

·测试、试验与仿真·

单向和双向控制脉冲 TOAD 的开关窗口研究

石万军^{1,2}, 李唐军^{1,2}

(1. 北京交通大学全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044;

2. 北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要:详细研究了单控制脉冲 TOAD (terahertz optical asymmetric demultiplexer) 结构开关窗口的非对称缺陷及其产生机理。通过理论分析和 optisystem 仿真证实了双控制脉冲 TOAD 结构能够很好地解决单控制脉冲 TOAD 结构的开关窗口缺陷。仿真结果显示, 双控制脉冲 TOAD 获得了波形对称、对比度更高的开关窗, 详细解释了仿真中出现的双峰现象。

关键词:太赫兹光学非对称解时分复用器 TOAD; 控制脉冲; 半导体放大器

中图分类号: O432.1²

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-02-0071-05

Research on Switch Window of TOAD with Unidirectional and Bidirectional Control Pulse

SHI Wan-Jun^{1,2}, LI Tang-Jun^{1,2}

(1. Key Laboratory of All-optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Asymmetric shortcomings and production principles of structure switch window of terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD) with unidirectional control pulse are researched in detail. The shortcomings are well resolved by the TOAD structure of bidirectional control pulse on the basis of theoretical analysis and optisystem simulation. The simulation results show that the switch windows with symmetric waveform and higher contrast are got by bidirectional control pulse TOAD. And double peak phenomena in simulation process are explained.

Key words: terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD); control pulse; semiconductor amplifier (SOA)

TOAD 型^[1](太赫兹光学非对称解复用器)光开关是目前研究很热的高速处理器件, 可应用于时分解复用^[2]、码型转换^[3]以及波长转换^[4]等全光处理领域。传统的 TOAD 结构采用单一控制脉冲来控制 SOA 的非线性效应, 其开关窗口具有明显的非对称缺陷, 同时信道间串扰也比较大^[5-7]。

首先研究了传统 TOAD 结构开关窗口的不对称缺陷, 然后从理论上证明了双控制脉冲的 TOAD 结构^[8]能够得到对称的开关窗口, 并结合仿真进行了验证。

1 单控制脉冲的 TOAD 结构

传统的 TOAD 结构如图 1 所示, 由信号光、控制光以及一个带有高非线性器件(一般为 SOA)的光纤环路组成。当不放置 SOA 时, 输入数据信号经过 3 dB 耦合器后分成相位差为 $\pi/2$ 的 CW (clockwise) 和 CCW (counter clockwise) 两路光, 这两路光在光纤环路中的相位差为 0。当 CW、CCW 光重新回到主耦合器后, 会在输出端口 1 形成 π 相位差, 两路光相干相消, 因此没有光信号输出; 在输出端口 2 的相位差为 0, 因此相干加强, 即光信号全

收稿日期: 2013-01-16

基金项目: 国家 863 计划(2007AA01Z258); 国家自然科学基金(60807003, 61177012); 中央高校基本科研业务费专项资金(北京交通大学 2009YJS005)

作者简介: 石万军(1986-), 男, 陕西安康人, 硕士研究生, 主要从事高速光通信和光信号处理及光网络等方面的研究。

部被TOAD反射回去^[9]。

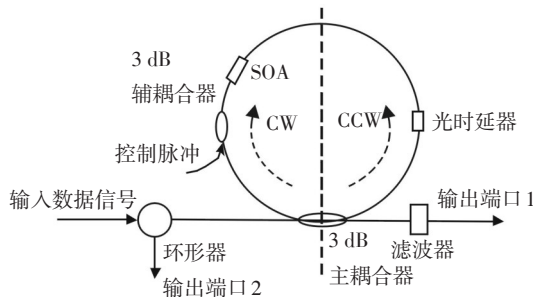
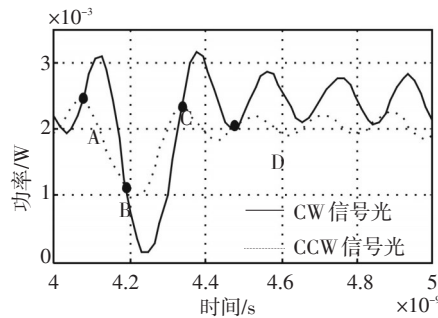


