طراحی سوئیچ تمام نوری با استفاده از خاصیت غیر خطی Kerr و DIT با نانو کریستال چهار ترازه

حسین خیری‌فام[1] کریم عباسیان[2] کاوه افتخاری[3]

۱- دانش آموخته کارشناشی ارشد- کارشناس ناظر بخش معاونت فنی و مهندسی رایتل – شرکت خدمات ارتباطی رایتل- تهران - ایران
H.Kheiryfam@rightel.ir
۲-دانشیار- دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، گروه مهندسی فتونیک- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران
K_Abbasian@tabrizu.ac.ir
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات- دانشگاه تبریز – تبریز - ایران
K.Eftekhari@gmail.com

چکیده:

در این مقاله یک سوئیچ دوحالته قابل کنترل تمام نوری بهبود یافته ای با استفاده از شفافیت القایی دو قطبی و اثر کر و اندرکنش نقطه کوانتومی با کاواک الکترودینامیک کوانتومی پیشنهاد گردیده است. سوئیچ تمام نوری دوحالته قابل کنترل از یک محیط غیرخطی سریع (کریستال‌های فتونیکی) و کاواک الکترودینامیک کوانتومی، کوپل شده با دو موج‌بر نوری، تشکیل شده است. نانو کریستال تزریق شده در فوتونیک کریستال کاواک را سیستم اتمی چهار ترازه در نظر گرفته ایم و سوئیچ نوری پیشنهادی را با روش تمام کوانتومی طراحی کرده‌ایم. به این صورت که هامیلتونین سیستم را نوشته و معادلات دینامیکی را می‌یابیم و با محاسبه احتمال انتقال برای دو موج‌بر عمل سوئیچ‌زنی نوری را با شبیه‌سازی در نرم‌افزار Matlab نمایش می‌دهیم.

در این مقاله با انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای اساسی یک سوئیچِ تمام نوریِ بهبود یافته، طراحی شده است. بعنوان مثال سرعت سوئیچ‌زنی با سیستم اتمی چهار ترازه مورد نظر با میدان کنترل اول در حد سه برابر و با میدان کنترل دوم در حد هفت برابر نسبت به دیگر سوئیچ‌های نوری افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: **سوئیچ تمام نوری، اثر کر، شفافیت القایی دو قطبی(DIT)، اثر اشتارک**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۹/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش مشروط : ۱۳۹۲/۲/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۲/۲۰
نام نویسنده‌ی مسئول: حسین خیری‌فام
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – تهران – خیابان ولیعصر (عج) – خیابان ارمغان غربی – دفتر مرکزی شرکت خدمات ارتباطی رایتل – ۰۹۲۰۹۲۰۲۲۶۰

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

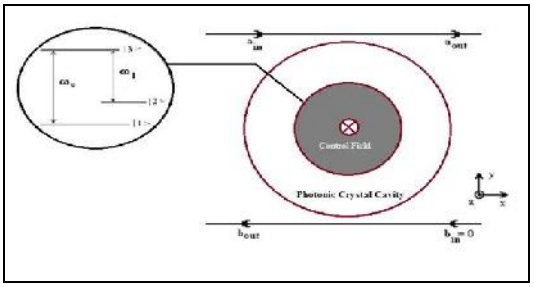
نیاز روز افزون به انتقال حجم وسیع اطلاعات، باعث توسعه شبکه‌های نوری شده است و طراحی سوئیچ‌های تمام نوری یکی از کلیدی‌ترین بخش ارتباطات در حال حاضر است که ساخت سوئیچ‌های سریع و با مصرف انرژی پایین یکی از اهداف این صنعت می‌باشد.

تاکنون سوئیچ‌زنی در این سیستم‌ها به صورت تمام الکترونیکی انجام گرفته است که دارای سرعت‌های متوسط و پایین بوده است. در این سوئیچ‌زنی ابتدا سیگنال‌های نوری به الکتریکی تبدیل می‌شوند و عملیات ذخیره‌سازی و سوئیچ‌زنی به صورت الکترونیکی انجام می‌پذیرد و مجدداً بعد از تبدیل به سیگنال نوری در مسیر دیگری انتشار می‌یابد که بسیار زمان‌بر بوده و با افزایش ظرفیت شبکه این نوع سوئیچ‌زنی جواب‌گوی نیاز شبکه نمی باشد که بهترین جایگزین، سوئیچ‌های تمام نوری هستند. مهمترین مزیت سوئیچ‌های تمام نوری آن است که مسیردهی سیگنال‌های نوری بدون تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی انجام می‌پذیرد. بنابراین مستقل از سرعت و پروتکل داده هستند. سوئیچ‌زنی نوری باعث کاهش تجهیزات شبکه و افزایش سرعت و در نتیجه افزایش ظرفیت و کاهش توان مصرفی شبکه می‌شود. همچنین حذف تبدیلات O/E ،E/O[1] [2]هزینه‌های سامانه را کاهش می‌دهد.

