مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

نمذجة ومحاكاة الشبكات الضوئية (CWDM) بأربع قنوات باستخدام برنامج optisysytem

سوزان نعمة *
هبة قداحة**

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2015. قُبِل للنشر في 7/ 4 / 2015)

□ ملخّص □

يتضمن هذا البحث محاكاة لمرسل ومستقبل التجميع الخشن بتقسيم طول الموجة CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) بأربع قنوات، حيث تمّت دراسة تأثير نسبة الإخماد ER (Extinction Ratio) لثنائي الليزر المعدّل بشكل مباشر DML (Directly Modulated Laser) وتأثير وجود مضخمات EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) في وصلات الألياف الضوئية في معامل الجودة Q ونسبة خطأ البت BER عند استخدام أطوال ليف مختلفة، وأجريت مقارنة بين شبكة الـ CDWM باستخدام مضخم EDFA والشبكة ذاتها من دون استخدام المضخم EDFA ، كذلك تمّ دراسة تأثير طول الليف الضوئي على معامل الجودة Q بوجود مضخم EDFA وبعدم وجوده ووضحنا العلاقة بينهما بيانياً.

الكلمات المفتاحية: الشبكات الضوئية– التجميع الخشن بتقسيم طول الموجه CWDM – نسبة الإخماد ER – مضخمات EDFA.

* قائمة بالأعمال–قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.
**قائمة بالأعمال–قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015

A Simulation of four channels optical networks CWDM by using optisystem

Suzan Nehmeh*
Heba Kaddaha**

(Received 13 / 1 / 2015. Accepted 7 / 4 / 2015)

□ ABSTRACT □

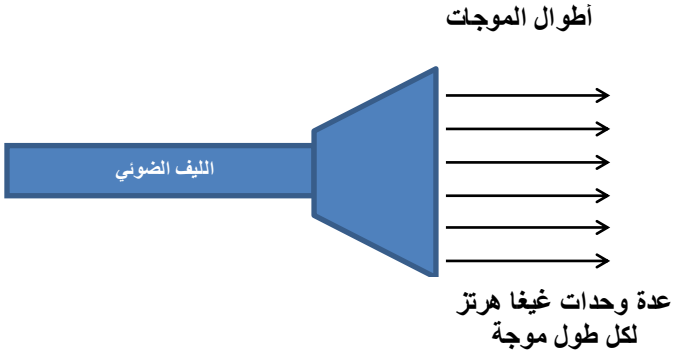
This research involves a simulation of four channels coarse wavelength division multiplexing (CWDM) transceiver. The study is done on the effect of the extinction ratio(ER) of the directly modulated laser (DML) diode, the effect of using Erbium doped fiber amplifier (EDFA) in optical fiber links on the quality factor (Q) and the bit error ratio (BER) when using different lengths of fiber. Then a comparison is made between the CWDM network using the amplifier EDFA and the same network without using the amplifier EDFA. In addition, the study is done on the effect of optical fiber length on Q with and without the amplifier EDFA, and we demonstrated the relationship between them diagrammatically.

Keywords: The optical networks- Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) - Extinction Ratio (ER) - EDFA amplifiers.

*Academic Assistant, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Academic Assistant, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن شبكة النقل الضوئية قادرة على نقل حجم كبير من المعلومات بسرعة من مراتب Gbits مع وثوقيه عالية، حيث يصل عرض حزمة الليف الضوئي إلى 50 THz [1]، ولاستغلال عرض الحزمة الكبير هذا لم يكن بالإمكان اعتماد زيادة معدل الإرسال كوسيلة وحيدة لزيادة سعة الشبكة، فزيادة معدلات الإرسال فوق عدة عشرات من Gbit/sec غير مقبول من أجل المسافات الطويلة بسبب التضعيف من المضخمات، التشتت والأثار غير الخطية لليف ...، وبذلك تم تقديم التجميع بتقسيم طول الموجة WDM (Wavelength Division Multiplexing)، الذي يقسم عرض حزمة الليف الواحد إلى وحدات عرض حزم متعددة أصغر وغير متداخلة تسمى أطوال الموجة wave lengths، حيث تعمل كل منها عند عدد من Gbit/sec، وتستخدم أطوال الموجة هذه بما يتلاءم ويتوافق مع السرعة الإلكترونية للمستخدمين كما يوضح الشكل (1)، حيث يمكن عندها لطرف الاستقبال من المحطة الهدف أن يتصل بالشبكة على مستوى أطوال الموجة.



الشكل(1): تقسيم الليف عبر أطوال موجات متعددة

تقسم تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة WDM إلى نوعين هما[2،3]:

1. التجميع الخشن بتقسم طول الموجة CWDM: يستخدم عندما يكون عدد الأمواج المنتقلة في الليف الضوئي ثمانية أو أقل حيث يكون الفاصل بين كل طولي موجتين متتاليتين 20nm.

2. التجميع الكثيف بتقسيم طول الموجة DWDM: يستخدم عندما يكون عدد الأمواج المنتقلة في الليف الضوئي أكثر من ثمانية حيث يكون الفاصل بين كل طولي موجتين متتاليتين 0.4nm أو 0.8nm.

