

تحليل أداء المضخات في أنظمة اتصالات ضوئية تستخدم تقنية WDM

المهندسة رنيم يونس*

الدكتور محمد نصر**

(تاريخ الإبداع 2023 /8/10 – تاريخ النشر 2023 /11/19)

□ ملخص □

تعاين العديد من أنظمة الاتصالات الضوئية من التخميد الذي يؤثر بشكل سلبي على أداء هذه الأنظمة ويقلل من المسافة التي يمكن أن تصل إليها الإشارة. لذلك جاءت فكرة المضخات الضوئية كحل أساسي للتخفيف من هذه التأثيرات السلبية .

إضافة لذلك عملت تقنيات التجميع في أنظمة الاتصالات على إرسال عدة إشارات ضوئية بأطوال موجية مختلفة على مسافات كبيرة مما أدى إلى زيادة السعة في أنظمة الاتصالات .

تم في هذا المقال دراسة أداء المضخات الضوئية في أنظمة الاتصالات التي تستخدم تقنية wdm وذلك باستخدام برنامج محاكاة Optisystem. بالإضافة إلى مقارنة المضخات من حيث قيم معامل الجودة من أجل تحديد المضخم الأنسب لأنظمة الاتصالات .

الكلمات المفتاحية: اتصالات ضوئية – المضخات – عامل الجودة –WDM

*مهندسة في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس-سوريا.

**أستاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس- سوريا

Performance analysis of amplifiers in WDM optical communication systems

Eng. Ranim Younes*
Dr. Mohammad Nasr**

(Received 10/8/2023.Accepted 19/11/2023)

□ABSTRACT □

Many optical communication systems suffer from attenuation, which negatively affects the performance of these systems and reduces the distance that the signal can travel. Therefore, the idea of optical amplifiers came as a basic solution to mitigate these negative effects.

In addition, multiplexing techniques in communication systems have worked to transmit several light signals of different wavelengths over large distances, which has led to an increase in capacity in communication systems.

In this article, the performance of optical amplifiers in communication systems that use WDM technology has been examined using Optisystem simulation software. In addition to comparing amplifiers in terms of quality factor values in order to determine the most appropriate amplifier for communication systems.

Key Words: Optical Communication, Amplifiers-WDM, Q-Factor

*Engineer- Communication Technology Engineering Department, Information and communication TechnologyEngineering, Tartous University, Syria

**Assiistant professor, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria .

١ - مقدمة:

تعتبر الاتصالات عبر الألياف الضوئية من الحلول الهامة لمشكلة زيادة الطلب على الإنترنت عال السرعة والتي حققت تقدم كبير بسبب الفوائد التي قدمتها منها إمكانية إرسال البيانات إلى مسافات كبيرة مع استخدام الألياف الضوئية أو بدونها [1][2]، وعرض النطاق الترددي الأوسع، والأمن والسلامة، إضافة إلى أنها أقل تأثيراً بالحقول الكهرومغناطيسية [3]. يمكن لهذه التكنولوجيا أن تقلل من الآثار الضارة لمختلف الشبكات اللاسلكية ويمكن أن تساهم في حماية البيئة. تتراوح مجالات التطبيقات في الألياف الضوئية من الشبكات العالمية إلى أجهزة كمبيوتر سطح المكتب .

من التقنيات الهامة التي لعبت دور في زيادة عرض النطاق الترددي في أنظمة الألياف الضوئية تقنية الإرسال المتعدد بتقسيم الطول الموجي والتي تعمل على إعطاء طول موجي محدد لكل إشارة ثم جمعهم في ليف ضوئي واحد وبالتالي تمت مضاعفة سعة الإرسال وتخفيف عدد الألياف الضوئية [4].

في أنظمة الاتصالات الضوئية، مع زيادة مسافات الإرسال تعاني الإشارة من التأثيرات اللاخطية والتشتت والتخامد [5]. من أجل التخفيف من هذه التأثيرات، يفضل استخدام المضخمات الضوئية والتي تعمل على الحصول على ربح مرتفع، ومستوى ضجيج منخفض، وعرض نطاق ترددي عال، طاقة عالية للإشارة عند الخرج. حيث تتميز المضخمات الضوئية أنها لا تحتاج إلى تحويل الإشارة من المجال الضوئي إلى المجال الكهربائي كما هو الحال في المكررات [6].

سابقاً تمت دراسة هذه المضخمات YDFA, EDFA, RAMAN كل مضخم في نظام اتصالات يختلف عن الآخر في البارامترات أو تقنيات التعديل [7][8] أما في هذا المقال قمنا بالمقارنة بين أداء هذه المضخمات في نظام الاتصالات واحد مع نفس البارامترات من أجل معرفة المضخم الأكثر كفاءة.

٢ - هدف البحث:

هدف البحث إلى دراسة تأثيرات المضخمات على أداء نظام اتصالات بصري WDM ثم المقارنة بين أداء هذه المضخمات والتوصل إلى أكثر نوع من المضخمات المدروسة ملائمة لأنظمة الاتصالات.

