

# شبیه سازی و بررسی عملکرد سیستم مخابراتی ROF برای شبکه های محلی با استفاده از فرمت های مختلف کد گذاری

(۱) میلاد رحمانی پور

دانشجوی ارشد برق، یزد، الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

(۲) محمد رضا شایسته

گروه مهندسی برق، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

## چکیده

شبکه های محلی (Home Area Network (HAN در نزدیکی یک خانه مستقر شده و توانایی ارتباط و همکاری بین دستگاه های دیجیتال را فراهم می کنند. با توجه به پیشرفت تکنولوژی، مصرف کنندگان انتظار دارند که دسترسی به پهنای باند بالا، پرتوانی با تاخیر کمتر برای برنامه هایی مانند کنفرانس ویدیویی، VOIP، بازی های آنلاین و تبادل داده های HD داشته باشند. در این شرایط، سیستم ROF به عنوان راه حل برای افزایش ظرفیت، تحرک پذیری و کاهش هزینه مطرح می شود. این مقاله به بررسی توسعه ارتباطات بی سیم و روش های انتقال سیگنال RF از طریق فیبر نوری و شبیه سازی یک سیستم ROF ساده، مناسب و مقرون به صرفه با استفاده از المان های انتقال و بررسی سیستم تبدیل فرستنده، کانال انتقال و گیرنده با توجه به پارامترهای ضریب Q و نرخ خطای Bit برای یک سیستم با فاصله ۲۰ تا ۶۰ کیلومتر با طرح های مختلف کد گذاری می پردازد. و نهایتاً با استفاده از پارامترهای BER و الگوی چشمی، این مقاله به بررسی افزایش مقاومت در برابر نویز، افزایش امنیت و افزایش ظرفیت از طریق کد گذاری خطی می پردازد.

کلیدواژه: Radio Over Fiber (ROF)، شبکه های محلی (Local Networks)، کد گذاری (Coding)، شبیه سازی (Simulation)، طرح های مختلف (Different Schemes)

## ۱- مقدمه

چالش ها در حوزه ارتباطات با پارامترهای تنگنای پهنای باند دسترسی به شبکه، تراکم طیفی و تعداد زیاد ایستگاه های پایه روبرو است که با افزایش نیاز به انتقال داده ها و استفاده از دستگاه های مختلف مانند ویدیو، تلویزیون، بازی های آنلاین و دستگاه های هوشمند، مصرف پهنای باند افزایش می یابد که می تواند منجر به کاهش سرعت و کیفیت ارتباطات و دسترسی به پهنای باند بیسیم HAN شود. راه حل هایی مثل افزایش آستانه نرخ داده به چند گیگابیت بر ثانیه برای رفع این مشکلات پیشنهاد شده است. همچنین، در حوزه ROF در سیستم های ارتباطی، ادغام فیبر نوری و بی سیم به عنوان یک راه حل برای نیازهای نظامی معرفی شده است. ROF یک فناوری است که موج نور را با یک سیگنال رادیویی بدون تبدیل الکتریکی/نوری انتقال می دهد که امکان ادغام سیستم های بی سیم و نوری را فراهم می کند. این تکنولوژی می تواند بهبودی در انتقال آنالوگ و امکان ایجاد شبکه های بی سیم با پوشش یکنواخت را ارائه دهد. به علاوه، در شبکه های دسترسی با پهنای باند بالا، استفاده از PON (شبکه نوری پوینت تا مولتی پوینت) به عنوان راه حل موثر برای کاهش هزینه ها و افزایش پهنای باند ارائه شده است. انواع مختلفی از PON و روش های مدولاسیون مانند QAM، OFDM و DPSK به کار گرفته شده اند تا کارایی و کیفیت ارتباطات بهبود یابد. همچنین، انواع سیستم های ROF شامل سیستم های ثابت، توزیع شده و دوطرفه به عنوان راهکارهایی برای

بهبود ارتباطات بی سیم با پهنای باند بالا معرفی شده اند. در شبکه های نوری، کدگذاری به معنای تبدیل اطلاعات و سیگنال ها به فرمت های خاصی است که برای انتقال از یک نقطه به نقطه دیگر در شبکه نوری استفاده می شود. این فرایند شامل مراحل تبدیل اطلاعات به داده های دیجیتال یا آنالوگ، افزودن پاریتها برای اصلاح خطاها، مدولاسیون سیگنال ها و سایر فرایندهای مرتبط با ارسال و دریافت اطلاعات می شود. از کدگذاری در شبکه های نوری برای بهبود کیفیت و کارایی انتقال اطلاعات استفاده می شود. از جمله کدگذاری ها می شود به موارد زیر اشاره کرد: (۱) کدگذاری (AM (Amplitude Modulation در سیستم های (Radio over Fiber (ROF برای انتقال داده ها استفاده می شود. در این روش، امواج رادیویی با تغییرات در امپلیتود مدوله می شوند تا اطلاعات به داده های الکتریکی تبدیل شوند و از طریق فیبر نوری به مقصد ارسال شوند. (۲) کدگذاری (FM (Frequency Modulation نیز در سیستم های ROF برای انتقال داده ها استفاده می شود. در این روش، فرکانس موج حامل با تغییرات در فرکانس مدوله می شود تا اطلاعات به داده های الکتریکی تبدیل شوند و از طریق فیبر نوری به مقصد ارسال شوند. (۳) کدگذاری (OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing یک روش مدولاسیون چندبرگرای است که در سیستم های ROF استفاده می شود. این روش برای انتقال اطلاعات با سرعت بالا و کارآمدی در شبکه های ارتباطی استفاده می شود. (۴) کدگذاری (CDMA (Code Division Multiple Access یک فناوری مدولاسیون چندبرگرای است که در سیستم های ROF برای انتقال داده ها استفاده می شود. این فناوری به افراد و دستگاه ها امکان ارسال و دریافت اطلاعات به صورت همزمان در یک باند فرکانسی مشترک را می دهد. (۵) رمزنگاری (Encryption) در شبکه های ارتباطی ROF برای حفظ امنیت و محافظت از اطلاعات ارسالی استفاده می شود. این فرایندها به منظور جلوگیری از دسترسی غیرمجاز به اطلاعات و افزایش امنیت اطلاعات ارسالی استفاده می شود. (۶) مدولاسیون (QAM (Quadrature Amplitude Modulation برای انتقال سیگنال های دیجیتال در سیستم ROF استفاده می شود. این روش امکان انتقال اطلاعات با سرعت بالا و کارایی مناسب را فراهم می کند. (۷) کدگذاری با ماتریکس در سیستم های ROF برای انتقال اطلاعات از ترمینال های بی سیم به سیستم فیبر نوری استفاده می شود. این روش به ماتریس هایی سازمان دهی می دهد که برای ارسال و دریافت اطلاعات به صورت دقیق استفاده می شود. (۸) مدولاسیون غیر خطی در سیستم ROF از خواص غیر خطی مدارهای فیبر نوری برای افزایش ظرفیت انتقال اطلاعات و کاهش نویز استفاده می شود. (۹) مدولاسیون PRBS از دنباله های دودویی Pseudo-Random Binary Sequence برای انتقال داده ها و تست و ارزیابی عملکرد سیستم های ارتباطی و مخابراتی استفاده می شود.