تلقى وصلات التجميع الخشن بتقسيم طول الموجة CWDM استحساناً في شبكات المترو وذلك لأنها تستطيع تحمل المزيد من عرض الحزمة وبأقل تكلفة من وصلات التجميع DWDM، حيث أن وصلات CWDM تستخدم أجهزة إرسال ضوئي غير المبردة (ثنائي ليزر معدل بشكل مباشر) [4،5].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في إجراء محاكاة للشبكات الضوئية التي تعتمد على تقنية CWDM، وإظهار ميزاتها من خلال دراسة تأثير نسبة الإخماد ER وتأثير وجود مضخم الـ EDFA في وصلة الليف الضوئي، ودراسة تأثير

طول الليف في عامل الجودة Q، حيث تساعد المحاكاة على تحليل أداء النظام في ظل التطور وتعطي نتائج واقعية وتساعد في القضاء على أي تدهور محتمل للأداء قبل التنفيذ بالأجهزة الفعلية.

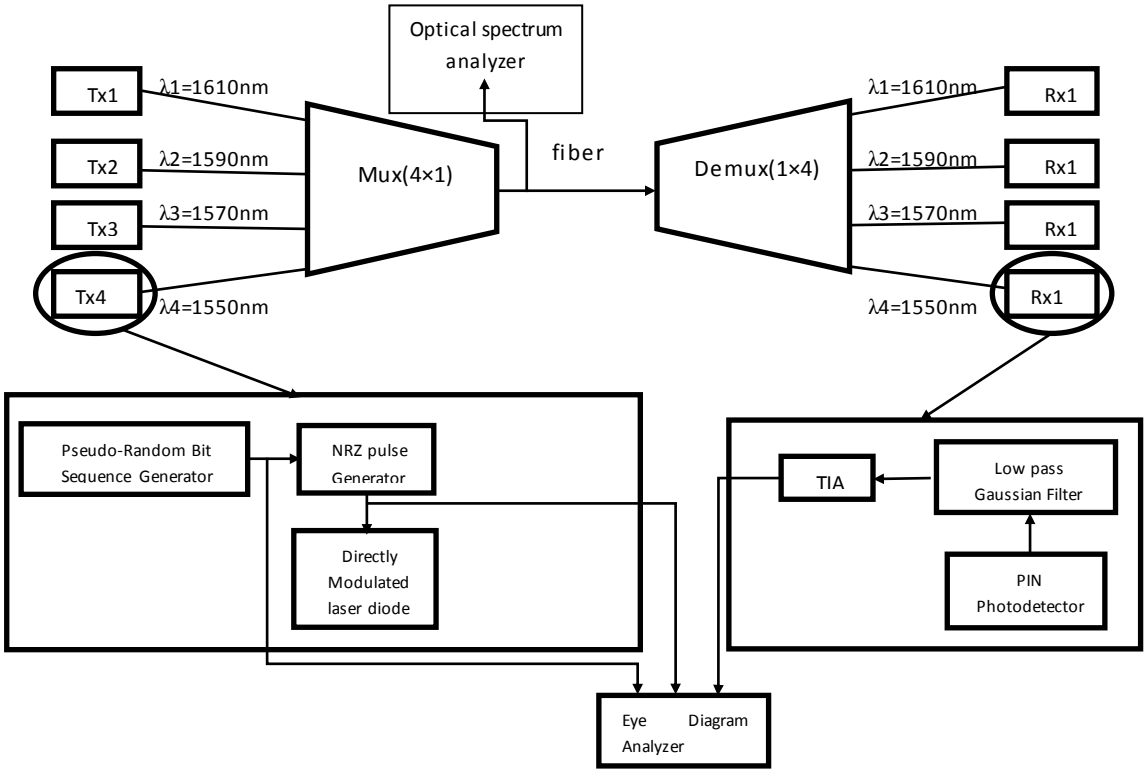
طرائق البحث ومواده:

أجريت المحاكاة الضوئية لشبكة الـ CWDM بأربع قنوات وتمّت دراسة:

- تأثير تغير نسبة الإخماد ER في عامل الجودة Q ونسبة خطأ البت BER.
- تأثير وجود مضخم الـ EDFA في وصلة الألياف الضوئية.
- تأثير طول الليف الضوئي L في عامل الجودة Q.

وذلك باستخدام برنامج محاكاة خاص بأنظمة الاتصالات الضوئية Optisystem.

واستخدم برنامج الـ Matlab في إيضاح العلاقة بيانياً بين عامل الجودة Q وطول الليف الضوئي L.



الشكل(2): المخطط الصندوقي لشبكة CWDM بأربع قنوات

يبين الشكل(2) المخطط الصندوقي لشبكة CWDM التي أجرينا محاكاة لها، تتكون هذه الشبكة الضوئية من مرسل بأربع قنوات، حيث تتألف كل قناة من مولد بت عشوائي (pseudo–Random Bit sequence) يعطي إشارة رقمية عشوائية ترمّز NRZ بواسطة مولد نبضات مع عدم العودة للصفر (NRZ pulse generator)، تدخل هذه الإشارة الرقمية المرمّزة إلى ثنائي ليزر (Directly Modulated laser Measured) يعطي على خرجه إشارة ضوئية معدّلة بشكل مباشر.

