

تحسين أداء نظام اتصالات بصري يستخدم تقنية التنضيد بتقسيم طول الموجة WDM عبر نماذج التعديل الرقمي والتماثلي

الدكتور حسان ريشة*

الدكتور علي أحمد**

محمد نصر***

(تاريخ الإيداع 7 / 4 / 2014. قُبِلَ للنشر في 29 / 5 / 2014)

□ ملخص □

تمت في هذا البحث زيادةُ الفعالية الطيفية لأنظمة الاتصالات البصرية التي تستخدم تقنية WDM بالانتقال إلى أنواع مختلفة من التعديل، بذلك تمكنا من زيادة سعة النظام باستخدام البنية التحتية الموجودة نفسها دون الحاجة لوضع ألياف بصرية جديدة ضمن الخدمة. فاعتمدنا من أجل تحقيق ذلك على التعديل الثنائي المعدل Duo-Binary بدلاً من التعديل الثنائي التقليدي Binary، كما استقينا من تقنية المزج باستخدام الحوامل الفرعية SCM للوصول إلى النظام البصري الذي يستخدم التعديل التماثلي.

ولدراسة الأنظمة البصرية المقترحة وتحليلها تم استخدام البيئة البرمجية OptiSystem. فقمنا في البداية بمحاكاة قناة بصرية واحدة وبعدها انتقلنا إلى أنظمة WDM، إضافة لذلك قمنا بالمقارنة مع الأنظمة التي تستخدم المعدلات التقليدية. في الختام تم تقييم الأداء بحساب معدل خطأ البت في طرف الاستقبال BER، فبيّنت النتائج أن استخدام هذين التعديلين حسناً أداء أنظمة الاتصالات البصرية تحسناً كبيراً.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة البصرية، الفعالية الطيفية، التعديل الرقمي، المحاكاة، التعديل التماثلي، WDM/SCM، ثنائي.

* أستاذ - قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية
** أستاذ - قسم هندسة الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة تشرين - طرطوس - سورية
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية

Enhancing The Performance of Wavelength Division Multiplexing WDM Systems Using Digital and Analog Modulation

Dr. Hassan Rishih*
Dr. Ali Ahmad**
Mohammad Nassr***

(Received 7 / 4 / 2014. Accepted 29 / 5 / 2014)

□ ABSTRACT □

In this study, the enhancing of spectral efficiency for WDM optical systems is achieved by using a new type of modulation, so we increase the capacity of the existing system without using another fiber. For this purpose we use Duo-Binary modulation instead of binary modulation and we utilize the Subcarrier Modulation SCM technique to reach analog modulation .

We use Optisystem program to simulate the proposed systems and compare it with the traditional one. The performance analyzed according to the result of BER at the receiver, depending on the result, we found that these modulation improved the performance of optical communication systems.

Key Words:, Optical systems, spectral efficiency, Simulation, WDM, Dou-Binary Modulation, Analog Modulation, Binary, SCM/WDM.

*Professor, Electronic and Communication Department, Faculty of Mechanical & Electric Engineering , Damascus University, Damascus, Syria .

**Professor, Communication Department, Faculty of Information & communication Technology Engineering , Tishreen University, Tartous, Syria .

***Postgraduate Student , Electronic and Communication Department, Faculty of Mechanical & Electric Engineering , Damascus University, Damascus, Syria .

مقدمة:

تعتبر تكنولوجيا الاتصالات ذات عرض الحزمة الترددية الكبيرة Large Bandwidth من أهم التقنيات المستخدمة في تطبيقات الانترنت والفيديو وغيرها من المجالات الحديثة ما أدى إلى زيادة الطلب العالمي عليها زيادة كبيرة. وفي السنوات الأخيرة، ونتيجة الضغط الهائل على شبكات الألياف البصرية Optical Fiber Network وزيادة عدد المستخدمين للتطبيقات التي تتيحها هذه الشبكات، بدأت تظهر محدودية في عرض المجال الترددي المتاح خلال عملية تبادل المعطيات داخل الألياف مقارنة بوسائط النقل الأخرى مثل الشبكات اللاسلكية Wireless وشبكات الأقمار الصناعية Satellite Network [1]، لذا بدأت الشركات المتخصصة بالبحث عن وسائل تضمن زيادة الطاقة الاستيعابية للشبكات البصرية وذلك بزيادة عرض المجال الترددي وزيادة معدل النقل Data Rate عبر الألياف البصرية.

وأنظمة الاتصالات البصرية من أفضل الطرق المتبعة للحصول على عرض مجال كبير لنقل المعلومات بمعدلات أكبر ولمسافات أبعد، ولكن وجود بعض العوامل حدّ من الوصول إلى السرعات العالية ضمن القناة البصرية الواحدة [2].

أهمية البحث وأهدافه:

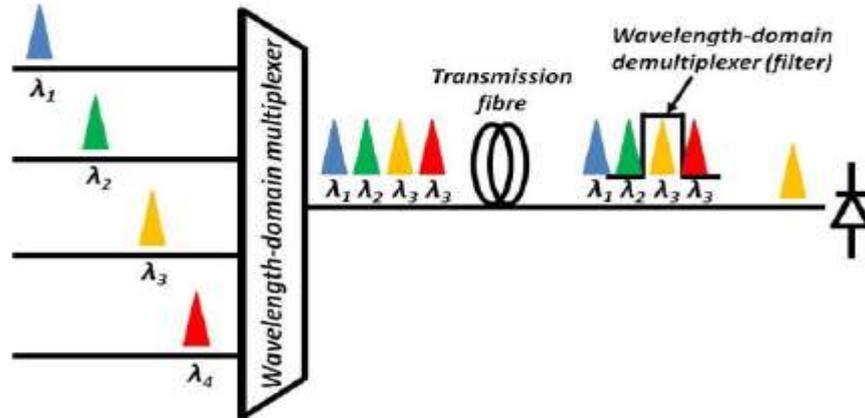
تقدم في هذا البحث حلاً لمشكلة محدودية المجال في شبكات الألياف البصرية وذلك باقتراح أنواع مختلفة من التعديلات واستخدامها ضمن أنظمة الـ WDM وذلك لتحقيق مجموعة من الأهداف أهمها: 1- زيادة معدل نقل المعلومات ضمن القناة الواحدة وكذلك زيادة الممانعة للأخطاء الناتجة عن الانتشار ضمن الليف مثل التشتت Dispersion والضجيج Noise، 2- الوصول إلى أبعد مسافة ممكنة في نقل الإشارات البصرية المعدلة دون الحاجة إلى وجود مضخمات بصرية Optical Amplifier أو مكررات كهربائية Regenerators على طول الليف، 3- تقليل المسافة الترددية بين الأطوال الموجية العاملة قدر الإمكان مع مراعاة الأخطاء الناتجة عن التأثيرات الخطية Linear واللاخطية Nonlinear. نهايةً سنتمكن من زيادة سعة النظام البصري دون الحاجة لاستخدام ألياف جديدة.

طرائق البحث ومواده :

أنجز هذا البحث اعتماداً على دراسات ومراجع علمية حديثة وعديدة تختص في هذا المجال، وأخذت نتائجها و توصياتها بعين الاعتبار، كما استخدمت البيئة البرمجية OptiSystem في المحاكاة الحاسوبية واستخلاص النتائج وقد اعتمد هذا العمل ليمثل جزءاً مهماً في تحسين أداء نظام الاتصالات البصري الذي يستخدم تقنية WDM.