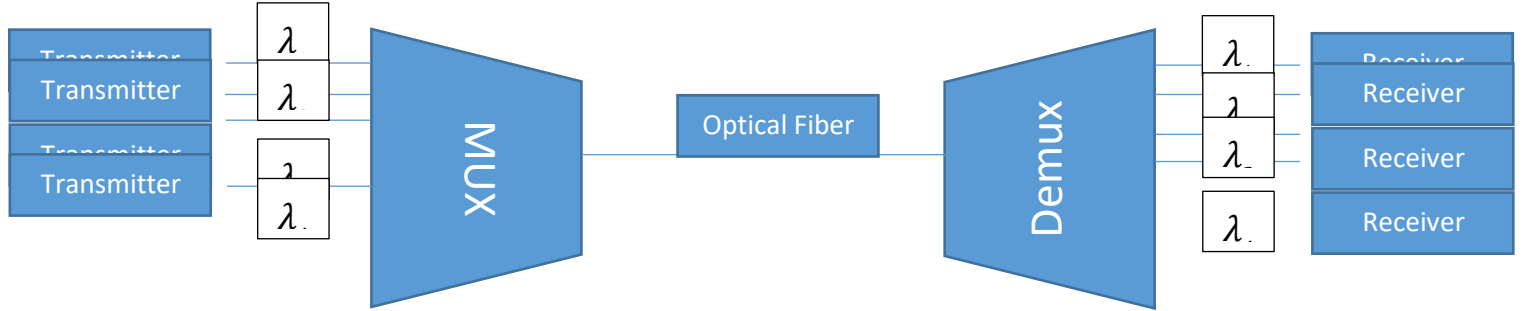
٣ - طرائق البحث ومواده:

في البداية تم التعريف بأنظمة الاتصالات الضوئية مع الفوائد التي تقدمها والسلبيات التي تتعرض لها وذلك اعتماداً على مراجع علمية حديثة [9][10] ، أما في الدراسة العملية تم الاعتماد على برنامج Optisystem والحصول على النتائج المبينة في القسم العملي، حيث يعد هذا البرنامج ذو موثوقية عالية في نتائج محاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية.

٣-١ تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة (WDM: Wavelength Division Multiplexing)

جاءت تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة كحل لمشكلة هدر عرض النطاق الترددي التي تحدث نتيجة إرسال إشارة واحدة بتردد واحد عبر الليف الضوئي. لذلك تعمل تقنية WDM على إرسال عدة إشارات ضوئية بأطوال موجية مختلفة في ليف ضوئي واحد وبنفس الوقت وبالتالي زيادة سعة النظام. بدأت هذه التقنية باستخدام ثلاث أطوال موجية في البداية وهي 850nm، 1550nm، 1310nm. ثم أخذت هذه التقنية تتطور تدريجياً لتصل إلى عدد كبير من القنوات تقريباً ١٦٠ قناة. [11]

تتقسم هذه التقنية إلى نوعين أساسيين وهما: CWDM (Coarse-WDM) تسمى تعدد الإرسال بتقسيم الموجات الخشنة والنوع الثاني DWDM (Dense-WDM) تسمى تعدد الإرسال بتقسيم الموجات الكثيف، تختلف هاتين التقنيتين عن بعضهما بعدد القنوات التي يمكن استخدامها. تتميز CWDM بأنها أقل كلفة لكل قناة من DWDM ولكن من عيوبها أنها تسمح بـ ١٨ قناة فقط مقارنة مع DWDM والتي وصلت إلى ١٦٠ قناة إضافة إلى أن CWDM لا ينصح باستخدامها مع أنظمة اتصالات طويلة المدى. أي يمكن أن نقول أنه يمكن استخدام CWDM في أنظمة الاتصالات التي لا تتطلب وصول الإشارة إلى مسافات بعيدة إضافة إلى عدد قنوات قليل. أما عندما يكون هناك مسافات طويلة لأنظمة الاتصالات إضافة إلى الحاجة إلى عدد قنوات كبير عندها ينصح باستخدام DWDM. [12]



الشكل(١): آلية عمل تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة

٢-٣ المضخمات الضوئية (Optical Amplifiers):

يكمن دور المضخمات الضوئية في تضخيم الإشارات الضوئية في المجال الضوئي دون الحاجة إلى تحويل إلى المجال الكهربائي، حيث يتم وضع هذه المضخمات في مواقع مختلفة من الليف الضوئي، وتختلف وظيفتها على اختلاف موقعها، مثلاً من أجل الحصول على حساسية استقبال أعلى يتم وضع المضخمات قبل المستقبل، أما إذا كان الهدف وصول الإشارة إلى مسافات أبعد وزيادة قوتها يتم وضع المضخمات في بداية الليف الضوئي، إضافة إلى دورها الرئيسي في التغلب على حالات التخامد التي تتعرض لها الإشارة أثناء إرسالها عبر الليف.