تجمّع الإشارات الضوئية الأربعة ذات الأطوال الموجية المختلفة والمتباعدة بمسافة (nm)20 بواسطة مجمّع WDM Mux (4×1) يقوم بتجميع الإشارات الضوئية الأربعة لتعطي إشارة ضوئية واحدة ترسل عبر الليف الضوئي،

وفي نهاية الليف الضوئي أي في بداية الاستقبال استخدمنا موزع (1×4) WDM Demux ليعطي على خرجه من جديد الإشارات الضوئية الأربعة. تكشف كل إشارة ضوئية وتحول إلى إشارة كهربائية بواسطة كاشف ضوئي (photo detector pin)، ثم ترشح بعدها بواسطة مرشح غاوصن من المرتبة الثانية (low pass Gaussian filter)، وتضخم الإشارة المرشحة بواسطة مضخم TIA (AmplifierTrans Impedance)، كما استخدمنا في المحاكاة مضخمات الإربيوم EDFA وهي المضخمات الأكثر أهمية في سياق الاتصالات الضوئية البعيدة المدى، فهي تستطيع بشكل فعال تضخيم الضوء في منطقة الأطوال الموجية $1.5\mu m$ حيث تكون الألياف الضوئية بأقل خسارة ممكنة[6].

استخدمنا محلل طيف ضوئي (optical spectrum analyzer) على خرج (1×4)Mux وذلك لإظهار طيف الإشارات الضوئية الأربعة المجمّعة ذات الأطوال الموجية 1550 nm, 1570 nm, 1590 nm, 1610 nm [7] المتباعدة عن بعضها على التتالي بمسافة 20 nm كما هو مبين في الشكل (3-e).

استخدمنا في الارسال الضوئي ثنائيات ليزر تعطي ترددات موافقة للأطوال الموجية المذكورة سابقاً وهي 186.3THZ، 188.7THZ، 191.1THZ، 193.5THZ، وذلك اعتماداً على العلاقة الأتية:

$$F = \frac{C}{\lambda} \qquad (1)$$

حيث أن: C سرعة الضوء في الخلاء.

F تردد الإشارة الضوئية.

λ طول موجه الإشارة الضوئية.

واستخدمنا محلل عيني (Eye Diagram Analyzer) لإظهار عامل الجودة Q ونسبة خطأ البت BER.

إن نسبة الإخماد ER من بارامترات ثنائي الليزر المستخدم في الإرسال الضوئي، التي تعتبر مقياس لعمق تعديل المرسل، وبالتالي هي مقياس هام لأداء المرسل الضوئي وتعطى بالعلاقات التالية[8]:

$$ER = \frac{E(1)}{E(0)} \qquad (2)$$

$$ER\% = \frac{E(0)}{E(1)} \times 100 \qquad (3)$$

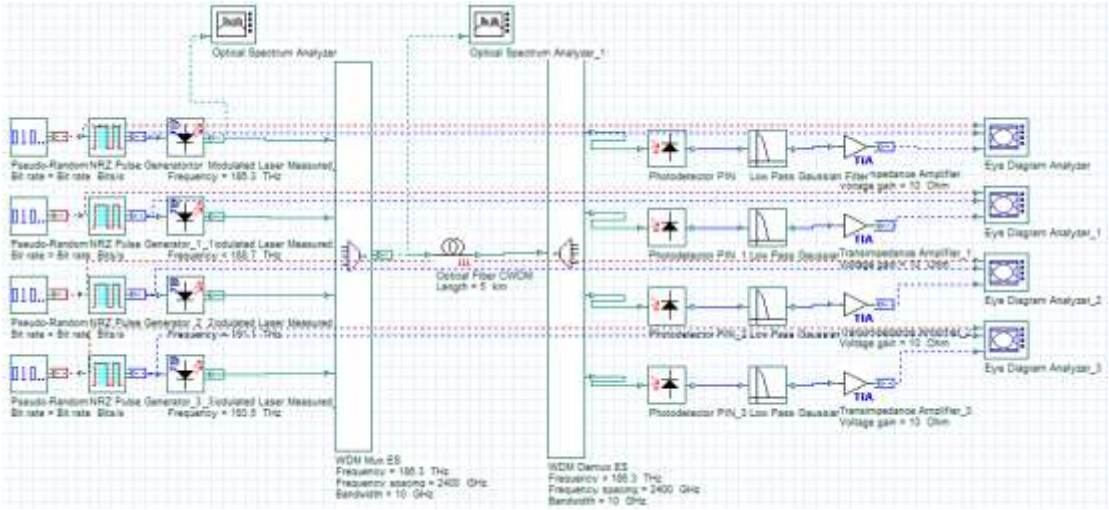
$$ER(dB) = 10 \cdot \log\ (ER) \qquad (4)$$

حيث أن: $E(1)$ متوسط الطاقة للمستوى المنطقي (1) المرسل.

$E(0)$ متوسط الطاقة للمستوى المنطقي (0) المرسل.