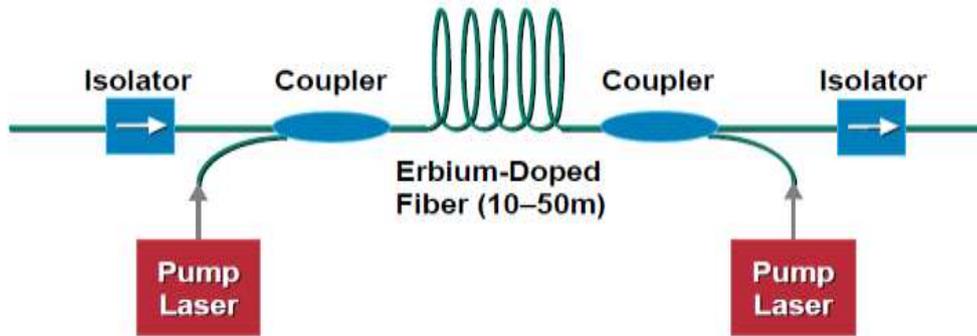
1. التجميع بتقسيم طول الموجة WDM

يقصد بـ Multiplexing تجميع عدد من إشارات الرسائل التماثلية أو سلاسل المعطيات الرقمية وإرسالها ضمن قناة واحدة، ومن أهم أنواعه في الاتصالات البصرية TDM Time Division Multiplexing و WDM Wave Division Multiplexing. يبين الشكل (1) نظام اتصالات بصري يستخدم تقنية WDM [2].



الشكل (1) نظام اتصالات بصري يستخدم تقنية WDM

تمكن رؤية التقدم التكنولوجي في عملية الإرسال البصري كزيادة في عدد الأطوال الموجية المستخدمة ضمن نفس الليف مترافقة بنقصان المسافة الترددية بينها مما يؤدي بالنتيجة إلى زيادة سعة المعلومات المنقولة. والسبب الأساسي في تطور هذه التقنية هو اكتشاف المضخمات البصرية التي تعمل ضمن نافذة التخماد الأصغري للليف والواقعة ضمن المجال 1530 nm to 1570 nm. يعتمد تضخيم الإشارة البصرية على تطعيم الليف Doped بشوائب من مادة Erbium ثم ضخه بليزر طول موجته 980 أو 1480 فيصبح هذا الوسط ملائماً لتكبير الإشارة حتى مستوى 30 dB. يبين الشكل (2) شكلاً مبسطاً للمضخم البصري [3].



الشكل (2) الليف المطعم بشوائب الـ Erbium مع ليزر الضخ

2. الفعالية الطيفية Spectral Efficiency

تعرف الفعالية الطيفية ضمن نظام WDM بمعدل نقل القناة الواحدة إلى المسافة الترددية الفاصلة بين الأطوال الموجية المنتشرة ضمن الليف وتعطى بالعلاقة الآتية [4]:

$$SE = \frac{R_B}{\Delta f} \quad \text{bps/Hz} \quad (1)$$

SE : الفعالية الطيفية.

R_B : معدل نقل القناة الواحدة bps.

Δf : المسافة الترددية بين أطوال الموجة العاملة Hz.

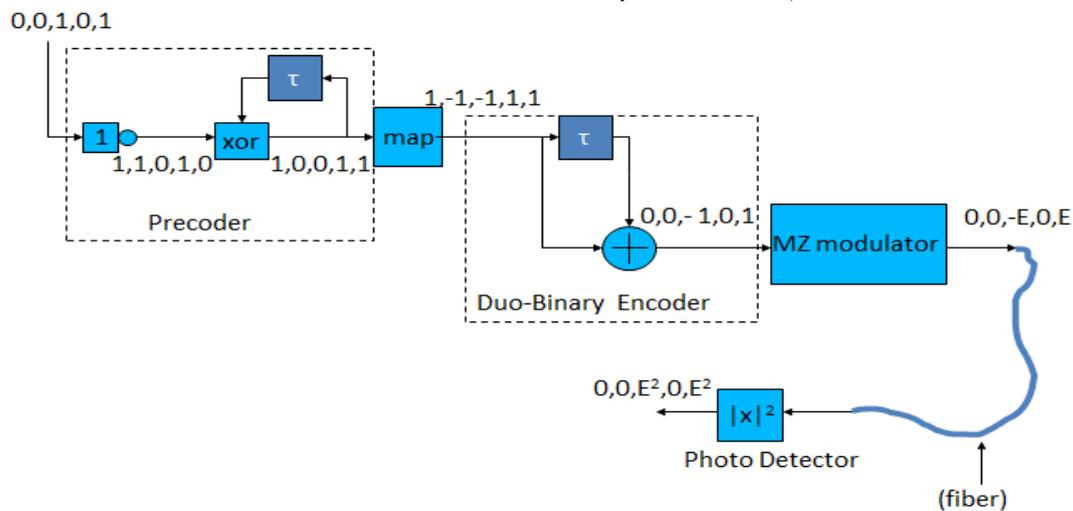
تتم زيادة الفعالية الطيفية بزيادة معدل نقل القناة الواحدة ضمن WDM أو بإنقاص المسافة الترددية الفاصلة بين الأطوال الموجية العاملة في النظام إلى الحد الأدنى مع مراعاة جميع التأثيرات الناتجة [5].

3. التعديل الرقمي Digital Modulation

يُعدُّ التعديل الرقمي الثنائي On-Off keying الأكثر شيوعاً في مجال الاتصالات البصرية [6] بسبب البنية البسيطة المطلوبة لقسمي الإرسال والاستقبال وانخفاض الكلفة التصميمية له. سندرس تقنيات التعديل التي استخدمناها ضمن هذا البحث وسنبين سبب اختيارنا.

3-1- تعديل Duo-Binary

يتم في هذا النوع من التعديل تحويل مستوى الإشارة الثنائي "0" "1" ضمن قسم الإرسال إلى ثلاثة مستويات - "1" "0" "1" وذلك بإضافة فرق طور بمقدار π إلى الإشارة عند ورود عدد فردي من الأصفار بين الواحدات المرسلة. والميزة الأساسية التي يقدمها هذا النوع من التعديل هي الممانعة العالية للتشوهات التي يمكن تفسيرها في المجالين الزمني والتردد. في المجال الزمني يؤدي ورود النمط Pattern "1" "0" "1" إلى تداخل هدام للحقل ضمن الصفر مما يؤدي إلى التخفيف من أثر Inter Symbol Interference ISI، أما في المجال الترددي، كما يبين الشكل (10)، فإن عرض المجال الترددي الذي يقدمه Duo-Binary أقل منه في حالة الثنائي التقليدي مما يساهم بشكل كبير بإنقاص التشوهات والسماح بإنقاص المسافة الترددية بين الأطوال الموجية العاملة. يبين الشكل (3) المخطط الصندوقي لمعدّل Duo-Binary ضمن نظام اتصالات بصري.



الشكل (3) المخطط الصندوقي لنظام اتصالات بصري يستخدم تعديل Duo-Binary

3-2- تعديل Binary Phase Shift Keying BPSK

تعد حساسية المستقبل لهذا النوع من التعديل أفضل منها بالنسبة للأنواع الأخرى، حيث تعطى قيمة خطأ البت عند الاستقبال في حالة PSK وفق العلاقة [7]:

$$BER = Q \left(\sqrt{\frac{A_c^2}{8N_0B}} \right) \quad (2)$$

A_c : مطال إشارة الحامل المستخدمة.

B : عرض المجال الترددي.

N_0 : الضجيج المضاف إلى الإشارة.

