

基于 SOA-MZI 的全光逻辑非门的设计

纪文珺¹, 刘开贤¹, 陈新桥²

(1. 中国传媒大学 数据科学与智能媒体学院, 北京 100024; 2. 中国传媒大学 信息与通信工程学院, 北京 100024)

摘要: 全光逻辑非门器件是全光信号处理中的核心器件之一, 在现代光通信网络中具有重要的应用。提出了一种仅用 2 个 3 dB 耦合器和 2 个半导体光放大器(SOA)即可实现全光逻辑非门的设计方法, 理论分析了该方法实现全光逻辑非门的原理, 并采用光子模拟软件验证了该方法的可行性: 系统在比特率为 1 Gb/s 时, Q 值可达 7.288, 且在完成逻辑功能的同时还能实现信号再生。

关键词: 半导体光放大器; 马赫-曾德尔干涉仪; 交叉增益调制; 光逻辑非门; 光子模拟

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)07-0014-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.07.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design of all-optical logic negater based on SOA-MZI

Ji Wenjun¹, Liu Kaixian¹, Chen Xinqiao²

(1. School of data science and intelligent media, Communication University of China, Beijing 100024, China;

2. College of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: All-optical negater logic device is one of the core devices in all-optical signal processing and has important applications in modern optical communication networks. This paper presents a design scheme for all-optical logic negater using only two 3 dB couplers and two semiconductor optical amplifiers (SOAs), the principle of realizing all-optical logic negater is analyzed theoretically, the photon simulation software is used to verify the feasibility of this method. The system at a bit rate of 1 Gb/s, the Q value can reach 7.288. In addition, the method can realize signal regeneration while completing logic function.

Key words: SOA; MZI; XGM; optical logic negater; photon simulation

0 引言

目前, 光信号的全光处理是全光通信网络的重点研究内容, 其中全光逻辑器件的研制是其核心技术之一。在全光逻辑器件中, 一类重要的基础器件是全光逻辑门, 比如与门、非门和或非门等等。这些全光逻辑门一般是通过光纤或者半导体材料的非线性效应来实现的, 比如四波混频(FWM)、交叉增益调制(XGM)、交叉相位调制(XPM)和交叉吸收调制(XAM), 或者它们的混合效应。半导体光放大器(SOA)具有损耗低、延时短、稳定性高和集成性好等优点, 被认为是非线性

元件中最有实用价值的一种。基于 SOA 的光逻辑门可分为 3 种类型: 利用 SOA 本身的非线性效应的全光逻辑门、基于采用 SOA 的光纤干涉仪的全光逻辑门和基于采用 SOA 的集成干涉仪的全光逻辑门^[1]。

因为基于采用 SOA 的马赫-曾德尔(MZI)的全光逻辑门具有结构简单、容易集成和性能稳定等优点, 所以被广泛研究。Wang 等人提出了用 2 个 2×2 的 3 dB 耦合器、2 个波分复用(WDM)耦合器和 2 个 SOA 进行组合, 通过差分调制的方法得到了基于 SOA 的碰撞型 MZI 的全光逻辑非门^[2]。这种方法虽然能够在高比特率下得到预期结果, 但是方法复杂, 所用器件较多, 降低了系统的可调谐性, 且在低比特率情况下不可避免地进行了一些不必要的操作。针对以上问题, 本文提出一种仅用 2 个 2×2 的 3 dB 耦合器和 2 个 SOA 就可以实现全光逻辑非门的新方法, 并通过 Optisystem 软件仿真验证了该方法的可行性。

收稿日期: 2019-04-08。

作者简介: 纪文珺(1994-), 女, 天津市蓟州区人, 硕士研究生, 主要从事光器件与光通信方面的研究。曾参与中国科学院声学研究所关于声传感器项目的前期调研工作和中国传媒大学 3D 人脸建模项目的前期调研工作, 目前正在中国传媒大学声学研究所关于无人船水下避障算法项目的算法设计工作。研究生期间荣获校二等奖学金和校三等奖学金。