## ۲- عناصر سیستم ارتباط نوری

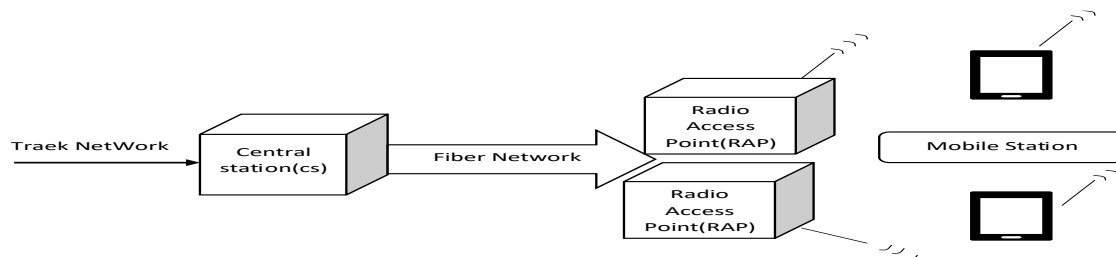
اجزای نوری اصلی در یک سیستم ارتباط نوری مانند فرستنده نوری در سیستم های ارتباطی، وظیفه تبدیل سیگنال الکتریکی به سیگنال نوری را دارد که این تبدیل با استفاده از تبدیل الکترواپتیک انجام می شود. فرستنده نوری از لیزرهای نیمه هادی به عنوان منبع نور استفاده می کند، زیرا این لیزرها به دلیل ویژگی هایی از قبیل هزینه کم، اندازه کوچک، قابلیت اطمینان و مطابقت با نیازهای سیستم های ارتباطی، برای تبدیل الکترواپتیک استفاده می شوند. در صورت مدولاسیون مستقیم، لیزرهای نیمه هادی برای سیگنال های الکتریکی با فرکانس های بالا تا ۲۵ گیگاهرتز مورد استفاده قرار می گیرند. در ارتباط با لیزرهای نیمه هادی موج پیوسته، این لیزرها تشعشعات همدوس را در نواحی مادون قرمز، مرئی یا فرابنفش تقویت می کنند. از فرکانس های بالای لیزرهای نیمه هادی برای ارتباطات آنالوگ و باند پایه استفاده می شود، در حالی که لیزرهای پالسی معمولاً برای انتقال سیگنال باند پایه مورد استفاده قرار می گیرند. در مورد معماری سیستم، مدولاسیون خارجی یک روش با پیچیدگی کم و مقرون به صرفه برای تولید سیگنال های نوری مدوله شده با شدت است. از مدولاتورهایی مانند مدولاتور Mach-Zehnder استفاده می شود که اجازه اعمال تغییرات فاز به سیگنال های نوری را می دهد. همچنین، مدولاتورهای دو درایو (DD-MZM) امکان اعمال ولتاژهای مختلف به بازوهای MZM را فراهم می کنند و برای تولید سیگنال های مدوله شده با شدت مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. در نهایت، مدولاتورهای جذب الکتریکی (EAM) از مواد نیمه رسانا برای تعدیل شدت سیگنال های نوری استفاده می کنند. این مدولاتورها با استفاده از مواد مانند ایندیوم گالیوم آرسنید (InGaAs) و ایندیوم آلومینیوم آرسنید (InAlAs) تولید می شوند و برای تغییر

شدت سیگنال های نوری به کار می روند. و نیز فیبر نوری فیبرهای نوری به عنوان محبوب ترین رسانه ارتباطی در سیستم های ارتباطی نوری استفاده می شوند. این فیبرها از اصل بازتاب داخلی کلی (TIR) برای انتقال نور استفاده می کنند. فیبر نوری از دو بخش، هسته داخلی و روکش خارجی تشکیل شده است که ضریب شکست روکش فلزی به طور قابل توجهی کمتر از هسته است. این تفاوت در ضریب شکست باعث محدود شدن نور وارد شده به هسته فیبر می شود. نوع رایج ترین فیبر استفاده شده در ارتباطات نوری SMF است که به عنوان تک حالت شناخته می شود. این نوع فیبر به دلیل شعاع هسته کوچکش تنها به یک حالت نور اجازه عبور می دهد. از آنجایی که اثر TIR در فیبر SMF نقش مهمی در محدود کردن نور به هسته دارد، تغییرات ضریب شکست در فیبر SMF این محدودیت را تقویت می کند. تضعیف فیبر نیز یکی از اثراتی است که بر سیگنالی که از طریق فیبر منتقل می شود، تأثیر می گذارد. این تضعیف به دو دلیل اصلی، جذب مواد و پراکندگی رایلی، بستگی دارد. جذب مواد می تواند به دو دسته جذب درونی و جذب بیرونی تقسیم شود که به واسطه خود سیلیس و ناخالصی ها در فیبر نیکوتیند. پراکندگی رایلی نیز به دلیل تغییرات جزئی در ضریب شکست هسته فیبر ایجاد می شود. پراکندگی فیبر پدیده ای است که نور با طول موج های مختلف با سرعت های متفاوتی در داخل فیبر حرکت می کند. دلیل پراکندگی، وابستگی طول موج به ضریب شکست سیلیس است که برای ساخت فیبر نوری استفاده می شود. این پدیده منجر به گسترش طیف سیگنال نوری می شود. غیر خطی بودن فیبر نیز یکی از ویژگی های مهم آن است. با افزایش شدت نوری که از فیبر عبور می کند، فیبر غیر خطی می شود و پاسخ آن غیر خطی می شود. این ویژگی ممکن است باعث هارمونیک سیگنال ها شود و طیف سیگنال را گسترش دهد. این تغییرات فازی منجر به فرکانس های جدید می شود و طیف را گسترش می دهد. با توجه به این ویژگی ها و اثرات مختلف فیبر نوری، طراحی دقیق فیبرهای نوری برای ارتباطات نوری اهمیت بسیاری دارد تا از اثرات غیر خطی، تضعیف و پراکندگی بهینه شده و انتقال سیگنال به خوبی انجام شود. در یک شبکه Home Area Network، گیرنده نوری وظیفه تبدیل سیگنال نوری ورودی به جریان الکتریکی را برعهده دارد. در این فرآیند، پارامترهایی مانند پاسخگویی، بازده کوانتومی و پهنای باند پاسخگویی یک گیرنده نوری PD اهمیت دارند. بازده کوانتومی یک PD نشان دهنده توانایی تبدیل نور فرودی به جریان الکتریکی است و به نسبت سرعت تولید الکترون به سرعت فوتون تعریف می شود. پهنای باند PD تعیین می کند که چگونه به تغییرات نور فرودی پاسخ می دهد و به زمان افزایشی Tr بستگی دارد که زمانی است که جریان از ۱۰٪ به ۹۰٪ مقدار نهایی خود برای یک تغییر پله ای در قدرت نور فرودی افزایش می یابد. به منظور کاهش جریان انتشار، طول مواد نوع P و نوع N در یک فتودیود PIN کاهش داده می شود تا جریان رانش بر جریان انتشار غالب شود. این اقدام باعث افزایش طول منطقه تخلیه و کاهش جریان انتشار می شود. تقویت کننده نوری مانند EDFA در شبکه های ارتباطی نوری استفاده می شود برای حفظ توان سیگنال مناسب در طول انتقال. از اصل تشدید شده توسط ایکسیتون های اربوم در یک محیط افزایشی استفاده می شود تا قدرت سیگنال ورودی نوری افزایش یابد. فیلترهای نوری مانند فیلتر گریتنینگ، فیلتر توری و فیلتر Fabry-Pero برای جدا کردن یا ترکیب سیگنال های نوری استفاده می شوند. از فیلترهای نوری AWG برای مالتی پلکس و دیمالتی پلکس سیگنال های نوری استفاده می شود. این اجزا عبارتند از کوپلرها، مالتی پلکسرها، فیلترهای نوری، ایزولاتورها، سیرکولاتورها و سایر اجزا غیر فعال که نقش مهمی در عملکرد یک شبکه نوری ایفا می کنند