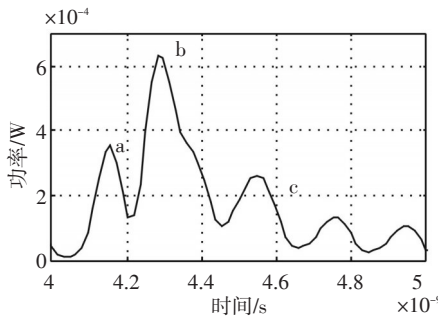
图1 单控制脉冲的TOAD结构

当在光纤环路的非对称位置放置SOA后,由于控制脉冲和信号光一起通过SOA会产生XGM(交叉增益调制)和XPM(交叉相位调制),如果使CW和CCW光在不同时刻通过SOA,则会使两路光产生额外的相位差,导致在输出端口1的总相位差不再是 π 。即输出端口1将有光信号输出。

为了研究CW和CCW光在光纤环内的传输特性是否相同,利用optisystem搭建TOAD仿真环境^[10],仿真中参数设置如下:输入数据信号采用波长为1554 nm、功率为-10 dBm的连续光;控制脉冲为脉宽为100 ps、功率为5 dBm、比特率为1 Gbit/s的时钟信号;SOA为普通的TW型半导体放大器,经测量,其增益饱和上升时间约为90 ps,增益饱和和恢复时间约为100 ps。SOA的非对称位置由一个可调光时延器来



(a) CW、CCW光经过SOA放大后波形



(b) 输出端口1输出的信号光

图2 单脉冲TOAD CW、CCW光信号波形和输出端口1输出的信号光

调整,初始时延设为20 ps。在输出端口1采用滤波器滤除控制光信号。

CW光和CCW光经过SOA放大后的波形如图2a所示。图2b为输出端口1输出的信号波形。由图2a可知,CW、CCW经SOA放大后的波形存在很大的差异,主要有AB、BC、CD三段的非线性差异比较大,最终形成了图2b中的三个波峰a、b、c。另外CW、CCW的小信号增益也不尽相同,最终形成其他的基底噪声。