1 全光逻辑非门的设计

1.1 SOA 的交叉增益调制

SOA 工作原理如图 1 所示。正向电流使 N 区的自由电子增多,进入 PN 结与空穴结合,并以光子的形式释放能量。在输入光的感应下形成受激辐射,释放出的光子与入射光同频、同向、同相位、同偏振方向和同模式。同时,光信号前进过程中继续受感应而产生受激辐射,产生更多的光子,使输入光信号被放大。当注入电流恒定时,若光功率过大,放大器的增益就会出现饱和甚至下降,这种饱和现象是由于受到载流子增益恢复时间限制而造成的。

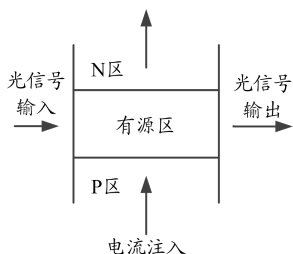


图 1 SOA 工作原理图

当有 2 束功率不同的光信号同时同向输入到 SOA 中时,功率大的光作为信号光,功率小的光作为探测光。放大器有源区的载流子浓度因为大功率信号光的“1”脉冲放大而降低,使同时进入的小功率探测光的增益达到饱和;对信号光“0”脉冲放大而消耗的载流子浓度不大,使探测光可以达到未饱和下的增益,因此小功率的探测光被大功率信号光调制了。这就是 SOA 的增益饱和效应,简称 XGM,即本文设计的全光逻辑非门的原理。

1.2 全光逻辑非门的设计

本文设计的光逻辑非门主要由 2 个 2×2 的 3 dB 耦合器和 2 个 SOA 组成,如图 2 所示。耦合器 1 的两输出端口分别接 SOA1 和 SOA2 后,再与耦合器 2 的输入端口相连,构成马赫-曾德尔干涉仪(MZI)。该全光逻辑非门的工作原理为:耦合器 1 的上、下两端分别注入信号光和探测光,初始相位均设为零。信号光采用大功率的控制脉冲信号,探测光采用小功率的时钟脉冲信号。由 3 dB 耦合器的性质可知,耦合器 1 的上输出端口输出的信号相位滞后时钟信号相位 90° ,耦合器的下输出端口输出的信号相位滞后控制信号相位 90° 。SOA 的 XGM 效应在 MZI 的上、下两臂中均存在;当控制光信号脉冲为“1”时,使 SOA 达到增益饱和,因此时钟光信号脉冲没有被放大,甚至可能会使

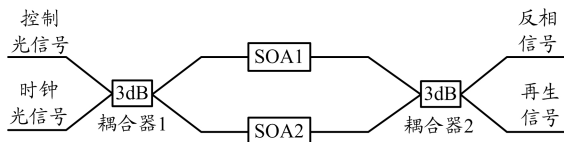


图 2 全光逻辑非门设计框图

其增益降低;当控制光信号脉冲为“0”时,SOA 对时钟光信号脉冲又恢复为增益状态。这个阶段相当于一个波长转换器,控制光信号中携带的信息转移到了时钟光信号上,但是转换后的信号与原信号反相。从 SOA 输出的 2 组光信号分别注入耦合器 2 的两输入端。依据 3 dB 耦合器的性质,从耦合器 2 的上输出端口输出的信号相位滞后 MZI 下臂相位 90° ,滞后了控制信号相位 180° ,因此控制信号就被消除了,留下了携带控制信号信息的反相调制信号,即实现了全光逻辑非门。而从下输出端口输出的信号相位滞后 MZI 上臂相位 90° ,滞后了时钟信号相位 180° ,时钟信号就被消除了,实现了控制信号的再生^[9]。