توسعه عرصه مهندسی فتونیک و سیستم‌های تمام نوری که نویدبخش تحقق شبکه‌های تمام نوری می باشد، ما را بر آن داشته که در این حوزه، سوئیچ تمام نوری کوانتومی بهبود یافته ای معرفی نماییم. سوئیچ تمام نوری با سرعت بالا و مصرف توان پایین نقش مهمی در شبکه‌های نوری آینده خواهند داشت. اخیراً تحقیقات زیادی برای طراحی ادوات تمام نوری جهت پردازش نوری صورت گرفته و به ویژه سعی شده است، از خواص غیر خطی نور مانند EIT[3] استفاده شود. اما به دلیل مشکل عدم تطابق سرعت گروه در EIT یکی از بهترین جایگزین‌ها شفافیت القائی دو قطبی (DIT[4]) و به کارگیری کاواک الکترودینامیک کوانتومی می باشد. در حوزه‌های محاسبات کوانتومی، پردازش اطلاعات کوانتومی، سوئیچ‌زنی کوانتومی و طراحی عملی قطعات نوری از خواص غیرخطی نور استفاده زیادی می‌شود. لذا در دهه های اخیر تحقیقات وافری براساس خاصیت غیرخطی صورت گرفته و تا تحقق عملی آن کارهای زیادی باید انجام گیرد که یکی از متداول‌ترین خواص غیرخطی، اثر کر بوده که نتیجه اثر XPM[5] و جذب دو فوتونی است [۳ و ۲]. مشکل اصلی در حصول این کاربردها ضعیف بودن خاصیت غیرخطی در مقایسه با خاصیت خطی مواد متداول است. خوشبختانه خاصیت غیر خطی مواد در کاربردهایی مانند پردازش اطلاعات کوانتومی و سوئیچ زنی براساس شفافیت القائی دوقطبی با چند فوتون و بعضاً با تک فوتون حاصل می‌شود. اثر غیرخطی کر با تعداد محدود فوتون در سیستم اتمی گازی با استفاده از شفافیت القائی الکترومغناطیسی مشاهده شده و ایده اصلی توسط اسمیت و امام اوغلی ارائه شده است [۵ و۴]. بررسی های اسمیت و امام اوغلو روی سیستم اتمی چهار ترازه نوع N امکان تقویت خواص غیر خطی مانند مدولاسیون فاز دو میدان نوری را در رژیم EIT ایجاد کرد. البته بعدا سوئیچ کوانتومی با سیستم اتمی چهار ترازه نوع N طراحی شد که دو فوتون را جذب می کرد. در این سیستم افزودن تراز اتمی چهارمی به سیستم سه ترازه اندرکنش غیر خطی بین میدان پروب ایجاد می‌کرد و فوتون‌های یک میدان نوری فوتون‌های میدان دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دانند. خواص غیر خطی نور با محبوس شدن فوتون در داخل کاواک تقویت می‌شود و با تزریق نقطه کوانتومی[6] دو ترازه در داخل کاواک می‌توان مسیر انتشار میدان نوری را از یک موجبر به موج-بر دیگر سوئیچ کرد. در این حالت شفافیت به دلیل تداخل مخرب میدان کاواک است که از ورود میدان به داخل کاواک جلوگیری می‌کند.

۲- تئوری و روابط مورد استفاده

در این مقاله، ما یک سوئیچ قابل کنترل تمام نوری بهبود یافته ای را پیشنهاد نموده‌ایم که طرح کلی آن در شکل (۱) نشان داده شده است. دو موجبر a و b با کاواک کریستالی فتونیک دوبعدی که در نانوکریستال‌های (نقاط کوانتومی) ۳و۴ ترازه کوپل شده‌اند، جفت می‌شوند.