واحدة من أهم البارامترات للمضخمات الضوئية هي ربح المضخم، حيث يعطى بالعلاقة التالية:

$$G = \frac{P_{s,out}}{P_{s,in}} \quad (1)$$

حيث أن $P_{s,out}$ ، $P_{s,in}$ تعبر عن طاقة الدخل والخرج على التوالي للإشارة المراد تضخيمها

١-٢-٣ مضخم YDFA:

تقدم ليزرات ألياف الإيتريوم (Ytterbium Doped Fiber Amplifiers) نطاقاً من الأطوال الموجية الممتدة بين (975-1200nm) من أجل القيام بعملية التضخيم. يتمتع هذا المضخم بالعديد من الميزات منها طاقة خرج عالية، ويتم من خلاله تجاهل المضاعفات الناتجة عن مضخمات EDFA مثل امتصاص حالة الإثارة بسبب المحفزات عالية التركيز للإيتريوم. يسمح النطق الترددي العريض لهذا المضخم بتضخيم أفضل للنبضات القصيرة جداً، كما أنه يسمح بمخططات ضخ مختلفة حيث يتم استخدام نطاق طول موجي كبير يمتد بين 860 nm إلى 1064nm، تتضمن مجالات تطبيق YDFAs تضخيم الطاقة، مثل

مضخمات ذات الطول الموجي الصغير في تطبيقات استشعار الألياف، واتصالات الليزر في الفضاء الحر [16]. تعطى معادلات الريح والخسارة للمضخة والإشارة في مضخم YDFA عند موضع معين z على طول الليف على الشكل التالي [17]:

$$\frac{dP_p}{dz} = \eta_p (\sigma_{21}^{(p)} n_2 - \sigma_{12}^{(p)} n_1) N_{tot} P_p \quad (2)$$

$$\frac{dP_s}{dz} = \eta_s (\sigma_{21}^{(s)} n_2 - \sigma_{12}^{(s)} n_1) N_{tot} P_s \quad (3)$$

حيث p : تعبر عن المضخة (pump) و s تعبر عن الإشارة (signal).

N_{tot} : الكثافة الكلية لأيونات Yb

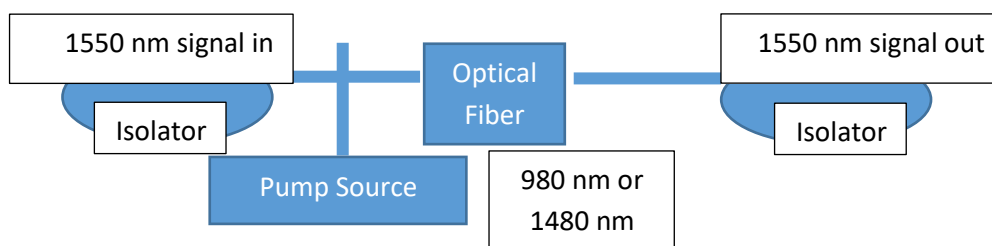
$\sigma_{21}^{(p)}$ و $\sigma_{12}^{(p)}$: هما المقاطع العرضية الفعالة لامتناس وانبعث المضخة

$\sigma_{21}^{(s)}$ و $\sigma_{12}^{(s)}$: القيم المقابلة لطول موجة الإشارة.

٣-٢-٢ مضخم EDFA:

أو المضخم المشاب بالإربيوم (Erbium Doped Fiber Amplifiers)، وهو الأكثر شيوعاً في أنظمة الاتصالات التي تستخدم تقنية WDM، وذلك لأنه يعمل عند طول موجة 1550nm حيث تكون قيمة التخماد بالليف صغيرة، تقوم هذه المضخمات بتضخيم الإشارة ضمن الألياف الضوئية المشابة بالإربيوم، يعمل هذا المضخم ضمن نطاق الأطوال الموجية الممتدة من (1530-1565nm) أي ضمن الحزمة C، فيما بعد بدأ يعمل ضمن الحزمتين L و C. ويتميز هذا المضخم بقيمة ضحيج منخفضة وقيمة عالية للريح لذلك يعد من المضخمات المرغوبة في أنظمة الاتصالات [15].

يوضح الشكل (٢) مخطط صندوقي لآلية عمل مضخم EDFA. حيث يتكون من مضخة ليزرية وليف ضوئي مشاب وعازل ضوئي من أجل منع انعكاس الإشارة، نلاحظ من الشكل أنه يتم مزج الإشارة المرسله مع إشارة الضخ بطول موجة 980nm أو 1480nm حيث تعمل هذه الأطوال الموجية على ضخ أيونات الإربيوم إلى سوية طاقة أعلى، ليتم بعدها إرسال الإشارة ضمن الليف. [15]



الشكل (2): آلية عمل مضخم EDFA

يتم قياس طيف الخسارة $\alpha(\lambda)$ وطيف الريح $g^*(\lambda)$ في مضخم EDFA بالعلاقة التالية [18]:

$$\alpha(\lambda) = \sigma_a(\lambda) \Gamma(\lambda) n_t \quad (4)$$

$$g^*(\lambda) = \sigma_e(\lambda) \Gamma(\lambda) n_t \quad (5)$$

حيث: $\Gamma(\lambda)$ هو تكامل التداخل بين النمط البصري و أيونات الإربيوم

n_t : كثافة أيونات الإربيوم

$\sigma_e(\lambda)$ ، $\sigma_a(\lambda)$: المقاطع العرضية للامتصاص والانبعاث.