### ۳- سیستم های Radio Over Fiber

Radio Over Fiber سه نوع اصلی سیستم های ارتباطی ROF (Radio over Fiber) یعنی BROF، AROF و DROF را بررسی می کنیم. این سیستم ها بر اساس فرمت سیگنال RF که از طریق فیبر نوری ارسال می شود، دسته بندی می شوند. روش های انتقال و مالتی پلکس کردن سیگنال RF در هر نوع سیستم ارتباطی مورد بررسی قرار می گیرد و آسیب های اصلی تحمیل شده بر سیگنال RF توسط هر نوع پیوند ارتباطی مورد بحث قرار می گیرد. همچنین روش های مختلف کاهش اثرات اختلالات بر سیگنال های ROF بررسی می شوند. در ادامه روش های انتقال سیگنال های RF از طریق فیبر نوری بررسی می شود. ابتدا دو روش اصلی انتقال و دریافت سیگنال های RF از طریق فیبر نوری مورد بحث قرار می گیرد. یکی از این روش ها، مدولاسیون شدت همراه با تشخیص مستقیم (IMDD) است که ساده ترین روش برای انتقال

سیگنال های RF از روی فیبر است. روش دیگر مدولاسیون خارجی است که ممکن است مزایای بیشتری داشته باشد. به تکنیک های چندپالسی در سیستم های ROF پرداخته می شود. از جمله تکنیک های مورد استفاده در سیستم های ROF، تکنیک Multiplexing زیر حامل (SCM) و تقسیم طول موج چندگانه (WDM) است که برای بهره برداری بهتر از پهنای باند فیبرهای نوری استفاده می شود. از جمله معماری مورد استفاده در سیستم های ROF، AROF، است که حامل RF توسط داده های باند پایه مدوله شده منتقل می شود و دریافت آن نیز با استفاده از تبدیلات الکترونیکی و نوری انجام می شود. از دبلکسر برای جدا کردن سیگنال RF ورودی و خروجی استفاده می شود. این معماری باعث ساده تر شدن انتقال سیگنال RF می شود و از انتقال دهنده های نوری برای انتقال ROF در فواصل کوتاه بهره می برد. سیستم های ROF (Radio over Fiber) شامل دستگاه های نوری مانند لیزرها، مدولاتورها و PD ها هستند که اختلالات غیرخطی در سیگنال نوری ایجاد می کنند. این اختلالات معمولاً ناشی از غیرخطی بودن دستگاه های نوری مانند لیزرها و مدولاتورها است که مولفه های طیفی کاذب خارج از باند تولید می کنند. این مولفه های طیفی باعث ایجاد مولفه های اعوجاج بین مدولاسیون در گیرنده می شوند و می توانند عملکرد سیستم را کاهش دهند. از جمله اختلالات ناشی از تعدیل کننده در سیستم های ROF، اختلالات نویز لیزر و RIN می تواند باعث ایجاد اعوجاج در سیگنال های RF شود. همچنین، اختلالات ناشی از فیبر نیز می توانند منجر به اعوجاج های درون مدولاسیون شوند، زیرا فعل و انفعال بین پراکندگی خطی القا شده توسط فیبر و صدای جبر تحمیل شده توسط مدولاتورها و لیزرها به اعوجاج ها منجر می شود. به منظور کاهش اثرات پراکندگی خطی IMD (Intermodulation Distortion) در سیستم های ROF، از تکنیک های خطی سازی نوری استفاده می شود. این تکنیک ها شامل استفاده از مبدل های EO (Electro-Optic)، فیلتر نوری برای حذف اجزای نامطلوب و تقویت و فیلتر نوری برای بهبود عملکرد سیستم هستند. در مجموع، سیستم های ROF به کمک تکنیک های خطی سازی و استفاده از عناصر نوری متنوع، سعی در بهبود عملکرد و کاهش اختلالات در انتقال سیگنال های RF از طریق فیبر نوری دارند. ارتباطات نوری پالسی به سیستم هایی گفته می شود که از پالس های نوری برای انتقال داده ها استفاده می کنند. این ارتباطات با فیبر نوری مواجه با تحمیل اثراتی مانند تضعیف نور، پراکندگی، و اعوجاج غیرخطی می شوند. تحلیل تکاملی و طیفی یک پالس نوری واحد در امتداد فیبر نوری نشان می دهد که تضعیف فیبر نوری باعث کاهش قدرت سیگنال نوری و احتیاج به تقویت کننده های نوری مانند EDFA می شود. همچنین، اختلالات نوری پالسی ناشی از پراکندگی و غیرخطی بودن فیبر نوری باعث تاخیرهای گروهی و گسترش پالس در حوزه زمانی می شود. این اختلالات می توانند باعث ناپایداری و عدم بازیابی صحیح سیگنال ها شوند، که نیاز به استفاده از احیاگرها در فواصل منظم دارند تا اثرات مضر فیبر را جبران کنند. همچنین، در آینده، تحقیقات بر روی استفاده از فیبر نوری پلاستیکی (POF) برای ارتباطات رادیویی از طریق فیبر نوری (ROF) در ارتباطات بی سیم کوتاه برد مانند ارتباطات داخل خانه یا داخل ساختمان به دلیل ویژگی های جذاب این نوع فیبر انجام می شود. همچنین، استفاده از انتقال نوری بی سیم برای ارتباطات داخلی از طریق فیبر نوری نیز در دستور کار تحقیقاتی قرار دارد، که از این روش می تواند امکان ارتباط با سرعت بالا و بهبود امنیت و حریم خصوصی را فراهم کند. این تحقیقات می تواند به توسعه و بهبود ارتباطات بی سیم نوری داخلی منجر شود و کاربردهای متعددی مختلفی از جمله در شبکه های G5 و اینترنت اشیا داشته باشد.



## شکل (۱) یک سیستم ROF

سیستم ROF متشکل از ایستگاه مرکزی (CS) و ایستگاه پایه (BS) است که توسط یک لینک با شبکه فیبر نوری متصل شده اند. سیستم ROF سیگنال های فرکانس رادیویی (RF) را با ارسال نوری به نقطه دسترسی رادیویی (RAP) توزیع می کند تا RAP به انجام عملکرد هایی مانند مدولاسیون، کدگذاری، تبدیل بالا/پایین و مالتی پلکس شدن نیاز نداشته باشد. ROF برای HAN به انتقال سرعت داده بالاتر در فاصله نسبتاً کوتاه از مرکز (CS) به سایت های راه دور (RS) متصل شده توسط یک پیوند فیبر نوری نیاز دارد.

سیستم های ROF مزایای زیر را ارائه می دهند:

### (۱) Lower Attenuation:

در سیستم rof انتقال فرکانس رادیویی از طریق فیبر نوری اتفاق می افتد. بنابراین تلفات بسیار کمتر از آنهایی است که در انتشار فضا آزاد و انتقال سیم مسی، مایکروویو در فرکانس بالا در شکل زیر مشاهده می شود.

(۲) پوشش بهتر و افزایش ظرفیت:

با استفاده از نقاط دسترسی رادیویی متراکم، دامنه دینامیکی سیستم ROF را میتوان افزایش داد. علاوه بر این پنجره های عملیاتی میرایی کم ارتباط فیبر نوری ۸۵۰، ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر هستند که پهنای باند بسیار زاید و در نتیجه ظرفیت بالاتری را ارائه می دهد.

### (۳) مقاومت در برابر تداخل RF

از آنجایی که سیگنال های RF از طریق فیبر به شکل نور منتقل می شوند. در برابر تداخل مغناطیسی مصون هستند.

(۴) کاهش هزینه مهندسی و طراحی:

در سیستم ROF ایستگاه مرکزی عملیات پیچیده ای مانند، مدولاسیون، کدگذاری، تبدیل بالا/پایین و مالتی پلکس کردن را انجام میدهد. به جای استفاده از رویکرد سنتی RAP پیچیده و گران قیمت از RAP های ساده و مقرون به صرفه با تشخیص مستقیم مدوله شده شدت (IM-DD) استفاده می شود.

