

基于单个和级联电吸收调制器超短光脉冲的产生*

王安斌¹ 伍剑¹ 张帆¹ 林金桐¹ 赵玲娟² 王圩²

(1 北京邮电大学光通信中心 66 信箱,北京 100876)

(2 中国科学院半导体研究所,北京 100083)

摘要 为研究电吸收调制器(EAM)产生超短光脉冲的性能,在考虑电吸收调制器频率响应的基础上,通过数值模拟和实验研究的方法,从理论和实验上研究了基于国产单个和级联电吸收调制器的超短光脉冲产生,实验和理论相符. 基于单 EAM 可以产生占空比近 12% 的短脉冲,级联 EAM 可产生占空比为 8% 的短脉冲.

关键词 电吸收调制器(EAM);超短光脉冲;频率响应

中图分类号 TN91.161 **文献标识码** A

0 引言

在高速光时分复用(OTDM)通信系统和网络中,要求光脉冲源产生具有接近变换极限的脉冲,具有较小的定时抖动,同时应具有不小于 20 dB 的消光比,以降低邻近信道之间的干扰^[1]. 基于电吸收调制器(EAM)的光脉冲源具有性能稳定、调制简单、易于同步的特点,是高速光时分复用系统发射源的一种比较理想的可选方案. 基于单一 EAM 的光脉冲源可以达到约 14% 的占空比和大约 20 dB 的动态消光比. 为了进一步提高基于 EAM 的超短脉冲源的消光比和减小脉冲宽度,可以将 EAM 级联(Tandem EAM)^[2,3]起来使用. 由于光信号连续两次通过电吸收调制器,因此可以有效地提高脉冲序列的消光比,并进一步减小其占空比,满足高速 OTDM 系统需求. 同时,分布反馈半导体激光器(DFB)和 EAM 可实现单一集成,具有体积小、结构紧凑的特点,进而可降低系统成本. 且 DFB 集成 EAM 光源输出光脉冲的时域波形接近孤子脉冲波形(sec h^2)^[4],这一特点使得它特别适于 OTDM 光孤子传输系统.

在实际应用中,EAM 的输出脉冲特性主要由外加偏置电压和射频调制幅度决定,二者的幅度大小直接影响输出光脉冲的宽度、消光比. 同时,EAM 的频率响应特性也将影响其产生的光脉冲特性. 因此,本文在考虑 EAM 的频率响应特性的基础上,对基于单个 EAM 和级联 EAM 的短脉冲产生进行了理论和实验研究. 这为生产级联 EAM 提供了理论和实验依据.

1 实验原理及理论模型

基于 EAM 产生短脉冲的原理和级联 EAM 产生短脉冲的原理可以参考文献[5],以下主要考虑频率响应特性对作用到调制器电压的影响.

在集成器件应用中,EAM 调制器需要并联一个匹配电阻 R ,其调制带宽可简单的表示为 $f_{bw} = 1/(2\pi RC)$,式中的 C 包括了 EAM 的本征电容(结电容)和寄生电容. 因此,EAM 响应实际为一个低通滤波器. 考虑到 EAM 的频率响应,实际作用到器件的电压为^[6]

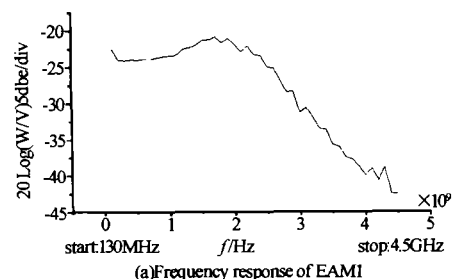
$$V_f = \frac{V_a}{\sqrt{1 + (f_m/f_{bw})^2}} \quad (1)$$

式中 f_m 为调制信号频率, V_a 为应用调制电压.

2 实验结果与讨论

基于单个和级联 EAM 实验装置图与文献[5]类似. 只是输入 EAM 的光需经 EDFA 放大,由 EAM 输出的光脉冲也需放大. 为准确研究基于 EAM 产生短脉冲的特性,首先对 EAM1 和 EAM2 进行了频率响应特性测量,然后对其吸收特性进行了测量. 实验中,EAM 为中科院北京半导体所研制的多量子阱电吸收调制器,光源波长为 1546.6 nm.

