)的放大器使其相等,然后再输入差动放大器进行比较放大,最初 $u_1 = u_2$,即差动放大器输出为 0。当电光调制器的工作点由于温度等影响发生漂移时,调制光的透过率将发生变化,此时 u_1 不变, u_2 发生变化,通过比较产生误差,再将误差送入控制单元。本文的控制单元采用 PID 控制方式,反复调节直流偏置电压,直到误差为 0,使电光调制器的工作点回到了线性区的中点。这样自动偏置控制系统不断地检测并控制偏置电压,使调制器的工作点始终处在线性区的中点,从而保证激光的线性不失真调制。

本文的自动控制系统采用 PID 控制算法对晶体静态工作点的漂移进行检测和控制,对偏置电压的控制精度可以达到 0.1 V。图 4 为电光调制晶体偏置电压自动控制系统的电学框图。

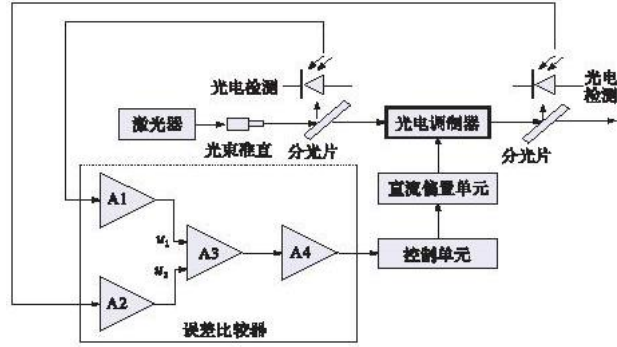


图 3 偏置电压自动控制电路

Fig. 3 Auto control circuit of bias voltage

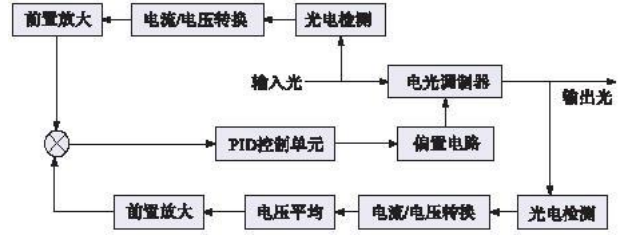


图 4 电光调制器偏置电压电学框图

Fig. 4 Diagram of bias voltage about EOM

3 实验

本文采用 800 nm 的半导体激光器,对长度为 3 mm,通光孔径为 1 mm × 1 mm 的电光调制晶体进行偏置电压自动控制系统测试。当温度由 0 °C 变化到 40 °C 时,其偏置电压的变化曲线见图 5。将图 5 与图 2 对比,可知偏置电压的变化可以跟随半波电压的变化,这样可以保证电光调制器的偏置电压始终保持在晶体线性区的中点,保证调制效果。

图 6 为采用偏置电压自动控制系统的电光调制系统 300 Mbps 调制速率的调制输出波形。

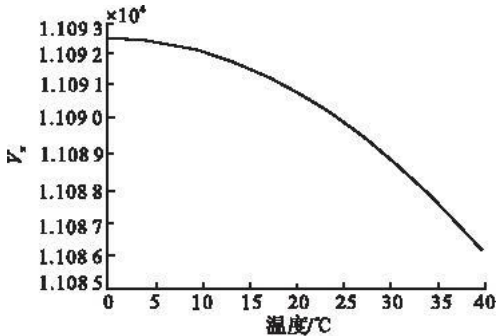


图 5 自动控制系统偏置电压随温度变化曲线

Fig. 5 Curve of auto control bias voltage with temperature

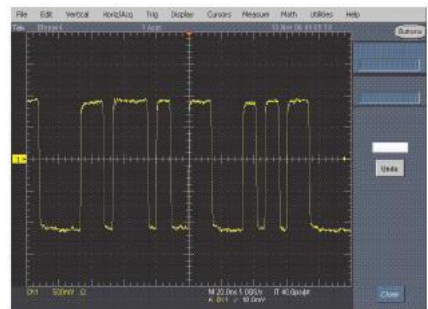


图 6 电光调制器输出调制波形

Fig. 6 Output wave of EOM based on auto control of bias voltage

4 结束语

本文针对高速率电光调制系统中电光调制晶体的直流偏置电压的自动稳定技术开展研究。在分析了传统偏置电压的缺点后提出了全新的偏置电压自动控制技术,可以有效地提高调制的稳定性。采用光电检测