(۵) کاهش مصرف برق:

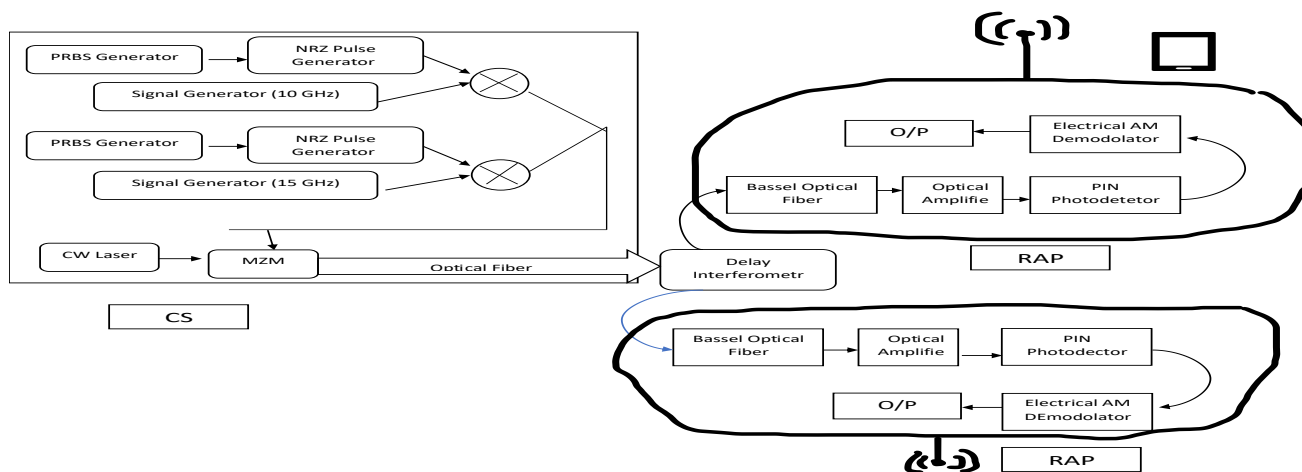
کاهش مصرف برق نتیجه استفاده از RAP ساده با تجهیزات استاندارد است

Technology Standard	Maximum Data rate	Range
Wired		
Ethernet(IEEE802.3)	100Gb/s	
Power line Communication	10Mb/s	
Optical Fiber	40Gb/s	100 Km
Wireless		
WiFi	866.7Mb/s	10 meter
Bluetooth	24 Mb/s	10 meter
ZigBee	250 kb/s	30 meter
UWB	675 Mb/s	10-20 meter

جدول (۱) HAN {حداکثر داده و محدوده فناوری های سیمی و بی سیم}

#### ۴- روش شناسی

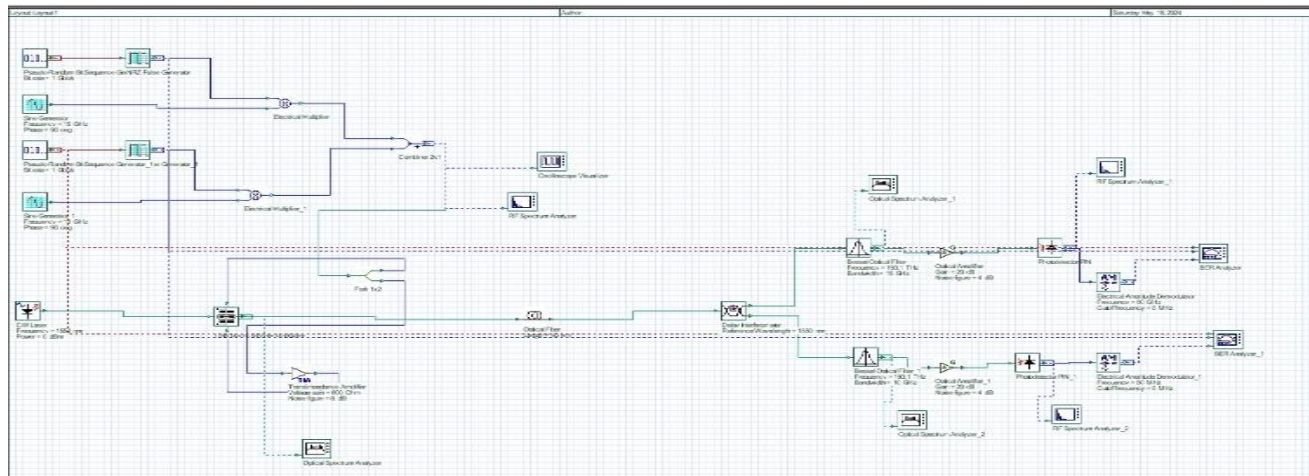
هدف اصلی ما در این مقاله طراحی یک سیستم ROF بر اساس تشخیص مستقیم مدوله شدت (IM-DD) است که منجر به پیاده سازی ساده و مقرون به صرفه سیستم می شود. شکل زیر اصل پیکربندی سیستم ROF پیشنهادی ما را نشان می دهد. سیستم مرکزی (CS) از دو تولید کننده سیگنال مایکروویو به فرکانس های ۱۰ گیگاهرتز و ۱۵ گیگاهرتز، یک لیزر Continuous Wave (CW)، دو تولید کننده پالس، دو تولید کننده دنباله دودویی تصادفی (PRBS) و یک مدولاتور Mach-Zehnder (MZM) تشکیل شده است. طول موج مرکزی لیزر CW 1550 نانومتر است. در سیستم پیشنهادی ما، از طول موجی استفاده شده که در باند C قرار دارد و کاهش حداقلی داشته و بنابراین بیشترین برد را دارا می باشد. در این سیستم، جریان داده های ۱ گیگابیت بر ثانیه با سیگنال های مایکروویو به فرکانس های ۱۰ گیگاهرتز و ۱۵ گیگاهرتز مخلوط و به MZM ارائه می شوند همراه با حامل نوری از دیود لیزر. حامل نوری مدوله شده به لینک انتقال فیبر نوری یعنی فیبر تک حالت وارد می شود. مدولاسیون می تواند به دو روش، مدولاسیون مستقیم و مدولاسیون خارجی، انجام شود. در مدولاسیون مستقیم، سیگنال RF به طور مستقیم با بایاس یک دیود لیزر نیمه هادی تغییر می کند، در حالی که مدولاتورهای خارجی با MZM یکپارچه شده اند. (MZM) یا مدولاتور الکترو جذبی، (EAM) مدولاسیون شدت عمدتاً به دلیل سادگی آشکارساز نوری مربوطه انجام می شود که مبتنی بر یک آشکار ساز نوری است که به عنوان یک آشکار ساز آستانه دامنه ساده عمل می کند



شکل ۲) مدل شبیه سازی سیستم ROF

در سیستم ما، از تداخل سنج تاخیری استفاده کرده ایم تا دو حامل نوری با مدولاسیون در اندازه متفاوت را تقسیم کنیم. تداخل سنج تاخیری ویژگی های مفیدی دارد، مانند کاهش دهنده افت جریان، ویژگی های بهتر چرپ فرکانسی و حساسیت کمتر به عدم تطابق کم. در تداخل سنج تاخیری، یک پرتو توسط یک تفاوت مسیر نوری به تاخیر اندازه گیری شده به وقت ۱ بیت تاخیر داده می شود. پس از ترکیب مجدد، دو پرتو با یکدیگر تداخل سازنده یا مخرب دارند. شدت تداخل نتیجه ای نشانه با شدت است. سپس سیگنال ها با استفاده از فیلتر Bessel چهارم مرتبه با فرکانس مرکزی ۱۹۳.۱ ترا هرتز فیلتر می شوند و در دمودولاتورهای AM برای بازیابی سیگنال های الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند. شبکه دسترسی به اینترنت از طریق فیبر نوری از طریق استفاده از نرم افزار شبیه سازی، Optisystem 12، مدل سازی شده است. شکل زیر نمایشگر شبیه سازی رسم شده در پنجره نسخه (۲۰۱۲) Optisystem 12 با استفاده از بلوک های درونی موجود را نشان می دهد.





