مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد (8) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (4) No. (8) 2020

تقييم أداء نظام اتصالات ضوئي متعدد الأطوال الموجية يستخدم عناصر شبكة غير فعالة

م. ريم احمد اسعد *

(تاريخ الإيداع 24 /8 / 2020 . قُبل للنشر 28 / 10 / 2020)

□ الملخّص □

تزداد تكنولوجيا الاتصالات بالتطور يوماً بعد يوم مع تزايد الطلب على عرض النطاق الترددي لتلبية حاجة المستخدمين، وتلعب الشبكات الضوئية دوراً أساسياً في تلبية هذه المطالب كونها تحقق نقل البيانات بمعدلات عالية إضافة للسعة الكبيرة وخاصة مع استخدام تقنية wdm التي تسمح بنقل أكثر من طول موجة بآن واحد ضمن الليف.

تعدّ الشبكات الضوئية غير الفعالة التي تعتمد على تقنية تقسيم الطول الموجي WDM–PON من الشبكات الحديثة والتي لاقت رواجاً كبيراً كونها تؤمن نقل بيانات بمعدلات عالية مع الحفاظ على الموثوقية وتجنب الطرق التقليدية للشبكات الضوئية التي كانت تعتمد على التحويل من المجال الضوئي إلى المجال الالكتروني لتنفيذ بعض التوابع.

تم خلال هذا البحث تصميم ومحاكاة شبكة WDM–PON ومقارنة أدائها من أجل صيغ ترميز خطية مختلفة RZ و NRZ باستخدام المحاكي optisystem . كما تم استعراض وتحليل أداء النظام اعتماداً على محددات الأداء الأساسية في هذه الأنظمة مثل معدل الخطأ في البتات و معامل الجودة ومخطط العين.

الكلمات المفتاحية: الألياف الضوئية، الشبكات الضوئية غير الفعالة، توصيل الألياف إلى المنازل، التجميع بتقسيم الطول الموجي، الترميز الخطي، العودة إلى الصفر، عدم العودة للصفر، معدل خطأ البت، مخطط العين، معامل الجودة.

* قائم بالأعمال في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات _ كلية تكنولوجيا المعلومات والاتصالات _ جامعة طرطوس_ طرطوس_ سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد (8) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (4) No. (8) 2020

Estimate performance of multi -wavelength communication system using passive network elements

Eng.Reem Ahmad Asaad*

(Received 24 / 8 / 2020 . Accepted 28 / 10 / 2020)

□ ABSTRACT □

Telecommunication technology continues to evolve because of the growing demand for bandwidth to meet users' needs . Optical networks play an essential role in meeting these demands because it provides high data rates, In addition to large capacity, especially by using WDM technology that allows more than one wavelength to be transmitted within the fiber.

The passive optical networks based on wavelength division multiplexing technology WDM-PON are among the most popular networks, as it provides high-speed data rates with maintaining reliability and avoid the traditional methods of optical networks that depending on the conversion from the optical field to the electronic field to implement some functions.

In this paper, we designed and simulated the WDM-PON network and compared its performance for different linear encoding formats RZ and NRZ using Optisystem simulator.

The system performance was reviewed and analyzed based on the main performance parameters such as bit error rate, quality factor and eye Diagram.

Key words: Optical Fibers, Passive Optical Networks, Fiber To The Home, Wavelength Division Multiplexing, Linear Coding, Return Zero, Non-Return Zero, Bit Error Rate , Eye Diagram, Quality Factor.

*Charge d'affaires in the Department of Communications Technology Engineering _ Faculty of Information and Communication Technology _ University of Tartous _ Tartous _ Syria.

1_ مقدمــة

تعتبر شبكات الاتصالات الضوئية العمود الفقري للاتصالات السلكية وتستخدم لنقل كافة أنواع المعلومات عبر البحار والمحيطات والقارات وذلك بسبب السعة الكبيرة التي يؤمنها الليف الضوئي.

يعتبر هذا المجال من العلم واعداً ويتم تطويره باستمرار بغرض تلبية احتياجات المستخدمين المتزايدة والتطبيقات الحديثة التي تتطلب عرض حزمة كبير. أصبح البحث عن زيادة سعة هذه الشبكات من أولويات الشركات المسؤولة عن الاتصالات. وسيكون هناك حاجة أن تصل السعة في المستقبل إلى Tbit/s[12-].

تستخدم شبكات PON (Passive Optic Network) الكابلات الضوئية لتأمين عرض الحزمة العريض. وتعتبر هذه الشبكات ثنائية الاتجاه من نقطة إلى عدة نقاط (PTMP) (Point To Multi Point) وذات معدل عالي بدون وجود مكونات فعالة في طريق الإشارة التي تنتقل من المرسل إلى المستقبِل. يتم نقل بيانات الوصلة الهابطة من طرف محطة طرفية ضوئية (OLT Optical Line Termination) إلى وحدات الشبكة الضوئية Optical Networks Unit (ONUs). أما انتقال البيانات على الوصلة الصاعدة فيتم من ONU إلى OLT عن طريق الألياف الضوئية التي يفصل فيما بينها مُقسّم ضوئي. يوضع مكون OLT في المكتب المركزي CO Central Office ويتم توصيل شبكة الوصول الضوئية بشبكة المنطقة الواسعة (WAN) طويلة المدى بينما يوضع مكون ONU في منزل المستخدم النهائي (FTTH)]3].

