

## طراحی و شبیه سازی دمدولاتور دامنه تمام نوری مبتنی بر EIT

محمد مهدوی هزوه<sup>۱</sup>، عبدالله علیزاده<sup>۱</sup>، مصطفی صحرائی<sup>۲</sup>، مژگان مومنی دمنه<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بناب، انتهای بزرگراه ولایت، دانشگاه بناب، گروه مهندسی برق - الکترونیک، کد پستی ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷ - تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

چکیده - در این مقاله با بهره جویی از خاصیت EIT (شفافیت القایی) دمدولاتور تمام نوری طراحی شده است. در قسمت ارسال کننده (مدولاتور) اطلاعات با کمک اثر خود فازی یا SPM المان غیر خطی بر روی فاز پالس های نوری قرار می گیرد، که این لیزر از طریق سیستم های مخابراتی مانند فیبر نوری ارسال می گردد. اطلاعات ارسالی که بصورت فاز در پالس های لیزری در آمده در قسمت دریافت کننده، بعنوان لیزر تزویج کننده برای محیط EIT مورد استفاده قرار می گیرد. در قسمت گیرنده که نیاز به عمل دمدولاسیون است از یک پرتو نور لیزر با فاز مشخص بعنوان کاوشگر، و از سیگنال دریافتی از کانال مخابراتی بعنوان لیزر تزویج کننده استفاده شده است. ضریب شکست محیط EIT، با توجه به اختلاف فاز نور کاوشگر با سیگنال دریافتی از فیبر نوری، تغییر می کند و میزان نور عبوری از EIT به اختلاف فاز سیگنال کاوشگر و تزویج شونده که همان دیتا می باشد وابسته خواهد شد. نشان داده ایم که دامنه لیزر خارج شونده از محیط EIT متناسب با میزان اختلاف فاز نسبی میان میدان های کاوشگر و تزویج کننده و در نتیجه متناسب با اطلاعات سوار شده بر لیزر تزویج کننده خواهد بود.

کلید واژه- دمدولاسیون تمام نوری، دمدولاسیون دامنه، شفافیت القایی،

## Design and Simulation of all optical Amplitude Demodulator based on Electro Magnetic Transparency (EIT)

Mohammad Mahdavi Hezave<sup>1</sup>, Abdollah Alizadeh<sup>1</sup>, Mostafa Sahraei<sup>2</sup>, Mozghan Momeni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab 5551761167, Iran, email:

[a\\_alizadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:a_alizadeh@tabrizu.ac.ir), <sup>2</sup> Institute of Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract- All optical amplitude demodulator based on electromagnetic induced transparency (EIT) has been presented in this paper. The data signal, modulated on the phase of optical pulses by using self-phase modulation (SPM) using a nonlinear medium. The phase modulated data transmitted by optical waveguides like optical fibers. Received optical pulses with phase modulation, have been used as coupler laser for receiver EIT demodulator. Designed demodulator have been used laser with a specified phase as probe laser. Dependence of transparency of EIT medium or refraction index, to phase difference of probe and coupling laser have been proved. Phase difference between probe laser and coupler laser determine the refraction index of EIT medium. the intensity of transmitted probe laser from EIT medium will be depend on received signal phase, which is proportional to the amplitude of signal before applying to SPM non-linear modulator.

Keywords: All optical demodulation, AM demodulation, Electromagnetic Induced Transparency

