بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

طراحی و شبیه سازی گیت منطقی XOR مبتنی بر تقویت کننده‌های نوری نیمه‌هادی نقطه کوانتومی

مسعود خمری[۱]، محمدعلی منصوری‌بیرجندی[۲] و علیرضا طاوسی[۳]

[۱]دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر (masoud.khammari@pgs.usb.ac.ir)
[۲]دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر (mansouri@ece.usb.ac.ir)
[۳]دانشگاه ولایت، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (a.tavousi@velayat.ac.ir)

چکیده– در این مقاله به شبیه‌سازی گیت منطقی XOR مبتنی بر تقویت کننده‌های نوری نیمه‌هادی پرداخته شده است. تقویت کننده‌های نوری نیمه‌هادی با توجه به ویژگی‌های مثبت آن‌ها از قبیل راندمان بالا، ابعاد کوچک و قابلیت مجتمع سازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. شبیه سازی تقویت کننده نوری نیمه‌هادی نقطه کوانتومی بر اساس حل معادلات رانگ-کوتا مرتبه چهار انجام شده است. در ادامه به شبیه سازی گیت منطقی پرداخته می‌شود و نتایج را برای گیت XOR در طول موج ۱۲۸۰ نانومتر به دست آوردیم. نتیجه این است که سیگنال خروجی دارای ضریب کیفیت ۶۷ و توان ۵۱ میلی وات می‌باشد.

کلید واژه– نقطه کوانتومی، تقویت کننده نوری نیمه هادی، گیت منطقی، XOR .

Design and simulation of XOR logic gate based on quantum dot semiconductor optical amplifiers

Masoud Khammri[1], Mohammad Ali mansouri-Birjandi[2], Alireza Tavousi[3]

[1,2]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[3]Faculty of Engineering, Velayat University, Iranshahr, Iran

Abstract-This paper deals with the simulation of XOR logic gate based on semiconductor optical amplifiers. Semiconductor optical amplifiers are mainly considered due to their positive features such as high efficiency, small dimensions and integration capability. The quantum dot semiconductor optical amplifier simulation is performed based on solving the fourth-order Runge-Kutta equations in Matlab software. In the following, we simulate the XOR logic gate in optisystem software at 1280 nm wavelength for which we find that the output signal has a quality factor of 67 and a power of 51 mW.

Keywords: Quantum dot, semiconductor optical amplifier, logic gate, XOR.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

تقویت کننده‌های نوری نیمه هادی عناصر غیر خطی بسیار جذابی برای تحقق توابع منطقی مختلف هستند [۱]. این عناصر می‌توانند تغییرات ضریب شکست بالا به همراه بهره بالا را همزمان داشته باشد که این اثرات موجب افزایش نرخ بیت بدون تداخل می‌شود. رفتار غیرخطی SOA که به عنوان نقطه ضعف یک تقویت کننده در ناحیه خطی است، انتخاب خوبی برای کنترل کردن گیت‌های منطقی است. اثرات غیر خطی تقویت کننده نوری نیمه هادی که در طراحی گیت‌های منطقی از آن استفاده می‌شود XPM و XGM می‌باشد [۲]. یک نمونه از تداخل سنج‌هایی که از آن برای ساخت گیت‌های منطقی استفاده می‌شود، تداخل سنج ماخ زندر (MZI) می‌باشد که به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است [۴-۳]. معمولا در طراحی گیت‌های منطقی، تقویت کننده‌ها درون تداخل سنج قرار می‌گیرند. بهترین عملکرد تداخل سنج هنگامی اتفاق می‌افتد که هر یک از تقویت کننده‌ها بر روی یک بازوی تداخل سنج قرار گیرند[۵].