النتائج والمناقشة:

أولاً: دارة النمذجة الأولى:



الشكل(3): الشبكة الضوئية CWDM بأربع قنوات

نتائج النمذجة:

1) نفذنا دارة النمذجة المبينة في الشكل(3)، بحيث ثبتنا طول الليف الضوئي على قيمة 5Km وأعطينا قيم مختلفة لنسبة الإخماد ER، فوجدنا زيادةً في معامل الجودة Q ونقصاناً في نسبة خطأ البت بزيادة ER كما هو مبين في الجداول(1)(2)(3)(4) وخرج المحلل العيني الأشكال(3-a)(3-b)(3-c)(3-d):

جدول (1): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما ER= 6dB

	Frequency(THz)		Q-factor	BER
Extinction Ratio 6dB	186.3		4.96862	3.24946e-007
	188.7		5.04736	2.18668e-007
	191.1		4.98223	3.0313e-007
	193.5		4.898	4.70154e-007

جدول (2): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما ER= 6.5dB

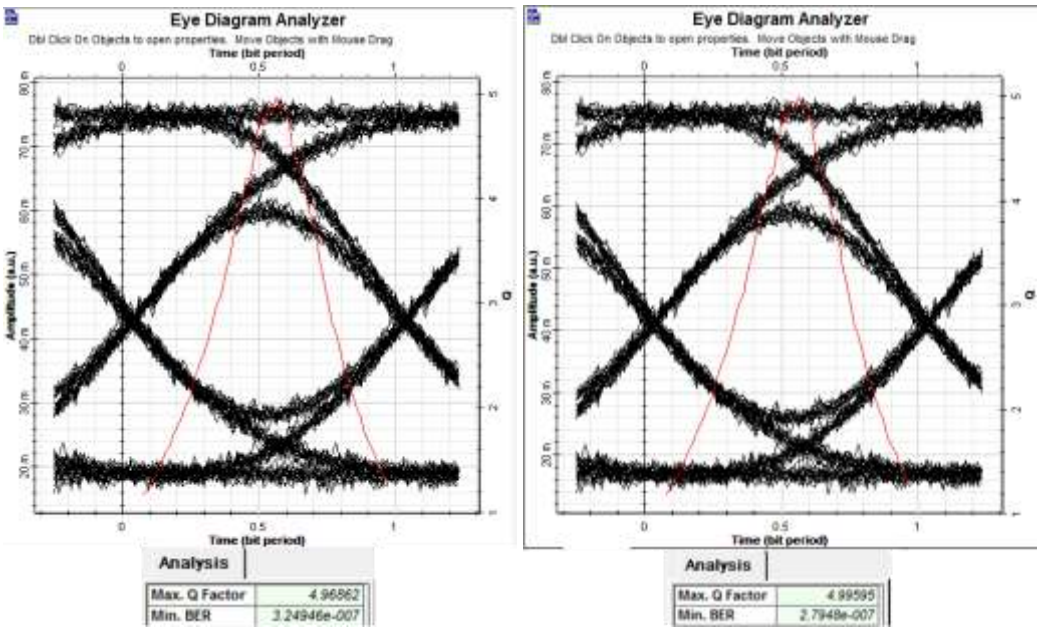
	Frequency(THz)		Q-factor	BER
Extinction Ratio 6.5dB	186.3		4.99595	2.7948e-007
	188.7		5.07324	1.87947e-007
	191.1		5.00459	2.67336e-007
	193.5		4.92965	3.96552e-007

جدول (3): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما ER= 7dB

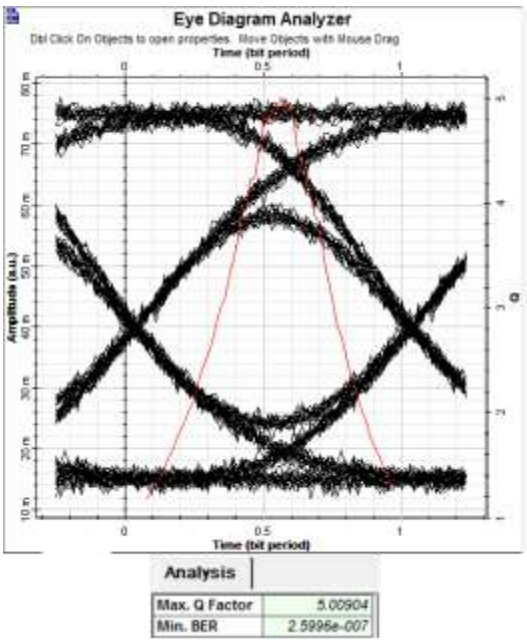
	Frequency(THz)		Q-factor	BER
Extinction Ratio 7dB	186.3		5.00904	2.5996e-007
	188.7		5.0857	1.75257e-007
	191.1		5.01624	2.5047e-007
	193.5		4.9464	3.62408e-007