تعطى علاقة طاقة الخرج لمضخم DFA بالعلاقة التالية:

$$P_{s,out} \leq P_{s,in} + \frac{\lambda_p}{\lambda_s} P_{p,in} \quad (6)$$

حيث: $P_{p,in}$ طاقة الدخل للمضخة

λ_p : طول موجة المضخة

λ_s : طول موجة الإشارة المرسله

وبالتالي تصبح علاقة ربح مضخم DFA بالعلاقة التالية:

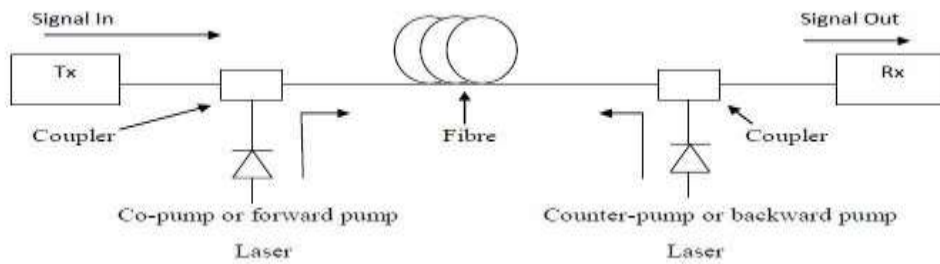
$$G = \frac{P_{s,out}}{P_{s,in}} \leq 1 + \frac{\lambda_p}{\lambda_s} \frac{P_{p,in}}{P_{s,in}} \quad (7)$$

٣-٢-٣ مضخم RAMAN:

ينتمي مضخم رامان إلى نوع المضخمات الليفية ذات الخصائص الغير خطية حيث يستخدم مضخمات باستطاعة عالية للاستفادة من هذه الخصائص. يحدث التضخيم بسبب ظاهرة التشتت للإشعاع البصري إضافة إلى الاهتزازات الجزيئية في المادة المكونة لليف. يرتبط معامل ربح مضخم رامان لهذه العملية بقسم التشتت الذي يعتمد على المادة المصنوع منها الليف [13]. يعد هذا المضخم شائع الاستخدام وذلك لأنه يمكن توسيع عرض الحزمة للمضخم من خلال استخدام أكثر من مضخة أي يصبح مضخم رامان متعدد المضخمات. إحدى الفوائد الواضحة لتضخيم Raman هي الربح، ولكن الفائدة الأكثر أهمية هي الضوضاء الأقل التي تصاحب هذا الربح مقارنة بالتضخيم المجمع [14].

يتميز هذا المضخم بالمنحني الواسع لطيفه، ويمكن التحكم بشكل الطيف من خلال تغيير عدد المضخمات وتغيير الأطوال الموجية، أما بالنسبة لعيوبه أنه عندما تكون استطاعة الإشارة المراد تضخيمها ضعيفة عندها لا يستطيع مضخم رامان تضخيم الإشارة بكفاءة عالية. [14]

يوضح الشكل (3) مخطط صندوقي لآلية عمل مضخم RAMAN



الشكل (٣): آلية عمل مضخم EDFA

يمكن كتابة معادلات الانتشار التي تحكم الطاقة الأمامية والخلفية للمضخمات والإشارات والانبعاث التلقائي المضخم (ASE) في مضخمات رامان مع تبعثر رايلي [19]:

$$\begin{aligned} \frac{dp^{\pm}(z, v)}{dz} = & \mp \alpha(v) p^{\pm}(z, v) \pm \gamma(v) P^{\mp}(z, v) \\ & \pm \sum_{\zeta > v} \left\{ \frac{g_r(v - \zeta)}{K_{eff} A_{eff}} \cdot [p^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] \cdot p^{\pm}(z, v) \right. \\ & \left. + h v \frac{g_r(v - \zeta)}{A_{eff}} \cdot [p^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] \cdot \left[1 + \frac{1}{e^{\frac{h(v-\zeta)}{kT}} - 1} \right] dv \right\} \\ & \mp \sum_{\zeta < v} \left\{ \frac{g_r(v - \zeta)}{K_{eff} A_{eff}} [p^{\pm}(z, \zeta) + P^{\mp}(z, \zeta)] \cdot p^{\pm}(z, v) \right. \\ & \left. + 2h\zeta \frac{g_r(v - \zeta)}{A_{eff}} p^{\pm}(z, v) \cdot \left[1 + \frac{1}{e^{\frac{h(v-\zeta)}{kT}} - 1} \right] d\zeta \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

الإشارات + و - تعبران عن اتجاه انتشار الإشارة.

