

文章编号: 1001-3806(2012)06-0825-03

基于线性光放大器全光逻辑或非门的仿真研究

李茜, 李海涛, 张银蒲, 申彦春
(唐山学院 信息工程系, 唐山 063000)

摘要: 为了实现全光逻辑的仿真运算, 基于 Simulink 模块可视化的特点, 根据线性光放大器交叉增益调制原理的理论模型, 采用模块搭建的方法, 实现了全光逻辑“或非”的运算。结果表明, 通过 Simulink 的模块搭建, 使其更好地仿真出逻辑“或非”输出结果; 适当地选择注入电流组合, 逻辑或非的运算效果越佳; 由于模块化的结构容易进行修改和扩充, 通过模块搭建用于更多的逻辑运算也是可行的。

关键词: 光学器件; 或非门; 交叉增益调制; 全光; 线性光放大器

中图分类号: TN722.3⁺2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.06.028

Simulation study on all optical logic NOR gates based on LOA

LI Xi, LI Hai-tao, ZHANG Yin-pu, SHEN Yan-chun

(Department of Information Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

Abstract: In order to simulate all-optical logic operation, based on visualization characteristics of the Simulink module, according to the theory of cross-gain modulation (XGM) of linear optical amplifiers (LOA), the logic NOR gate operation was achieved by means of modular building method. Results show that the Simulink module can be used to simulate better output results; Proper input current groups have the advantages to achieve better logic operation effect. Because the modular structure can be modified and expanded easily, modular building can be used in more logical operations too.

Key words: optical devices; NOR gate; cross-gain modulation; all optical; linear optical amplifier

引言

线性光放大器(linear optical amplifier, LOA)是一种新型半导体光放大器,目前在光放大领域中独显魅力,倍受人们关注。其使用内置的激光器结构^[1]。在行波半导体光放大器有源区引入垂直光场(vertical light, VCL)来形成增益钳制,以增大增益线性范围,减少信道间串扰。LOA 在非线性领域中的应用是当前国内外研究的焦点,其方案在波长转换、光信号再生、时钟信号恢复等实验中获得了比传统半导体光放大器(semiconductor optical amplifier, SOA)方案性能更加优秀的信号^[2-3]。Simulink 是 MATLAB 中的一种可视化仿真工具^[4],可以在仿真过程中随时观察仿真结果,广泛地用于通信仿真、数值信号处理、模糊逻辑等领域中。

因此,利用 Simulink 的可视化特点,结合基于交叉增益调制(cross-gain modulation, XGM)方案的简单结构,逻辑功能的实现仅依赖于光功率,而不需要精确地

控制光的相位等优势^[5-6]提出了实现两路信号的全光逻辑或非运算的方案。利用 Simulink 进行模块搭建,仿真基于 LOA-XGM 的全光逻辑或非门运算的结果。由于模块化的结构很容易进行修改和扩充,因此 LOA 还可以用于更多的逻辑运算。

1 仿真的理论模型

基于 LOA-XGM 的全光逻辑或非门的结构示意图如图 1 所示。作为探测光的连续光(continuous wave, CW) (波长 λ_1) 和作为强抽运光的信号光 A (波长 λ_2) 一起注入 LOA₁, 当信号光 A 为“1”时,会消耗 LOA₁ 载流子密度, CW 经过 LOA₁ 被饱和吸收, 输出为“0”; 只有当信号光 A 为“0”时, CW 才能经过 LOA₁ 得到放大, 输出为“1”, 因此第 1 级 LOA₁ 输出为 A 。当第 1 级输出的 A 作为探测光, 信号光 B (波长 λ_3) 作为强抽运光时, 第 2 级 LOA₂ 的输出为 $A \cdot B = A + B$, 即实现了信号光 A 和 B 的逻辑或非运算。

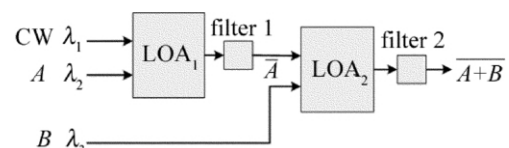


Fig. 1 Schematic diagram for logic NOR gates based on LOA-XGM

基金项目: 唐山市科学技术基金资助项目(111102005b)

作者简介: 李茜(1981-),女,硕士,讲师,主要从事光通信与光器件方面的研究。

E-mail: xixibei@126.com

收稿日期: 2011-12-20; 收到修改稿日期: 2012-03-31

2 Simulink 可视化模型的构建及仿真结果

利用 Simulink 并行处理和可视化的优点,建立 LOA 的模型。而且模块化的结构使模型很容易进行修改和扩充,例如,对该模型的边界条件做相应的修改,除去垂直光场后,可用于 SOA 仿真计算;也可扩充为光开关、光逻辑门或光交换等仿真模型。