قدمت الدراسات السابقة طرق مختلفة لتصميم شبكات WDM-PON وتطبيقاتها. تعتبر WDM-PON الشبكات الموسعة الأكثر انتشاراً بسبب ميزاتها الكثيرة، مثل الموثوقية وسهولة الإدارة وإمكانية الترقية، وأمن الشبكة القوي، والمرونة العالية أثناء نقل البيانات. كما وجد الباحثون أن شبكة WDM-PON توفر مزايا مميزة على TDMA-PON فيما يتعلق بجودة الخدمة QoS [[6][5][4].

2- هدف البحث

يهدف البحث إلى تصميم ودراسة أداء شبكة WDM-PON على مسافات مختلفة ومن أجل معدلات بت مختلفة اعتماداً على قياس معدل خطأ البت ومخطط العين ومقارنة أداء هذه الشبكة من أجل صيغ ترميز خطية مختلفة وتحليل النتائج المستنبطة من الدراسة.

3- مواد وطرق البحث:

اعتمد هذا البحث في تنفيذه على العديد من المراجع والدراسات الحديثة [14][13][12][11][6][5][4]، كما اعتمدنا في الدراسة العملية على برنامج optisystem وهو برنامج متخصص بمحاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية وذو موثوقية عالية ومعتمد لدى كبرى شركات الاتصالات في العالم تم ربطه مع برنامج MATLAB R2011a لتحليل النتائج الناتجة عن تلك الدراسة.

يبدأ هذا البحث بإجراء دراسة عن الشبكات الضوئية غير الفعالة PONوشرح مكوناتها الأساسية ، كما تم توضيح صيغ الترميز الخطية الممكن استخدامها في نظم الاتصالات الضوئية ، بعد ذلك تمت نمذجة ومحاكاة نظام يمثل شبكة اتصالات ضوئية غير فعالة تعمل اعتماداً على تقنية تقسيم الطول الموجي وتحليل سلوك الإشارة في النظام

الموافق من أجل معدلات بيانات ومسافات مختلفة وصيغ ترميز (NRZ, RZ) وتم استقراء النتائج لتحديد التصميم الأفضل للنظام.

3-1- الشبكات الضوئية غير الفعالة PON

توفر الشبكات الضوئية غير الفعالة بطبيعتها مجموعة متنوعة من خدمات النطاق العريض للمستخدمين من خلال الألياف الضوئية. يتم في هذه الشبكات إدخال مكونات غير فعالة لتوجيه حركة البيانات عبر الشبكة مثل المقسم الضوئي splitter. وبما أن شبكة PON تحوي عناصر غير فعالة فإن كلفة تنفيد وصيانة وتشغيل هذه الشبكات تعتبر أقل مقارنة مع الشبكات التي تعتمد على عناصر فعالة، وكذلك تزيد من سعة الشبكة كونها تعمل عند معدل بيانات عالي [7].

تتكون شبكة PON من: محطة طرفية ضوئية OLT في المكتب المركزي لمزود الخدمة وعدد من وحدات الشبكة الضوئية ONUs أو محطات الشبكة الضوئية ONUs بالقرب من المستخدمين النهائيين بالإضافة إلى المقسم الضوئي كما هو موضح في الشكل(1).

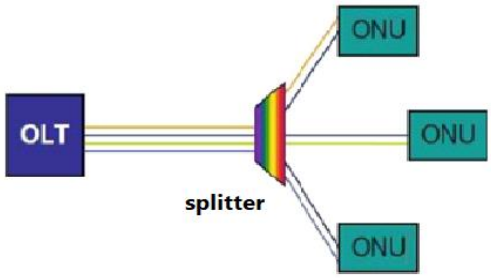


Fig. 1. Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network

الشكل(1): مخطط الصندوقي لشبكة PON

3-1-1- محطة طرفية ضوئية OLT

تقع وحدة OLT في مكتب مركزي وتتحكم في التدفق ثنائي الاتجاه للمعلومات ويتم استخدام طولين موجيين مختلفين لتجنب التداخل بين الوصلتين الصاعدة والهابطة .[8].

3-1-2-محطات الشبكة الضوئية ONUs

تعتبر محطات الشبكة الضوئية ONUs عناصر قادرة على ترشيح المعلومات المرسلة من المحطة الطرفية الضوئية OLT الخاصة بمستخدم معين، كما تقوم بتغليف معلومات المستخدم وإرسالها إلى OLT لإعادة توجيهها إلى الشبكة المناسبة.[8]