图 1 为偏置电压为 -2.2 V 时,二者的频率响应曲线. EAM1 的 3 dB 频率带宽为 2.5 GHz, EAM2 的 3 dB 频率带宽 2.9 GHz.



*国家自然科学基金(批准号:60072035)资助项目
Tel:010-62282332 Email:ab_wang@163.net
收稿日期:2003-02-28

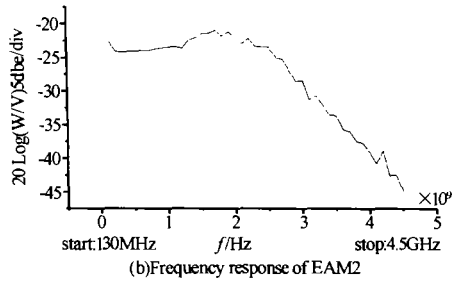


图1 EAM1(a)和EAM2(b)的频响曲线
Fig.1 Frequency response of EAM1(a) and EAM2(b)

图2(a)、(b)为EAM1和EAM2的输出光功率与偏置电压之间的实验与拟合曲线(即函数 T_v)。

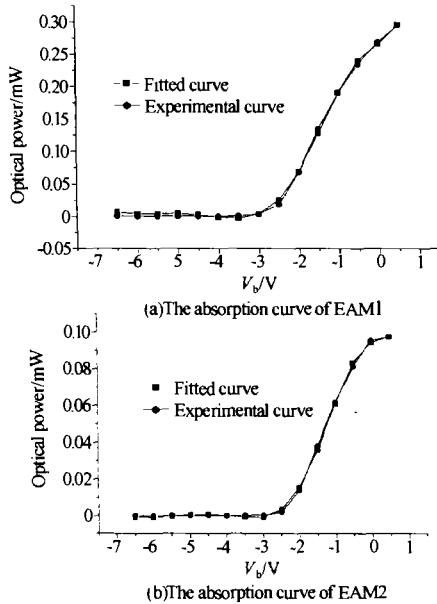


图2 EAM1(a)和EAM2(b)的吸收特性曲线
Fig.2 The absorption curve of EAM1(a) and EAM2(b)

在以下的理论模型分析中,均考虑了频率响应的影 响. 图3为在射频电压 $V_f = 4.9\text{V}$ 时, 实验和

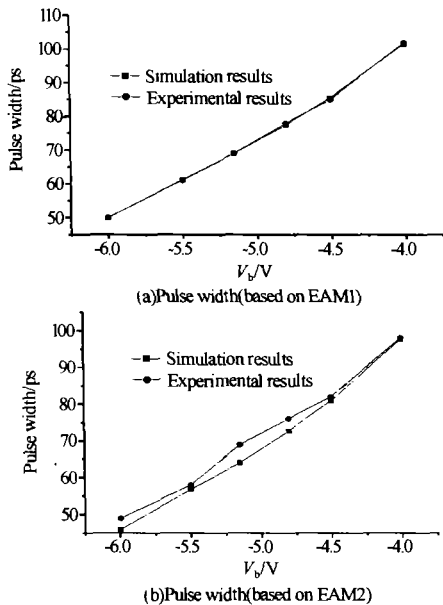


图3 基于EAM1(a)和EAM2(b)产生的脉冲宽度的实验和理论结果($V_f = 4.9\text{V}$)
Fig.3 Pulse width(based on EAM1(a) and EAM2(b)) ($V_f = 4.9\text{V}$)

理论的基于EAM1(a)和EAM2(b)产生光脉冲的宽度与偏置电压的曲线关系,实验和理论结果吻合. 随着反向偏置电压的增加,脉冲宽度逐渐减小. 但反向偏置电压的增加应小于EAM所允许的范围,且反向偏置电压越大,EAM的损耗越大,虽然产生光脉冲的宽度会减小,但脉冲消光比变差.

图4为偏置电压为 -5V 时,实验和理论的基于EAM1(a)和EAM2(b)产生光脉冲的宽度与射频幅度的曲线关系,实验和理论结果吻合. 且随着射频幅度的减小,脉冲宽度逐渐减小.