2 仿真实验

本文参照系统设计框图(图 2),采用 Optisystem 光子模拟软件搭建全光逻辑非门系统。信号比特率设为 1 Gb/s。控制光脉冲序列设为 000000000000100001100010100011110010001,占空比设为 0.33,光载波的频率为 1550 nm、功率为 0.05 W。时钟光脉冲信号是频率为 1550 nm、功率为 0.0001 W 的光脉冲。SOA 的注入电流为 0.15 A。

图 3(a)为在 1 Gb/s 比特率下控制光脉冲信号的波形图。图 3(b)为控制光脉冲信号和时钟光脉冲信号经过耦合器 1 后的波形图。图 3(c)为信号经过 SOA,受到 XGM 后的波形图,可以看到时钟光脉冲信号在控制光脉冲信号为“1”时被压缩了。图 3(d)为经过耦合器 2 后,上输出端口输出的原控制信号的反相信号波形图,可以看出此系统能够实现全光逻辑非门。图 3(e)为耦合器 2 的下输出端口输出的信号波形图,可以看出输出的信号为原控制光脉冲信号的再生信号,表明此系统能够在产生原控制信号的反相信号的同时实现信号再生。图 3(f)为反相信号的眼图,可以看出此系统性能良好。

为了探测所设计的光逻辑非门的信号频率范围,我们改变系统的比特率后进行系统仿真。图 4(a)~图 4(c)分别是比特率为 2.5 Gb/s、5 Gb/s 和 7.5 Gb/s 下输出的反相信号的眼图。

对比在不同比特率下的反相信号及其眼图,可以发现随着比特率的增加,反相信号的质量逐渐下降,在比特率为 1 Gb/s 时效果最好,表明该方法在高比特率情况下的传输性能较差,限制信号质量的主要原因是 SOA 的增益恢复时间。

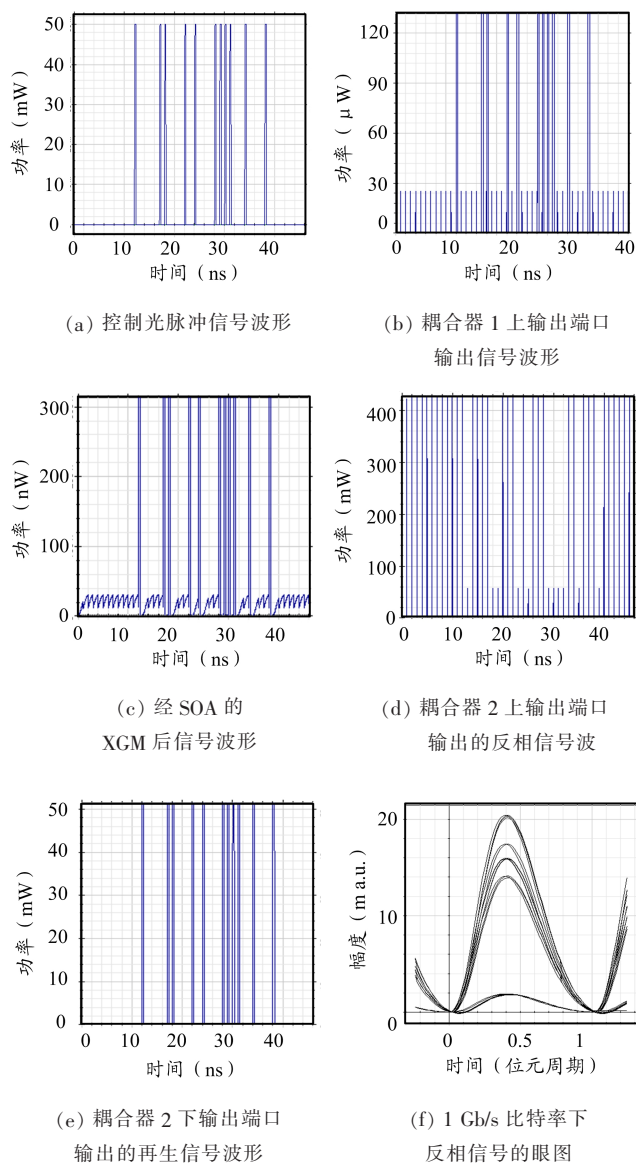
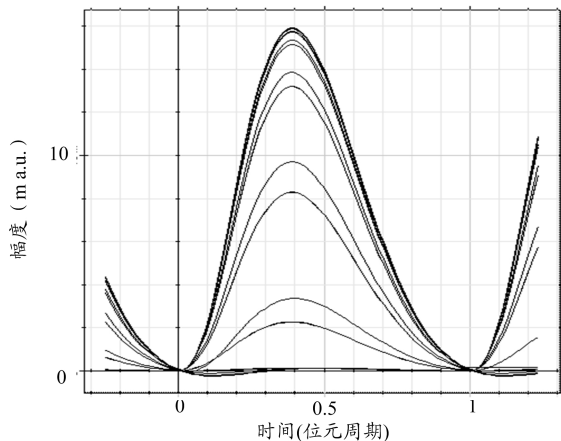
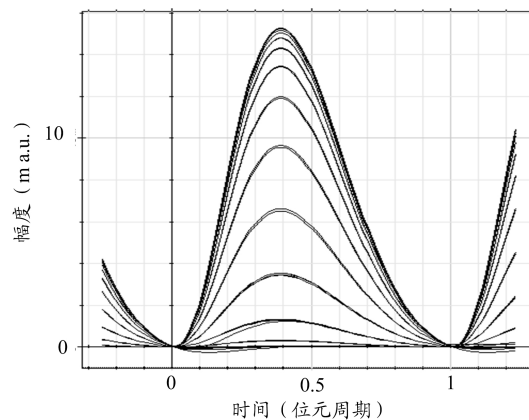