شکل (۱): سیستم سوئیچ کاواک – موجبر پیشنهادی، شامل طرح کلی نانوکریستال‌های سه ترازه نوع Λ کوپل شده در کاواک PC

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

در این ساختار سیگنال ورودی در موجبر a منتشر می‌شود و میدان کنترل در جهت عمودی به کاواک PC [۷] اعمال می‌شود. در غیاب میدان کنترل، موجبرها شفاف هستند و کاواک PC غیر شفاف می باشد، بنابراین میدان سیگنال ورودی در موجبر a منتشر می‌شود. در حالیکه در حضور میدان کنترل، کاواک نسبت به میدان سیگنال ورودی شفاف می‌شود، میدان سیگنال ورودی به موجبرb از طریق کاواک PC، سوئیچ می‌شود. برای نشان دادن این فرآیند، یک سیستم اتمی سه ترازه در نظر می‌گیریم که با استفاده از ساختار مناسب نقاط کوانتومی می‌توانند تحقق یابند. در غیاب میدان کنترل، حالت نانوکریستالی می‌تواند با استفاده از حالت‌های ساده ترازهای $|1\rangle$، $|2\rangle$و $|3\rangle$ تشریح شوند. پس از بکارگرفتن میدان کنترل حالت‌های نانوکریستالی به حالت‌های پوشیده نمو می‌یابند که با استفاده از ترازهای $|a^0\rangle$، $|a^+\rangle$ و $|a^-\rangle$ قابل توصیف می‌باشند. حالت‌های پوشیده با استفاده از منابع [6-11] به ازای حالت‌های اتمی محض بدست می‌آیند:

$$\begin{aligned}|a^+\rangle &= \sin\theta\sin\varphi|1\rangle+\cos\varphi|3\rangle+\cos\theta\sin\varphi|2\rangle\\ |a^0\rangle &= \cos\theta|1\rangle-\sin\theta|2\rangle\\ |a^-\rangle &= \sin\theta\cos\varphi|1\rangle-\sin\varphi|3\rangle+\cos\theta\cos\varphi|2\rangle\end{aligned} \qquad (۱)$$

$|a^0\rangle$ حالت تاریک و دو حالتِ $|a^+\rangle$ و $|a^-\rangle$ جابجایی‌های بالا و پایین به ترتیب با انرژی‌های $\hbar\omega^+$ و $\hbar\omega^-$ می‌باشند که به صورت زیر است[6-11]:

$$\hbar\omega^{\pm}=\frac{h}{2}\left(\Delta\pm\sqrt{\Delta^2+\Omega_P^2+\Omega_C^2}\right) \qquad (۲)$$

زوایای θ و ϕ با روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$\tan\theta=\frac{\Omega_P}{\Omega_C} \qquad (۳)$$

$$\tan 2\varphi=\frac{\sqrt{\Omega_P^2+\Omega_C^2}}{\Delta} \qquad (۴)$$

فرکانس نوسان رابی جمعیت الکترونی بین دو حالت‌های نانوکریستالی با رابطه زیر معرفی می‌شوند:

$$\Omega_P=\frac{d_{13}E_P}{\hbar} \qquad (۵)$$

$$\Omega_C=\frac{d_{23}E}{\hbar} \qquad (۶)$$

که Ω_P، Ω_C، d_{13}، d_{23} و Δ به ترتیب فرکانس‌های رابی سیگنال و میدان‌های کنترل، ممان دوقطبی انتقال $|1\rangle-|3\rangle$، ممان دو قطبی $|2\rangle-|3\rangle$ و عدم تنظیم میدان با فرکانس تشدید می باشد.

حال می‌توان دید که چطور کاواک PC از یک ماده غیر شفاف به ماده شفاف تغییر می‌یابد که نتیجه‌ای از تغییر حالت-های نانوکریستالی با بکاربردن یک میدان کنترل قوی است. در نتیجه پس از جابجایی دادن سیگنال پروب مشدد با انرژی مابین حالت‌های اتمی پایه [۸] و برانگیخته، میدان ورودی از موجبر اصلی به موجبر دیگری از طریق کاواک انتقال می‌یابد و فرآیند سوئیچینگ کامل می‌شود. هامیلتونین سیستم سه ترازه را با استفاده از تقریبات موج چرخشی می‌توان به صورت زیر نوشت [۱]:

$$\begin{aligned}H=&\hbar\left(\left(\omega_{13}-i\frac{\Gamma}{2}\right)|3\rangle\langle 3|\right)+\left(\hbar\omega_{12}\right)|2\rangle\langle 2|+\\ &\hbar\left(\omega_0-i\frac{\kappa}{2}\right)C^+C+ig\hbar\left(C^+\sigma_-^{13}+\sigma_+^{13}C\right)+\\ &\hbar\Omega_1\left(\sigma_+^{23}e^{-i\omega_1 t}+\sigma_-^{23}e^{i\omega_1 t}\right)+\int_{-\omega_a}^{\omega_a}\hbar a^+(\omega)a(\omega)d\omega+\\ &\int_{-\omega_b}^{\omega_b}\hbar\omega b^+(\omega)b(\omega)d\omega+i\hbar\sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}\int_{-\omega_a}^{\omega_a}\left(a^+(\omega)C-C^+a(\omega)\right)d\omega+\\ &i\hbar\sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}\int_{-\omega_b}^{\omega_b}\left(b^+(\omega)C-C^+b(\omega)\right)d\omega\end{aligned} \qquad (۷)$$