SOA对正反向光的非线性差异可以由图3来研究,图中控制脉冲传播方向与CW信号光方向一致,并且此时可调光时延器的时延设置为0,即CW、CCW光同时进入SOA。

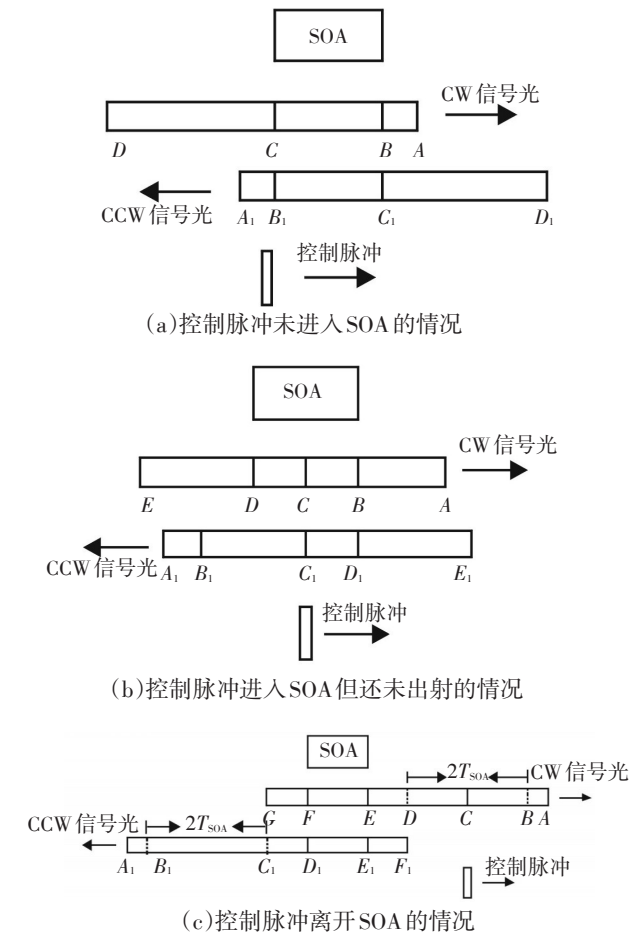


图3 CW、CCW光通过SOA示意图

图3a为控制脉冲还没有进入SOA的情况,此时通过SOA的CW光和CCW光被完全放大,如图3a中AB段和A₁B₁段。BC段和B₁C₁段还没有从SOA中出射,只被部分放大。图3b为控制脉冲进入SOA但还未出射的情况,此时AB和A₁B₁段为完全放大,BC、B₁C₁和C₁D₁段都为部分放大,CD段为部分饱和。图

3c为控制脉冲离开SOA的情况。记控制脉冲在SOA内的传输时间为 T_{SOA} ,则BD和 B_1C_1 段时间为 $2T_{SOA}$ 。此时,AB段和 A_1B_1 段为完全放大,CE为完全饱和, B_1C_1 为部分放大即部分饱和效应, C_1D_1 为完全饱和,EF和 D_1E_1 段为相同的部分饱和。即CCW信号光的 B_1C_1 和CW信号光的BD段产生了完全不一致的非线性效应。

由以上分析可知,由于控制脉冲在SOA内具有一定的传输时间 T_{SOA} ,使得CCW光会先于CW光发生不完全的增益饱和效应。因此,就算光时延器设置为0,即SOA放置在光纤回路的中间,由于CW、CCW信号光的非线性差异性,使得输出端口1也有光信号输出。

如图4所示为时延为0时通过SOA的CW、CCW信号波形。图4中,CW和CCW光的增益开始下降的

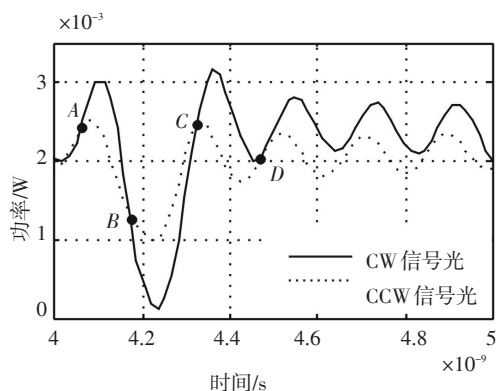


图4 时延为0时的CW、CCW信号波形

时间差,即图中AB两点的的时间差约为26 ps。该时间差实际上就是光在SOA内的传输时间 T_{SOA} 。图2a时延为20 ps时的CW、CCW信号波形图中,相应两点的的时间差约为46 ps,刚好为光在SOA内的传输时间和时延20 ps的和。

2 双控制脉冲的TOAD结构

第1节研究了单控制脉冲的TOAD结构,由于控制脉冲在SOA内具有一定的传输时间,导致CW、CCW光具有完全不一样的增益曲线,最终使得输出端口1的输出信号脉冲宽度较宽、多个波峰同时存在且不对称。