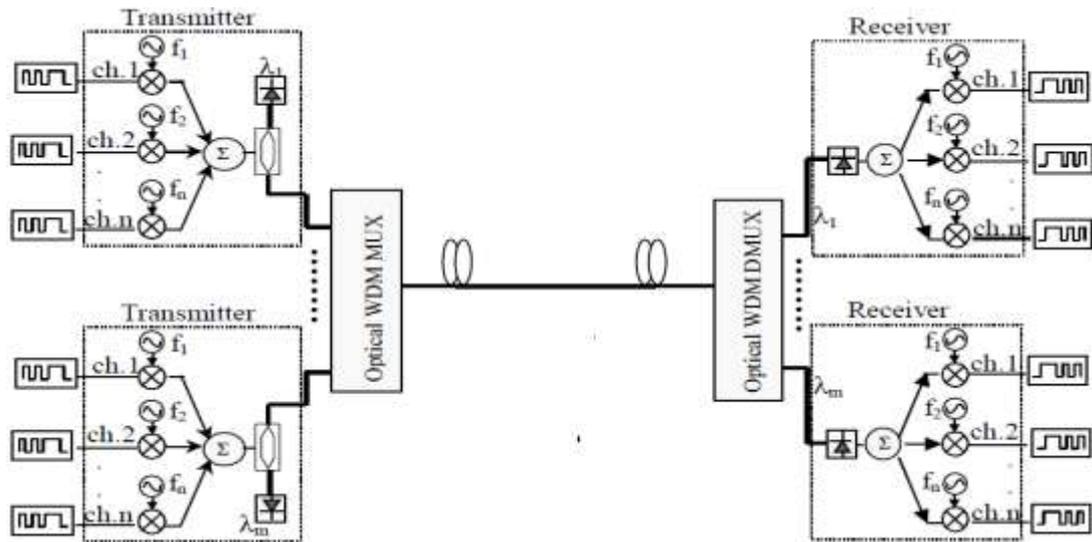
في حين يحسب خطأ البت في حال التعديل ASK وفق العلاقة:

$$BER = Q \left(\sqrt{\frac{A_c^2}{2N_0B}} \right) \quad (3)$$

عند مقارنة استطاعة قمة الغلاف Power Envelop Peak PEP عند قيمة ضجيج ثابتة N_0 نجد أن خطأ تعديل الـ PSK أقل بحوالي 6 dB منه في حالة ASK .

4. مزج الحوامل الفرعية Sub Carrier Multiplexing SCM

تستخدم هذه التقنية لزيادة الفعالية الطيفية SE في أنظمة الاتصالات البصرية، وتتم هذه التقنية على مرحلتين 1- تجميع عدة إشارات رقمية أو تماثلية ذات عرض حزمة صغير باستخدام حوامل ترددية ضمن المجال المكروي، ويمكن تقريب الحوامل الترددية بعضها من بعض بشكل كبير ضمن هذا المجال بسبب استقرار المذبذبات وكذلك عزل المرشحات للإشارات بعضها عن بعض بشكل جيد، 2- الإشارة المركبة والناجمة عن مجموع الإشارات السابقة يتم تعديلها ضمن المجال البصري باستخدام معدّل خارجي. يبين الشكل (4) المخطط الصندوقي لاستخدام SCM لتعديل الإشارة البصرية.



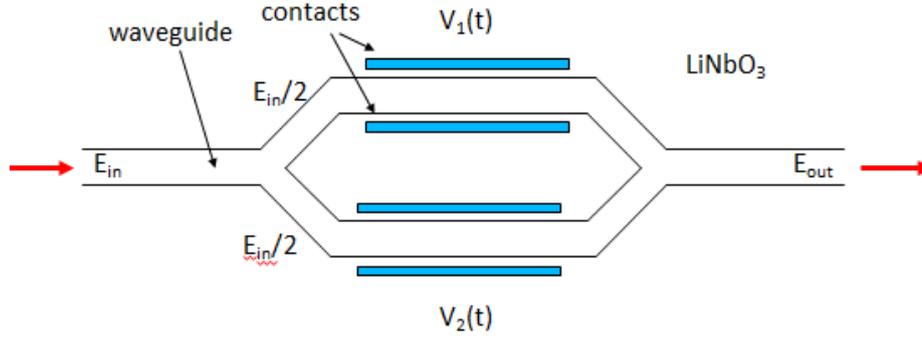
الشكل (4) المخطط الصندوقي لنظام بصري يستخدم تقنية SCM

سبب تسمية هذا النوع من التعديل ((التعديل التماثلي)) هو أن خرج الإشارة الرقمية المعدّل بواسطة BPSK تم تجميعها Combine مع إشارات القنوات الأخرى، إشارة الجمع هي التي تعدّل الموجة البصرية، بالنتيجة فإنه ضمن المجال المكروي التعديل رقمي وضمن المجال البصري التعديل تماثلي.

5. معدّل Mach-Zender Modulator M-Z

عند الانتقال إلى العمل على معدّلات سرعة عالية يصبح التعديل المباشر لليزر غير مجدي بسبب زيادة عرض المجال الترددي Chirp عند التبديل بين حالتي الفصل والوصل لذلك لا يمكن العمل بمعدّلات أعلى من

2.5 Gbps [2]، وللتغلب على هذه السلبية تم التوجه إلى استخدام المعدلات الخارجية. ومعدّل MZM تُعدّ من أفضل المعدلات الخارجية المستخدمة ضمن أنظمة الاتصالات البصرية حيث يقدم Chirp Free اذا تم استخدام انحياز عكسي بين ذراعي المعدّل. يبين الشكل (5) معدّل MZM مع ذراعيه المصنوعين من مادة Lithium - Niobate التي يتغير معامل انكسارها مع تغير الجهد الخارجي المطبق عليها الذي يؤدي إلى إزاحة طور إشارة الخرج بما يتناسب مع الجهد المطبق [8].



الشكل (5) معدّل Mach-Zender

بفرض إشارة خرج الليزر من الشكل: $E_i \exp(-j\omega_0 t)$ (4)

فإن خرج الـ MZM سيكون من الشكل: $E_0 = \frac{1}{2} (e^{-j\phi_1} + e^{-j\phi_2}) E_i \exp(-j\omega_0 t)$ (5)

$$E_0 = \frac{1}{2} e^{-j\phi_0 t} (e^{-j\Delta\phi/2} + e^{j\Delta\phi/2}) E_i \exp(-j\omega_0 t) \quad (6)$$

$$E_0 = \cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) E_i \exp(-j\phi_0) \exp(-j\omega_0 t) \quad (7)$$

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad \text{و} \quad \phi_0 = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \quad (8)$$

ω_0 : التردد المركزي لموجة الليزر. يمثل المقدار $\cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)$ التعديل المطالي لخرج المعدّل في حين يمثل

المقدار $\exp(-j\phi_0)$ التعديل الطوري. ϕ_1, ϕ_2 الطور الناتج عن تطبيق الجهد على الذراعين. للحصول على إزاحة طورية بين ذراعي MZM مساوية لـ π يجب تطبيق جهد v_π ومن ثمّ ندخل هدام عند خرج المعدّل. أما في حالة العمل وفق معدّل Duo-Binary فيتم تغيير الجهد بين ذراعي المعدّل ليوافق المستويات الثلاثة للإشارة بحيث تقابل إشارة "-" تغييراً في طور الحقل عند الخرج بمقدار π [5].