C عملگرهای جابجاکننده دو قطبی، σ_+^{23} و σ_-^{23}، σ_+^{13}، σ_-^{13} کننده کاواک، به‌ترتیب عملگرهای محوکننده و خلق C^+ و ω_0 نرخ کاهش انرژی کاواک $k=\omega_0/Q$ فرکانس کاواک است، فاکتور کیفیت کاواک است. Q (بدون جفت شدن با کاواک) و بر با پهنای به اپراتورهای میدان برای مدِ دو موج $\hat{b}(\omega)$ و $\hat{a}(\omega)$ نمایند:باند مشخص اشاره دارند که روابط تبدیل زیر را ارضا می

$$\begin{aligned}\left[\hat{a}^+(\omega),\hat{a}(\omega')\right]&=\delta(\omega-\omega')\\ \left[\hat{b}^+(\omega),\hat{b}(\omega')\right]&=\delta(\omega-\omega')\end{aligned} \qquad (۸)$$

در هامیلتونین، جمله‌ی اول انرژی تراز تحریک سوم، جمله-ی دوم بیانگر انرژی تراز نسبتاً پایدار دوم با طول عمر زیاد است. انرژی تراز پایه، صفر فرض شده است. جمله سوم انرژی مد کاواک بوده و در جمله چهارم گذار $|1\rangle-|3\rangle$ دوقطبی با ضریب کوپلینگ g در حالت تشدید به کاواک کوپل شده است. در جمله پنجم میدان کنترلی به صورت غیر تشدید گذار $|2\rangle-|3\rangle$ دو قطبی را با فرکانس ω_l و فرکانس رابی Ω تحریک می‌کند.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

جمله‌های ششم و هفتم انرژی مدهای دو موج‌بر با پهنای باند محدود را نشان می‌دهند و جملات هشتم و نهم انتقال انرژی بین کاواک و موجبر بالایی و پایینی را نشان می‌دهند.

نرخ میرایی تشعشع سیستم که ناشی از برخورد سیستم با میدان‌های خارجی می‌باشد و با شدت جفت سازی و تراکم مد میدان‌های خارجی متناسب می‌باشند. بنابراین سرعت نقصان تشعشع از کاواک موجبر بصورت γ ثابت در نظر گرفته می‌شود. دو موجبر همسان می‌باشند بنابراین ω_ω را به عنوان فرکانس مرکزی برای هر دو آنها در نظر می‌گیریم.

بر پایه هامیلتونین مفروض، دینامیک‌های اپراتورهای $\hat{C}$، σ_-^{13} و σ_-^{23} با استفاده از معادلات هایزنبرگ بصورت زیر بدست می‌آیند:

$$\begin{aligned}
\frac{dC}{dt} &= -(i\omega_0+\gamma+\frac{\kappa}{2})C-\sqrt{\gamma}\,(a_{in}+b_{in})-ig\,\sigma_-^{13}\\
\frac{d\sigma_-^{13}}{dt} &= -(i\omega_{13}+\frac{\Gamma}{2})\sigma_-^{13}+ig\,\sigma_z^{13}C-i\Omega\,\sigma_-^{13}\sigma_+^{23}e^{-i\omega_1 t}\\
\frac{d\sigma_-^{23}}{dt} &= -(i\omega_{23}+\frac{\Gamma}{2})\sigma_-^{23}-ig\,\sigma_-^{23}\sigma_+^{13}C-i\Omega\;\sigma_-^{13}\sigma_+^{23}e^{-i\omega_1 t}
\end{aligned} \qquad (۹)$$