شماتیک ROF HAN

اندازه گیری عملکرد :

طبقه بندی یک پیوند انتقال نوری که یکی از معیارهای اصلی برای مدل سازی موثر سیستم RoF می باشد، بستگی به انتخاب صحیح معیارهای عملکرد دارد. معیارهای عملکرد باید تعیین دقیقی از محدودیت های سیستم ارائه دهند و اندازه گیری برای بهبود عملکرد سیستم ارائه دهند. معیارهای عملکرد پرکاربرد شامل  $Q$ -factor، BER و باز شدن چشم می باشند.

الف) عامل AQ

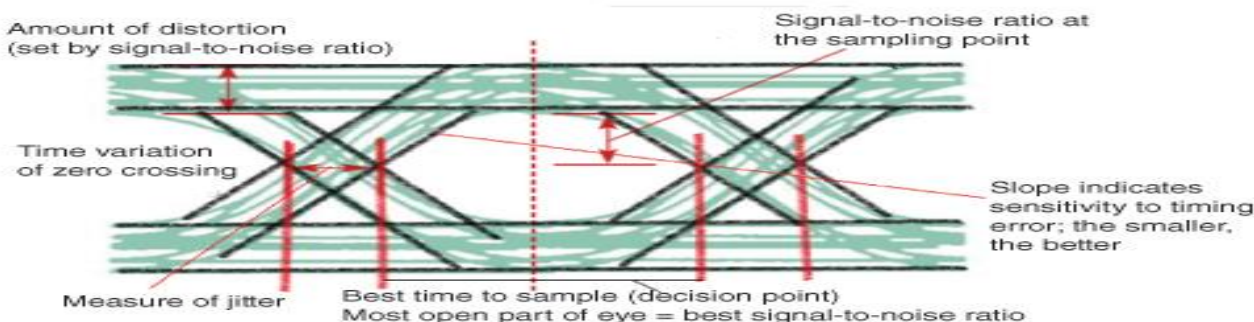
ضریب  $Q$  نسبت سیگنال به نویز (SNR) نوری برای یک سیستم ارتباط نوری دودویی را نشان می دهد و تجزیه و تحلیل ساده تر عملکرد سیستم را امکان پذیر می سازد. این معیار SNRهای جداگانه مرتبط با سطوح بالا و پایین را به SNR کل سیستم ترکیب می کند. ضریب  $Q$  همچنین به عنوان یک شاخص مفهومی (FoM) که به طور مستقیم با BER مرتبط است، مفید است. BER می تواند با افزایش تفاوت بین سطوح بالا و پایین در کنترل کننده ضریب  $Q$  در شمارنده یا کاهش اصطکاک های نویز در مخرج ضریب  $Q$  بهبود یابد ویژگی  $VS$  ولتاژی است که توسط فرستنده ارسال می شود و اگر فرض کنیم که  $VS$  می تواند یکی از دو سطح ولتاژ  $VH$  و  $VL$  را داشته باشد. همچنین،  $\sigma L$  و  $\sigma H$  انحراف های استاندارد نویز هستند.

ب) نرخ خطا بیت (BER)

BER تعداد بیت های اشتباه تقسیم بر تعداد کل بیت های منتقل شده در یک بازه زمانی مورد مطالعه می باشد. در انتقال دیجیتال، جریان داده ممکن است به دلیل نویز، انحراف یا خطاهای همگام سازی تغییر کند. BER حد بالایی برای سیگنال ارائه می دهد زیرا برخی از تخریبات در انتهای گیرنده رخ می دهد. احتمال خطای بیت،  $P_e$ ، ارزش امید BER است. BER می تواند به عنوان یک تخمین تقریبی از احتمال خطای بیت مدنظر در نظر گرفته شود. در یک کانال پرنویز، BER اغلب به عنوان یک تابع از نسبت نرمال شده حامل به نویز ( $E_b/N_0$ ) یا (نسبت انرژی به نویز به چگالی طیفی توان) و یا  $E_s/N_0$  (نسبت انرژی به نویز برای چگالی طیفی نمادزنی) بیان می شود.

ج) الگوی چشمی

الگوی چشم یا نمودار چشم برای بصری‌سازی نحوه استفاده از موج‌شکن‌هایی که برای ارسال چندین بیت از داده‌ها استفاده می‌شود، به منظور نشان دادن چگونگی بروز خطاها در تفسیر آن بیت‌ها استفاده می‌شود. باز شدن عمودی چشم نشان دهنده مقدار تفاوت در سطح سیگنال است که بوجود می‌آید تا تفاوت بین یک بیت و صفر بیت را نشان دهد. هر چه تفاوت بزرگتر باشد، تشخیص بین یک و صفر آسان‌تر خواهد بود. در حالی که باز شدن افقی چشم مقدار جیتر موجود در سیگنال را نشان می‌دهد. یک الگوی چشم باز به اندازه حداقل انحراف سیگنال متناظر است. تشویش الگوی سیگنال ناشی از تداخل میان نمادها و نویز به عنوان بسته شدن نمودار چشم ظاهر می‌شود.

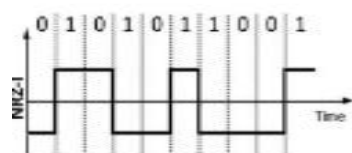


شکل ۳) الگوی چشمی

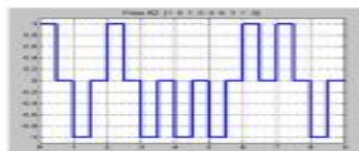
## ۵- کد گذاری خط

کدگذاری خطی شامل نمایش سیگنال دیجیتال است که باید توسط یک سیگنال گسسته در زمان حمل شود، است. اطلاعات دودویی می‌توانند با استفاده از انواع مختلفی از پالس‌ها انتقال داده شوند. انتخاب یک جفت خاص از پالس‌ها برای نمایش نماد ۱ و ۰، به کدگذاری خطی گفته می‌شود. طرح کدگذاری خطی بهتر باید ویژگی‌های مطلوبی را برای برنامه خاصی از خود نشان دهد، مانند: طیف سیگنال: اشغال طیف باید کوچک باشد تا به خوبی کارایی طیفی را اطمینان دهد. کمترین مولفه DC: مولفه DC کمترین مقدار مطلوب را دارد. سیگنال ساعت: طیف طرح کدگذاری خطی باید حاوی یک جزء فرکانس در فرکانس ساعت باشد تا استخراج ساعت را امکان‌پذیر کند. مقاومت در برابر تداخل سیگنال و نویز: کد خطی باید احتمال خطا کمی برای توان انتقال داده شده داشته باشد. تشخیص خطا: امکان تشخیص خطا باید فراهم شود. شفافیت: عملکرد کدگذاری خطی باید مستقل از داده باشد. در این مقاله، سه نوع پالس استفاده می‌شود، شامل **Non Return to Zero**، **Return to Zero** و پالس گوسی. **NRZ** قطبی طیف باند کوچکی را اشغال می‌کند بنابراین کارایی طیفی بیشتری دارد اما مولفه DC معنی‌داری دارد و هیچ پارامتر ساعتی در طیف وجود ندارد. **RZ** قطبی باند پهنای باند بیشتری را اشغال می‌کند بنابراین نسبتاً کمتر از **NRZ** کارایی طیفی دارد. همچنین، با مشکلاتی نظیر مولفه DC معنی‌دار و عدم وجود پارامتر ساعت مواجه است. پالس گوسی به شکل یک تابع گوسی شکل داده شده است. این پالس دارای خصوصیتی مانند بیشینه تندی گذر با عدم بروز گذر و حداقل تاخیر گروهی است.