α : خسارة الليف

γ : معامل تبعثر رايلي

$g_r(v - \zeta)$: معامل ربح رامان بين v و ζ

K_{eff} : عامل الاستقطاب بين إشارات المضخة و Stokes

A_{eff} : منطقة التفاعل الفعال

h : ثابت بلانك

k : ثابت بولتزمان

T : درجة الحرارة المطلقة للألياف

تعطى علاقة ربح مضخم رامان بالعلاقة التالية:

$$g_R = \frac{P_R}{\lambda_p} g_N \quad (4)$$

حيث: P_R : ذروة ربح رامان

λ_p : طول موجة المضخة

Normalized Raman Gain : g_N

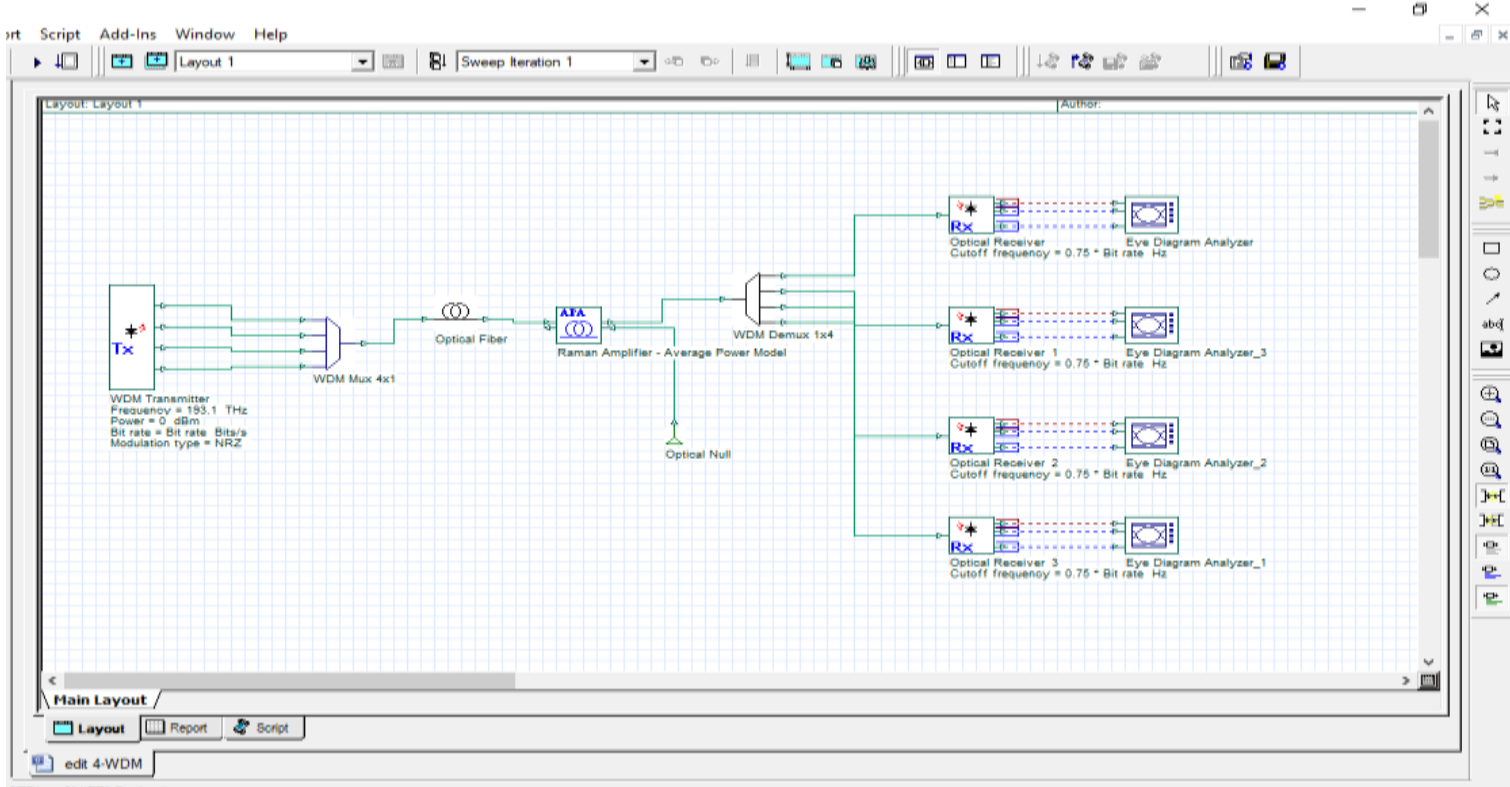
٤ - النتائج والمناقشة:

تم تنفيذ محاكاة نظام اتصالات ضوئي مع تقنية WDM مع استخدام أربع قنوات باستخدام برنامج Optisystem من أجل تحليل أداء المضخمات الضوئية على النظام المقترح.

يوضح الشكل (4) مخطط النظام يحتوي على ٤ قنوات مع استخدام مضخم RAMAN، حيث تم قياس تغير معامل الجودة تبعاً للمسافة، تم تغيير المسافات 25,50,75,100 Km، بعد ذلك تم تغيير المضخم واختيار EDFA ثم YDFA. والجدول (١) قيم البارامترات المستخدمة في النظام.