## ۱- مقدمه

آرایش سطوح انرژی با ترازهای  $\langle 1 \rangle$ ،  $\langle 2 \rangle$  و  $\langle 3 \rangle$  نشان داده شده اند. تراز پایین  $\langle 1 \rangle$ ، تراز بالا  $\langle 3 \rangle$  و تراز میانی  $\langle 2 \rangle$  می-باشد. دیاگرام سطح انرژی سامانه اتمی سه تراز  $V$ ، بدین صورت است که میدان کاوشگر ضعیف  $\vec{E}_p$  از تراز  $\langle 1 \rangle$  به تراز  $\langle 2 \rangle$  و میدان قوی تزویج کننده  $\vec{E}_c$ ، از تراز  $\langle 2 \rangle$  به تراز  $\langle 3 \rangle$  اعمال می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود تراز  $\langle 1 \rangle$  به وسیله نور ضعیف کاوشگر با دامنه‌ی میدان  $\vec{E}_p$  و فرکانس رابی  $\Omega_p = \frac{\vec{E}_p \cdot \vec{\mu}_{12}}{2\hbar}$  به تراز  $\langle 2 \rangle$ ، تراز  $\langle 1 \rangle$  به وسیله نور همدوس قوی با دامنه‌ی میدان  $\vec{E}_c$  و فرکانس رابی  $\Omega_c = \frac{\vec{E}_c \cdot \vec{\mu}_{13}}{2\hbar}$  به تراز  $\langle 3 \rangle$  کوپل شده‌اند. فرآیندهای واپاشی (نرخ گسیل خود به خودی) از تراز میانی  $\langle 2 \rangle$  به تراز پایین  $\langle 1 \rangle$  و از تراز بالا  $\langle 3 \rangle$  به تراز پایین  $\langle 1 \rangle$  وجود دارند که به ترتیب با  $\gamma_{21}$  و  $\gamma_{31}$  نشان داده می‌شوند. رفتار دینامیکی سیستم به وسیله معادلات حرکت ماتریس چگالی توصیف می‌شود:

$$\dot{\rho} = \frac{-i}{\hbar} [H, \rho] + L_p \quad (1)$$

در این رابطه  $H$  هامیلتونین اندرکنشی و  $L_p$  سهم واهلش در سیستم است معادلات ماتریس چگالی تحت تقریب موج چرخان و تقریب دو قطبی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} \rho'_{22} = & -\Gamma_{21}\rho_{22} - P\gamma_{23}(\rho_{32} + \rho_{23}) + i\Omega_2\rho_{12} \\ & -i\Omega_2^*\rho_{21} - r_2\rho_{22} + r_2\rho_{11} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho'_{33} = & -\Gamma_{31}\rho_{33} - P\gamma_{23}(\rho_{23} + \rho_{32}) + i\Omega_3\rho_{13} \\ & -i\Omega_3^*\rho_{31} - r_3\rho_{33} + r_3\rho_{11} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho'_{31} = & -\left(\frac{2r_3 + r_2 + \Gamma_{31}}{2} + i\Delta_3\right)\rho_{31} - P\gamma_{23}e^{-i\delta t}\rho_{21} \\ & -i\Omega_3(\rho_{33} + \rho_{11}) - i\Omega_2e^{-i\delta t}\rho_{32} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \rho'_{32} = & -\left(\frac{r_3 + r_2 + \Gamma_{31} + \Gamma_{21}}{2} + i\omega_{32}\right)\rho_{32} \\ & -P\gamma_{23}(\rho_{22} + \rho_{33}) + i\Omega_3e^{i\delta t}\rho_{12} - i\Omega_2^*e^{i\delta t}\rho_{31} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\rho_{11} + \rho_{22} + \rho_{33} = 1 \quad (6)$$

در روابطه (۲) تا (۵) پارامترهایی چون  $\gamma_{ij}$  بیان کننده نرخ گسیل خودبه‌خودی از تراز  $\langle i \rangle$  به تراز  $\langle j \rangle$ ،  $\Gamma_{ij}$  بیان کننده