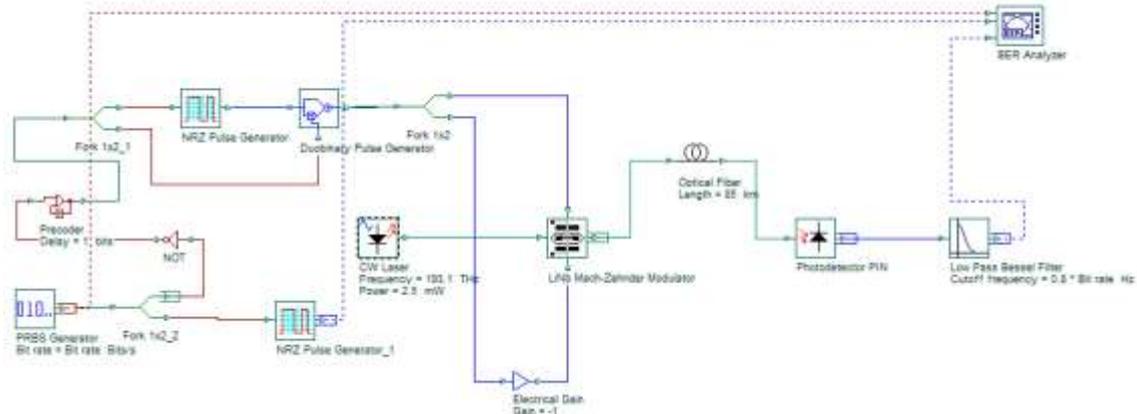
النتائج والمناقشة:

1 التعديل الرقمي

1-1 نظام اتصالات بصري وحيد طول الموجة يستخدم التعديل Duo-binary

يبين الشكل (6) نظام الاتصال البصري الذي قمنا باختباره، يضم هذا النظام مولد الإشارة العشوائي Pseudo Random بمعدل ارسال 10 Gbps اضافة لعملية Precoding التي تتم قبل التعديل والموضحة

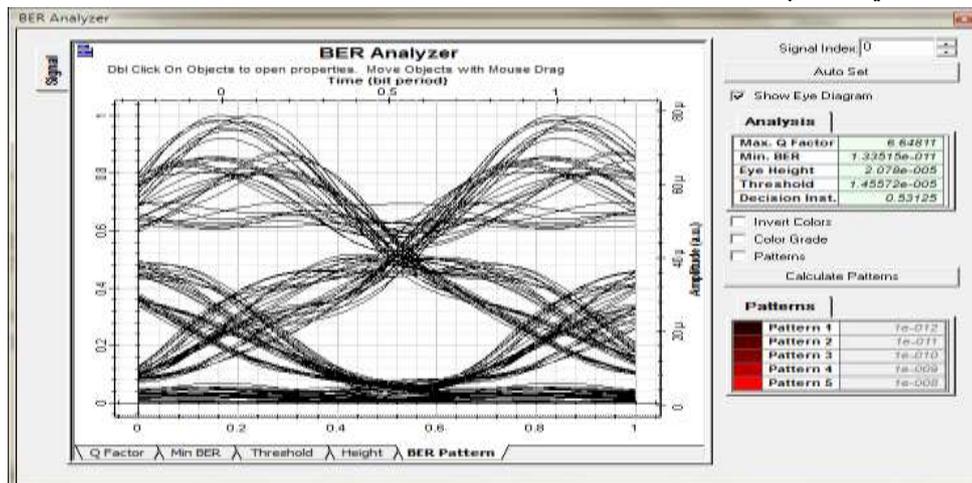
بالشكل (3) ثم عملية Mapping قبل إجراء التعديل على الضوء الصادر من الليزر عبر المعدل الخارجي Mach-Zender، ويقوم Dou-Binary Pulse Generator بتوليد E- عند ورود عدد فردي من الأصفار.



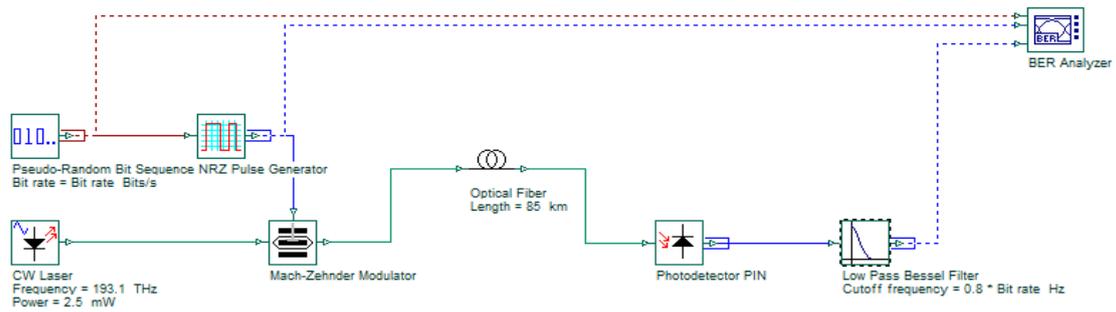
الشكل (6) نظام اتصالات بصري وحيد طول الموجة يستخدم التعديل Duo-binary

تم استخدام ليف ضوئي وحيد النمط (SSMF) Standard Single Mode Fiber بمعدل تخامد 0.2 dB/Km وتشتت مقداره 17 ps/nm/Km أما المستقبل فهو مستقبل ضوئي PIN يليه مرشح تردد منخفض Low Pass Bessel Filter للحصول على الإشارة الأساسية، وتم المحاكاة باستخدام OptiSystem. عند إجراء المحاكاة للنظام السابق وباستخدام Eye Diagram لتحديد BER نلاحظ أن معدل الخطأ من مرتبة 10^{-11} وذلك على مسافة 85 Km كما هو مبين بالشكل (7)، وهو معدل مناسب للعمل ضمن أنظمة الاتصالات بمختلف تطبيقاتها [9].

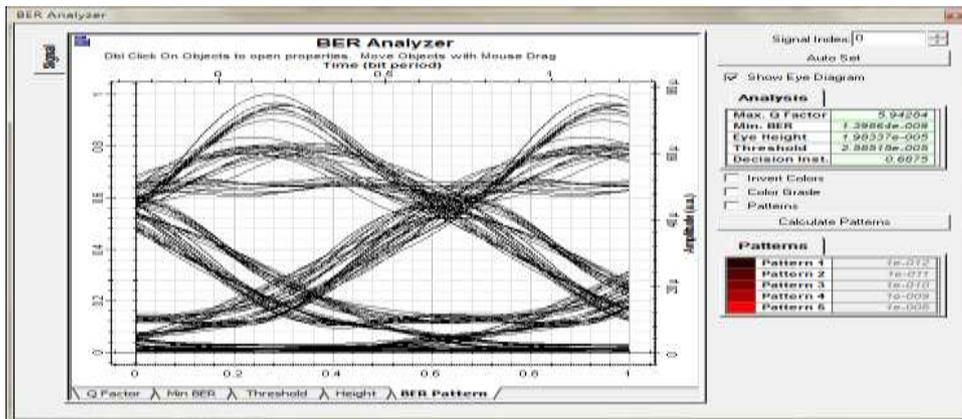
ولإظهار التحسين الذي يطرأ على الإشارة نقارن مع نظام يستخدم المعدل الثنائي الخارجي Binary External Modulation والمبين في الشكل (8)، باستخدام نفس البارامترات والمعدات للمستقبل وللليف على المسافة نفسها، نلاحظ أن معدل الخطأ قد ازداد وأصبح من مرتبة 10^{-9} كما هو مبين في الشكل (9). فنستنتج أن معدّل Duo-Binary يمكن أن يستخدم لإرسال الإشارة نفسها لمسافة أبعد من أجل معدل الخطأ نفسه المستخدم في نظام التعديل الخارجي التقليدي.