جدول (4): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما ER= 8dB

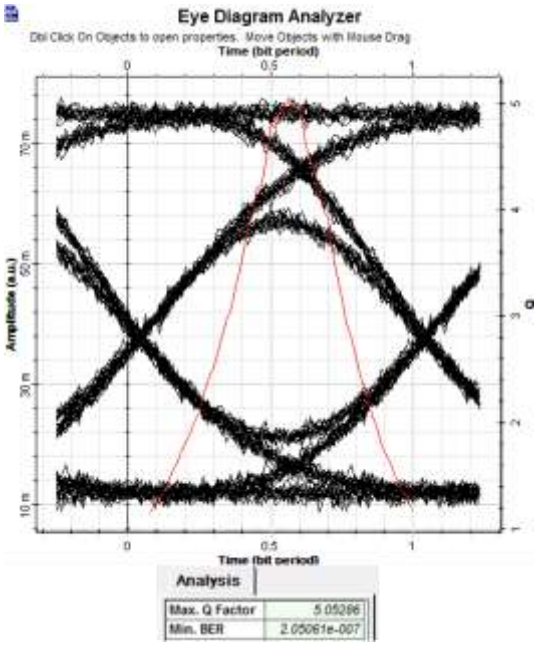
	Frequency(THz)		Q-factor	BER
Extinction Ratio 8dB	186.3		5.05286	2.05061e-007
	188.7		5.14022	1.31327e-007
	191.1		5.06056	1.96971e-007
	193.5		4.99695	2.76999e-007



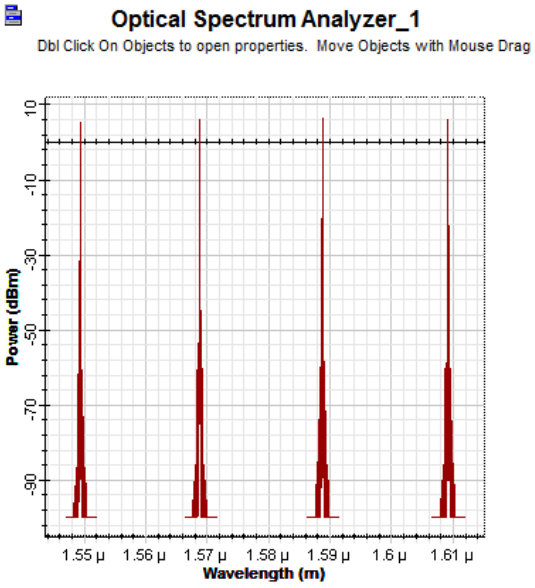
الشكل(3-a): خرج المحلل العيني عند ER=6dB **الشكل(3-b): خرج المحلل العيني عند ER=6.5dB**



الشكل(3-d): خرج المحلل العيني عند ER=7dB



الشكل(3-c): خرج المحلل العيني عند ER=8dB



الشكل(3-e): طيف الإشارة المجمعة المرسلة

2) نفذنا دارة النمذجة السابقة المبينة في الشكل (3)، وثبتنا ER على قيمة 8dB لكل الثنائيات الليزرية المرسلة باعتبار انها القيمة التي من أجلها حصلنا على أفضل النتائج السابقة وغيرنا بطول الليف الضوئي فوجدنا:

- عند زيادة طول الليف الضوئي يقل عامل الجودة Q وتزداد نسبة خطأ البت BER.
- الإشارات الأربعة المكشوفة عند الخرج شبه معدومة عند L=40Km، وتنعدم بعد هذا الطول تماماً، وهذا ما هو مبين في الجداول(5)(6)(7)(8) وخرج المحلل العيني الأشكال(3-f)(3-g)(3-h):

جدول(5): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 10Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-10km	186.3	4.88104	4.9633e-007
	188.7	5.01548	2.50691e-007
	191.1	4.9239	4.05114e-007
	193.5	4.94894	3.57248e-007

جدول(6): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 20Km

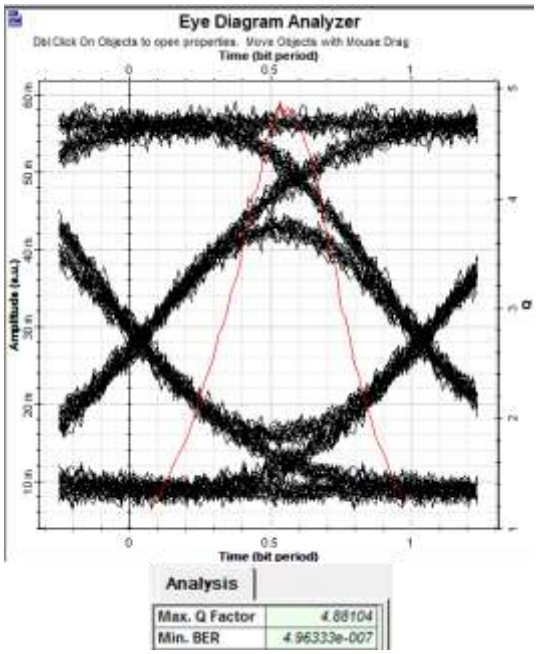
	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-20km	186.3	4.73319	1.06717e-006
	188.7	4.85315	5.8689e-007
	191.1	4.7283	1.07382e-006
	193.5	4.73444	1.04539e-006