تتكون إشارة الدخل من إشارة متعددة الإرسال مكونة من ٤ أطوال موجية (-1551.7-1550.9-1550.1 1552.5 nm)، مع استطاعة إرسال 10dbm. يحتوي قسم الاستقبال على فاك تعدد WDM De-) WDM

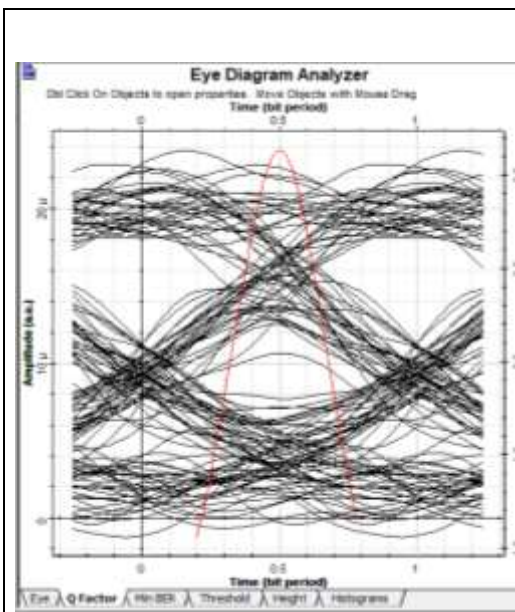
(multiplexer)، وعلى مستقبل ضوئي مكون من كاشف ضوئي PIN ومرشح تمرير منخفض، بعدها تصل الإشارة إلى محل مخطط العين.



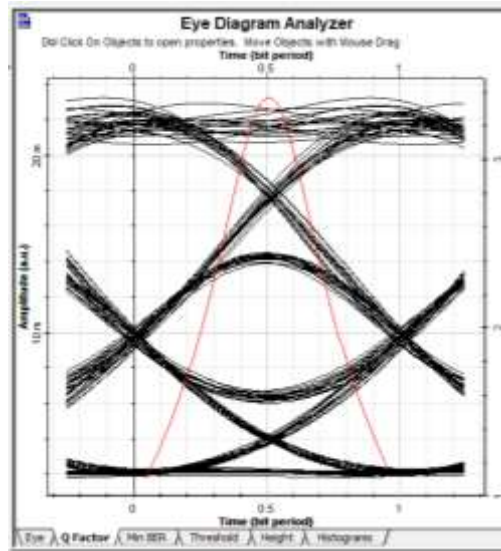
الشكل (٤): النظام الضوئي المقترح مع مضخم RAMAN

الجدول (١): البارامترات المستخدمة في النظام			
4		عدد قنوات WDM	
10Gbps		معدل نقل البيانات	
25,50,75,100		المسافات (Km)	
YDFA	EDFA	RAMAN	طول الليف لمضخم
5 m	5 m	10 km	

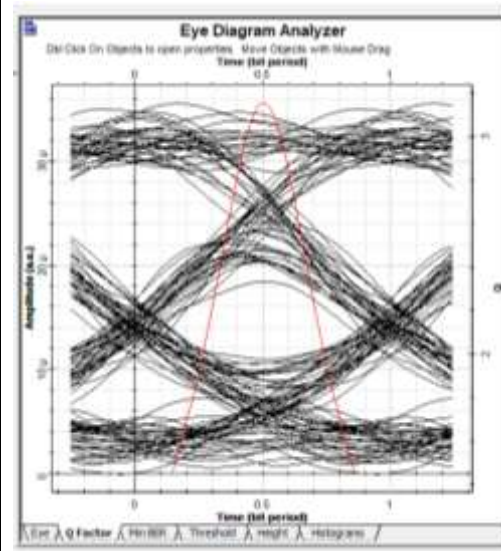
يوضح الشكل (5) و(6) مخطط العين للمضخمات الثلاثة، في الشكل (5) على مسافة 75Km، وفي الشكل (6) على مسافة 100Km. والجدول (2) يوضح القيم العددية لتغير معامل الجودة للمضخمات الثلاثة مع تغير المسافات، نلاحظ من القيم أنه مع ازدياد المسافة تنخفض قيمة معامل الجودة كما نلاحظ أن مضخم EDFA يعطي نتائج أفضل من المضخمين RAMAN, YDFA، حتى أنه عند مسافة 100Km نلاحظ عدم وصول الإشارة في حالة استخدام مضخم RAMAN، أما في حالة المضخمين EDFA، YDFA تصل الإشارة ولكن بمعامل جودة أقل بسبب ازدياد المسافة.



