

جبران سازی اثر غیر خطی پراکندگی رامان القایی با استفاده از تقویت کننده رامان

نسرین عالی محمودی^۱، محمد رضا شایسته^۲

^۱گروه برق و الکترونیک واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، یزد، n.aalimahmoody@gmail.com

^۲گروه برق و الکترونیک واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، یزد، shayesteh@iauyazd.ac.ir

چکیده - اثر پراکندگی تحریک رامان (*Stimulated Raman Scattering-SRS*) یکی از اثرات غیرخطی سیستم های ارتباطی فیبرنوری مالتی پلکس تقسیم طول موجی (*DWDM*) می باشد. این اثر باعث می شود توان از کانال های با طول موج کم به کانال های با طول موج بالاتر برود. تغذیه توان بالا به فیبر می تواند اثرات غیر خطی مانند اثر پراکندگی رامان را فعال کند. این اثر پیک توان و نسبت سیگنال به نویز نوری را کاهش می دهد اما سرعت اشتباهات بیتی که یکی از مخرب ترین اثرات است را افزایش می دهد. *DWDM* تکنولوژی می باشد که اطلاعات را از منابع مختلف با طول موج های متفاوت با هر سیگنال حامل بطور هم زمان روی فیبر قرار می دهد و برای افزایش ظرفیت شبکه های موجود فیبر نوری استفاده می شود. برای کم کردن اثر پراکندگی رامان القایی از روش های متفاوتی از جمله استفاده از تقویت کننده رامان استفاده می شود. در این تحقیق از تقویت کننده ی رامان استفاده شده که این روش (قرار دادن تقویت کننده ی رامان) توسط نرم افزار *OptiSystem* شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی دیاگرام ها و مدارهایی می باشد که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارائه داده می شوند.

کلید واژه - اپتی سیتم، تقویت کننده ی رامان، سیستم های *SRS*، *DWDM*

بطور کلی می توان گفت هرگاه توان نوری ورودی کوچک باشد فیبر شبیه یک محیط خطی عمل میکند که در نتیجه اتلاف و ضریب شکست مستقل از توان سیگنال می شود اما وقتی که توان نوری بالا رود فیبر مانند یک محیط غیر خطی عمل می کند که در این صورت تلفات و ضریب شکست وابسته به توان می شود دو نوع اثر غیر خطی در فیبر در نظر میگیریم. آثار غیر خطی در فیبرهای نوری دارای اهمیت زیادی می باشند. آزمایش ها نشان داده است که گسترش سیستم های چند طول موجی با تقویت کننده های نوری باعث ایجاد اثرات غیر خطی مهمی نظیر *FWM*، *SPM*، *SRS*، *SBS*، *XPM* شده است. مهندسیین طراح سیستم نباید سیستم های چند طول موجی با سرعت بالا ($10 \text{ Gbit/s per channel}$) را بدون در نظر گرفتن اثرات غیر خطی و تاثیر آن ها در این سیستم ها بسط و گسترش دهند با وجود اینکه ضریب غیر خطی سیلیس مقدار کوچکی است ولی از آنجاییکه نور در تمام مسیر طولانی بر هم کنش در منطقه ی کوچکی محدود می شود به علت ضریب تضعیف بسیار کم اثرات غیر خطی را می توان در فیبرهای نوری حتی در توان های کم نیز مشاهده نمود. [۱]

۱- مقدمه

فیبر نوری به عنوان یکی از کانالهای انتقال، دارای یک سری اثرات غیر خطی میباشد. یکی از این اثرات پراکندگی است. وقتی چگالی شیشه در طول فیبر یکنواخت نباشد مثل این است که نور ضریب شکست های متفاوتی را در برابر خود می بیند و در اثر این عامل نور دچار پراکندگی می شود. اثر پراکندگی رامان نتیجه اندر کنش هم دوس بین نور پمپ شده یا فرودی و یک موج فرکانسی منتقل شده اتفاق می افتد.

۲- اثرات غیر خطی

این آثار محدودیت هایی را در انتقال داده ها تعداد کانال های اطلاعات و طول انتقال بوجود می آورند هنگامی که سطح توان و سرعت اطلاعات افزایش می یابد، اساسا اثرات غیر خطی بخاطر وابستگی ضریب بازده شکست توان روی فیبر ایجاد میشوند. پس لازم است این اثرات شناسایی شوند و در حین انتقال نور وساخت فیبر نوری این آثار لحاظ شوند.