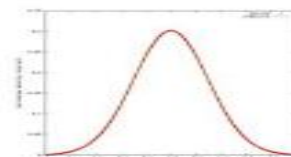




a)



b)

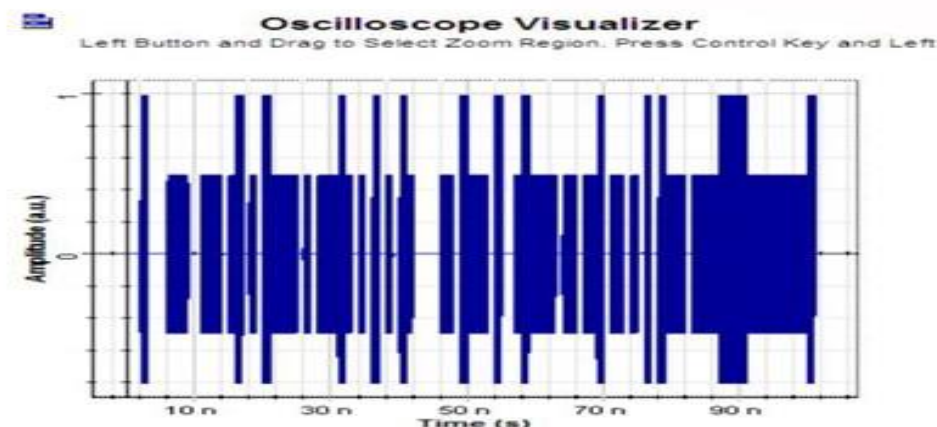


c)

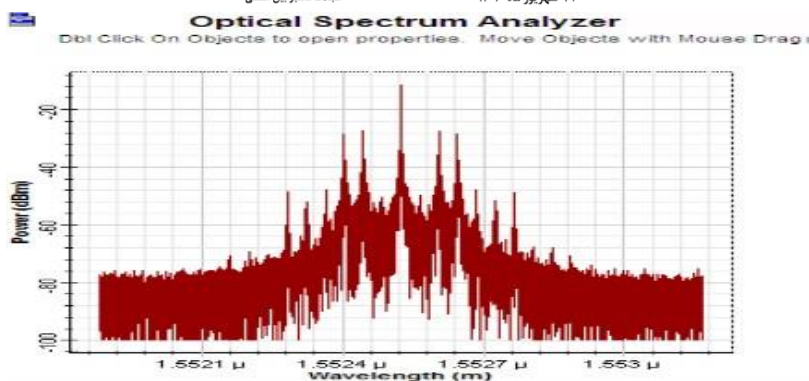
شکل ۴) (a) NRZ قطبی (b) RZ قطبی (c) پالس گاوس

## ۶- تجزیه و تحلیل نتایج شبیه سازی

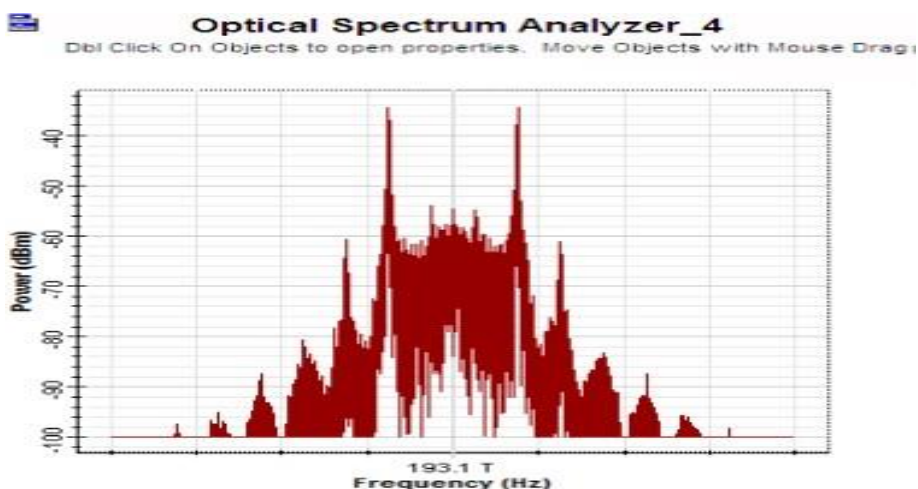
ما در شبیه سازی از نرم افزار **optisystem** نسخه ۲۰۱۲ استفاده کرده ایم و در این طراحی ما از چهار نوع ویژولایزر، ویژولایزر اسیلوسکوپ، تحلیلگر طیف RF، آنالایزر BER و تحلیلگر طیف نوری استفاده کرده ایم، ویژوالایزر اسیلوسکوپ به ما امکان می دهد سیگنال های الکتریکی را در حوزه زمان محاسبه و نمایش دهیم. همچنین می تواند دامنه سیگنال و همبستگی خودکار را نمایش دهد. آنالایزر طیف RF به ما این امکان را می دهد سیگنال های الکتریکی را در حوزه فرکانس محاسبه و نمایش دهیم همچنین می تواند شدت سیگنال، چگالی طیفی توان و فاز را نمایش دهد. در حالی که **BER Analyzer** نمودار چشمی، ضریب BER، Q، آستانه، ارتفاع چشم، و الگوی BER سیگنال های دریافتی را نمایش می دهد. خروجی اسیلوسکوپ در شکل ۵ نشان داده شده است و شکل ۶ سیگنال نوری ارسالی را نشان می دهد و شکل ۷ و شکل ۸ سیگنال نوری دریافتی را پس از ۲۰ کیلومتر طول فیبر در BS 1 و BS 2 به ترتیب نشان می دهد. شکل ۹ و ۱۰ همچنین شکل ۱۲ طیف RF را قبل از انتقال نشان می دهد. طیف RF را به ترتیب در BS 1 و BS 2 دریافت می کند. شکل ۱۱ و شکل ۱۳ نمودار چشمی داده های دریافتی را به ترتیب در BS 1 و BS 2 نشان می دهد



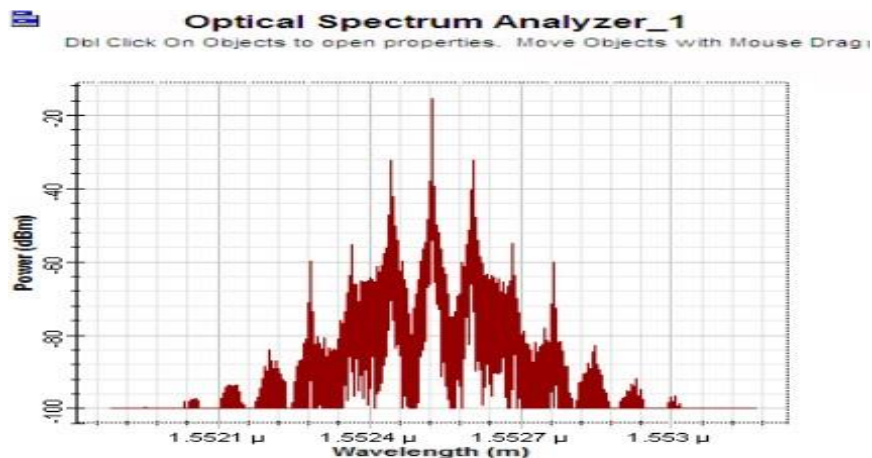
شکل ۵) خروجی ویژولایزر اسیلوسکوپ برای 1 Gbps برای NRZ