既然正是由于控制脉冲在SOA具有一定传输时间才导致了这种差异,不妨在SOA两个方向都加入相同的控制脉冲,每个控制脉冲功率为单控制脉冲时的一半,其结构如图5所示。

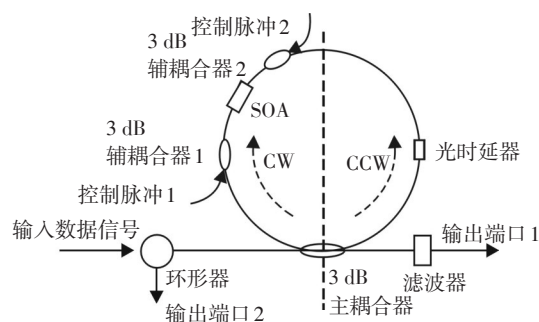


图5 双向控制脉冲的TOAD结构

CW、CCW信号光通过SOA时的增益变化可由图6表示,图6中CP1(control pulse)和CP2表示沿CW方向和CCW方向传播的控制脉冲。

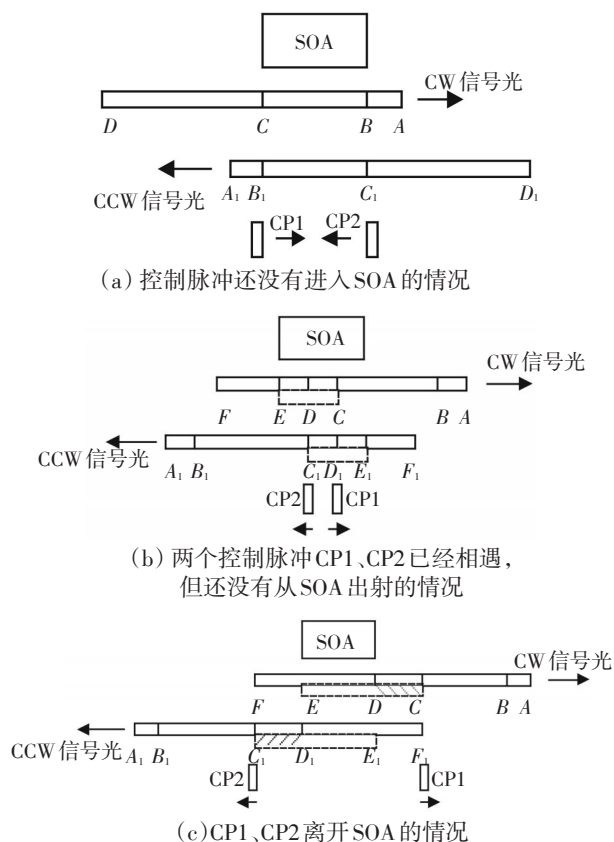


图6 双向控制脉冲时CW、CCW光通过SOA

图6a为控制脉冲还没有进入SOA的情况,此时AB和 A_1B_1 为全放大,BC和 B_1C_1 为部分放大;图6b为两个控制脉冲CP1、CP2已经相遇但还没有从SOA出射的情况,此时CW和CCW光都将受到CP1和CP2的共同作用,其中虚线部分为沿着信号光传播方向的控制脉冲对其的影响。以CW光为例,虚线CE段受到CP1的影响发生增益饱和,实线BD段受到CP2的影响发生不完全增益饱和。合起来CE段为增益

饱和,BC为不完全增益饱和。图6c为CP1和CP2离开SOA的情况。以CW光为例,AB段为全放大,BC段为不完全增益饱和,CD段为完全增益饱和,DE段为不完全增益饱和。CCW光的增益情况与CW光完全一致。

通过以上分析,在TOAD中加入双向控制脉冲时,CW和CCW光的增益情况不再具有差异性,输出信号波形必定能够克服单CP时的种种缺陷。图7为仿真测得的CW、CCW光增益曲线和输出端口的输出信号波形,初始时延为20 ps。