RAMAN

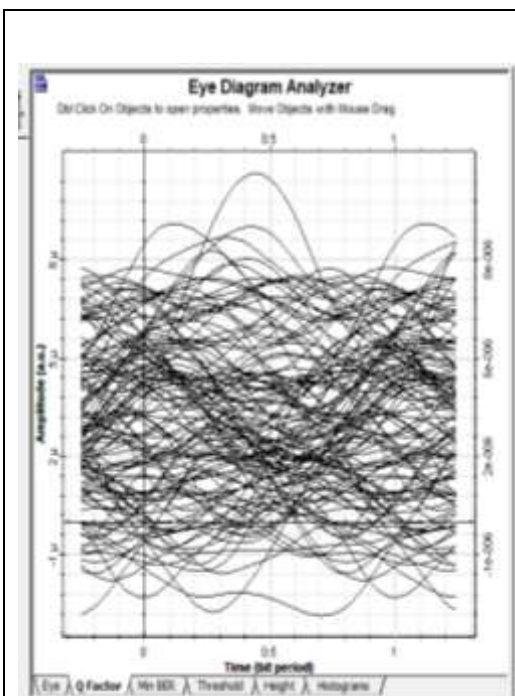


EDFA

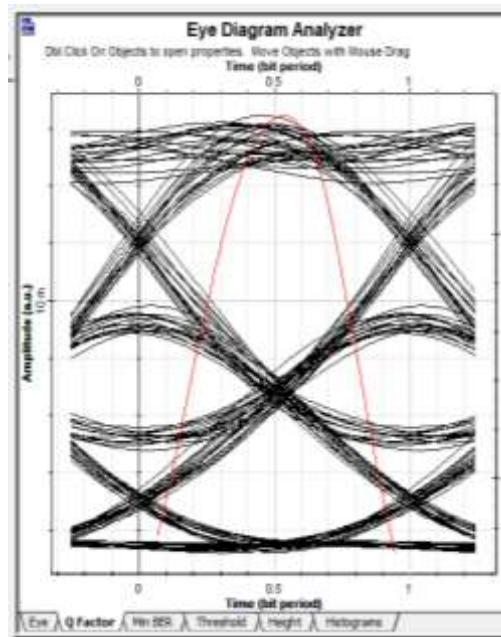


YDFA

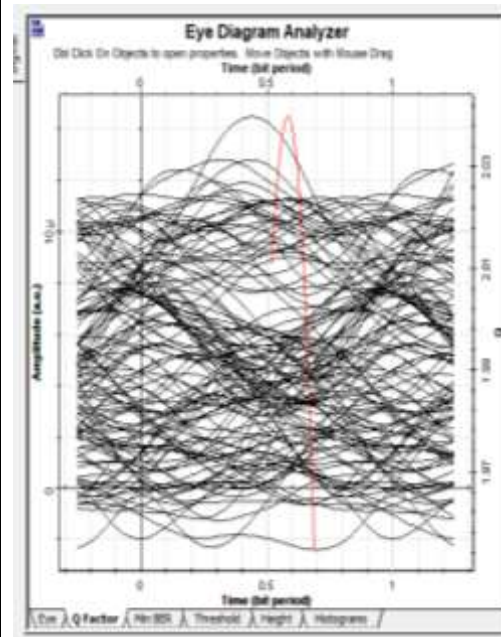
الشكل(٥): مخطط العين للمضخمات الثلاثة على مسافة 75Km



RAMAN



EDFA



YDFA

الشكل(٦): مخطط العين للمضخمات الثلاثة على مسافة 100Km

الجدول (٢): يوضح قيم معامل الجودة لإشارات الخرج التي تم الحصول عليها لأنواع مختلفة من المضخمات			
YDFA	EDFA	RAMAN	نوع المضخم المسافة Km
4.633	4.669	4.617	25
4.074	4.124	4.006	50
3.150	3.365	2.877	75
2.039	2.667	0	100

يوضح الجدول (3) القيم العددية لتغير معامل الجودة بين القنوات الأربعة للمضخمات الثلاثة وعلى مسافة محددة 50Km، نلاحظ أيضاً من القيم أن مضخم EDFA يعطي نتائج أفضل من المضخمين YDFA, RAMAN على القنوات الأربعة، وهذا يعني أنه تم تفكيك الإشارات بشكل أوضح عند استخدام مضخمات EDFA مقارنة مع المضخمين الآخرين.

الجدول (3): يوضح قيم معامل الجودة لإشارات الخرج بين القنوات الأربعة التي تم الحصول عليها لأنواع مختلفة من المضخمات			
YDFA	EDFA	RAMAN	نوع المضخم القنوات
4.074	4.124	4.006	١
3.985	3.997	3.926	٢
4.008	4.031	4.003	٣
3.883	3.945	3.807	٤

٥- الاستنتاجات والتوصيات:

تم خلال هذا البحث تقديم دراسة لأداء نظام اتصالات يستخدم تقنية WDM مع استخدام المضخمات الضوئية ضمن النظام المقترح والتي تعمل على زيادة المسافة التي تصل إليها الإشارة وتتغلب على السلبات التي تعاني منها أنظمة الاتصالات الضوئية منها التخامد والتشتت وغيرها. تم الاعتماد على برنامج Optisystem من أجل تصميم النظام وتحليل النتائج. ثم تم تقييم أداء أنواع مختلفة من مضخمات الصوت، تم من خلال النتائج تم ملاحظة أنه عند استخدام مضخم EDFA تم الحصول على قيم معامل جودة أكبر من الأنظمة التي تستخدم مضخمات YDFA, RAMAN. أي نستنتج أن مضخم EDFA أكثر ملاءمة للاستخدام في أنظمة الاتصالات الضوئية لأنه يحقق عامل جودة أكبر مع خسارة أقل مقارنة مع المضخمات الأخرى.