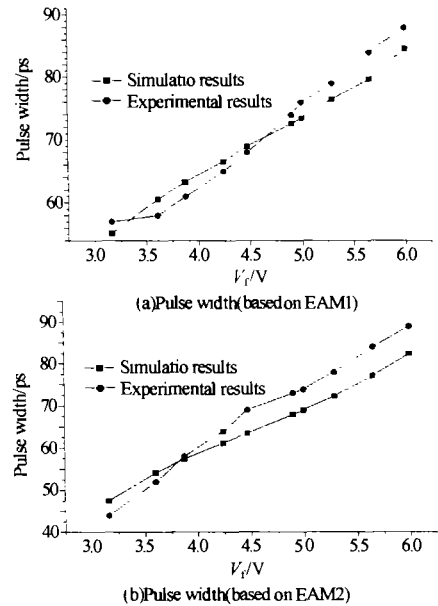


图4 基于EAM1(a)和EAM2(b)产生的脉冲宽度的实验和理论结果(偏置电压为 -5V)
Fig.4 Pulse width(based on EAM1(a) and EAM2(b)) ($V_b = -5\text{V}$)

在以上基于单EAM产生短脉冲的实验中,可以产生占空比近12%(在2.5GHz的调制频率下,相当于48ps的光脉冲)的短脉冲,如图3和图4的实验曲线图.

以下对级联EAM产生短脉冲进行实验研究. 其中,驱动两只EAM射频的相对相位延迟由出射光脉冲的相对相位变化近似代替,以其中某一点的相位为基准点.

如图5为实验和理论的基于级联EAM产生的

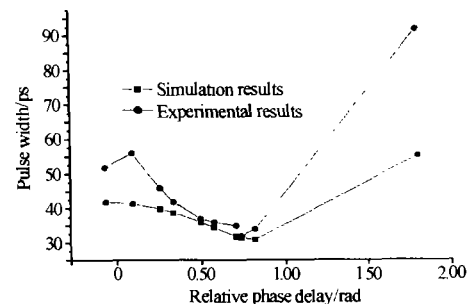


图5 基于级联EAM1和EAM2产生的脉冲宽度与相对相位延迟的实验和理论结果
Fig.5 Pulse width(tandem EAM1(a) and EAM2(b)) versus relative phase delay

短脉冲宽度与相对相位的关系曲线. 其中 EAM1 和 EAM2 的工作条件分别为 $V_{b1} = -5.07$; $V_{r1} = 3.8$ V; $V_{b2} = -5.5$; $V_{r2} = 4.9$ V; 由图 5 可以看出, 二者基本趋势相同, 光脉冲宽度随相对相位延迟的变化而变化, 在相对相位延迟为某一值时, 达到最小值, 再增加相对相位延迟, 光脉冲宽度也增大. 但由于测量的相对相位延迟并不是一个精确值, 因此存在一定的误差. 实验中, 级联 EAM 时产生的光脉冲的最小值为 32 ps (占空比为 8%), 拟合值为 31 ps. 理论计

算中的相对相位延迟的最小值为 $0.8 \text{ rad}(45^\circ)$ 左右时, 级联产生的脉冲最小. 在同样的工作条件下, 基于单 EAM1 产生的光脉冲宽度为 61 ps, 拟合值为 60.7 ps; 基于 EAM2 产生的光脉冲宽度为 58 ps; 拟合值为 57 ps. 相应的光脉冲如图 6 所示, 由左到右分别为 EAM1 (a), EAM2 (b) 和级联 EAM1, EAM2 (c) 后产生的短脉冲 (横坐标均为 50 ps/格). 可以看出, 级联后产生的短脉冲宽度较基于单 EAM1 或单 EAM2 产生的脉冲宽度窄.

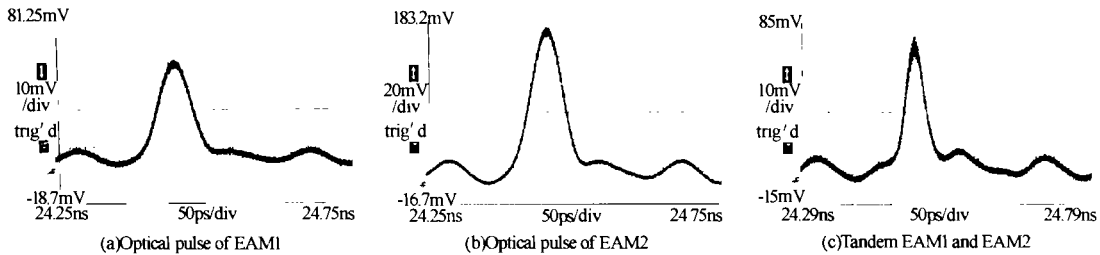


图 6 基于单 EAM1 (a), EAM2 (b) 和级联 EAM1, EAM2 (c) 产生的短脉冲

Fig. 6 Optical pulse of EAM1 (a), EAM2 (b) and tandem EAM (c)