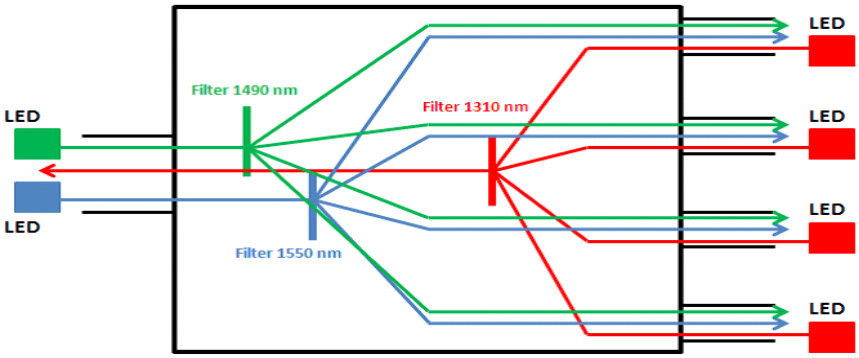
3-1-3- المقسم الضوئي

وهي مقسمات طاقة غير فعالة تسمح بالاتصال بين OLT و وحدات ONU . لا يتم تخصيصها من أجل تجميع وفك تجميع للإشارات فقط، بل تقوم أيضاً بتجمع الطاقة. فهي عبارة عن أجهزة توزيع ضوئية ثنائية الاتجاه ذات دخل واحد ومخارج متعددة:

- الإشارة التي تدخل من منفذ الإدخال: تبدأ من OLT وتتقسم بين منافذ الخرج المتعددة.

●الإشارات التي تدخل من المخارج: تدخل من ONU ويتم دمجها عند المدخل.

ويبين الشكل(2) آلية عمل المقسم الضوئي.



الشكل(2): آلية عمل المقسم الضوئي

يمكن لكل ONU في شبكات WDM–PON الاستفادة من معدل البت الكامل لكل قناة ذات طول موجي مخصص كما هو موضح في الشكل (1). ومن أجل دعم أنواع متعددة من الخدمات عبر نفس الشبكة يمكن العمل عند أطوال موجية مختلفة بمعدلات بت مختلفة [8].

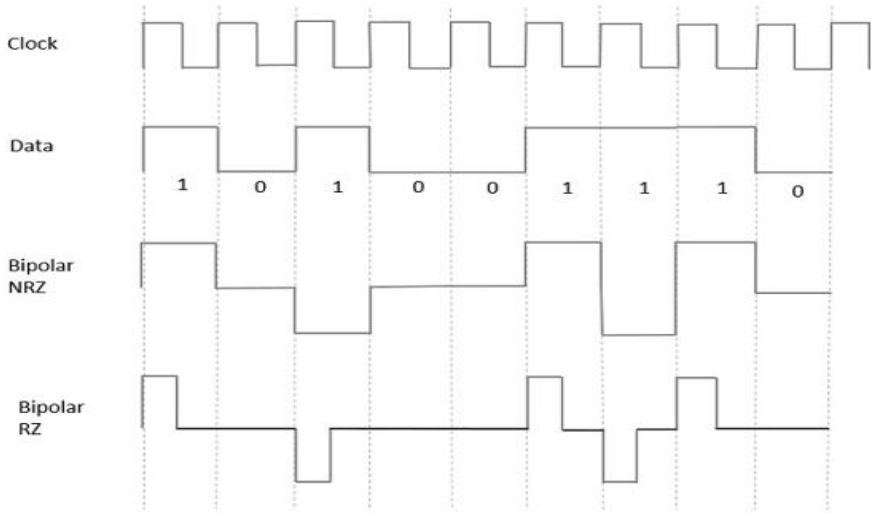
3–2– الترميزات الخطية:

3–2–1– ترميز العودة إلى الصفر RZ

في الترميز الثنائي RZ لا يتم إرسال استطاعة من أجل البت "0" منطقي في حين يتم إرسال نبضة تغطي نصف الحيز الزمني المخصص للبت من أجل البت "1" منطقي، ويعود في النص الثاني من الحيز الزمني إلى الصفر كما هو مبين في الشكل(3)

3–2–2– ترميز عدم العودة إلى الصفر NRZ

ترميز عدم العودة إلى الصفر NRZ هو طريقة ترميز خطي يمثل فيه البت "1" بنبضة تشغل كل مدة الحيز الزمني المخصصة للبت، في حين يمثل البت "0" بغياب وجود نبضة [9].