الشكل (7) معدل الخطأ في نظام Single Channel Duo-Binary Modulation

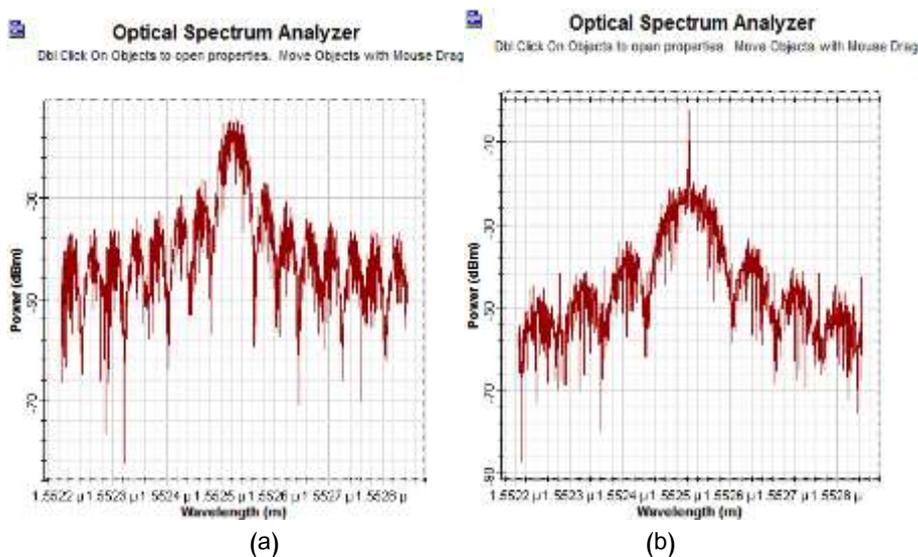


الشكل (8) نظام اتصال بصري يستخدم المعدل الثنائي الخارجي



الشكل (9) معدل الخطأ ضمن نظام بصري يستخدم المعدل الثنائي الخارجي

يؤدي تعديل Duo-Binary أيضاً إلى تقليل العرض الطيفي للإشارة المرسلّة مقارنة مع التعديل الثنائي العادي مما يزيد من سماحية هذا التعديل للتشتت. يبين الشكل (10) مقارنة بين طيف الإشارة المرسلّة عند استخدام التعديلين السابقين وذلك على خرج Mach-Zender.

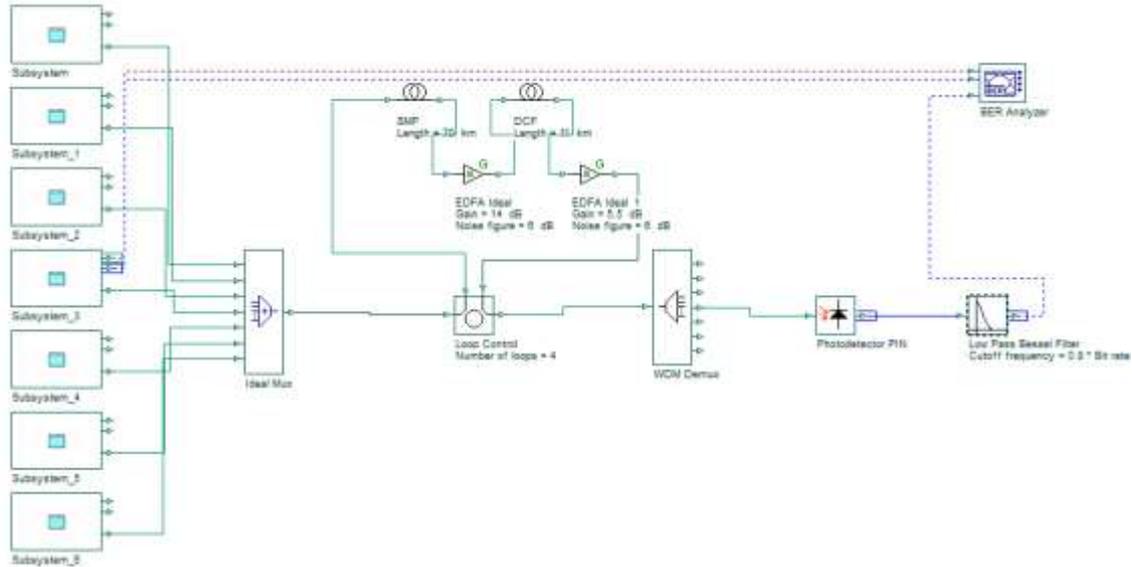


الشكل (10) طيف إشارة المعدل الثنائي (a) طيف معدل Duo-Binary (b)

نلاحظ من الشكل (10) الحلقة الرئيسية لطيف إشارة Duo-Binary قد أصبحت أقل عرضاً، وكذلك تخامدت الحلقات الفرعية الجانبية بشكل أكبر مقارنة مع المعدل الثنائي التقليدي. عند استخدام معدل نقل عالٍ للبيانات يجب استخدام معوضات التشتت كما سنرى ضمن أنظمة WDM.

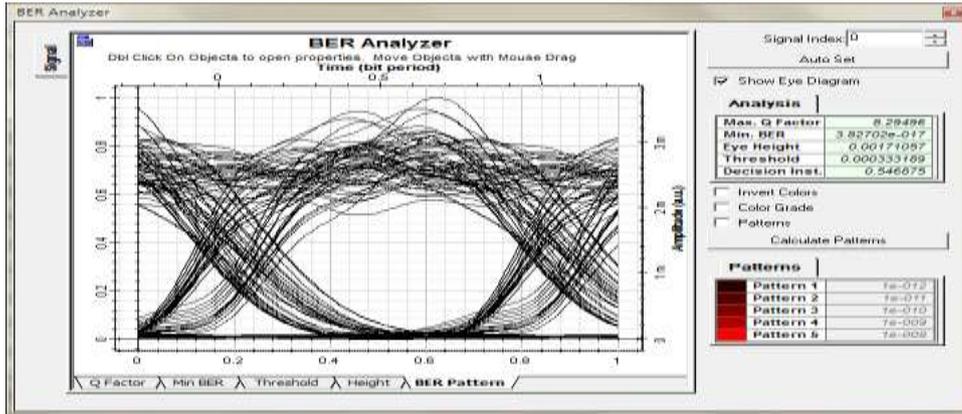
2-1 نظام اتصالات بصري WDM يستخدم التعديل Duo-Binary

يبين الشكل (11) نظام الاتصال البصري WDM الذي قمنا باختباره، فتم ضمن هذا النظام جمع المكونات الأساسية لمرسل Duo-Binary والموضحة ضمن الشكل (6) من الفقرة 1-1-6 ضمن نظام جزئي Subsystem إضافة إلى مجمع WDM Multiplexer لا يقدم ضياع للإشارة Ideal، تم اختيار سبعة أطوال موجية للعمل ضمن هذا النظام وذلك بالرجوع إلى الجدول (1) حيث يحقق انتشار سبعة أطوال موجية قيمة الخطأ المطلوب للعمل ضمن نظام الاتصالات 10^{-9} . المسافة الترددية 100 GHz، المجال الترددي لهذه الأطوال الموجية [193.1, ..., 193.7] THz، يعمل هذا النظام بمعدل إرسال 40 Gbps للقناة الواحدة ويستخدم للاتصالات البعيدة 280 Km ويتم وضع المضخم البصري على مسافة 70 Km.