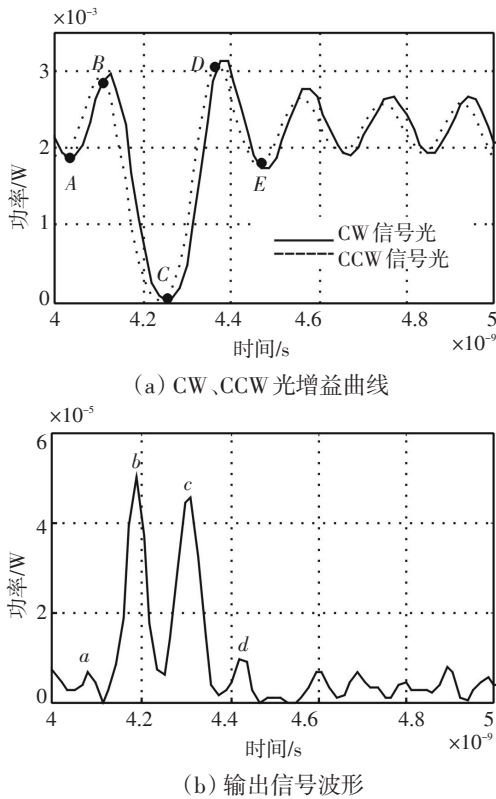


图7 双控制脉冲TOAD的CW、CCW光增益曲线和输出信号波形

图7a中可以清晰地看出,CW和CCW光的波形完全相同,只不过CCW光较CW光有20 ps的时延。图中A、B、C、D四点为CW和CCW光相交的四个位置。AB、BC、CD、DE段的差异分别形成了图7b中的波峰a、b、c、d。图7b中输出波形形成了两个主峰,这是由于所使用SOA的饱和增益上升时间和恢复时间约为90 ps和100 ps,属于同一个量级,造成下降沿和上升沿的坡度相当,因而会形成两个相当的波峰。

若采用饱和增益上升更快的SOA,必然能获得单波峰的且输出功率更大的输出信号^[11]。例如若SOA的饱和增益上升时间和恢复时间约为10 ps和

100 ps,同时假设SOA饱和增益上升和恢复都是线性的,则理想情况下,其CW和CCW光增益曲线如图8a所示,时延设置为10 ps。

又TOAD开关窗口的输出增益可由式(1)表示^[12]

$$G_{\text{TOAD}}(t) = 0.25 \left(\frac{G_{\text{CW}} + G_{\text{CCW}} - 2\sqrt{G_{\text{CW}} G_{\text{CCW}}} \cos(\varphi_{\text{CW}} - \varphi_{\text{CCW}})}{2} \right) \quad (1)$$

其中, G_{CW} 和 G_{CCW} 分别为CW、CCW光通过SOA时的增益, φ_{CW} 和 φ_{CCW} 为各自产生的相位差。如果再假定SOA的相位变化和增益变化呈线性关系,同时默认SOA发生完全增益饱和效应时的相位变化为 π ,则CW和CCW信号的相位差可表示为

$$\varphi_{\text{CW}} - \varphi_{\text{CCW}} = \pi(G_{\text{CW}} - G_{\text{CCW}}) \quad (2)$$

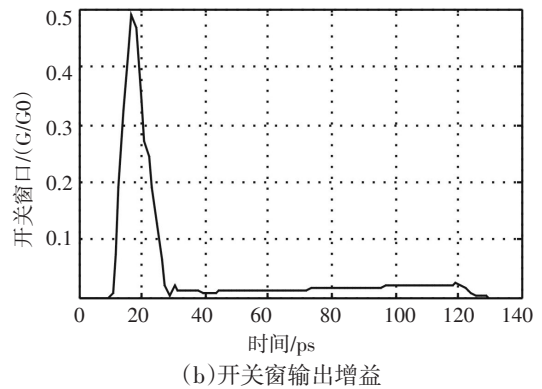
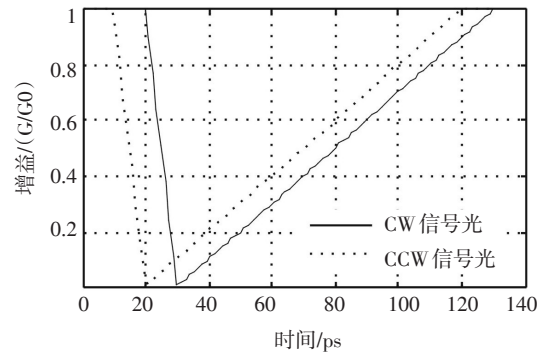