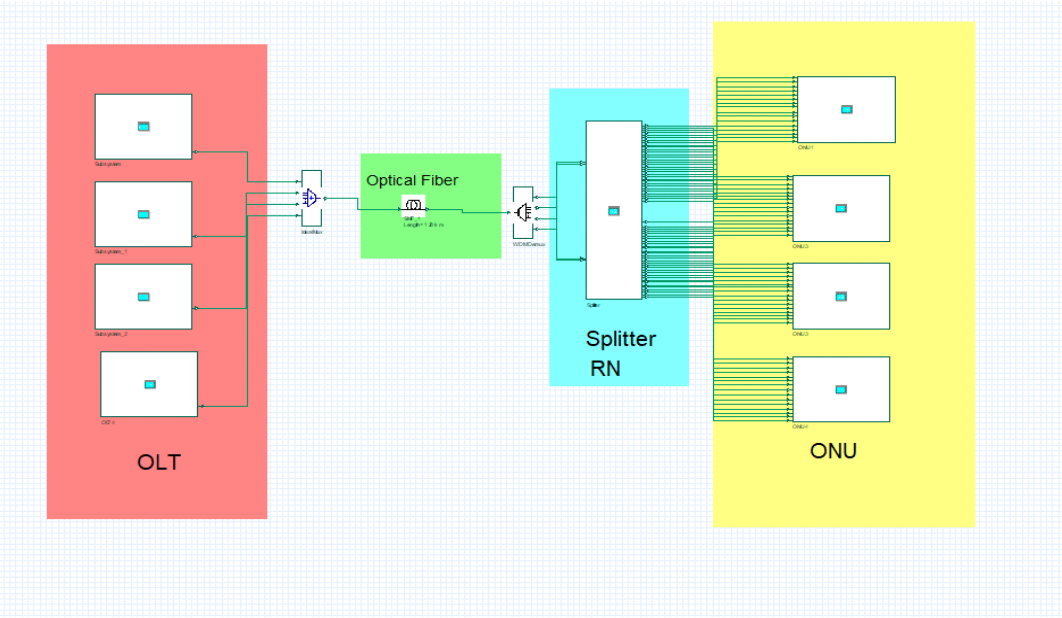
الشكل (3): الترميزات الخطية

4- النتائـــج والمناقشـــة

4-1- نموذج المحاكاة

تتألف شبكة WDM-PON التي تم دراستها من محطة طرفية ضوئية OLT في المكتب المركزي لمزود الخدمة وعدد من وحدات الشبكة الضوئية ONUs تتوضع بالقرب من المستخدمين النهائيين بالإضافة إلى المقسم الضوئي. تحتوي المحطة الطرفية الضوئية OLT أربع مرسلات ضوئية تعمل عند أطوال موجية مختلفة ، يتم تجميع خرج هذه المرسلات بواسطة مجمع WDMوتنتقل الإشارات الضوئية الناتجة عبر ليف ضوئي وحيد النمط SSMF وبعدها تمر إلى مفكك تجميع WDM ليقوم بفصل الأطوال الموجية، ثم تمر الإشارات على مقسم الاستطاعة الضوئي splitter والذي يحقق وصول كل إشارة إلى عدد كبير من المستخدمين وبالتالي تزويدهم بالخدمة المطلوبة. وبذلك نتمكن من استخدام ليف ضوئي واحد لإرسال إشارات متعددة تعمل على ترددات مختلفة.

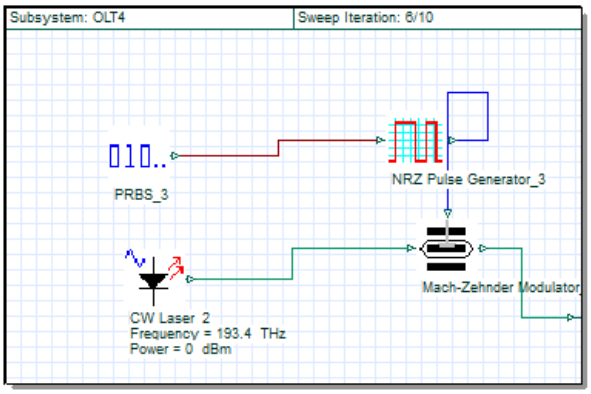
يبين الشكل (4) المخطط العام للنموذج المدروس والذي يمثل شبكة اتصالات ضوئية غير فعالة تعمل اعتماداً على تقنية تقسيم الطول الموجي من أجل صيغ ترميز خطية مختلفة ، تمت دراسة الأداء على الوصلة الهابطة من OLT إلى ONU.



الشكل(4): المخطط العام للنظام.

4-1-1- المرسل الضوئي

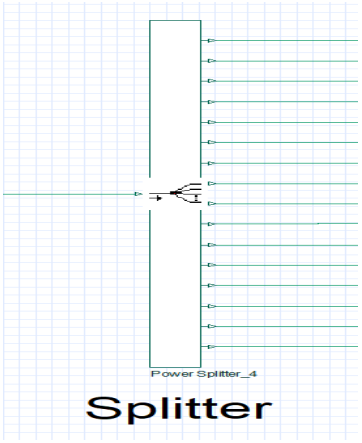
يتكون كل مرسل ضوئي ضمن OLT من مولد نبضات شبة عشوائي يولد بيانات بمعدل ارسال 1Gbps ، لتمرر الإشارة إلى مرمز NRZ ومعدل MZM يقوم بتعديل الإشارة الضوئية الصادرة عن الليزر الضوئي الذي يشع ضوء بعرض خط 0.1 Mhz .



الشكل(5): المرسل الضوئي ضمن وحدة OLT.