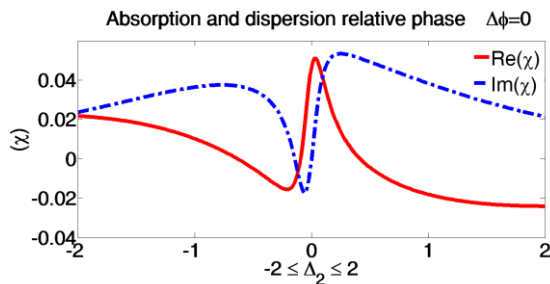
در طول سالهای گذشته شکلهای مختلفی از سیستمهای مخابراتی عرضه شده است علت اصلی این حرکت و پیشرفت، نیاز به نقل و انتقال اطلاعات و پیامها به فاصله های دورتر و افزایش سرعت انتقال و حجم بیشتری از اطلاعات در واحد زمان (ظرفیت سیستم) بوده است [1]. گسترش ارتباطات و راحتی انتقال اطلاعات از طریق سیستم های انتقال و مخابرات فیبر نوری یکی از پر اهمیت ترین موارد مورد بحث در جهان امروز است. در شبکه های مخابرات نوری اطلاعات می بایست به صورت پالسهای نوری ارسال و دریافت شوند از این رو احتیاج به مدولاتورهای نوری و دمدولاتورهای نوری امری اجتناب ناپذیر می باشد [2]. این امر باعث شده است تا در این مقاله روش جدیدی برای پیاده سازی دمدولاتور دامنه (AM) تمام نوری، با استفاده از خاصیت شفافیت القایی الکترومغناطیسی (EIT) ارائه و شبیه سازی شود. در این سیستم جدید، عمل مدوله کردن توسط SPM و دمدوله کردن توسط خاصیت EIT انجام می گیرد که هر دو به صورت تمام نوری انجام می گیرد. در ساختار ارائه شده لیزری که در محیط EIT باید نقش تزویج کننده یا کوپلاژ را در سیستم اتمی بر عهده داشته باشد، همان پالسهای نور دریافتی از مدولاسیون SPM می باشد که در اثر مدولاسیون خود فازی، اطلاعات دامنه ارسالی توسط مدولاسیون SPM بر روی فاز این پالسها قرار داده شده است [3]. اختلاف فاز ایجاد شده بین پالس های دریافتی و لیزر پروب اعمال شده به EIT بر میزان شفافیت محیط EIT طراحی شده اثر گذشته و سهم شدت عبوری لیزر پروب اعمال شده از این محیط، متناسب با مقدار شفافیت EIT تغییر نماید و در نتیجه دامنه سیگنال خروجی محیط EIT متناسب با اطلاعات ارسالی خواهد شد.

## ۲- مدل و معادلات حاکم

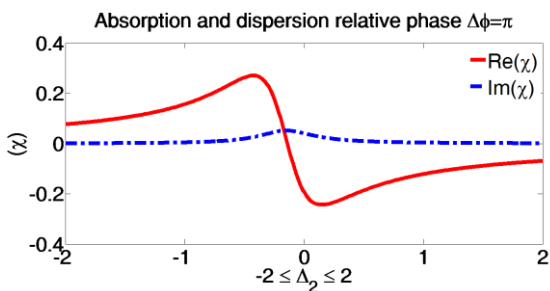
در محیط EIT میدان لیزری همدوس قوی طوری با میدان ضعیف تداخل می کند که باعث شفاف شدن محیط می شود و میدان کاوش ضعیف بدون اینکه جذب شود از محیط غیر خطی عبور می کند. یک سامانه (V) وی\_مانند شکل ۱ را در نظر می گیریم. دیاگرام ترازهای انرژی سامانه V در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد. مطابق شکل ۱،

### ۳- نتایج و بحث

با توجه به رابطه (۷) خروجی کاپا در اختلاف فاز های  $\pi$  و صفر در یک بازه  $-2 \leq \Delta_2 \leq 2$  به ترتیب با مقادیر  $\Delta_3 = 0.1\gamma$ ,  $\gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{23} = \gamma = 1 \text{ meV}$ ,  $\Omega_3 = 3\gamma$ ,  $\Gamma_{13} = \Gamma_{23} = 5\gamma$  و  $\Omega_2 = 0.2\gamma$  مورد بررسی قرار گرفت، نتایج در شکل ۲ و ۳ آورده شده است.



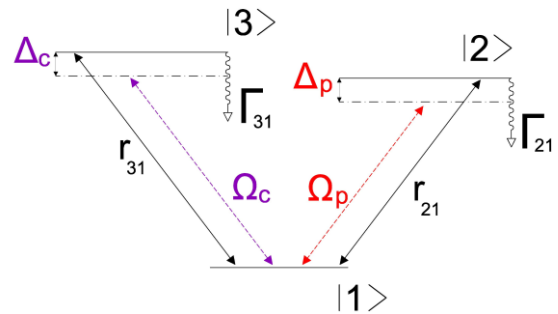
شکل ۲: تاثیر فاز نسبی بر جذب و پاشندگی در بازه  $-2 \leq \Delta_2 \leq 2$  به ازای اختلاف فاز  $\Delta\phi=0$ .



شکل ۳: تاثیر فاز نسبی بر جذب و پاشندگی در بازه  $-2 \leq \Delta_2 \leq 2$  به ازای اختلاف فاز  $\Delta\phi=\pi$ .