根据 LOA-XGM 的理论模型^[5]及其结构示意图,从 Simulink 子模块库中的 Sources 子模块库、Math operation 子模块库、Sinks 子模块库等选取所需的 Simulink 中的子模块,搭建逻辑或非运算最外层结构模块如图 2 和图 3 所示,图中 P_{in}/P_{out} 为输入/输出功率, G_{in}/G_{out} 为输入/输出增益, $M(t)$ 为随时间变化的垂直光场密度, $N(t)$ 为随时间变化的载流子密度。

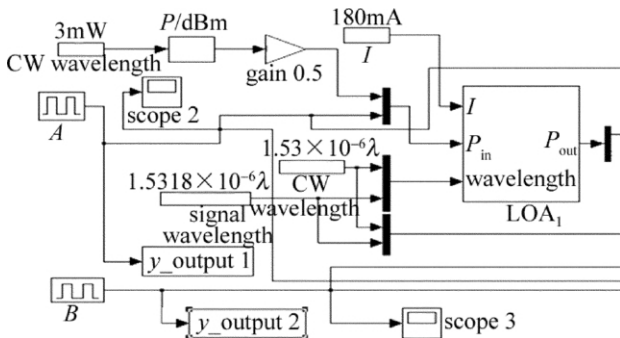


Fig. 2 Outer structure module of LOA₁

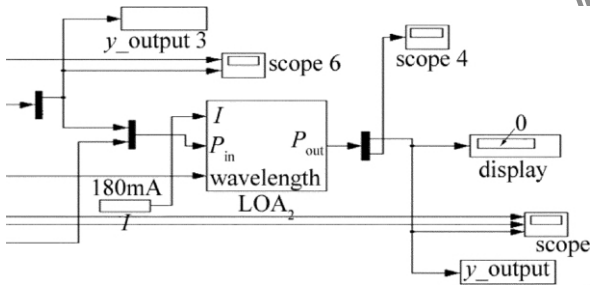


Fig. 3 Outer structure module of LOA₂

在 LOA 中载流子密度、光子密度和折射率不断变化,为了能更精确地描述光在介质中的传输过程,将 SOA 分段模型的方法应用于 LOA。即把 LOA 沿光传输方向分成 n 段,每段长度为 $\Delta L = L/m$, L 为有源区长

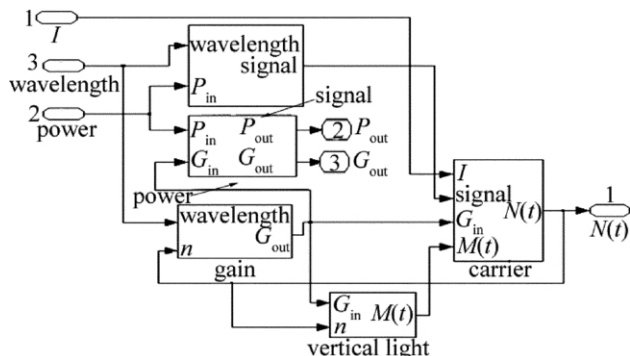


Fig. 4 Simulink module of No. i section

度。当 m 足够大时,在每一小段中近似认为载流子密度在空间上均匀分布^[7]。第 i 段的 Simulink 模块如图 4 所示。

按照图 1 所描述的结构,当 LOA₁ 和 LOA₂ 的工作电流均为 180mA, CW 光功率为 3mW 时,通过 Simulink 建模,对 LOA 的分段模型进行数值模拟,得到 LOA₁ 的输出波形 A 和逻辑或非门的模拟结果,如图 5 所示。图中纵坐标表功率,横坐标表时间。

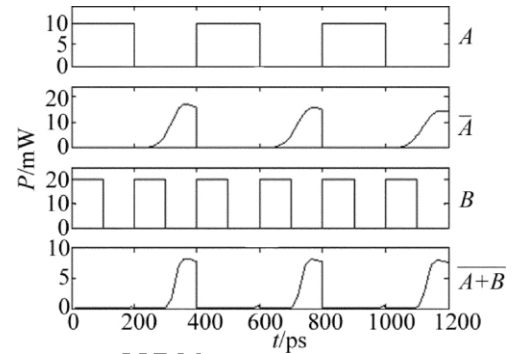


Fig. 5 Simulation results of all optical logic NOR gates of LOA

从图 5 中的信号光反向输出可以发现,周期序列光信号注入下,输出波形发生畸变,这主要是受到 LOA 中的载流子密度变化的影响。从图 5 的运算结果可以发现,信号光 A 经过 LOA₁ 后反向输出,并与信号光 B 在 LOA₂ 中实现了布尔逻辑或非运算,由于 LOA 的载流子密度充分恢复需要一定时间,所以或非输出波形也发生了畸变。