جدول(7): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 40Km

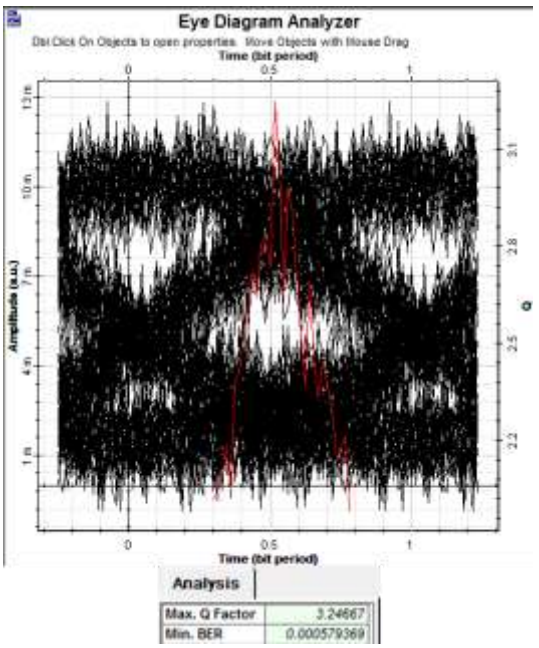
	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-40km	186.3	3.24667	0.000579369
	188.7	3.15484	0.000802121
	191.1	3.41153	0.000323
	193.5	3.08117	0.00100388

جدول(8): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 60Km

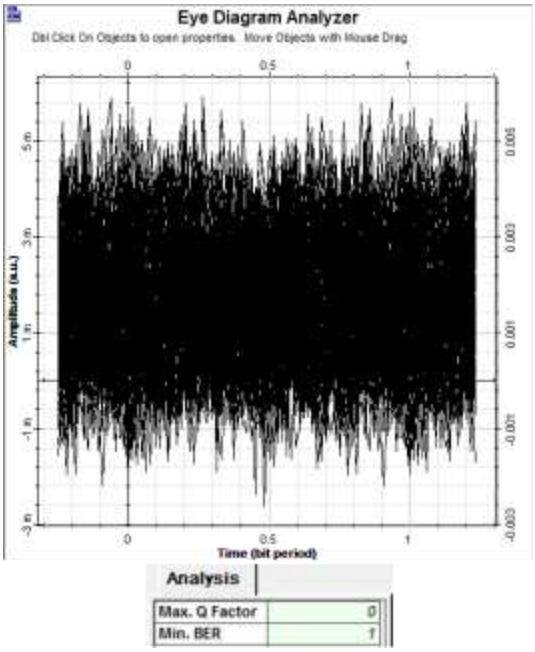
	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-60km	186.3	0	1
	188.7	0	1
	191.1	0	1
	193.5	0	1



الشكل(3-f): خرج المحلل العيني عند L=10Km

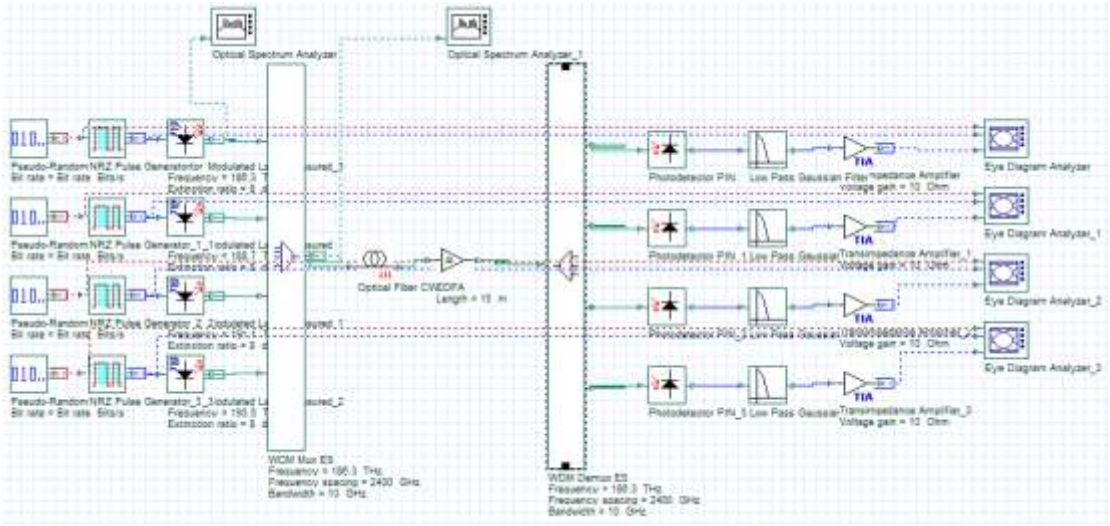


الشكل(3-h): خرج المحلل العيني عند L=60Km



الشكل(3-g): خرج المحلل العيني عند L=40Km

ثانياً: دارة النمذجة الثانية:



الشكل(4): الشبكة الضوئية CWDM بأربع قنوات بوجود مضخم EDFA

3) نفذنا الدارة المبينة في الشكل (4) وهي نفسها الدارة المبينة في الشكل (3) ولكن باستخدام مضخم EDFA. ثبتنا أيضاً ER على قيمة 8dB، وغيرنا بطول الليف الضوئي حيث وجدنا ما يلي:

- معامل الجودة Q أكبر مما هو عليه عند عدم استخدام مضخم الـ EDFA وذلك عند نفس طول الليف الضوئي.
- ازدادت المسافة التي يمكن أن تقطعها الإشارة بسبب وجود ال EDFA في وصلة الليف الضوئي، كما هو مبين في الجداول(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15) وخرج المحلل العيني الأشكال(4-a) (4-b) (4-c):