شبیه سازی تقویت کننده نوری نیمه هادی

افزاره‌ی مورد استفاده ما یک تقویت کننده نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی است که در ناحیه‌ی فعال آن از نقاط کوانتومی InAs استفاده شده است. روی هرکدام از لایه‌های نقاط کوانتومی یک لایه ی پوشاننده از جنس InGaAs رشد داده شده است. طول موج تراز پایه‌ی نقطه‌های کوانتومی استفاده شده در این تقویت کننده نوری نیمه هادی نزدیک به 1.3 μm است. تجزیه و تحلیل این تقویت کننده بر اساس حل همزمان معادلات نرخ برای احتمال اشغال الکترون در واحد حجم در لایه مرطوب با N_w و احتمال اشغال الکترون‌ها در لایه های پایه و تحریک به ترتیب با f و h نشان داده می‌شود. بنابراین معادلات نرخ برای لایه‌های پایه، تحریک و مرطوب را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial N_w}{\partial t}=\frac{J}{eL_\omega}-\frac{N_w(1-h)}{\tau_{w2}}+\frac{N_w h}{\tau_{2w}}-\frac{N_w}{\tau_{wR}} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{N_w L_w(1-h)}{N_Q\tau_{w2}}-\frac{N_w L_w h}{N_Q\tau_{2w}}-\frac{(1-f)h}{\tau_{21}}+\frac{f(1-h)}{\tau_{12}} \quad (۲)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t}=\frac{h(1-f)}{\tau_{21}}-\frac{f(1-h)}{\tau_{12}}-\frac{f^2}{\tau_{1R}}-a(2f-1)S \quad (۳)$$

که در آن، J چگالی جریان بایاس، N_Q چگالی نقطه کوانتوم‌ها در واحد سطح، L_w ضخامت موثر لایه فعال است، τ_{1R}، τ_{wR} به ترتیب طول عمر خود به خودی در لایه مرطوب و نقطه کوانتوم‌هاست. τ_{w2} و τ_{2w} به ترتیب زمان استراحت و زمان فرارحامل‌ها از لایه تحریک به لایه مرطوب می‌باشد. زمان استراحت و فرار حامل‌ها از لایه تحریک به لایه پایه را τ_{21} و τ_{12} نشان می‌دهیم. S نیز چگالی فوتون‌ها در ناحیه فعال است. c سرعت نور در فضای آزاد است، e بار الکترون است، ε_r گذردهی نسبی لایه فعال است، α_{int} ضریب جذب مواد تقویت کننده نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی، و α ضریب افزایش پهنای خط است (LEF) [۶].

با حل این معادلات می توان زمان بازیابی بهره و ترازهای انرژی، توان اشباع خروجی و خواص غیرخطی تقویت کننده‌های نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی را به دست آورد.