同时,发现 LOA₁ 和 LOA₂ 的不同注入电流的组合对于运算结果也有一定影响。如图 6a 所示,固定

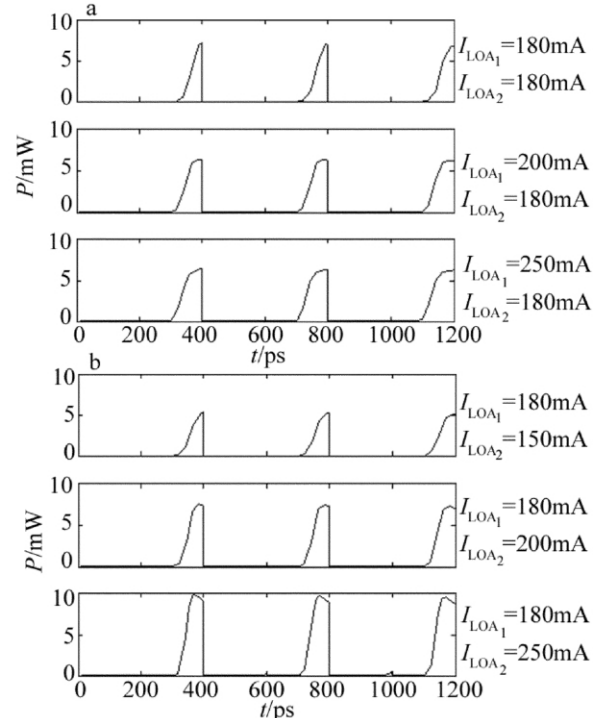


Fig. 6 Output results of all optical logic NOR gates of LOA with different injection currents

LOA₂ 的注入电流,逐渐增大 LOA₁ 的注入电流,可以看出输出波形的畸变减小,但是输出信号的功率也有减小的趋势,因为注入电流也是影响 LOA 载流子密度和增益的关键因素^[8]。LOA₁ 注入电流的增加,使得输出信号A的光功率增加,它将消耗更多的 LOA₂ 中的载流子,并使 LOA 的饱和程度加深,也使得运算结果的光功率降低。图 6b 中,保持 LOA₁ 的注入电流不变,逐渐增大 LOA₂ 的注入电流,同样也能使输出信号的质量提高,并且其电流的增加会使得运算结果的光功率增加,但是 LOA₂ 注入电流过大,会使输出波形产生多余的小峰。因此,适当的选择级联 LOA 的工作电流组合,有利于改善或非运算结果。

3 结 论

利用 Simulink 并行处理和可视化的优点,建立了 LOA 的模型,并提出基于 LOA-XGM 原理来实现全光逻辑或非门的仿真模型,利用 Simulink 模块构建实现了 LOA 全光逻辑或非门的运算。结果表明:将 SOA 的分段模型应用于 LOA,并对模型进行改进,提高了计算精度。适当地选择级联 LOA 的工作电流组合,也有利于改善或非运算结果。由于模块化的结构很容易进行修改和扩充,因此 LOA 可以用于更多的逻辑

运算。

参 考 文 献

- [1] FRANCIS D, DIJAILI S P, WALKER J D. A single-chip linear optical amplifier[J]. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit 2001 A(13):1-3.
- [2] MINGSHAN Z, MERLIER J, MORTHER G, *et al.* All-optical 2R regeneration based on polarization rotation in a linear optical amplifier[J]. IEEE Photonic Technology Letters 2003, 15(2): 305-307.
- [3] TANGDIONGGA E, TURKIEWICZ J P, KHOE G D, *et al.* Clock recovery by a fiber ring laser employing a linear optical amplifier[J]. IEEE Photonic Technology Letters 2004, 16(2): 611-613.
- [4] YAO J, MA S H. Simulink modeling and simulation[M]. Xi'an: Xidian University Publishing House 2002:17-34(in Chinese).
- [5] LI X, PAN W, LI H T, *et al.* Study of all optical logic AND gate using LOA-based XGM[J]. Research and Progress of Solid State Electronics, 2009, 29(1): 1-5(in Chinese).
- [6] VILAFRANCA A, GARCES I, CABEZON M, *et al.* Multiple-bit all-optical logic based on cross-gain modulation in a semiconductor optical amplifier[J]. IEEE Transparent Optical Networks(ICTON), 2010, 16(8): 1-4.
- [7] DURHUUS T, MIKKELSEN B, JOERGENSEN C, *et al.* All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers[J]. Journal of Lightwave Technology, 1996, 14(6): 942-954.
- [8] ZHOU L F, PAN W, LUO B, *et al.* Theoretical analysis on all-optical XOR using linear optical amplifier[J]. Acta Optica Sinica 2006, 26(2): 895-902(in Chinese).