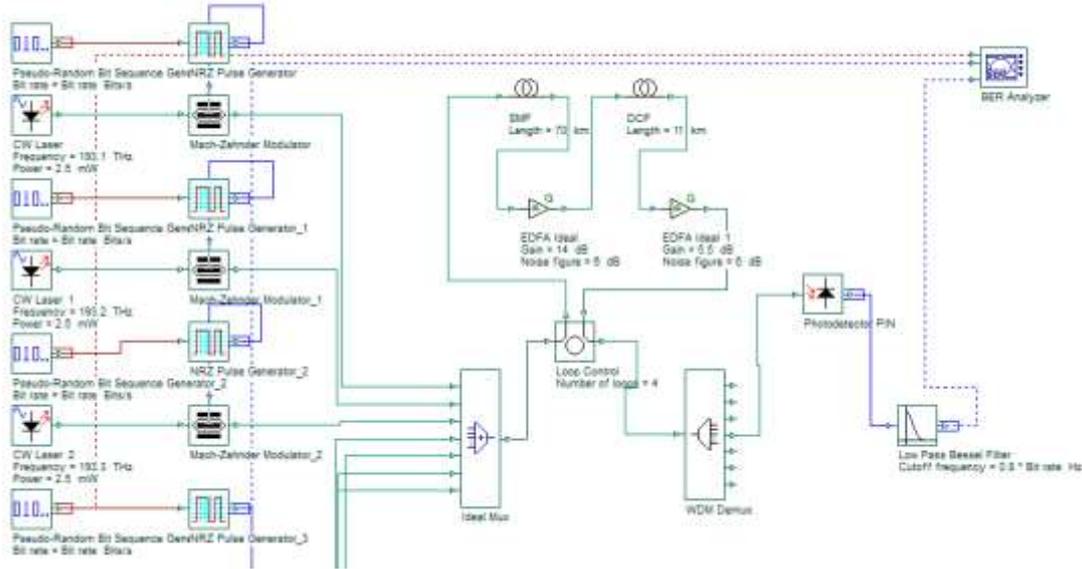


الشكل (11) نظام اتصال بصري WDM يستخدم تعديل Duo-Binary

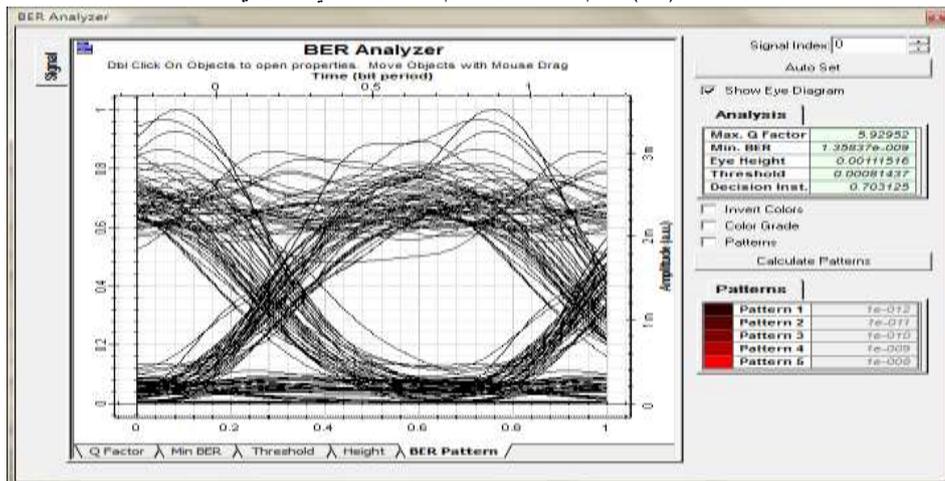
تم اختيار حلقة تعويض الضياع والتشتت باستخدام Erbium Doped Fiber Amplifier EDFA و Dispersion Compensation Fiber DCF على التوالي وذلك للوصول إلى المسافة المطلوبة. وعند الاستقبال قمنا بدراسة BER للقناة الوسطى فقط لأنها أكثر قناة تتعرض للتشويه نتيجة للتأثيرات الخطية واللاخطية من القنوات المجاورة على الطرفين. يبين الشكل (12) الـ BER لهذا النظام وهو من مرتبة 10^{-17} . ولتوضيح التحسين الذي يطرأ على الإشارة ضمن نظام WDM نقوم بمقارنة هذا النظام مع نظام المعدل الثنائي التقليدي للعدد نفسه للقنوات والترددات المستخدمة ومعدل إرسال القناة الواحدة ولحلقه المسافة نفسها كما هو مبين بالشكل (13) بقراءة BER من Eye Diagram نلاحظ انخفاض هذه القيمة 8 مراتب إلى جوار 10^{-9} الشكل (14).



الشكل (12) BER لنظام WDM بسبعة أطوال موجية يستخدم تعديل Duo-Binary



الشكل (13) نظام WDM يستخدم التعديل الثنائي التقليدي



الشكل (14) BER لنظام WDM يستخدم سبع أطوال موجية وتعديل ثنائي تقليدي

يبين الجدول (1) تأثير زيادة عدد الأنظمة الجزئية على معدل الخطأ من أجل نفس المسافة الترددية لنظام يستخدم المعدل الثنائي التقليدي.

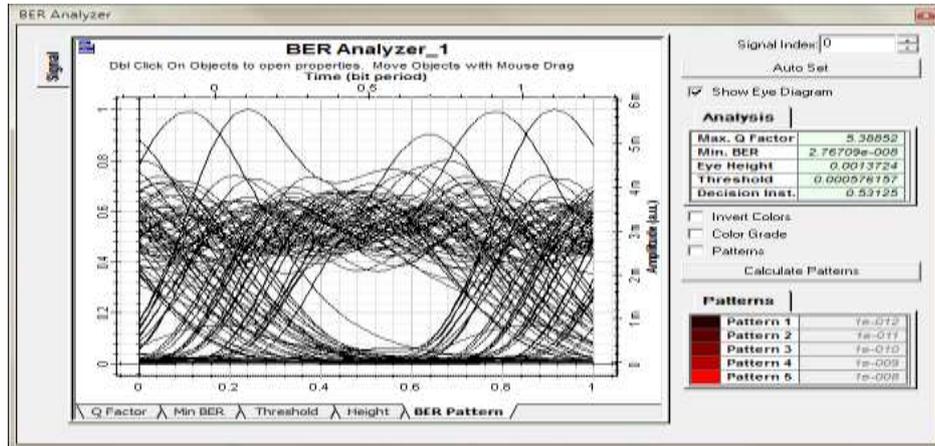
عدد الأنظمة الجزئية المستخدمة	المسافة الكلية المقطوعة	المسافة الترددية بين الأمواج العاملة	معدل الخطأ BER
3	280 Km	100 GHz	5.4×10^{-11}
4	280 Km	100 GHz	2.3×10^{-10}
5	280 Km	100 GHz	2.0×10^{-10}
6	280 Km	100 GHz	2.6×10^{-9}
7	280 Km	100 GHz	1.3×10^{-9}

من أجل الأنظمة السابقة نلاحظ ما يأتي:

1-زيادة المسافة التي تقطعها الإشارة في الأنظمة الإفرادية Single Channel وضمن WDM يؤدي إلى تناقص نسبة الإشارة إلى الضجيج ومن ثم زيادة BER، ويمكن تفسير هذه الظاهرة بتراكم ضجيج الأصدار اللحظي Amplified Spontaneous Emission ASE الناتج عن المكبرات إضافة إلى تراكم التشبث [10].