图8 饱和增益快速上升时的CW、CCW光增益曲线和开关窗输出增益

图8b为经过线性简化后的TOAD开关窗输出增益曲线。由图8a可知,由于SOA的饱和增益上升时间很快,恢复时间比较缓慢,使得CW和CCW光在增益下降的区域差别很大,在增益恢复的区域差别很小。因此会使图7b的波峰b增强,波峰c受到抑制。理想情况下会形成图8b所示开关窗口。

综上所述,双控制脉冲的TOAD结构使得CW和

CCW光通过SOA时具有相同的增益曲线,输出信号波形对称且对比度高。采用饱和增益上升时间很快,增益恢复时间比较缓慢的SOA能获得质量更高的单波峰输出信号。

3 结 论

详细研究了单控制脉冲TOAD结构开关窗口的非对称缺陷。通过理论分析和仿真证实了采用双控制脉冲可以很好地解决单控制脉冲TOAD的输出窗口缺陷。研究表明,双控制脉冲TOAD在不增加器件复杂度和功率消耗的情况下获得了性能更好的开关窗口。

参考文献

- [1] Sokoloff. A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD)[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 1993, 5 (7): 787-790.
 - [2] Melo. Photonic time-division multiplexing (OTDM) using ultrashort picosecond pulses in a terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD) [J]. *Optics Communications*, 2002, 205(4): 299-312.
 - [3] Lee C G. Experimental demonstration of 10-Gb/s data format conversions between NRZ and RZ using SOA-loop-mirror. *Journal of Lightwave Technology*, 2005, 23 (2): 834-841.
 - [4] Durhuus. All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1996, 14(6): 942-954.
 - [5] Le-Minh. Terahertz optical asymmetric demultiplexer switch with a symmetrical switching window[J]. *London Communications Symposium*, 2008: 89-92.
 - [6] Kane M G. Analysis of an all-optical switch[J]. *Applied Optics*, 1994, 33(29): 6833-6842.
 - [7] Sokoloff. Performance of a 50 Gbit/s optical time domain multiplexed system using a terahertz optical asymmetric demultiplexer[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 1994, 6 (1): 98-100.
 - [8] Le Minh, Z Ghassemlooy, W P Ng. Characterization and performance analysis of a TOAD switch employing a dual control pulse scheme in high-speed OTDM demultiplexer[J]. *Communications Letters, IEEE*, 2008, 12(4): 316-318.
 - [9] 斋藤富士郎. 超高速光器件[M]. 北京:科学出版社,2002: 145-148.
 - [10] BI, W, L ZHANG, et al. Simulation study of WDM based on the optisystem[J]. *Optical Communication Technology*, 2009, 1: 5.
 - [11] 董建绩, 张新亮, 黄德修. SOA 动态增益特性的理论和实验研究[J]. *物理学报*, 2005, 54(2): 763-767.
 - [12] M Eiselt, W Pieper, H G Weber. Semiconductor laser amplifier in a loop mirror[J]. *Light Tech.*, 1995, 13 (10): 2 099-2 110.
-
- (上接第58页)
- [4] 刘刚, 梁晓庚. 基于小波变换和管道滤波的红外空中小目标检测[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(30):198-201.
 - [5] J Fiser, S Subramaniam, I Biederman. Size tuning in the absence of spatial frequency tuning in object recognition[J]. *Vision Research*, 2001, 41(15):235-237.
 - [6] 刘靳, 姬红兵. 基于移动式加权管道滤波的红外弱小目标检测[J]. *西安电子科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 34 (5):743-747.
 - [7] 张强, 蔡敬菊, 张启衡, 等. 基于局部极大值的红外弱小目标分割方法[J]. *红外技术*, 2011, 33(1):41-44.
 - [8] 王洋. 基于DSP的红外弱小目标检测技术研究[D]. 太原:中北大学, 2008.
 - [9] L Yang, J Yang, K Yang. Adaptive detection for infrared small target under sea-sky complex background[J]. *Electronics Letters*, 2004, 40(17): 1083-1085.
 - [10] 蒋跃, 邓磊, 徐生求. 红外弱小目标检测算法[J]. *红外与激光工程*, 2009, 38:365-368.