4-1-2- وحدة RN Remote Node

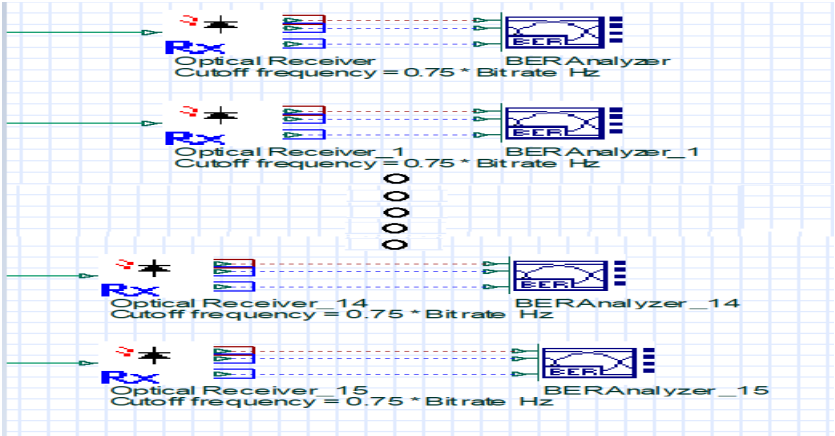
تتكون وحدة RN من أربع مقسمات ضوئية غير فعالة X161 تقوم كل منها بتقسيم الإشارة الضوئية وتشارك عرض الحزمة المرسل على طول الموجة المحدد بين 16 مشترك.



الشكل(6) : المقسم الضوئي

4-1-3- وحدة ONU

تتكون كل وحدة ONU من ثمان مستقبلات ضوئية تعمل على تردد الموجة المرسلة نفسه وتحتوي على كاشف ضوئي حساسيته 1A/V .



الشكل(7): وحدة ONU

4-2- دراسة أداء النظام على مسافات مختلفة من أجل معدل بيانات ثابت

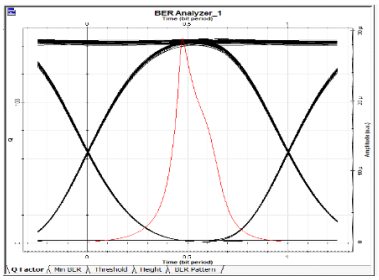
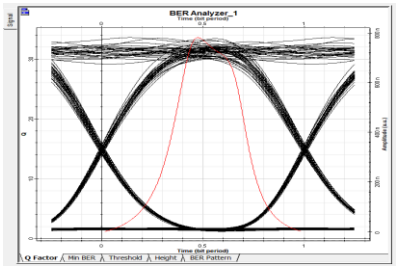
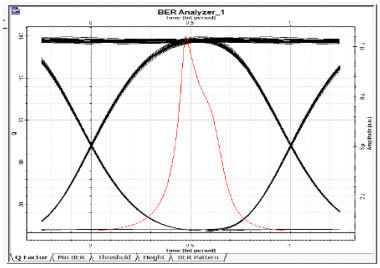
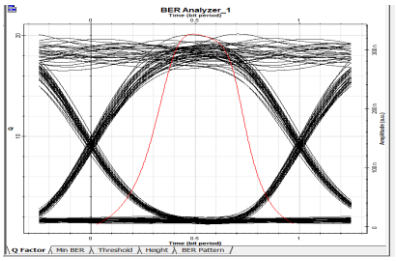
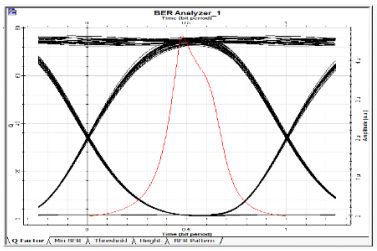
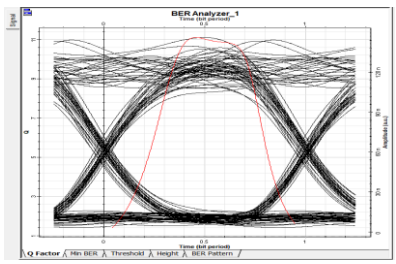
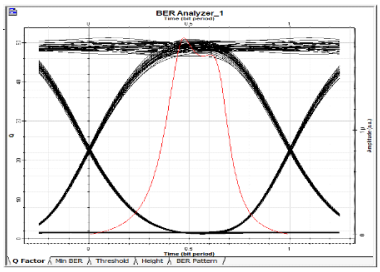
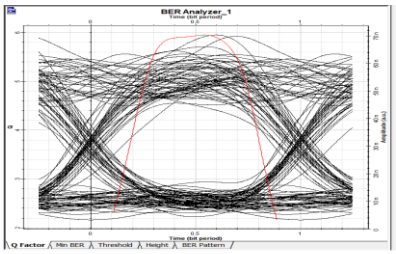
يصف مخطط العين جودة الإشارة المستقبلة بحالة عدم وجود ضجيج أو إرسال خالي من الأخطاء وعندها تكون فتحة العين رأسية كبيرة، أما في حال وجود تداخل بين الرموز يحدث تصغير لفتحة العين الرأسية بسبب وجود أخطاء، وتدل فتحة العين الرأسية على المناعة الأكبر ضد الضجيج.

حيث m_1 ، m_0 هي القيمة المتوسطة للإشارة المستقبلة عندما يتم إرسال 1 أو 0 منطقي، الانحرافات المعيارية الموافقة لها.

- معامل الجودة Q هو محدد لقياس جودة الإشارة من أجل تحديد معدل خطأ البت BER. ويعطى بالعلاقة [16]:

- معدل الخطأ في البتات هو النسبة المئوية للبتات الخاطئة مقسومة على العدد الكلي للبتات المرسلة خلال فترة زمنية معينة . [10]

يوضح الشكل(8) مخططات العين للشبكة WDM-PON على مسافات مختلفة(20- 40 -60 – 80 – 100 – 120 – 140 – 160 – 180) وذلك من أجل معدل بت 1Gbps. يظهر الخط في مركز فتحة العين منحني عامل الجودة .