معادله نشان می‌دهد که با مینیمم کردن توان P و ماکزیمم کردن ناحیه y موثر فیبر، A_{eff} می‌توان آثار غیر خطی وابسته به توان ضریب شکست را از بین برد. مینیمم کردن توان راه حل مناسبی نمی‌باشد اما ماکزیمم کردن ناحیه موثر مرسوم‌ترین روش در طراحی فیبرهای نوری کنونی می‌باشد. اثرات غیر خطی FWM , XPM , SPM نتیجه وابستگی توان به ضریب شکست سیلیس می‌باشد.

۴- اثر غیر خطی پراکندگی رامان القایی در فیبر نوری

SRS باعث می‌شود یک طول موج کوتاه سیگنال به عنوان یک پمپ برای طول موج‌های بلندتر رفتار کند، هر یک از این دو بطور خود بخودی نور شیف‌ت شده رامان را پراکنده می‌کنند [3, 4]. این اثر عملکرد سیستم‌های چند کاناله را محدود می‌کند و باعث می‌شود توان از کانال‌هایی با طول موج کم به کانال‌هایی با طول موج بالاتر برود. طول موج‌های کوتاه‌تر با این فرایند کوتاه‌تر می‌شوند، بطوریکه طول موج‌های بلندتر را تقویت می‌کنند. SRS آخرین عامل محدود کننده در سیستم‌های چند کاناله می‌باشد [5] و باعث می‌شود توان از کانال‌های با فرکانس بالاتر به کانال‌هایی با فرکانس پایین‌تر برود. SRS یکی از آثار غیر خطی مالتی پلکس تقسیم طول موجی سیستم‌های ارتباط فیبر نوری است [6]. SRS بطور ویژه بخاطر پهنای باند زیادش مفید است وقتی که پرتوهای قوی نور سطح بالای توان که معمولاً پمپ نامیده می‌شوند در فیبر منتشر می‌شوند و سپس فعل و انفعالاتی بین نوسانات ملکولی SiO_2 و نور باعث می‌شود SRS بوجود آید. این اثر در درجه اول در توزیع توان کانال‌های دیتای ورودی عمل می‌کند و منجر به هم‌شنوایی کانال به کانال می‌شود [7].

۵- جبران سازی اثر پراکندگی رامان با استفاده از تقویت کننده رامان با پمپ مستقیم

در پمپاژ مستقیم سیگنال ورودی و سیگنال پمپ در یک مسیر روی پمپ منتشر می‌شوند که در شکل ۱ نشان داده شده است، سیگنال ورودی و پمپ بوسیله یک ترکیب کننده پمپ یا مالتی پلکس تقسیم طول موجی ترکیب می‌شوند، داخل فیبر

جدول (۱): طبقه بندی اثرات غیر خطی

طبقه	تک کاناله	چند کاناله
مرتبط با ضریب شکست	مدولاسیون خودفازی (SPM)	مدولاسیون فاز متقاطع (XPM) ترکیب ۴ موج FWM
مرتبط با پراکندگی	پراکندگی برانگیختگی بریلیون SBS	پراکندگی برانگیختگی رامان SRS

۳- دلیل غیر خطی بودن در فیبر نوری

پاسخ هردی الکتریک به نور برای میدان‌های شدید الکترومغناطیسی غیر خطی می‌باشد. فیبرهای نوری استاندارد از سیلیس ذوب شده که یک دی الکتریک می‌باشد، ساخته شده است. پلاریزاسیون کل P در میدان الکتریکی E غیر خطی است. و با رابطه y زیر بیان می‌شود:

$$P = 40 (X(1) E + X(2) E^2 + X(3) E^3) \quad (1)$$

بیشترین تاثیر غیر خطی در P ناشی از $X(3)$ می‌باشد که بصورت تولید هارمونیک سوم، ترکیب ۴ موجی مدولاسیون خودفازی و متقاطع دیده می‌شود. بیشتر آثار غیر خطی در فیبر نوری ناشی از ضریب شکست غیر خطی می‌باشد که در آن ضریب شکست با در نظر گرفتن $X(3)$ به شدت وابسته می‌شود. و بصورت زیر بیان می‌شود:

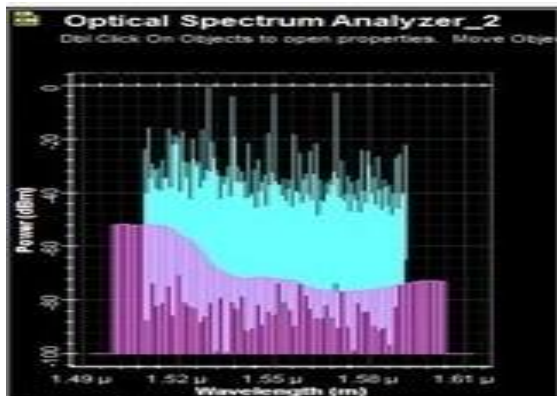
$$\tilde{n}(u) = n(u) + n_2 |E|^2 \quad (2)$$

$n(u)$ مولفه خطی ضریب شکست است.

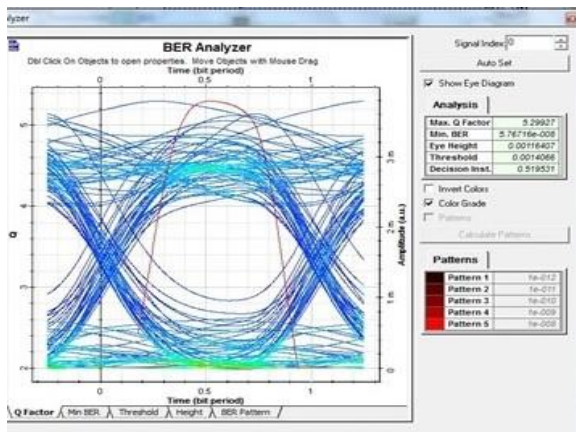
به دلیل اینکه سطح موثر هسته y فیبر کم و کوچک است اثرات غیر خطی برای فیبرهای سیلیکانی برای سطوح نسبتاً پایین توان ورودی قابل مشاهده است. [۲]

معادله عمومی برای ضریب شکست هسته در یک فیبر نوری عبارتست از:

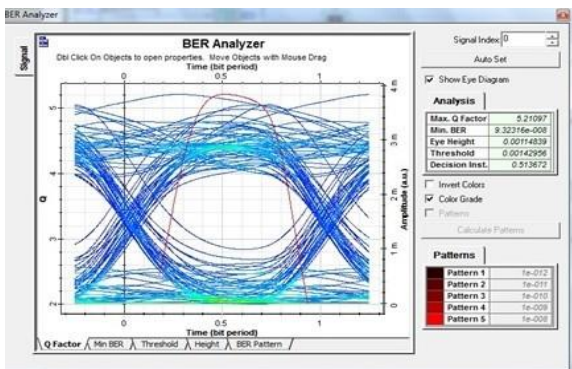
$$n = n_0 + n_2 \frac{P}{A_{eff}} \quad (3)$$



شکل ۲: نشان دادن اثر SFS بعد از تقویت کننده رامان با پمپ مستقیم



شکل ۳: دیاگرام چشمی قبل از قراردادن تقویت کننده رامان با پمپ مستقیم



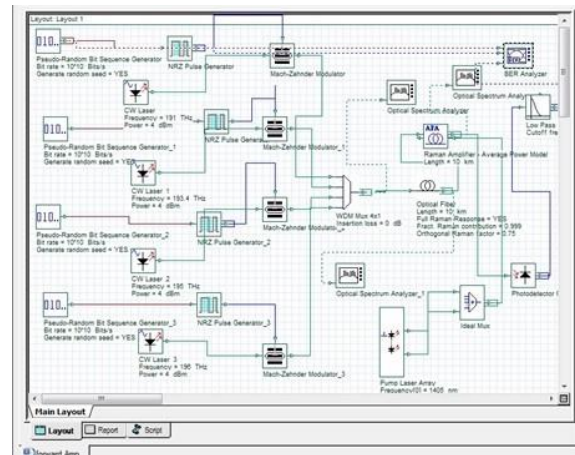
شکل ۴: دیاگرام چشمی بعد از قراردادن تقویت کننده رامان با پمپ مستقیم

انرژی پمپ به سیگنال ورودی منتقل می شود و سیگنال ورودی در خروجی تقویت کننده، تقویت می شود. تقویت کننده استفاده شده در شکل برای این منظور است که مطمئن شوند که سیگنال فقط از یک مسیر هدایتی عبور می کند و سیگنال فیدبکی ندارد.