که میدان ورودی $\hat{a}_{in}$ و $\hat{b}_{in}$ به میدان خروجی $\hat{a}_{out}$ و $\hat{b}_{out}$ به صورت مرتبط هستند:

$$a_{out}-a_{in}\sqrt{\gamma}C \qquad (۱۰)$$

$$b_{out}-b_{in}=\sqrt{\gamma}C \qquad (۱۱)$$

با استفاده از تبدیل فوریه با برخی تقریبات و محاسبات ریاضی، معادلات (۱۲) و (۱۳) برای حالت خروجی موجبر بدست می‌آیند. فرض نموده‌ایم که سیگنال نوری برای انتقال الکترون‌ها از مد پایه به مد بالایی بسیار ضعیف می‌باشند و میدان کنترل به اندازه کافی از تشدید دور است. بنابراین انتقال جمعیت توسط میدان کنترل نادیده گرفته می‌شود [۱۲]:

$$a_{out}=\frac{-\gamma b_{in}+(i\delta_0+\kappa/2-\dfrac{g^2}{-i\delta_{13}+\Gamma/2-S})a_{in}}{(-i\delta_0+\gamma+\kappa/2-\dfrac{g^2}{-i\delta_{13}+\Gamma/2-S})} \qquad (۱۲)$$

$$b_{out}=\frac{-\gamma a_{in}+(i\delta_0+\kappa/2-\dfrac{g^2}{-i\delta_{13}+\Gamma/2-S})b_{in}}{(-i\delta_0+\gamma+\kappa/2-\dfrac{g^2}{-i\delta_{13}+\Gamma/2-S})} \qquad (۱۳)$$

که $S\left(\delta_{23},\Omega,\Gamma\right)$ با معادله (۱۴) ، تنها وابستگی میدان خروجی به میدان کنترل است که به عنوان جابجایی اشتارک شناخته می‌شود:

$$S=\frac{\Omega^2}{-i\delta_{23}+\Gamma/2} \qquad (۱۴)$$

که عدم تنظیم‌های مدکاواک، فرکانس‌های پروب و میدان کنترل از فرکانس‌هایِ رزونانس متناظر، به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\delta_0=\omega_c-\omega_0 \qquad (۱۵)$$

$$\delta_{13}=\omega-\omega_{13} \qquad (۱۶)$$

$$\delta_{23}=\omega-\omega_{23} \qquad (۱۷)$$

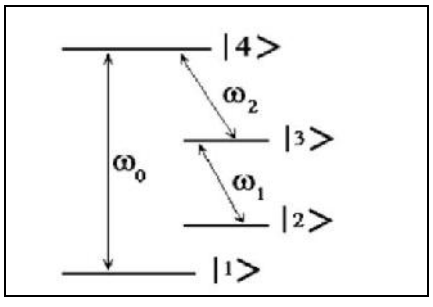
حال می‌توان ضرایب انتقال موجبرها را با معادلات زیر محاسبه نمود:

$$T_a=\frac{\langle a^{\dagger}_{out}a_{out}\rangle}{\langle a^{\dagger}_{in}a_{in}\rangle} \qquad (۱۸)$$

$$T_b=\frac{\langle b^{\dagger}_{out}b_{out}\rangle}{\langle a^{\dagger}_{in}a_{in}\rangle} \qquad (۱۹)$$

با توجه به روابط ذکر شده برای سیستم اتمی سه ترازه، برای سیستم اتمی چهارترازه که در شکل (۲) نشان داده شده است، هامیلتونین بصورت معادله (۲۰) نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned}
H=\hbar[&(\omega_{12}|2\rangle\langle 2|+\omega_{13}|3\rangle\langle 3|+\omega_{14}(|4\rangle\langle 4|-i\frac{\Gamma}{2})+\\
&(\omega_0-i\frac{\kappa}{2})C^{+}C+g(C^{+}\sigma_-^{14}+C\sigma_+^{14})+\\
&\Omega_1(\sigma_+^{23}e^{-i\omega_1 t}+\sigma_-^{23}e^{i\omega_1 t})+\Omega_2(\sigma_+^{34}e^{-i\omega_2 t}+\sigma_-^{34}e^{i\omega_2 t})+\\
&\int_{-\omega_a}^{\omega_a}\omega\,a^{+}(\omega)a(\omega)d\omega+\int_{-\omega_b}^{\omega_b}\omega\,b^{+}(\omega)b(\omega)d\omega\\
&i\sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}\int_{-\omega_a}^{\omega_a}(a(\omega)C^{+}+a^{+}(\omega)C)d\omega+\\
&i\sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}\int_{-\omega_b}^{\omega_b}(b(\omega)C^{+}+b^{+}(\omega)C)d\omega]
\end{aligned} \qquad (۲۰)$$



شکل (۲): طرح کلی نانوکریستال‌های ۴ ترازه کوپل شده در کاواک PC

که مشابه با سیستم اتمی سه ترازه، عبارت اول، انرژی تراز دوم و عبارت دوم، انرژی تراز سوم و عبارت سوم، انرژی تراز چهارم با نرخ میرائی آنی Γ و انرژی تراز اول صفر در نظر گرفته