المسافة[km]	مخطط العين	المسافة [km]	مخطط العين
20		100	
40		120	
60		140	
80		160	

الشكل(8): مخطط العين على مسافات مختلفة بين OLT و ONU

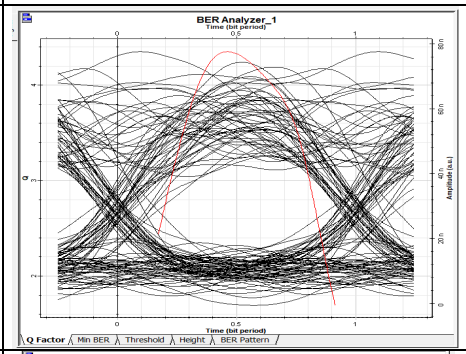
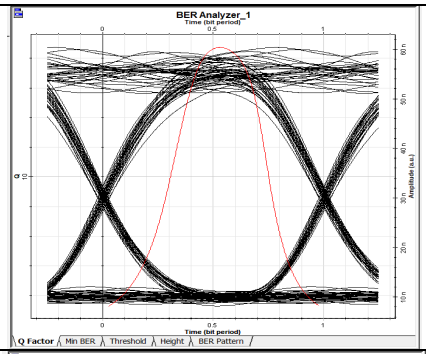
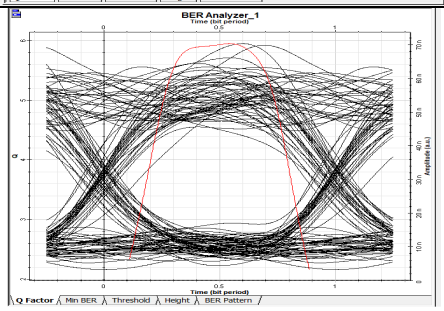
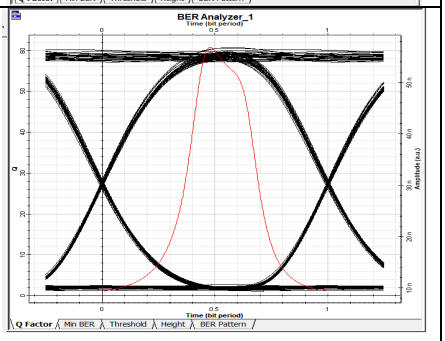
بزيادة المسافة من أجل نفس معدل البيانات Gbps1 ، يقل كل من عامل الجودة Q–factor وارتفاع فتحة العين ويزداد معدل الخطأ في البتات BER، فعند المسافة 100 كم كان عامل الجودة Q–factor 20.8676 وارتفاع فتحة العين e–0076.40035 و معدل الخطأ في البتات BER e–1783.75286 لنلاحظ عند زيادة المسافة مثلاً عند المسافة 160 كم يقل معامل الجودة ليصبح 3.85721، كما يقل ارتفاع فتحة العين e–2.20296 008 بينما يزداد معدل خطأ البت ليصبح e–0092.02429.

ويفسر ذلك إنه مع تزايد المسافة بين المرسل والمستقبل يزداد التخامد الذي تتعرض له الإشارة الضوئية المرسلة ، ونتيجة لذلك يتعذر على المستقبل أن يكتشف البتات المستقبلة بشكل صحيح .

الجدول(1): يبين قيم كل من معدل خطأ البت ومعامل الجودة وارتفاع فتحة العين عند كل المسافات المدروسة.

Distance (km)	– Factor Q	BER	Eye Diagram
20	189.018	0	e-0052.79417
40	116.874	0	e-0051.09876
60	69.3788	0	e-0064.29086
80	50.7051	0	e-0061.69781
100	20.8676	3.75286e-178	e-0076.40035
120	11.9818	3.4169e-056	e-0072.41261
140	6.2398	7.21129e-020	e-0088.14883
160	3.85721	2.02429e-009	2.20296e-008

4-3- دراسة أداء النظام من أجل معدلات بت مختلفة على مسافة 160

معدل نقل البيانات Gbps	مخطط العين	معدل نقل البيانات Gbps	مخطط العين
2.5		e-0081	
1		e-0071	

الشكل(9): مخطط العين من أجل معدل بيانات مختلفة

نلاحظ أن ارتفاع فتحة العين ومعامل الجودة يتناقص مع زيادة معدل البيانات المرسلة. فبزيادة معدل البيانات المرسلة تزداد احتمالية حدوث الأخطاء في عملية الاستقبال وذلك بسبب المعوقات الخطية (تخامد وتشتت) واللاخطية FWM التي تتعرض لها الإشارة الضوئية أثناء انتقالها على الليف الضوئي.

الجدول(2): يبين قيم معدل خطأ البت ومعامل الجودة وارتفاع فتحة العين من أجل معدلات نقل بيانات مختلفة.