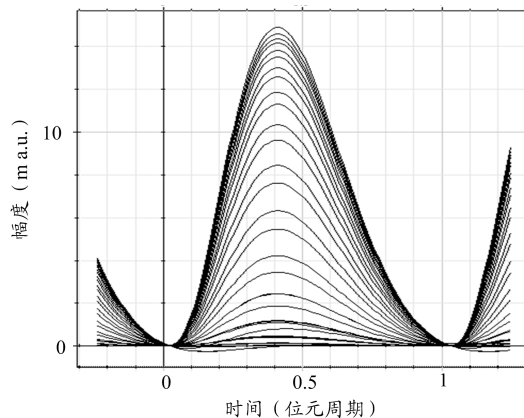
图 3 仿真结果



(a) 2.5 Gb/s 比特率下反相信号眼图



(b) 5 Gb/s 比特率下反相信号眼图



(c) 7.5 Gb/s 比特率下反相信号眼图

图 4 反向信号眼图

3 结束语

本文提出了仅用 2 个 2×2 的 3 dB 耦合器和 2 个 SOA 就可以实现全光逻辑非门的新方法, 理论分析了该方法的可行性。根据所提的方法, 采用 Optisystem 光子模拟软件, 设计了实现全光逻辑非门的系统。仿真结果表明: 在比特率为 1 Gb/s 时效果最优, 并在得到反相信号的同时能够再生原始信号。本方法不需要使用波分复用器, 所需元件较少, 大大增加了系统的可调谐性。但比特率逐渐提高时系统性能逐渐降低, 因此, 本方法在低比特率情况下性能优于其它方法。本方法在全光网络和逻辑处理中具有重要的应用前景。

参考文献:

- [1] 王曦, 车晓璇. 一种基于 SOA-MZI 的新型全光逻辑非门分析[EB/OL]. (2017-07-10) [2019-03-20]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200707-185>.
- [2] 中国光学学会. 全国第十一次光纤通信暨第十二届集成光学学术会议(OFCIO'2003)论文集[C]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [3] PALLAVI S, DIXIT H K, TRIPATHI D K, et al. Design and analysis of all-optical inverter using SOA-based Mach-Zehnder interferometer [J]. Optik, 2013, 124: 1926-1929.