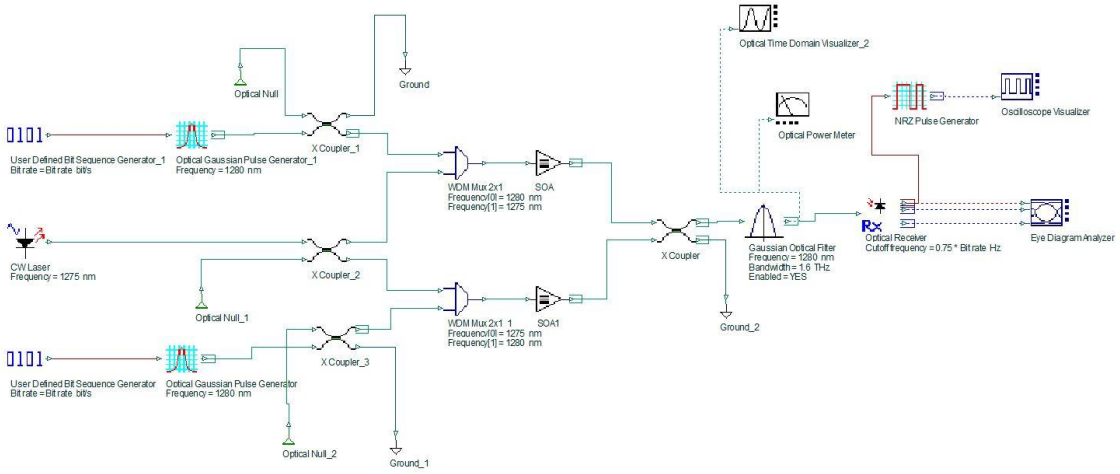
طراحی و شبیه سازی گیت XOR

در طراحی گیت منطقی XOR ، ما نیاز به سیگنال ورودی باینری داریم که برای تولید این سیگنال‌ها از یک مولد پالس باینری و یک مولد پالس گوسی که به صورت پشت سر هم قرار می‌گیرند استفاده می‌کنیم تا پالس مورد نظر ما را تولید کند. همچنین به عنوان یک ورودی به یک لیزر موج رونده

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

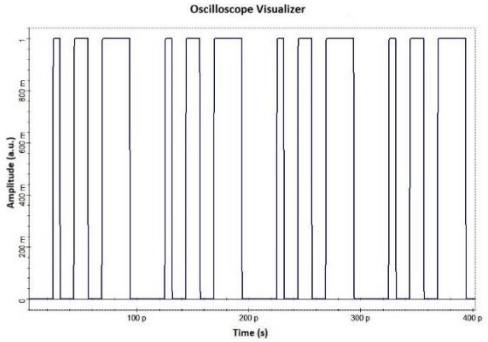
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

(CW) نیاز داریم. که این سیگنال لیزر CW پس از عبور کوپلرها به دو سیگنال جداگانه تقسیم می‌شوند و با سیگنال‌های اطلاعات ما ترکیب می‌شوند. در مرحله بعد سیگنال‌ها توسط مالتی پلکسر تقسیم طول موج انتخاب می‌شوند و به ورودی تقویت کننده ها که در هر بازوی تداخل سنج قرار دارد وارد می‌شود. سپس خروجی تقویت کننده‌ها توسط کوپلر با هم ترکیب می‌شوند و سیگنال خروجی از یک فیلتر نوری گوسی عبور داده می‌شود و به قسمت گیرنده وارد می‌شوند. سیگنال خروجی را به نمایشگر چشمی متصل می‌کنیم تا بوسیله‌ی آن ضریب کیفیت سیگنال را کنترل کنیم. همچنین برای مشاهده سیگنال خروجی آن را به یک مولد بدون بازگشت به صفر (NRZ) متصل می‌کنیم و خروجی آن را به یک نمایشگر جهت نمایش خروجی متصل می‌کنیم. نمای کلی یک گیت XOR در شکل ۱ نمایش داده شده است.

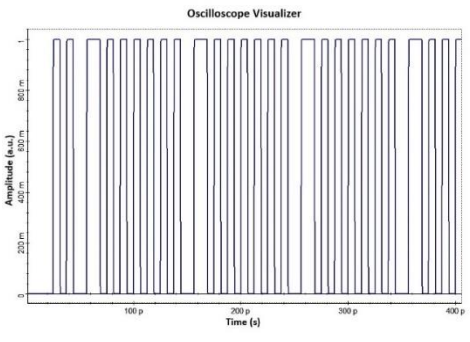


شکل ۱: نمای یک گیت XOR با استفاده از تقویت کننده نوری نیمه هادی و تداخل سنج ماخ زندر.

مطابق جدول شماره ۱ که جدول درستی گیت XOR است اگر سیگنال ورودی ۱ و ۲ یکسان باشند (یعنی هر دو ۰ یا ۱منطقی باشند)، SOA-MZI متعادل است و تقویت کننده‌ها تحت شرایط یکسانی هستند بنابراین تداخل مخرب دارند و به همین دلیل خروجی صفر می‌شود و در صورتی که سیگنال‌های ورودی ۱ و ۲ یکسان نباشد ضریب شکست یکی از تقویت کننده‌ها تغییر می‌کند در حالی که تقویت کننده دیگر بدون تغییر باقی می‌ماند و پالس CW مدوله می‌شود و به همین دلیل خروجی ۱ می‌شود، سیگنال‌های ورودی ۱ و ۲ در شکل ۲ و ۳ و سیگنال خروجی و نمودار چشمی آن در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