Data Rate	Q – Factor	BER	Eye Diagram
2.5Gpbs	4.3498	5.93987e-006	1.43524e-008
1Gbps	5.95191	1.18799e-008	2.22317e-008
1e-008bps	18.7301	1.18015e-078	3.80041e-008
1e-007bps	60.7404	0	4.28808e-008

4-4- مقارنة أداء شبكة WDM-PON باستخدام صيغ ترميز خطية مختلفة RZ وNRZ

من أجل إجراء المقارنة قمنا بإعادة الدراسة السابقة مع استبدال نوع الترميز الخطي المستخدم في النظام NRZ إلى ترميز العودة إلى الصفر RZ.

الجدول (3): يبين مقاييس الأداء من أجل معدل بت ثابت 1Gbps على مسافات مختلفة باستخدام ترميز RZ.

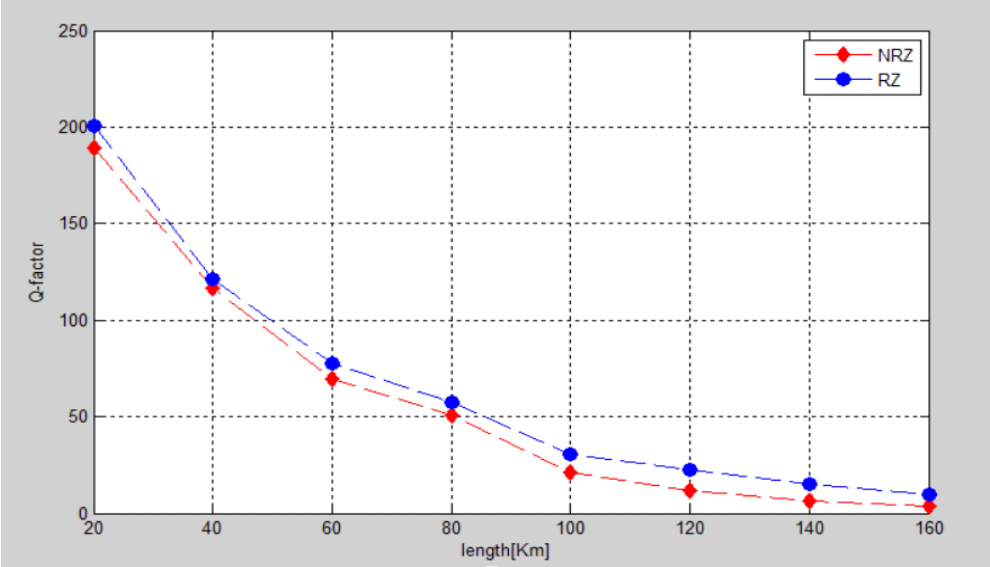
Distance (km)	Q – Factor	BER	Eye Diagram
20	200.282	0	2.26482e-005
40	121.414	0	8.95397e-006
60	77.5888	0	3.51525e-006
80	57.1392	0	1.36047e-006
100	30.4198	1.746e-196	5.19991e-007
120	22.7297	1.5558e-107	1.87745e-007
140	15.02611	9.64592e-030	6.09635e-008
160	9.45917	2.02429e-015	1.66943e-008

الجدول (4): يبين مقاييس الأداء من أجل معدلات بت مختلفة عند مسافة محددة 160 باستخدام ترميز RZ.

Data Rate	Q – Factor	BER	Eye Diagram
2.5Gpbs	2.71624	0.00275848	3.49721-e-009
1Gbps	6.00689	8.67751e-012	1.88918e-008
1e+008bps	16.2701	7.06811e-060	3.04665e-008
1e+007bps	46.098	0	3.5088e-008

استناداً إلى القيم في الجدولين (1) (3) نحصل على المنحنيات في الشكل(10).

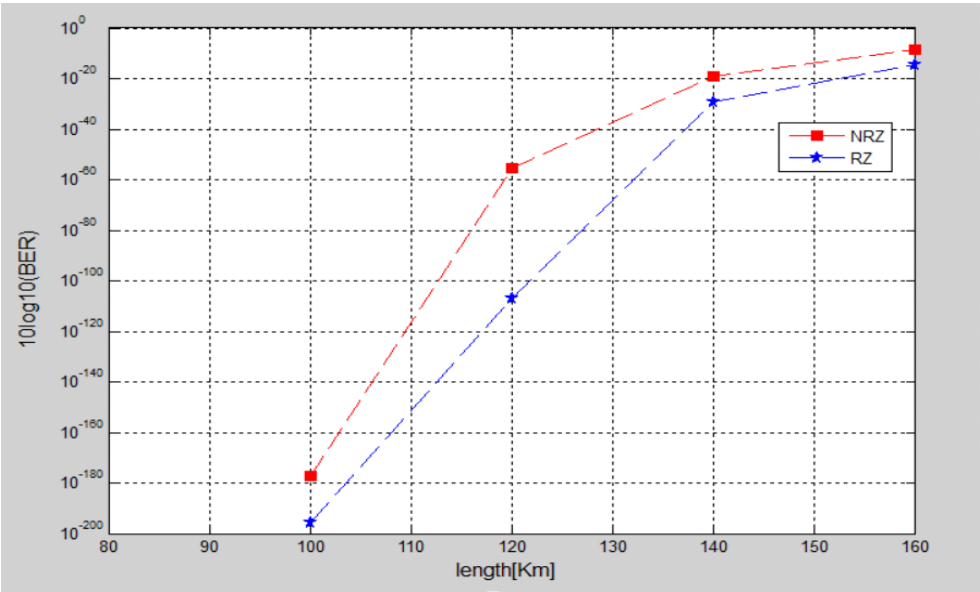
يبين الشكل (10) العلاقة بين معامل الجودة والمسافة عند معدل نقل بيانات ثابت لأجل صيغ الترميز الخطية المدروسة ونلاحظ إن صيغة الترميز RZ يحقق نتائج أفضل مقارنة مع NRZ ويتقارب الأداء عند زيادة المسافة عن 140 كم.