۶- جبران سازی اثر پراکندگی رامان با استفاده از تقویت کننده رامان با پمپ معکوس

در پمپاژ معکوس سیگنال ورودی و سیگنال پمپ در جهت مخالف در داخل فیبر انتشار پیدا می کنند همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است برای تقویت (افزایش) مسیر ورودی و پمپ سیگنال ذاتی ضروری نیست. سیگنال از انتقال دهنده Tx به دریافت کننده Rx منتشر می شود. حرکت پمپ در جهت مخالف سیگنال شمارنده، یا پمپ معکوس نامیده می شود.

۷- شبیه سازی

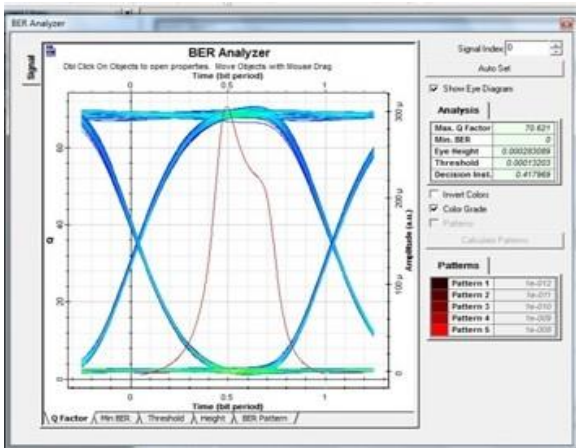


شکل ۱: مدار تقویت کننده رامان با پمپ مستقیم برای توان (4dbm)

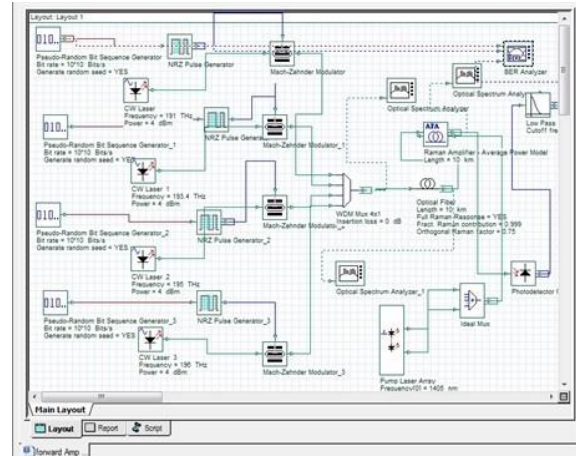
همانطور که از مقایسه دو نمودار خروجی بدست آمده (در شکل های ۳ و ۴) قبل و بعد از قرار دادن تقویت کننده رامان با پمپ

معکوس

مستقیم میتوانیم ببینیم سرعت اشتباهات بی تی در نمودار دومی کاهش یافته است.



شکل ۸: دیاگرام چشمی بعد از قراردادن تقویت کننده رامن با پمپ معکوس

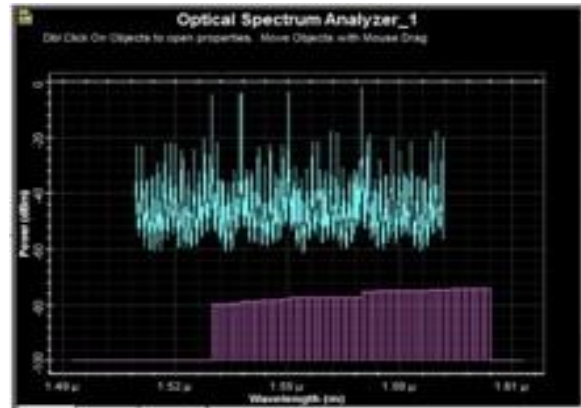


شکل ۵: مدار تقویت کننده رامن با پمپ معکوس برای توان (-5dbm)