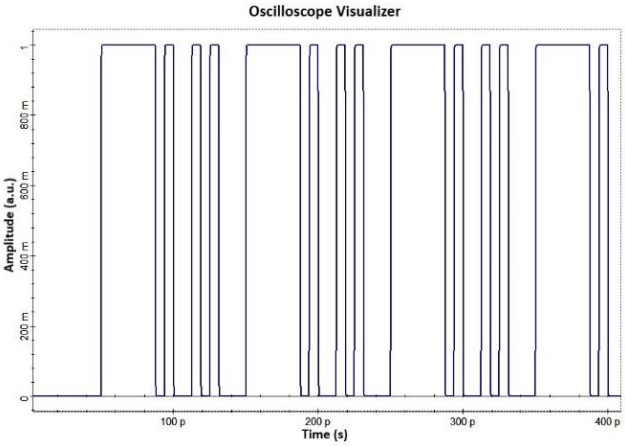
شکل ۲: سیگنال ورودی ۱ (۰۱۰۰۱۱۰۰۱۱۱۱۰۰۰۰)



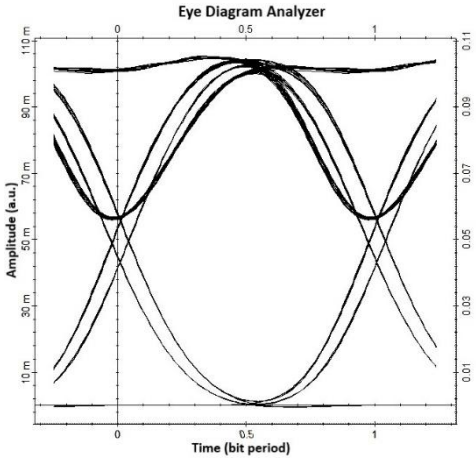
شکل ۳: سیگنال ورودی۲ (۰۱۰۱۰۰۱۱۰۱۰۱۰۱۰۱)

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



شکل ۴: سیگنال خروجی XOR.



شکل ۵: نمودار چشمی سیگنال خروجی گیت XOR .

جدول ۱: جدول درستی گیت XOR

خروجی	ورودی ۲	ورودی ۱
۰	۰	۰
۱	۱	۰
۱	۰	۱
۰	۱	۱

نتیجه‌گیری

با حل عددی معادلات نرخ برای تقویت کننده و به دست آوردن نتایج مورد نظر، از پارامترهای تقویت کننده در شبیه سازی گیت XOR استفاده کردیم. نتایج را برای سیگنال ورودی در طول موج ۱۲۸۰ نانومتر و توان ۰/۳ میلی وات بدست آوردیم و مشاهده شد که سیگنال خروجی گیت XOR دارای ضریب کیفیت ۶۷ و توان ۵۱ میلی وات می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] X. Zhang, “All-optical XOR gates based on dual semiconductor optical amplifiers”. Cogent Physics, Vol. 6, 2019.

[2] S. Kumar, “Semiconductor Optical Amplifiers (SOA) Performance Optimization in Optical Communication System”. International Journal of Computer Science Engineering Technology, Vol. 3, No. 9, 2012.

[3] A. Rostami, “Nanostructure Semiconductor Optical Amplifiers” Springer, 2011.

[4] A. Kotb, “All-optical XOR, NOR, and NAND logic functions with parallel semiconductor optical amplifier-based Mach-Zehnder interferometer modules”, Optics and Laser Technology, Vol.108, pp. 426-433, 2018.

[5] El-Saeed, “Optical logic gates based on semiconductor optical amplifier Mach–Zehnder interferometer design and simulation”. Optical Engineering, Vol.55, No.2, pp.025104, 2016.

[6] O. Qasaimeh, “Characteristics of cross-gain (XG) wavelength conversion in quantum dot semiconductor optical amplifiers”. IEEE Photonics Technology Letters, Vol.16, No.2, pp. 542-544, 2004.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]