实验中发现, 在大的偏置电压下, 如果射频幅度较小, 虽然产生的光脉冲宽度较小, 但光脉冲的消光比较差, 且功率损耗较大, 不利于作为 OTDM 光脉冲源使用. 同时实验中发现, 通过级联的方法虽然可以减小脉冲宽度, 但仍然有一定的限度, 本实验中只产生了占空比为 8% 的短脉冲, 相对的消光比较高.

以上的结果均是将 EAM 频率响应特性考虑在内的结果, 实验与理论结果相符. 因此只要知道 EAM 的频响特性和其吸收特性, 其产生光脉冲特性可以根据理论模拟得出.

3 结论

本文从实验和理论上研究了基于单 EAM 和级联 EAM 的短脉冲产生技术, 在考虑 EAM 实际频率响应的情况下, 建立了一个计算 EAM 输出光脉冲宽度的理论模型. 利用实际测得 EAM 的频率响应曲线、吸收曲线和这个模型, 可以较为准确预测 EAM 输出光脉冲宽度, 实验结果与理论结果相符合, 证明这个模型是准确的.

利用单 EAM 产生短脉冲, 随 EAM 上反向偏压的增加, 脉冲宽度减小, 脉冲占空比接近 12%, 但脉冲消光比变差, 不利于作为 OTDM 光脉冲源使用. 而级联 EAM 则可产生占空比为 8% 的短脉冲, 同时

具有较高的消光比. 同时, 实验和理论结果都说明, 只有级联 EAM 的两个驱动信号之间保持确定相位差时, 才能获得最窄的光脉冲.

参考文献

- 1 Satoki Kawanishi. Ultrahigh-speed optical time-division-multiplexed transmission technology based on optical signal processing. *IEEE J Quantum Electronics*, 1998, **34** (11): 2064 ~ 2079
- 2 Tanaka H, Takagi S M, Suzuki and Matsushima. Optical short pulse generation by double gate operation of tandem connected electroabsorption modulators driven by sinusoidal voltages. *Electron Lett*, 1993, **29** (16): 1449 ~ 1451
- 3 Devaux F. Tandem of modulators for high on/off pulse generation. *Electronics Letters*, 1997, **33** (16): 1491 ~ 1492
- 4 Moodie D G, Ellis A D, Thurlow A R, et al. Electroabsorption modulators for ultra high speed OTDM system. *IEE Colloquium (Digest)*, 1995. 3/1 ~ 3/5
- 5 张帆, 伍剑, 林金桐. 基于电吸收调制器 (EAM) 的超短光脉冲特性研究. *光子学报*, 2000, **29** (7): 615 ~ 620
Zhang F, Wu J, Lin J T. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29** (7): 614 ~ 620
- 6 Kuznetsov M. Modeling short optical pulse generation using electroabsorption modulators. *Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001, OFC 2001, 2001, 3: WDD59-WD1-3*

Generation of Ultra-short Optical Pulse Based on Single and Tandem EA Modulator

Wang Anbin¹, Wu Jian¹, Zhang Fan¹, Lin Jintong¹, Zhao Lingjuan², Wang Wei²

¹ *Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing China 100876*

² *Institute of Semiconductor, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*

Received date: 2003-02-28

Abstract In order to investigate the performance of ultra-short optical pulse generated from the EA modulator, with the method of simulation and experiment, generation of ultra-short optical pulse based on single and tandem EA modulator is studied theoretically and experimentally by taking into account frequency response of EA modulator. Experimental results agree with theoretical results. Pulses with 12% and 8% duty cycle is generated by single and tandem EA modulator.

Keywords EA modulator(EAM); Ultrashort optical pulse; Frequency response



Wang Anbin was born in 1972, in Changchun. He received his B. S. and M. S. degree in department of applied physics from Harbin Institute of Technology, Harbin, China, in 1996 and 1998. Currently he is a Ph. D. candidate of Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT). At present, he is working on clock recovery and demultiplexing in optical time division multiplexing systems(OTDM), and EAM's application in optical communication systems.