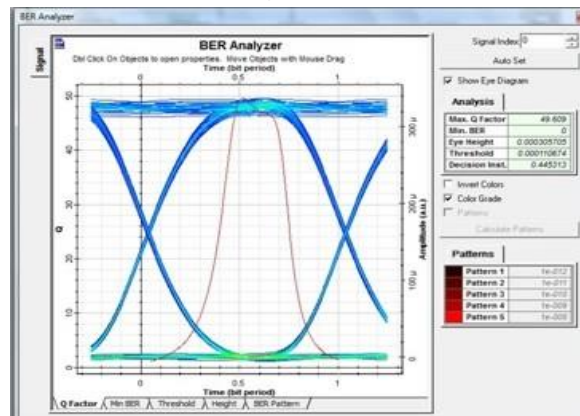
با مشاهده و مقایسه دو نمودار بدست آمده (در شکل های ۷ و ۸) قبل وبعد از قرار دادن تقویت کننده رامن با پمپ معکوس متوجه میشویم ضریب کیفیت کاملا بهبود یافته است.

۸- نتیجه گیری

بعد از مطالعات درباره اثر غیر خطی پراکندگی رامن و تحلیل این اثر و شبیه سازی های لازم در نرم افزار برای کم کردن SRS از تقویت کننده رامن به دو روش تقویت با پمپ معکوس و پمپ مستقیم استفاده کردیم و با مقایسه نتایج بدست آمده به این نتیجه رسیدیم که با قرار دادن تقویت کننده بعد از فیبر نوری ضریب کیفیت سیگنال بهبود یافت و سیگنال های ضعیف تر بیشتر تقویت شدند که هدف ما از انجام این تحقیق کم کردن این اثر غیر خطی بود و تقویت سیگنال های ضعیف شده بعد از پراکندگی رامن بود و به این نتیجه رسیدیم که استفاده از تقویت کننده با پمپ معکوس اثر بخش تر بوده و سرعت اشتباهات بی تی در آن به صفر رسید.



شکل ۶: نشان دادن اثر SRS بعد از تقویت کننده رامن با پمپ معکوس



شکل ۷: دیاگرام چشمی قبل از قراردادن تقویت کننده رامن با پمپ

۹- جمع بندی

در این مقاله سیستم WDM چهار کاناله برای جبران سازی اثر SRS بوسیله دو روش استفاده از تقویت کننده رامان با پمپ معکوس و پمپ مستقیم توسط نرم افزار اپتی سیستم شبیه سازی شده و نمودارهای چشمی سیگنال رسم شده است. در این نمودارها هر چه نمودار چشمی بازتر بوده و هم جنین میزان ضریب کیفیت (Q) بیشتر باشد نشان دهنده عملکرد خوب و مطلوب سیستم می باشد که تقویت کننده رامان با پمپ معکوس نسبت به مستقیم عملکرد بهتری دارد.

مراجع

- [1] Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition. Govind P. Agrawal.
- [2] Nonlinear Pulse Propagation Through An Optical Fiber Theory And Experiment . Bhaskar Khubchandani. 2004..
- [3] Milora cviteticd “optical transmission system engineering”
- [4] T. Sabapathi , S. Sundaravadivelu, G. Prabha , “Analysis and Reduction of Stimulated Raman Scattering in DWDM Fiber Optic Communication System ” , Proceedings of the International Conference , “Computational Systems and Communication Technology” 8th , MAY 2010 - by Cape Institute of Technology, Tirunelveli Dt-Tamil Nadu, PIN-627 114, INDIA
- [5] S’ebastien Bigo, Member, IEEE, St’ephane Gauchard, Alain Bertaina, and Jean-Pierre Hamaide, Member, IEEE “Experimental Investigation of Stimulated Raman Scattering Limitation on WDM Transmission Over Various Types of Fiber Infrastructures” IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 11, NO. 6, JUNE 1999
- [6] Saikat Saha , Pratham Majumder, Soundarya M , “Analysis of SRS Effects at Different Number of Channels and Power Levels and on the Performance of DWDM System” , IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 1, Issue 6, 2013 | ISSN (online): 2321-0613
- [7] T. Sabapathi and S. Sundaravadivelu, “Capacity Improvement in Dispersive, Non-linear Optical Fiber”, International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, PP: 412-417, DOI 10.1109/ICCIMA.2007.326 @IEEE Computer Society, 2007.