شکل ۶) سیگنال ارسال در BS 1



شکل ۷) دریافت سیگنال نوری در CS

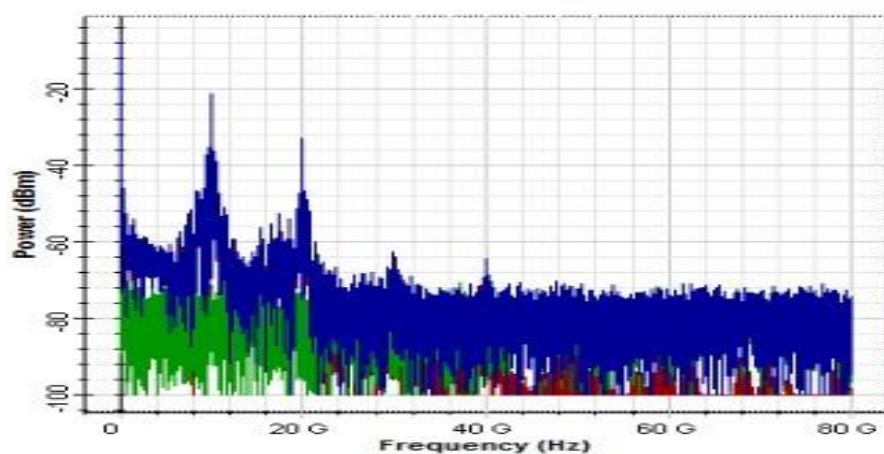


شکل ۸) دریافت سیگنال نوری در BS 2



# RF Spectrum Analyzer\_1

Del Click On Objects to open properties. Move Objects with Mouse Drag

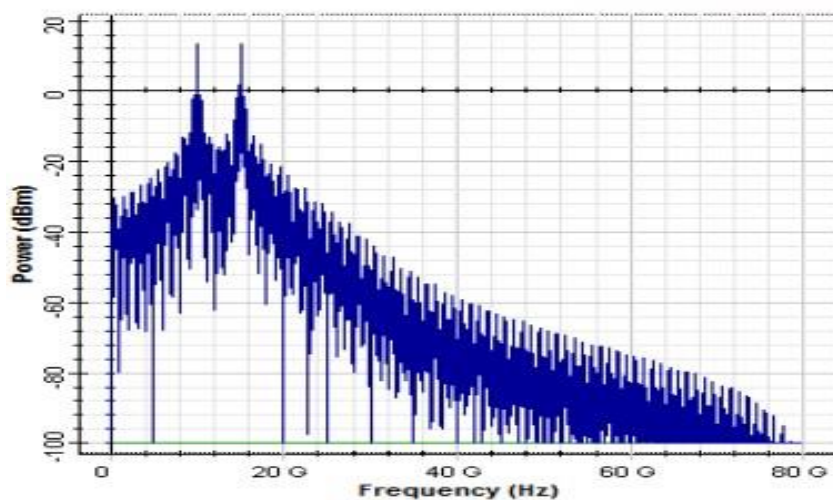


شکل آنالیز ۹ دریافت طیف RF در CS

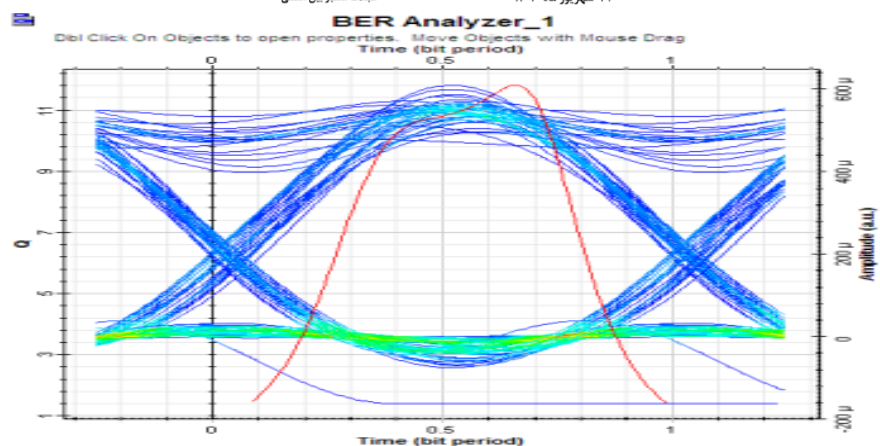


# RF Spectrum Analyzer

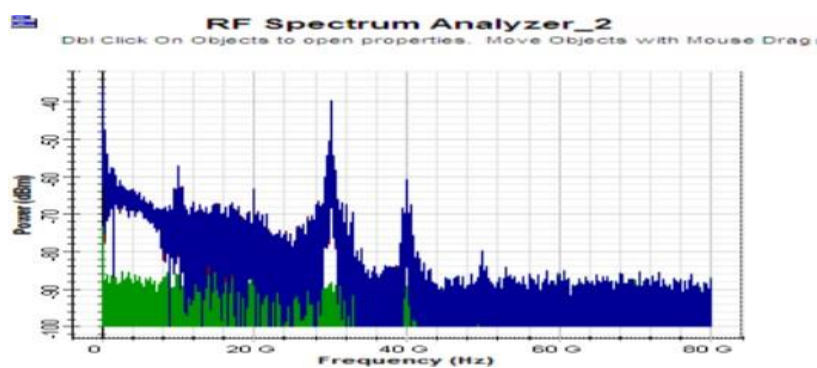
Hold Control Key for Accelerated Panning



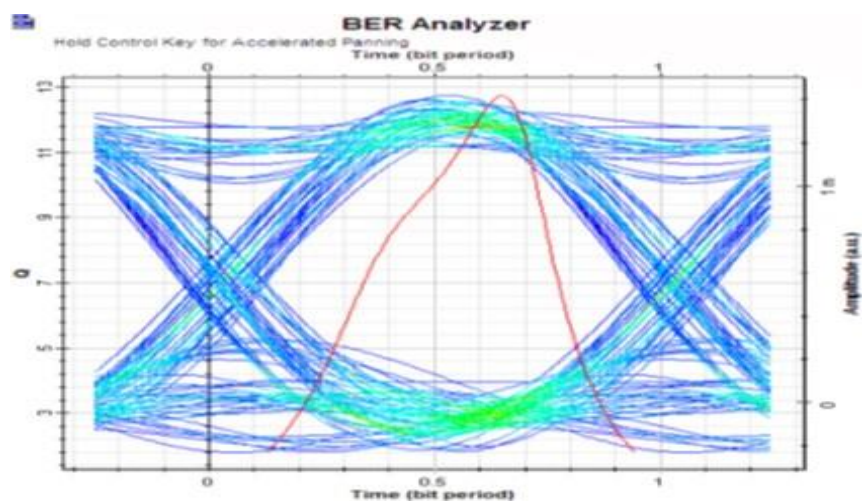
شکل آنالیز 10 سیگنال ارسالی در BS 1



شکل آنالیز (۱۱) نمودار چشمی داده های دریافتی BS 1



شکل آنالیز (۱۲) سیگنال RF دریافتی در BS 2



شکل آنالیز (۱۳) نمودار چشمی داده های دریافتی در BS 2

NO .OF SAMPLES	Bit Rate (Gbps)	Q Factor	Threshold	Minimum BER	Eye Height
۱	۱	۱۰/۸۶۸۴	۰/۰۰۰۶۱۶۲۴	۹/۷۱۰۵*۱۰۸۳۴	۰/۰۰۰۹۷۴۴۵۸
۲	۱/۵	۸/۹۵۷۱۲	۰/۰۰۰۵۶۱۵۲	۱/۶۶۵۸*۱۰۸۱۹	۰/۰۰۰۸۹۱۷۶
۳	۲	۶/۲۷۷۴۳	۰/۰۰۰۵۷۹۹۱	۱/۷۲۰۸*۱۰۸۱۰	۰/۰۰۰۶۸۶۶۱۹
۴	۲/۵	۳/۹۷۷۹۴	۰/۰۰۰۵۵۰۲۲	۳/۴۶۰۹۸*۱۰۸۵	۰/۰۰۰۲۹۶۷۴۵
۵	۳	۳/۷۲۱۷۸	۰/۰۰۰۶۳۶۲۲۲	۹/۸۷۴۹۲*۱۰۸۵	۰/۰۰۰۲۳۴۹۰۲