شکل‌های فوق که تاثیر فاز نسبی بر جذب و پاشندگی را در بازه  $-2 \leq \Delta_2 \leq 2$  به ازای اختلاف فازهای  $\Delta\phi=0$  و  $\Delta\phi=\pi$  نشان می‌دهد، می‌توان با ایجاد تغییر فاز نسبی میزان جذب و پاشندگی محیط EIT مورد نظر را دست خوش تغییر داد و شیب پاشندگی را از مثبت به منفی و همچنین جذب را به بهره و بالعکس تبدیل کرد. مطابق شکل اگر اختلاف فاز برابر  $\Delta\phi=\pi$  باشد، شیب پاشندگی میدان کاوشگر در اطراف نامیزانی صفر، منفی است، در صورتی که اگر اختلاف فاز میدان های اعمال شده برابر  $\Delta\phi=0$  باشد، شیب پاشندگی مثبت است. برای مشاهده میزان تغییرات شفافیت محیط مورد نظر، متناسب با تغییر فاز نسبی میدان های اعمالی لیزرهای (تزوید کننده و کاوشگر)، رابطه (۷) را با متغیر قرار دادن فاز لیزر شفاف کننده، دامنه تغییرات  $\chi$  را مورد بررسی قرار می‌دهیم. به همین منظور  $\Delta\phi$  را در یک بازه  $(-2\pi \leq \Delta\phi \leq 2\pi)$

نرخ واهلش از تراز  $|i\rangle$  به تراز  $|j\rangle$  بیان کننده نامیزانی تراز  $|i\rangle$  و  $\Omega_c$  و  $\Omega_p$  به ترتیب فرکانس رابی تراز  $|2\rangle$  و  $|3\rangle$  می‌باشد. همچنین  $\delta = \Phi = \phi_3 - \phi_2$  بیان کننده اختلاف فاز بین  $\Omega_c$  و  $\Omega_p$  می‌باشد. مجموعه معادلات (1) تا (6) برای بدست آوردن جواب های حالت پایا و گذرا سیستم به صورت عددی قابل حل هستند. معادلات بالا برای محاسبه پذیرفتاری الکتریکی استفاده می‌شود:



شکل ۱: ترازهای انرژی سیستم V

پاسخ سامانه به نور ضعیف کاوشگر توسط پذیرفتاری الکتریکی تعریف می‌شود که  $\chi$  رابطه مستقیمی با جملات ماتریس چگالی دارد [4].

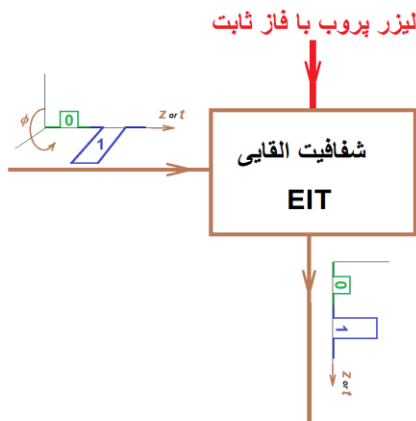
$$\chi = \frac{2N \mu_{21}}{\epsilon_0 E_p} \rho_{21} \quad (7)$$

حال می‌توان رفتار خطی سامانه را در حضور میدان الکتریکی مورد بحث قرار داد. پذیرفتاری الکتریکی را به این صورت داریم.

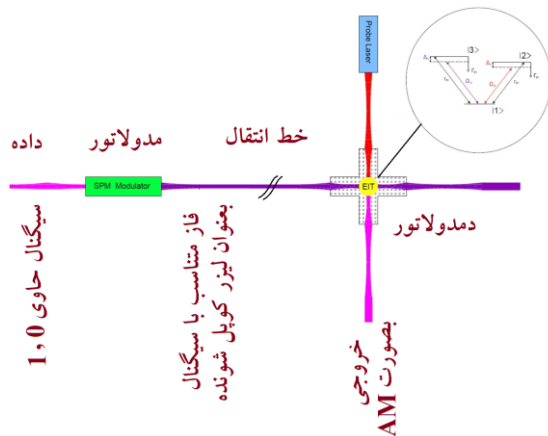
$$\chi = \chi' + i \chi'' \quad (8)$$

طبق رابطه (۷)،  $\chi$  با عنصر ماتریس چگالی مربوط به حالت میدان کاوشگر ( $\rho_{21}$ ) رابطه مستقیم دارد. N چگالی تعداد اتم ها و  $\epsilon_0$  گذردهی خلا هستند. جذب و پاشندگی میدان پروب در محیط به ترتیب متناسب با قسمت موهومی و حقیقی پذیرفتاری هستند.  $\chi'$  قسمت حقیقی پذیرفتاری الکتریکی متناظر با پاشندگی و  $\chi''$  قسمت موهومی پذیرفتاری الکتریکی متناظر با جذب در سامانه می‌باشد. در اینجا اگر  $\chi'' > 0$  باشد پرتو کاوشگر توسط محیط جذب می‌شود در صورتی که اگر  $\chi'' < 0$  باشد پرتو کاوشگر توسط محیط تقویت می‌شود [5].