الشكل(10): العلاقة بين المسافة ومعامل الجودة عند معدل بيانات Gbps1 من أجل صيغ الترميز RZ وNRZ.

استناداً إلى القيم في الجدولين (2) (4) نحصل على المنحنيات في الشكل(11).

يبين الشكل(11) العلاقة بين المسافة ومعدل خطأ البت عند معدل نقل بيانات ثابت Gbps1 لأجل صيغ الترميز الخطية المدروسة ونلاحظ إن صيغة الترميز RZ يحقق نتائج أفضل مقارنة مع NRZ .



الشكل(11): العلاقة بين المسافة ومعدل خطأ البت عند معدل بيانات Gbps1 من أجل صيغ الترميزRZ وNRZ.

5- الاســـتنتاجات والتوصيـــات

- زيادة معدل الخطأ في البتات مع الزيادة في معدل البيانات والمسافة ويقل بالمقابل كل من عامل الجودة وفتحة العين، ويفسر ذلك بزيادة المعوقات التي تتعرض لها الإشارة أثناء الانتقال على مسافات أطول مما يساهم في تقليل أداء الشبكة.
- إن الترميز RZ يحقق أداء أفضل في الشبكة الضوئية WDM-PON مقارنة مع الترميز NRZ على المسافات الطويلة. صيغة تعديل NRZ غير مناسبة من أجل معدل بيانات عالي ونظم الاتصالات الضوئية ذات المسافات الطويلة.

يمكن دراسة أداء الشبكة الضوئية WDM-PON من أجل صيغ ترميز خطية أخرى مختلفة عن الصيغ المستخدمة في دراستنا مثل (مانشستر NRZI ، Manchester) وذلك من أجل معدلات إرسال ومسافات مختلفة ومقارنة أدائها.

6- المراجـــــع

- Vzhou, X; Yu, J. ;Qian, D. 2008, *8x114 Gb/s, 25-GHz-spaced, PolMux-RZ-8PSK transmission over 640 km of SSMF employing digital coherent detection and EDFA-only amplification*.Optical Fiber Communication Conference, Optical Society of America.
- Gnauck, A. H; Tkach , R.W; Chraplyvy, A. R. ; Li ,T. 2008, *High-capacity optical transmission systems*. Journal of Lightwave Technology, 26(9), 1032-1045.
- Chang, G. K; Chowdhury, A; JIA, Z; Chien H, C; Huang, M. F; Yu, J; Ellinas, G.2009, *Key technologies of WDM-PON for future converged optical broadband access networks.* Journal of Optical Communications and Networking, 1(4),.
- Kim, B.*2009,WDM-PON development and deployment as a present optical access solution*. Conference on Optical Fiber Communication-incudes post deadline papers, OSA/OFC/NFOEC/IEEE. 1-3.
- Bakarman, H. A; Shaari, S; Ismail, M. 2010, *Simulation of 1.25 Gb/s downstream transmission performance of GPON-FTTx.* International conference on photonics, IEEE. 1-5.
- Yang, X; Hechao,Y.2010, *The application of optiSystem in optical fiber communication experiments*. Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCSCT'10). 376-378.
- Kramer, G; Mukherjee, B; Pesavento, G.2001, *Ethernet PON (ePON): Design and analysis of an optical access network.* Photonic Network Communications, 3(3), 307-319.
- Keiser, G. 2006, *FTTX concepts and application*.
- Oshin, K; Nisha, SH.2013, *Line Coding : An Overview*, International Journal Of Advance Research In Science And Engineering, 2(9).
- Abdullah, M. F. L; Talib, R. 2012, *Multilevel signal analyzer tool for optical communication system*. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2(4), 529.
- غصنة، ف؛ نصر، م.2018"*زيادة الفعالية الطيفية لأنظمة الاتصالات البصرية DWDM باستخدام المرشحات ضيقة المجال* ."مجلة جامعة طرطوس.
- غصنة، ف.2019" *تقنية مبتكرة في تصميم مستقبل ضوئي- ذو تضخيم مسبق في الاتصالات الضوئية عبر الأقمار الصناعية*". مجلة جامعة طرطوس.
- نصر، م.2018"*مقارنة أداء نظام اتصالات بصري متعدد الأطوال الموجية DWDM يستخدم عدة تقنيات لتعويض التشتت*". مجلة جامعة طرطوس.
- احمد، ع؛ نصر، م؛ اسعد، ر.2018" *استخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية لتحسين أداء نظم الاتصالات الضوئية المتماسكة عالية السرعة* ". مجلة جامعة طرطوس