جدول ۲: ضریب Q آستانه و حداقل BER و ارتفاع چشم برای مقادیر مختلف نرخ بیت برای طرح کدگذاری NRZ

NO .OF SAMPLES	Bit Rate (Gbps)	Q Factor	Threshold	Minimum BER	Eye Height
۱	۱	۱۶/۳۰۲	۰/۰۰۰۵۵۵	۴/۷۴۳*۱۰۸۶۰	۰/۰۰۰۸۵۳
۲	۱/۵	۱۰/۵۸۳	۰/۰۰۰۴۹۱	۱/۷۶۶۱*۱۰۸۲۶	۰/۰۰۰۶۸۸
۳	۲	۱۰/۱۲۰	۰/۰۰۰۴۴۸	۲/۲۲۳*۱۰۸۲۴	۰/۰۰۰۴۴۸
۴	۲/۵	۶/۳۶۹۳	۰/۰۰۰۴۰۲۴	۹/۳۶۱*۱۰۸۱۱	۰/۰۰۰۴۶۰
۵	۳	۴/۱۵۸۱	۰/۰۰۰۱۴۹۸	۱/۶۰۲*۱۰۸۵	۹/۲۲۷*۱۰۸۵

جدول ۳: ضریب Q آستانه , حداقل BER و ارتفاع چشم برای مقادیر مختلف نرخ بیت برای طرح کدگذاری خط گاوسی

NO .OF SAMPLES	Bit Rate (Gbps)	Q Factor	Threshold	Minimum BER	Eye Height
۱	۱	۱۲/۰۳۳	۰/۰۰۰۷۷۸	۱/۶۵۱*۱۰۸۳۳	۰/۰۰۰۹۷۶
۲	۱/۵	۱۱/۳۶۳	-۵ ۷/۰۸*۱۰۸	۲/۲۳۶*۱۰۸۳۰	۰/۰۰۰۳۴۸۷
۳	۲	۸/۲۴۳۶	۰/۰۰۰۵۲۸	۸/۲۰۱*۱۰۸۱۱	۰/۰۰۰۳۲۷
۴	۲/۵	۵/۰۳	-۵ ۵/۲۶*۱۰۸	۷/۸۰۸*۱۰۸۷	۰/۰۰۰۲۲۴
۵	۳	۱/۸۰۹	۰/۰۰۰۱۱۳	۰/۰۳۴۳	-۰/۰۰۰۱۷۹

جدول ۴: ضریب Q آستانه , حداقل BER و ارتفاع چشم برای مقادیر مختلف نرخ بیت برای طرح کدگذاری RZ

## ۷-نتیجه گیری:

در این مقاله ما یک سیستم ROF برای HAN را بررسی کرده ایم و انتقال سیگنال های RF با فرکانس ۱ تا ۳ گیگاهرتز , ۱۰ گیگاهرتز و ۱۵ گیگاهرتز را در طول ۲۰ تا ۶۰ کیلومتر فیبر استاندارد SM در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر شبیه سازی کرده ایم . شکل دریافت سیگنال نوری در CS و شکل دریافت سیگنال نوری در BS 2 مقدار کمی انحراف را در طیف نوری دریافتی در BS1 و BS 2 به دلیل اثر غیر خطی نشان می دهد . از آنجایی که فرکانس مرکزی هنوز در حدود ۱۹۳.۱ THz است بنابراین باعث انحراف شدید در سیگنال دریافتی نمی شود . سیگنال دریافتی پس از ارسال به مدت ۲۰ کیلومتر , مقداری نویز مانند شکل دریافت طیف RF در CS انباشته کرد . شکل نمودار چشمی را در BS 1 و BS 2 نشان می دهد که در آن باز شدن چشم عمودی و افقی با حداقل اعوجاج سیگنال مطابقت دارد . نتایج شبیه سازی نشان داد که با افزایش نرخ بیت و ضریب Q طول فیبر , ارتفاع چشم و آستانه کاهش و حداقل BER در بیشتر موارد افزایش می یابد مقایسه بین کدگذاری





خط NRZ, RZ و گاوسی بر اساس معیار های عملکرد، مانند ضریب Q حداقل BER ارتفاع چشم و آستانه انجام شده است. سیستم پالس گاوسی عملکرد عالی را برای حداکثر سرعت داده ۲.۵ گیگا بیت بر ثانیه و حداکثر طول فیبر ۶۰ کیلومتر نشان می دهد. نمودار چشمی خوب و BER کم به دست آمد که حاکی از عملکرد بهتر سیستم است. سیستم پیشنهادی ما برای نرخ بیت ۱ گیگا بیت بر ثانیه تا ۲.۵ گیگابیت بر ثانیه و طول فیبر ۲۰ تا ۶۰ کیلومتر با پالس گاوسی مناسب است.

منابع:

[۱] Joffray Guillory, "Radio over Fiber for the future Home Area Networks", PhD Thesis, University of Paris-Est, October 30, 2012.

[۲] [http://www.sonoma.edu/users/f/farahman/sonoma/courses/cet543/lecture/2011\\_Lectures/introduction\\_v2.pdf](http://www.sonoma.edu/users/f/farahman/sonoma/courses/cet543/lecture/2011_Lectures/introduction_v2.pdf)

[۳] [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)

[۴] R. Karthikeyan, S. Prakasam, PhD., "A Survey on Radio over Fiber (RoF) for Wireless Broadband Access Technologies", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Vol. 64, No.12, pp. 14-19, Feb 2013.

[۵] Ahmad Said Chahine, Uche A. K Okonkwo and Razali Ngah, "Study the Performance of OFDM Radio over Fiber for Wireless Communication Systems", 2008 IEEE INTERNATIONAL RF AND MICROWAVE CONFERENCE PROCEEDINGS, December 2-4, 2008, Kuala Lumpur, Malaysia

[۶] Sandeep Singh, Ravi Prakash Shukla, Manvendr, Alok Singh, "Optimization and Simulation of WDM-RoF link", International Journal of Scientific Research and Publications, Vol. 2, Issue 1, January 2012.

[۷] Hoversten, E.V., "Direct-Detection Optical Communication Receivers", IEEE Transactions on Communications, Volume 22, Issue 1, Jan 1974.

[۸] Tae-Young Kim, Masanori Hanawa, Sun-Jong Kim, "Optical delay interferometer based on phase shifted fiber Bragg grating with optically controllable phase shifter", Optics Express, Volume 14, No. 10, May 2006.

[۹] Behrouz A. Forouzan, Data Communications and Networking, 4th Edition, McGraw-Hill, pp. 138-170.

[۱۰] "Optical Signal-to-Noise Ratio and the Q- Factor in Fiber-Optic Communication Systems", Matrix Integrated, Application Note: H FAN-9.0.2

[۱۱] Amanjot Kaur, Jasbir Singh, "Performance Evaluation of Digital Modulation Techniques in a WCDMA-based Radio-over-Fiber Communication



13<sup>th</sup> International Conference on

Electrical, Electronic  
Engineering and Smart Grids

Event Place: Tbilisi, Georgia

[www.Eesconf.ir](http://www.Eesconf.ir)

سیزدهمین کنفرانس بین المللی

مهندسی برق، الکترونیک و شبکه های هوشمند | گرجستان



13<sup>th</sup> International Conference on Electrical, Electronic Engineering and Smart Grids  
مجله معتبر بین المللی ۲۱ شهریور ماه ۱۴۰۲

**System”, International Journal of Advanced Research  
in Computer Science and Electronics Engineering,  
Vol. 1, Issue 4, pp. 10-14, June 2012**