بعد أن تم عرض النتائج ومناقشتها، يمكن أن نوصي ببعض الاقتراحات المستقبلية والتي تساهم في تحسين أداء نظم الاتصالات، من هذه المقترحات: يمكن استخدام أكثر من نوع من المضخمات في نفس النظام والتي تسمى بالمضخمات الهجينة مثل دمج مضخمي EDFA و RAMAN في نفس النظام وتقييم أداء النتائج ومن الممكن استخدام تقنيات تعديل مختلفة ودراستها مع المضخمات الهجينة، ومن الممكن إدخال مجمع OADM ضمن أنظمة الاتصالات ودراستها مع المضخمات. كل هذه المقترحات من الممكن أن تعمل على تحسين أداء أنظمة الاتصالات الضوئية بنسب مختلفة.

٦- المراجع:

- [1] H.A.A. Alasadi, L.Mohamad, M.Nassr, "Self-Phase Modulation Mitigation in Coherent Optical Communication Systems", INTERNATIONAL JOURNAL OF MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY, VOL.16,NO.6,NOVEMBER 2021
- [2] R. Younes, F. Ghosna, M. Nassr, M. Anbar, H. Alasadi, "Predicting BER value in OFDM-FSO systems using Machine Learning techniques", Opt. Pura Api., vol. 55, no. 4, 51114, 2022.
- [3] Yannis, L.G., (2006) *New optical Microwave Up-conversion Solution in Radio over Fiber Network*, Journal of lightwave Technology, vol.24, no.3,pp. 1277-1282.
- [4] غصنة، ف; نصر، م. ٢٠١٨ "زيادة الفعالية الطيفية لأنظمة الاتصالات البصرية DWDM باستخدام المرشحات ضيقة المجال". مجلة جامعة طرطوس
- [5] نصر، م. ٢٠١٨ "مقارنة أداء نظام اتصالات بصري متعدد الأطوال الموجية DWDM يستخدم عدة تقنيات لتعويض التشتت". مجلة جامعة طرطوس
- [6] WASFI, M. "Optical Fiber Amplifiers-Review", International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Canada, Vol. 1, No. 1, pp.42-47, April 2009.
- [7] U.Sindhi. D. Darji, A.Prajapti, R. Shah, R.Patel, "Gain Optimization of EDFA for WDM System" International Conference on Communication and Signal Processing, April 6-8, 2017, India.
- [8] F. Lorenzi, G. Marcon, A. Galtarossa, L. Palmieri, C. Antoelli, "Nonlinear Interference Noise in Raman-Amplified WDM Systems" Journal of lightwave technology, VOL. 41, NO.20 OCTOBER 15, 2023
- [9] M. Anbar, M. Nassr, M. Abdallah, E. Vostorgina, M. Kolistratov and H. A. A. Alasadi, "Sidelobe Canceller Performance Evaluation using Sample Matrix Inversion algorithm," in 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731419.
- [10] M. Anbar, M. Nassr, L. Hasan, E. Vostorgina, and M. Kolistratov, "High Gain, Wide Band 1 & 8 Microstrip Patch Antenna Array at 28GHz for 5G Communication," in 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731454.
- [11] GUJRAL, J.; SINGH ,M." Performance Analysis of 4-channel WDM System with and without EDFA", International Journal of Electronics& Communication Technology, India, IJECT, Vol. 4, Issue Spl – 3, PP. 70-74, April- June 2013.
- [12] Teresa, M., "Performance Analysis of an optical Link in DWDM Systems". Department of Electrical Engineering and Computer Instituto Superior Tecnico Av. Rovisco pais, 1049-001 Lisbon, Portugal, PP. 1-10,2015.
- [13] W. Pelouch, "Raman amplification: An enabling technology for high-capacity, long-haul transmission, "presented at the optical fiber communicatios Conf., Los Angeles, CA, USA, 2015, Paper WICI.
- [14] syuaib I.; Asvial, M.; Rahardjo, T. E., " Ultra-Long Span Optical Transmission Using Bidirectional Raman Amplification", International Conference on Quality in Research IEEE, PP.86-89-2015.

[15] Dipika Pradhan, 2 Vivekanand Mishra, “ *Analysis and Review of EDFA*”, IJCSN International Journal of computer science and network, volume 4, Issue 6, pp.918-923 December2015.

[16] Tanvi T., Gupta N., (2014) *Comparative Gain Analysis of Erbium and Ytterbium Doped Optical Fiber Amplifiers*, International Journal of Computer Applications, vol. 91, no.16,pp. 33-37.

[17] R. Paschotta, J.Nilsson, A.C. Tropper, and D.C.. Hanna, “ *Ytterbium-Doped Fiber Amplifier*”, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vohme 33 Issue: 7, Jul. 1997, Page(s): 1049-1056

[18] C. Randy Giles, and Emmanuel Desurvire, “*Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers*”. IEEE Journal of Lightwave Technology, Vohume: 9 Issue: 2, Feb. 1991, Page(s):271-283

[19] B. Min, W.J.Lee, N.Park, “*Efficient Formulation of Raman Amplifier Propagation Equations with Average Power Analysis*”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol 12, No. 11, November 2000