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.2- Fall 2015
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

شده است و عبارت چهارم، انرژی مد کاواک و عبارت پنجم، انتقال دوقطبی از تراز ۱ به تراز ۴ که با قدرت کوپلینگ g به کاواک کوپل می‌شود. عبارت ششم، میدان کنترلی دوقطبی را با فرکانس $\omega 1$ و فرکانس نوسان رابی $\Omega 1$ درایو می‌کند. عبارت هفتم، میدان کنترلی دوقطبی را بطرف کاواک با فرکانس $\omega 2$ و فرکانس نوسان رابی $\Omega 2$ درایو می‌کند. عبارت هشتم و نهم، انرژی مدهای دو فیبرهای نوری با پهنای باند محدود نشان می‌دهد و عبارت دهم و یازدهم، انرژی کوپل شده کاواک با فیبرها که قدرت کوپلینگ مابین کاواک و فیبرها ثابت در گرفته شده است. برپایه هامیلتونین نشان داده شده، معادلات هایزنبرگ بصورت روابط (۲۱) و (۲۲) و (۲۳) داده می‌شود:

$$\frac{d\sigma_-^{14}}{dt} = -(i\omega_{14} + \frac{\Gamma}{2})\sigma_-^{14} + ig\,\sigma_z^{14}C - i\Omega_2\,\sigma_-^{13}\sigma_+^{14} \qquad (۲۱)$$

$$\frac{d\sigma_-^{23}}{dt} = -(i\omega_{23} + \frac{\Gamma}{2})\sigma_-^{23} - i\Omega_1\,\sigma_z^{23}e^{-i\omega_1 t} + i\Omega_2\left(\sigma_-^{23}\sigma_-^{34}\right)e^{-i\omega_2 t} \qquad (۲۲)$$

$$\frac{d\sigma_-^{34}}{dt} = -(i\omega_{34} + \frac{\Gamma}{2})\sigma_-^{34} - ig\,\sigma_-^{34}\sigma_+^{14}C - i\Omega_1\,\sigma_-^{23}\sigma_-^{34}e^{-i\omega_1 t} - i\Omega_2\,\sigma_z^{34}e^{-i\omega_2 t} \qquad (۲۳)$$

میدان‌های ورودی و خروجی به مد کاواک با معادلات(۱۰) و (۱۱) مرتبط می‌شوند. برای کاواک PC کوپل شده به نانوکریستال ۴ تراز خروجی‌های موجبر با معادلات (۲۴) و (۲۵) زیر بدست می‌آیند:

$$a_{out} = \frac{-\gamma b_{in} + (-i\delta_0 + \kappa/2 + \frac{g^2}{-i\delta_{14} + \Gamma/2 + SS})a_{in}}{(-i\delta_0 + \gamma + \kappa/2 + \frac{g^2}{-i\delta_{14} + \Gamma/2 + SS})} \qquad (۲۴)$$

$$b_{out} = \frac{-\gamma a_{in} + (-i\delta_0 + \kappa/2 + \frac{g^2}{-i\delta_{14} + \Gamma/2 + SS})b_{in}}{(-i\delta_0 + \gamma + \kappa/2 + \frac{g^2}{-i\delta_{14} + \Gamma/2 + SS})} \qquad (۲۵)$$

که تنها وابستگی میدان خروجی به میدان کنترل توسط $SS\left(\delta_{34}, \delta_{23}, \Omega_1, \Omega_2, \Gamma\right)$ با رابطه (۲۶) داده شده است:

$$SS = \frac{\Omega_2^2}{i\delta_{34} + \Gamma/2 - \frac{{\Omega_1}^2}{i\delta_{23} + \Gamma/2}} \qquad (۲۶)$$

عدم تنظیم‌ها مد کاواک، فرکانس‌های میدان کنترل و پروب از فرکانس‌های تشدید متناظر بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\delta_{14} = \omega - \omega_{14} \qquad (۲۷)$$