جدول(9): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 10Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-10km	186.3	5.02895	2.34601e-007
	188.7	5.08499	1.74469e-007
	191.1	4.9794	3.01268e-007
	193.5	5.07605	1.8324e-07

جدول(10): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 20Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-20km	186.3	4.95592	3.42965e-007
	188.7	5.04008	2.22106e-007
	191.1	4.89899	4.5569e-007
	193.5	5.02642	2.3806e-007

جدول(11): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 40Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-40km	186.3	4.53839	2.73032-006
	188.7	4.63813	1.69545e-006
	191.1	4.65681	1.53072e-006
	193.5	4.78854	8.06496e-007

جدول(12): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 60Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-60km	186.3	3.55754	0.000179781
	188.7	3.94985	3.83009e-005
	191.1	4.13045	1.73521e-005
	193.5	4.39359	5.38959e-006

جدول(13): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 100Km

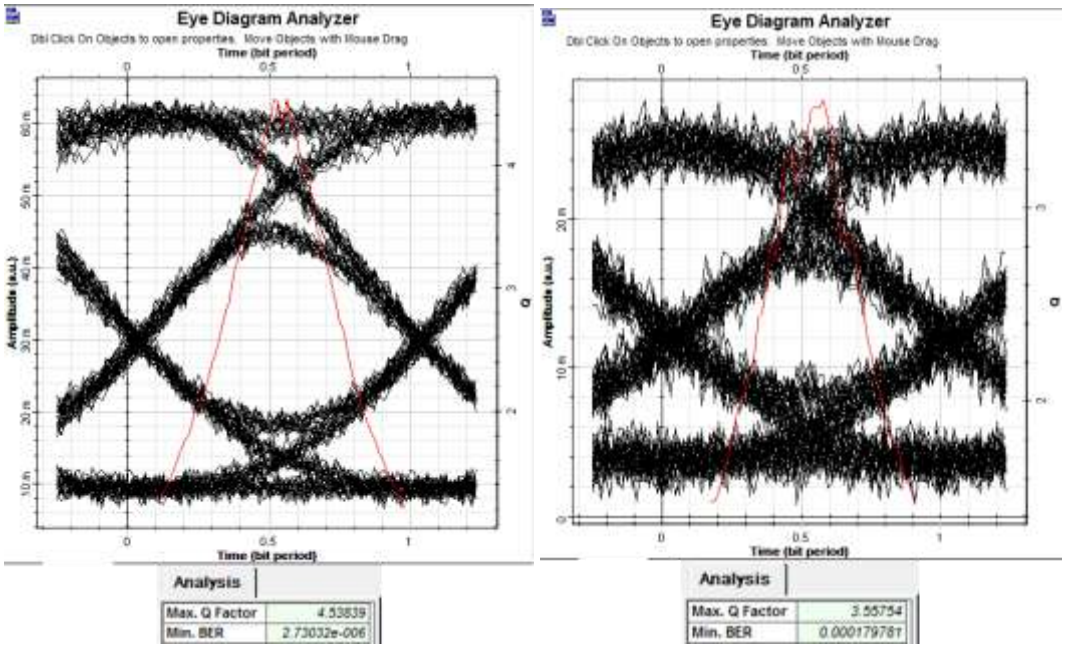
	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-100km	186.3	2.22887	0.0126147
	188.7	2.49674	0.00614283
	191.1	2.80241	0.00244849
	193.5	3.1408	0.000820687

جدول(14): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 120Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-120km	186.3	0	1
	188.7	0	1
	191.1	2.24591	0.011897
	193.5	2.59344	0.00463742

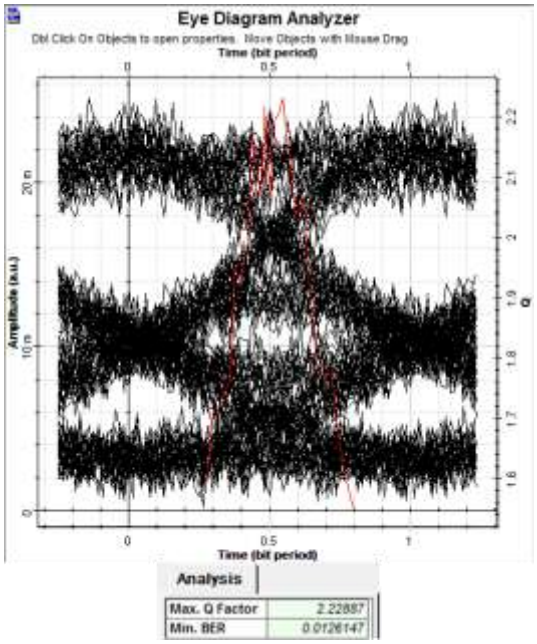
جدول(15): قيمة Q وBER للإشارات الكهربائية الأربعة عندما L= 160Km

	Frequency(THz)	Q-factor	BER
Optical fiber length-160km	186.3	0	1
	188.7	0	1
	191.1	0	1
	193.5	0	1