2-زيادة عدد القنوات يؤدي أيضاً إلى زيادة BER، كما يوضح الجدول (1)، يجب الانتباه إلى الطاقة الكلية المنتشرة ضمن الليف حيث لا يجب أن تتجاوز قيمة محددة التي بعدها يبدأ ظهور تأثيرات لاختبية ومنها تأثيرات بريليون Brillion ورامان Raman مما يؤثر بشكل كبير على الإشارات المنتشرة ويحد من عدد الأمواج البصرية الممكن إرسالها .

3-إنقاص المسافة الترددية بين القنوات يؤدي إلى زيادة BER، فمثلاً من أجل نظام Duo-Binary WDM يؤدي إنقاص المسافة الترددية من 100 GHz إلى 75 GHz مع المحافظة على البارامترات السابقة نفسها للحصول على BER من مرتبة 10^{-8} كما هو مبين بالشكل (15)، لكن يجب إنقاص عدد القنوات من 7 إلى 5 .



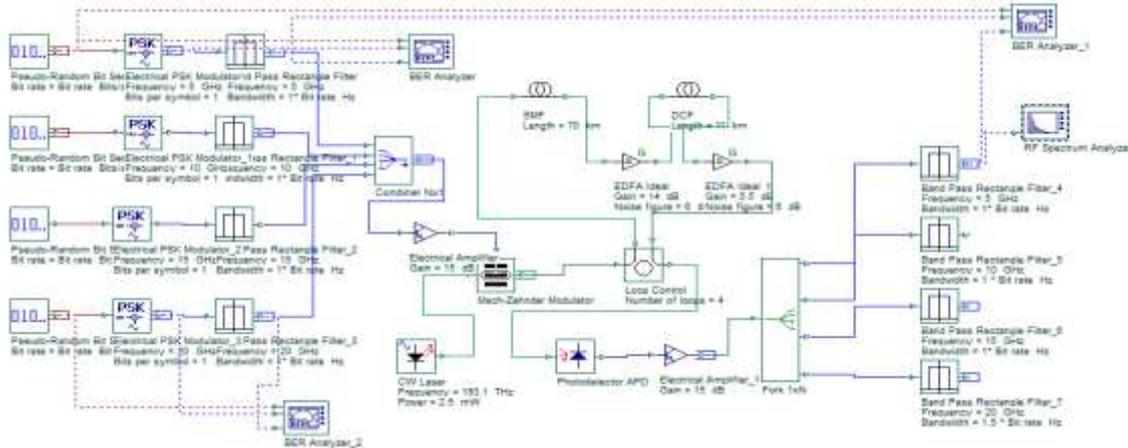
الشكل (15) BER لنظام WDM يستخدم 5 أطوال موجية وتعديل Duo-Binary ومسافة ترددية بين القنوات 75GHz

يحقق نظام WDM ذو معدل الإرسال 40 Gbps ومسافة ترددية بين قنواته 100 GHz فعالية طيفية مقدارها $SE=0.4$ bit/s/Hz، أما نظام WDM ذو معدل الإرسال 40 Gbps ومسافة ترددية 75 GHz فيحقق فعالية طيفية مقدارها $SE=0.53$ bit/s/Hz، تُعد هاتان النسبتان أفضل من أغلب الأنظمة العاملة حالياً لأنها لا تتجاوز الفعالية الطيفية فيها 0.1 bit/s/Hz [11].

2 التعديل التماثلي

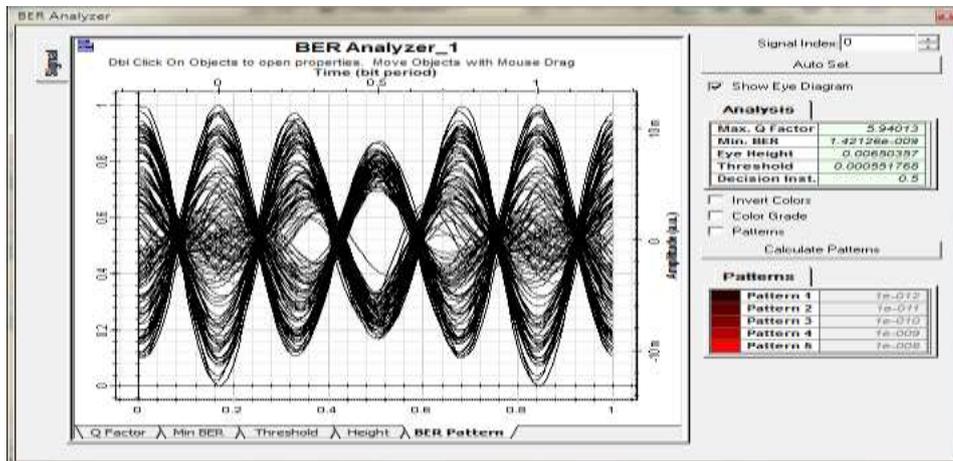
1-2 نظام اتصالات بصري يستخدم تقنية SCM

يبين الشكل (16) نظام الاتصال البصري الذي يستخدم تقنية SCM ، ويتم التعديل ضمن هذا النظام على مرحلتين؛ الأولى رقمية في المجال المكروي والثانية تماثلية في المجال البصري. ضمن المجال الرقمي قمنا باستخدام تعديل BPSK للإشارة الناتجة عن المولد العشوائي ذي معدل الإرسال 2.5 Gbps، وتم اختيار أربع قنوات بمعدل الإرسال نفسه وحُمّلت على الترددات المكروية [5,10,15,20] GHz على التوالي.



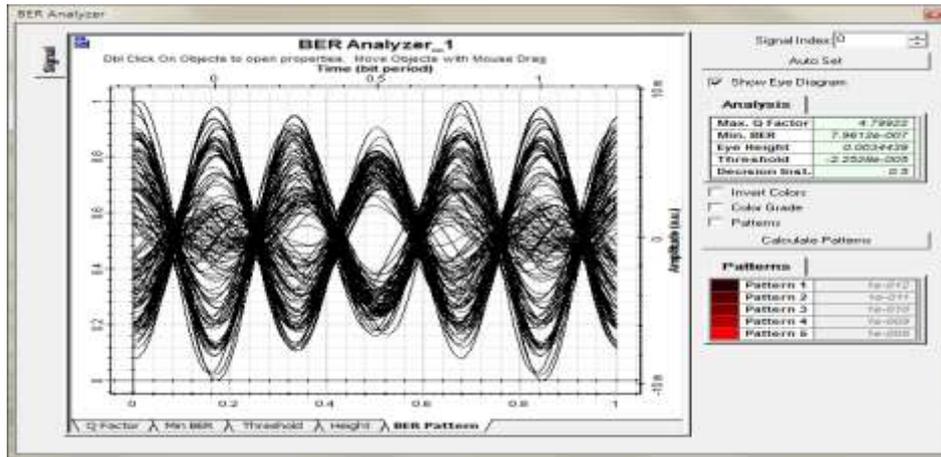
الشكل (16) نظام بصري يستخدم تقنية SCM بطول موجة وحيد

نستخدم للتعديل التماثلي في المجال البصري ليزرات ذات عرض حزمة ترددية صغيرة [12] وهو ما تحققه ليزرات Distribution Feed Back DFB، لا يتجاوز عرض الحزمة الترددية لها بضع ميغا هرتز، وتم اختيار حلقة المسافة للاتصالات البعيدة التي استخدمت في الأنظمة السابقة. أما جزء الاستقبال فتم فيه استخدام مستقبلات Avalanche Photo Diode APD والتي تقدم ربحاً إضافياً للإشارة المستقبلية، يتم استخدام مكبرات في المجال المكروي لتحسين مستوى الإشارة أيضاً. وباستخدام مرشحات تمرير مجال Pass Band Filter تمكن استعادة الإشارة المرسله بشكل صحيح. يبين الشكل (17) BER الناتج بعد انتشار القناة الأولى ضمن الليف البصري مسافة 280 Km.