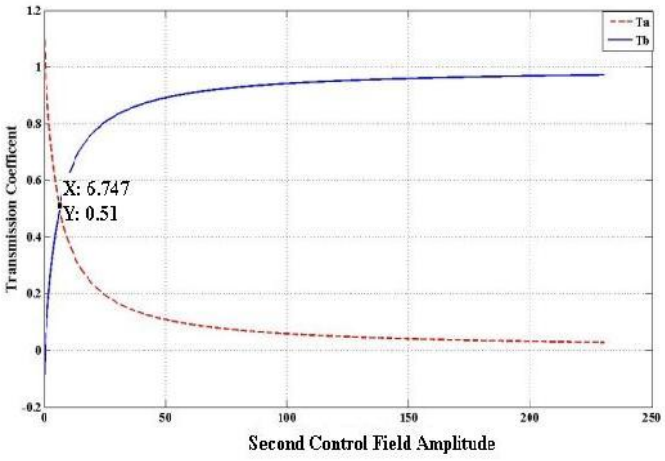
$$\delta_{14} = \omega - \omega_{14} \qquad (۲۸)$$

$$\delta_{34} = \omega_2 - \omega_{34} \qquad (۲۹)$$

$$\delta_{23} = \omega_1 - \omega_{2S3} \qquad (۳۰)$$

۳- شبیه‌سازی

در شکل (۳) ضریب انتقال سوئیچ با حضور نانو کریستال چهار تراز در داخل کاواک در مقایسه با دامنه میدان کنترلی دوم رسم شده است (با فرض ثابت بودن $\Omega_1 = 1\,GHz$).



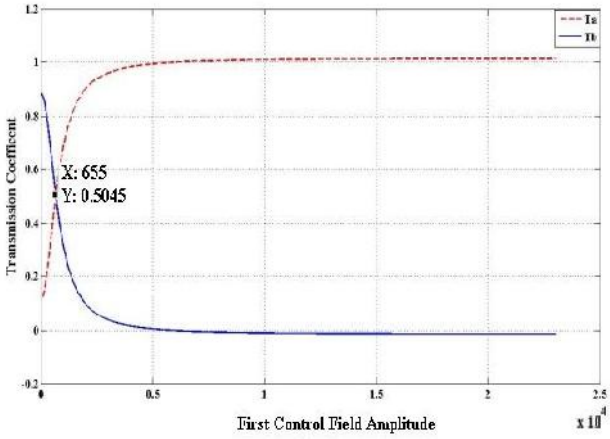
شکل (۳): ضریب انتقال سوئیچ با حضور نانو کریستال چهار تراز در داخل کاواک در مقایسه با دامنه میدان کنترلی دوم

می‌توان دید که در $\mathbf{S.C.F.A.} = 0$ [۹] میدان ورودی در فیبر نوری اصلی می ماند یا بعبارتی بطور مستقیم و بدون کوپل شدن به کاواک از فیبر بالائی عبور میکند $T_a \approx 1$. با افزایش دامنه میدان کنترلی دوم، میدان ورودی به کاواک کوپل می‌شود و در نتیجه T_a بطور پیوسته کاهش و T_b بطور پیوسته افزایش می‌یابد. وقتی که $\mathbf{S.C.F.A.} = ۶,۷۵$ میدان ورودی به هر دو خروجی می رسد $T_a = T_b = 0.5$. با افزایش فرکانس رابی و $\mathbf{S.C.F.A.} = 100$، ضریب انتقال T_b=۰,۹۸۸ و ضریب انتقال $T_a \approx 0.012$ می‌رسد و عمل سوئیچ‌زنی انجام می‌گیرد. در نتیجه سوئیچ تمام نوری کنترل شده بوسیله دو کنترلی با فرکانس رابی پائین تر طراحی کنیم و سرعت سوئیچ‌زنی با میدان کنترل دوم در حد هفت برابر نسبت به دیگر سوئیچ های نوری [13] افزایش یافته است. بدین صورت که مدت زمان عمل سویچینگ (گذار از

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

$T \approx 0.9$ به $T \approx 0.1$) به یک هفتم رسیده و با افزایش شیب منحنی در مرحله سویچینگ همراه بوده است.

در شکل (4) ضریب انتقال سوئیچ با حضور نانو کریستال چهار ترازه در داخل کاواک در مقایسه با دامنه میدان کنترلی اول رسم شده است(با فرض ثابت بودن $\Omega_2 = 1\,GHz$).



شکل (۴): ضریب انتقال سوئیچ با حضور نانو کریستال چهار ترازه در داخل کاواک در مقایسه با میدان کنترلی اول