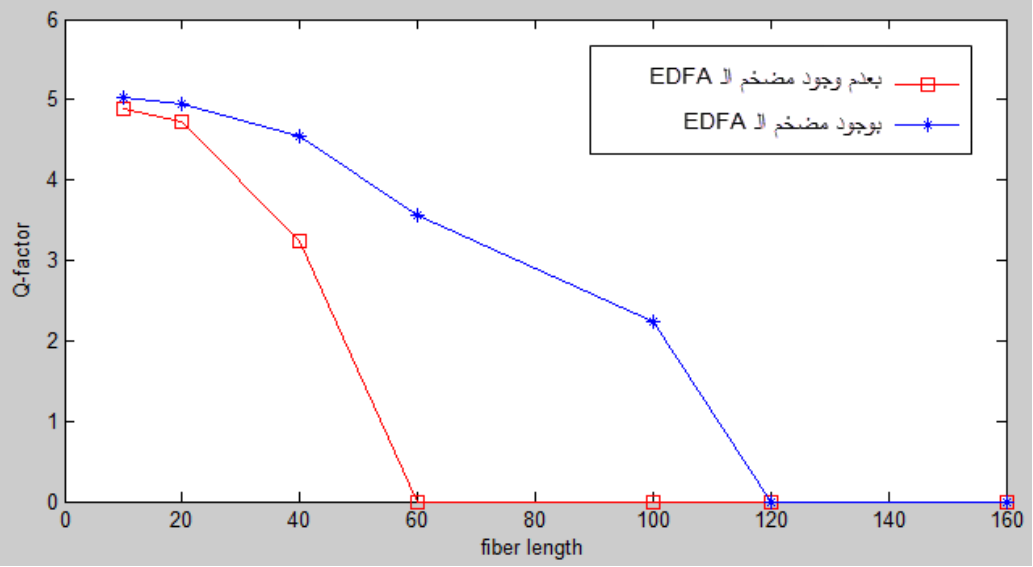
الشكل(4-b): خرج المحلل العيني عند L=60Km بوجود الـ EDFA

الشكل(4-a): خرج المحلل العيني عند L=40Km بوجود الـ EDFA



الشكل(4-c): خرج المحلل العيني عند L=100Km بوجود الـ EDFA

4) عند زيادة طول الليف الضوئي يقل عامل الجودة Q، وتزداد نسبة خطأ البت BER وهذا ما أثبت بيانياً باستخدام برنامج الـ Matlab كما هو موضح في الشكل (5).



الشكل(5): علاقة عامل الجودة Q بطول الليف الضوئي L

الاستنتاجات والتوصيات:

نتيجة للدراسة التي قمنا بها في هذا البحث تعتبر الشبكة الضوئية بتقنية CWDM المستخدمة لأجهزة إرسال غير المبردة DML حل مثالي لزيادة عرض الحزمة وبأقل تكلفة مطلوبة وذلك بعد الأخذ في الحسبان ما توصلنا إليه:

- إن زيادة نسبة الإخماد ER لثنائي الليزر أدى إلى زيادة في عامل جودة الإشارة Q ونقصان في نسبة خطأ البت BER، أي يجب أن يكون عمق التعديل للمرسل الضوئي كبيرا للحصول على نبضات مستقبلة ذات مظهر مناسب وطاقة كافية وضياعات أقل ما يمكن.
- يقل عامل الجودة Q بزيادة طول الليف الضوئي.
- يزداد عامل جودة الإشارة Q عند استخدام مضخم EDFA في شبكة الCWDM .
- وجود مضخمات الـ EDFA ضروري جداً من أجل طول ليف ضوئي أكبر من 40Km، وذلك لتجنب التأثيرات غير المرغوب بها والحصول على الإشارة المطلوبة في خرج المستقبل.
- يمكننا متابعة هذا العمل لاحقاً باستخدام مضخمات الرامان مع ال EDFA لزيادة المسافة التي يمكن أن تقطعها الإشارة الضوئية المجمعة وبطاقة كافية لكشفها واستخلاص الإشارات الكهربائية الأربعة منها بشكلها المناسب وبأقل ضياعات ممكنة.

المراجع:

1. CVIJETIC,M. *Optical Transmission Systems Engineering*. Artech House, Inc, 2004, 6.

2. JUHARI Nurjuliana; SHAARI Sahbudin; MENON Susthitha; EHSAN Abang Annuar EHSAN. *Optical Loss Analysis in 13-Channel SOI-based AWG for CWDM Network*. Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials Malaysia. Vol. 23, No. 01, 2014.

3. DEO, B.V. *Technologies And Protocols For The Future Of Internet Design: Reinvention The Web*.By IGI Global, 2012, 7.

4. NEBELING,M; THIEL,H.J. *Coarse Wavelength Division Multiplexing: Technologies And Applications*. by taylor&francis group LLc, 2007, 13,253-266.

5. HANS,F.U; ERNST,P.L. *Telecommunications Research Trends*. By nova science publisher, Inc, 2008, 180.

6. GOVIND,P.A. *Lightwave Technology Components And Devices*. By John Wiley&sons,Inc, 2004, 99.

7. www.**cubeoptics**.com. *Coarse WDM Reference Table*.2015,6 Janu.

8. JEFFREY,A.J; XIAOXIAm,W; PAUL,D; HALE; KLAUS M.E; AND ALAN E.W. *Measuring Extinction Ratio of Optical Transmitters*. Optical Society of America, 2009, 3.