کننده شفافیت و در نتیجه دامنه سیگنال خروجی خواهد بود. ساختار کلی مدولاتور و دمدولاتور بصورت یکجا در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۶: شماتیک دمدولاتور تمام نوری مبتنی بر EIT

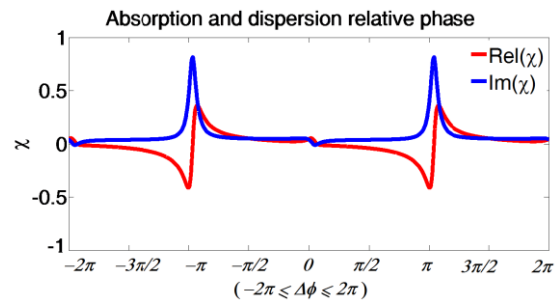


شکل ۷: ساختار کلی مدولاتور و دمدولاتور بصورت یکجا

## مراجع

- [1] Claude Cohen-Tannoudji, Jacques Dupont-Roc, Gilbert Grynberg, "Photons and Atoms. Introduction to Quantum Electrodynamics". Wiley-VCH, 1997.
- [2] Lugiato, L. A. "Theory of Optical Bistability", Progress in Optics, Vol. 21, (1984). (North Holland, Amsterdam), pp. 71-216. 1984.
- [3] Olyaei, S. "An Introduction to Photonics". Ir. Shahid Rajaee University. (2011).
- [4] M.O. Scully, M.S. Zubairy, "Quantum Optics", Cambridge University Press, 1977.
- [5] L.J. Wang, A. Kuzmich and A. Dogariu, "Gain-assisted superluminal light propagation". Nature 406, 277-279 (2000)

متغیر قرار داده و تغییرات میزان شفافیت و پاشندگی را مورد بررسی قرار دادیم که اثر تغییرات فاز بر روی کاپا در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد. در شکل ۴ میتوان نتایج وابستگی  $\chi$  به  $\Delta\phi$  را در یک بازه  $-2\pi$  تا  $2\pi$  مشاهده کرد.

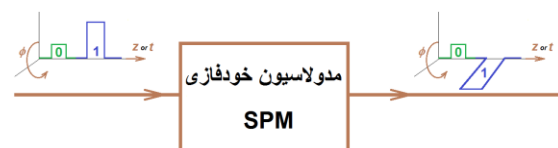


شکل ۴: تغییرات  $\chi$  نسبت به تغییرات  $\Delta\phi$ .

در بدست آوردن شکل ۴ مقدار نامیزانی تراز  $\langle 2 \rangle$  ثابت فرض شده است.

## ۳-۱- ساختار و سیستم اتمی در طراحی دمدولاتور

برای تحقق این سیستم ابتدا در قسمت فرستنده، مطابق شکل ۵ اطلاعات با کمک خاصیت SPM اطلاعات دامنه سیگنال بر روی فاز آن منتقل می شود. بعبارت دیگر، پالس های نوری که اطلاعات در آنها متناسب با تغییر شدت دامنه است پس از ورود به مدولاسیون SPM به پالس نوری که اطلاعات در آنها متناسب با تغییر فاز است تبدیل می شوند.



شکل ۵: قسمت ارسال کننده یا مدولاتور فاز توسط SPM

این تفاوت فاز با کمک فرکانس  $\Omega_c$  و  $\Omega_p$  طوری تنظیم می کنیم که در سیستم اتمی دمدولاسیون ارائه شده میزان شفافیت مورد نظر ایجاد شود تا شدت لیزر پروپ مطابق با شکل ۶ همان شدتی را داشته باشد که پالس های نوری، قبل از ورود به مدولاتور SPM داشتند. در اصل مطابق شکل ۶ در این سیستم از اثری که خروجی لیزر مدولاتور SPM در محیط اتمی EIT می گذارد بهره جسته و اختلاف فاز بین ورودی و لیزر پروپ تعیین