می توان دید که در $F.C.F.A.=0$ ۱۰ میدان ورودی در فیبر نوری پائینی می‌ماند یا بعبارتی بطور مستقیم و با کوپل شدن به کاواک از فیبر پائینی عبور می‌کند $Tb \approx 0.9$. با افزایش فرکانس رابی Ω ۱و دامنه میدان کنترلی اول، میدان ورودی از کاواک جدا شده و در نتیجه Ta بطور پیوسته افزایش و Tb بطور پیوسته کاهش می‌یابد. وقتی که دامنه میدان کنترلی اول به مقدار $F.C.F.A.=$۶۵۵ میدان ورودی به هر دو خروجی می‌رسد و $Ta = Tb = 0.5$. با افزایش میدان کنترلی به مقدار $F.C.F.A.=$۳۵۰۰ ، ضریب انتقال Tb=۰,۹۸۸ و ضریب انتقال Ta ≈ 0.012 می‌رسد و عمل سوئیچ زنی بصورت معکوس انجام می‌گیرد. در نتیجه توانستیم سوئیچ تمام نوری کنترل شده بوسیله دو کنترلی با فرکانس رابی پائین تر طراحی کنیم. علی رغم فرکانس رابی کمتر و توان پایین‌تر، سرعت سوئیچ‌زنی با میدان کنترل دوم در حد سه برابر نسبت به دیگر سوئیچ های نوری [۱۳] افزایش یافته است. بدین صورت که مدت زمان عمل سویچینگ به یک سوم رسیده و با افزایش شیب منحنی در مرحله سویچینگ همراه بوده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله سوئیچ نوری تمام کوانتومی با استفاده از ساختار Λ و سیتم اتمی سه ترازه و چهار ترازه ی بهبود یافته ای را مورد بررسی قرار دادیم. ضرایب انتقال سوئیچ پیشنهادی برای نانوکریستال‌های چهار ترازه تزریق شده در سیستم موجبر-کاواک PC در مقابل میدان کنترل اول و دوم نشان داده شده‌اند. می-توان دید با انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای اساسی یک سوئیچِ تمام نوریِ بهبود یافته، طراحی شده است. علی‌رغم فرکانس رابی کمتر و متعاقباً دامنه میدان کنترلی پایین‌تر و مصرف توان کمتر،سرعت سوئیچ‌زنی با سیستم اتمی چهار ترازه مورد نظر با میدان کنترل اول در حد سه برابر و با میدان کنترل دوم در حد هفت برابر نسبت به دیگر سوئیچ‌های نوری افزایش یافته است.

مراجع

[1] M.O. Scully, M.S. Zubairy, Quantum Optics, Cambridge University Press,1997.

[2] G. S. Agarwal, K. T. Kapale, “Subwavelength atom localization via coherent population trapping” , opt. Phy. 39, 3437-3446, 2006.

[3] Jelena Vuckovic and Yoshihisa Yamamoto “Photonic crystal microcavities for cavity quantum electrodynamics with a single quantum dot” , APP. Phy, Letters, 82, 15, 2003.

[4] J. Vuckovic, M. Loncar, H. Mabuchi, and A. Schere, “ Design of photonic crystal microcavities for cavity QED”, Physical Review, 65, 016608, 2002.

[5] J. A. Sauer, K. M. Fortier, M. S. Chang, C. D. Hamely, and M. S. Chapman “cavity QED with optically transported atoms” , Phys. Rev A 69, 51804, 2004.

[6] A. Rostami, K. Abbasian, All-optical filter design: electromagnetically induced transparency and ring resonator, in: Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, 14–17 May 2007, Penang, Malaysia.

[7] R. Yadipour, K. Abbasian, A. Rostami, Z.D. KoozehKanani, Progress in Electromagnetics Research, PIER 77 (2007) 149.

[8] Yune Hyoun Kim, Nam Su Kim, Youngjoo Chung, Un-Chul Paek, Won-Taek Han, Optics Express 12 (4) (2004) 652.

[9] K. Abbasian, A. Rostami, Z.D. KoozehKanani, Progress in Electromagnetics Research 5 (2008) 25.

[10] H. Habibiyan, H. Ghafoori-Fard, K. Abbasian, A. Rostami, Ultrasmall and tunable all-optical photonic crystal based demultiplexer for DWDM systems, Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications, in press.

[11] A. Rostami, K. Abbasian, P.S. Khodashenas, F. Janabi-Sharifi, Proceedings of SPIE 7266 (2008) 726613.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[12] Wen-Xi Lai, Hong-Cai Li, Rong-Can Yang, Optics Communications 281 (2008).
[13] K. Eftekhari, K. Abbasian, A. Rostami, Opt. Commun., doi:10.1016/j.optcom.2009.12.064, 2009.

زیرنویس‌ها

[1] **Optical to Electrical Conversion**
[2] **Electrical to Optical Conversion**
[3] **Electromagnetically Induced Transparency**
[4] **Dipole Induced Transparency**
[5] **Cross-Phase Modulation**
[6] **Quantum Dot**
[7] **Photonic Crystal**
[8] **Ground Atomic**
[9] **Second Control Field Amplitude**
[10] **First Control Field Amplitude**

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]