的方式可以识别电光调制晶体半波电压的漂移,但是对光的能量有所损耗,会在以后的研究工作中开展更有效地测量半波电压漂移的研究。

参考文献:

- [1] 陈海波,余卫龙. 光调制器的温度特性及其最优化设计[J]. 光学学报, 2006,24(10):1533-1537.
CHEN Haibo, SHE Weilong. Temperature dependence of electro optic modulator and its optimal design[J]. Acta optica sinica, 2006,24(10):1533-1537. (in Chinese)
- [2] 张金令,代志勇,刘永智. 高速 LiNbO₃ 电光调制器的最新研究进展[J]. 半导体光电,2006,27(5):508-512.
ZHANG Jinling, DAI Zhiyong, LIU Yongzhi. Latest development of high speed LiNbO₃ electro-optic modulator[J]. Semiconductor optoelectronics, 2006,27(5):508-512. (in Chinese)
- [3] 宋哲,刘立人. 入射光偏振方向对 LiNbO₃ 晶体近光轴电光调制的影响[J]. 中国激光, 2005,32(3):319-322.
SONG Zhe, LIU Liren. Effect of the polarization direction of incident light on electro-optic modulator for light propagating near the optic axis in LiNbO₃[J]. Chinese journal of lasers, 2005,32(3):319-322. (in Chinese)
- [4] Bates R J. Wireless network communications: concepts, technology, and implementation [M]. USA: McGraw-Hill inc, 1994.
- [5] Smith F G. Atmospheric propagation of radiation [J]. The infrared & electro optical systems handbook, 2002, 2: 922-127.
- [6] 龙祖利. 用于空间光通信的宽带 LiNbO₃ 行波调制器[J]. 兵工自动化,2006,25(2):76-77.
LONG Zuli. Travelling wave LiNbO₃ modulator of broad band for space optical communication[J]. Ordnance industry automation. 2006,25(2):76-77. (in Chinese)
- [7] 张兆伟,李红根,沈启舜. 衰减全反射结构的双通道聚合物电光调制器[J]. 光电工程,2001,28(4):54-56.
ZHANG Zhaowei, LI Honggen, SHEN Qishun. Double-channel polymer electro-optic modulators with attenuated total reflection configuration [J]. Electro-optic engineering, 2001,28(4):54-56. (in Chinese)
- [8] 谭雪春,武志超,凌铭,等. 通信用高功率高速率 LiNbO₃ 电光调制器[J]. 红外与激光工程,2007,36(S1):436-439.
TAN Xuechun, WU Zhichao, LING Ming, et al. High power and high rate LiNbO₃ electro-optic modulator applied in communication field[J]. Infrared and laser engineering, 2007,36(S1):436-439. (in Chinese)
- [9] 郭明磊,韩新风,章毛连. 电光调制不同工作点选择方法下的光偏振态分析[J]. 物理与工程,2010,1:30-33.
GUO Minglei, HAN Xinfeng, ZHANG Maolian. Analyzing on polarized light of electro-optical modulation based on different work-point choosing method[J]. Physics and engineering, 2010,1:30-33. (in Chinese)
- [10] 欧仁侠. 电光调制器及其驱动技术研究[D]. 长春:长春理工大学,2008.
OU Renxia. The research on the technology of the electro-optic modulator and its driver. [D]. Changchun: Changchun university of science and technology, 2008. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Research on Auto-control of Bias Voltage of High Speed EOM

TANG Yan-feng, LI Hong-zuo, LI Rui

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: An adopted auto control of bias voltage of Electro-optical modulator (EOM) is adopted to innovate the traditional manner that gives a constant voltage to the Electro-optical modulator. The use of auto-control of bias voltage makes EOM could have a good effect at different temperatures to acclimate all kinds of environment, in this way the bias voltage of EOM can always be at the midpoint of the zone of linearity, which can guarantee an adequate modulation without any distortion. The photoelectric detection and error analysis are adopted to judge and identify the shifting of the half voltage of EOM. Then PID control algorithm is used to realize a high precision auto-control. Finally, the EOM with the auto-control is applied to the EO modulation crystal to perform a high-speed modulation experiment.

Key words: laser communication; electro-optical modulate; auto-control of bias voltage; high-speed