الشكل (17) BER للقناة الأولى ضمن نظام SCM

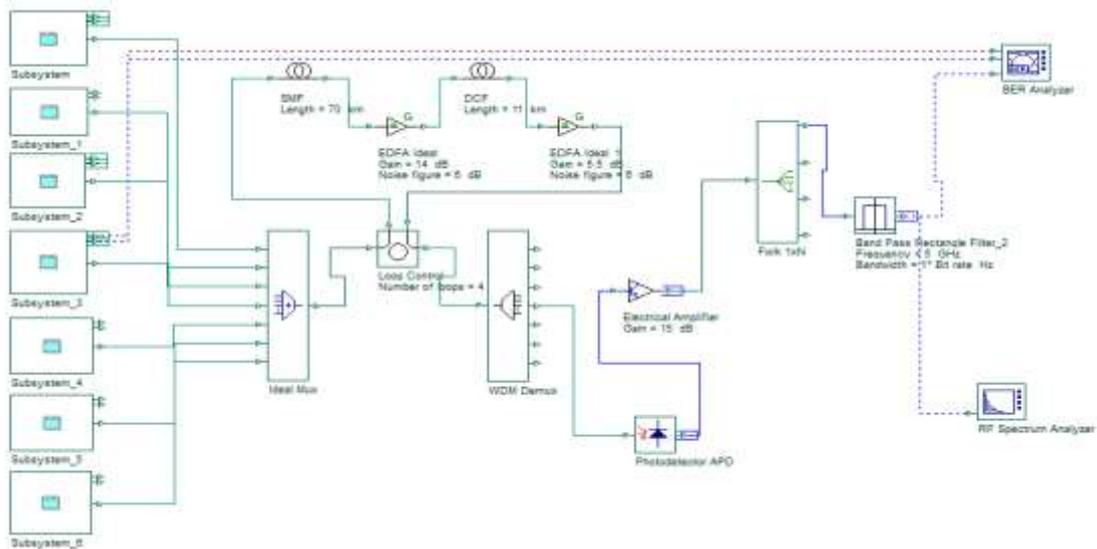
نلاحظ أن BER من مرتبة 10^{-9} وهي نسبة مقبولة للعمل ضمن أنظمة الاتصالات . وزيادة سعة هذا النظام ممكنة بزيادة عدد القنوات ضمن المجال المكروي، إلا أن ذلك سيؤدي إلى زيادة نسبة الاشارة إلى الضجيج، فنلجأ إلى زيادة عدد القنوات ضمن المجال المكروي عندما لا نحتاج لزيادة السعة بشكل كبير؛ فكما نلاحظ أن سعة القناة الواحدة هي 2.5 Gbps فعند عملية التوسع لا ندخل نظاماً بصرياً جديداً بسعة 10 Gbps ، نزيد قناة واحدة فقط إلى النظام مما يقلل من الكلفة بشكل كبير، علماً أن الزيادة تكون إلى حد معين، بعده يزداد معدل الخطأ ونحتاج للانتقال للعمل على طول موجة جديد، فمثلاً تؤدي مضاعفة عدد القنوات للنظام السابق مع المحافظة على معدل إرسال ثابت لجميع القنوات إلى أن يصبح BER من مرتبة 10^{-7} كما هو مبين في الشكل(18).



الشكل(18) BER لنظام SCM يستخدم 8 قنوات في المجال الميكروي

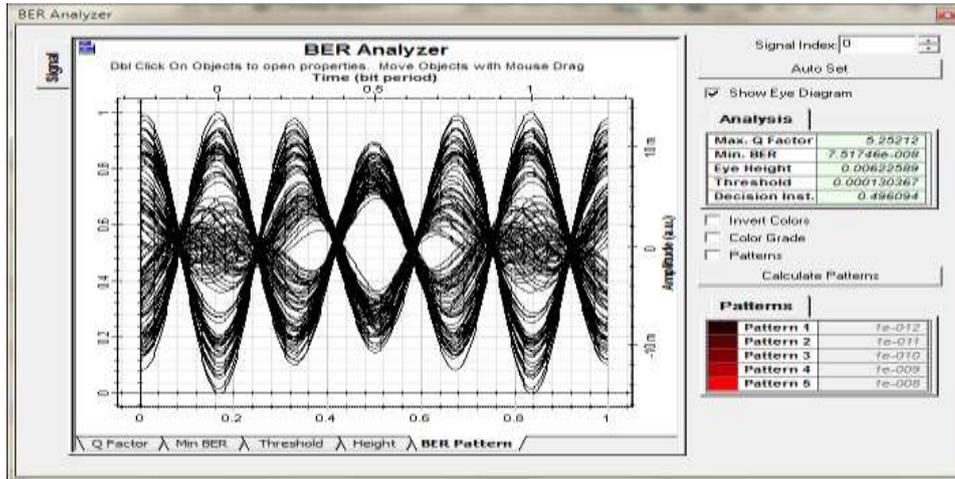
2-2 نظام اتصالات بصري WDM يستخدم SCM

يبين الشكل(19) أن نظام WDM يحوي 7 Subsystems كل واحد منها يضم جزء الإرسال من النظام السابق الفقرة 6-2-1 كما أن الترددات العاملة في هذه الأنظمة الجزئية هي نفسها من الفقرة 6-1-2 أما المسافة الترددية فيما بينها فتم اختيارها لتكون 35 GHz.



الشكل(19) نظام اتصال بصري WDM يستخدم SCM

يبين الشكل (20) BER الناتج عن هذا النظام، نلاحظ أن هذه النسبة من مرتبة 10^{-8} .



الشكل (20) BER لنظام SCM/WDM على مسافة 280Km ولسبع أطوال موجية

تبين المحاكاة أن هذا النظام يسمح بمسافات ترددية قريبة بين الأمواج العاملة في المجال البصري بحيث تكون أعلى من أعلى تردد مستخدم في المجال الميكروي، وهو ما سمح لنا باختيار المسافة 35 GHz حيث إن أعلى تردد مكروي تم استخدامه هو 20 GHz، والسبب في ذلك يعود، كما تمت الإشارة سابقاً، إلى أن الترددات تكون معزولة بشكل جيد في المجال المكروي. إننا بحساب الفعالية الطيفية لهذا النظام نجد $SE=10/35=0.28$ bit/s/Hz وهي أعلى من أغلب النسب العاملة في الأنظمة التقليدية.

يبين الجدول (2) تأثير زيادة عدد الأنظمة الجزئية على معدل الخطأ من أجل نفس المسافة الترددية لنظام

يستخدم تقنية SCM.

معدل الخطأ BER	المسافة الترددية بين الأمواج العاملة	المسافة الكلية المقطوعة	عدد الأنظمة الجزئية المستخدمة
2×10^{-9}	35 GHz	280 Km	3
6.2×10^{-9}	35 GHz	280 Km	4
1.0×10^{-8}	35 GHz	280 Km	5
3.7×10^{-8}	35 GHz	280 Km	6
7.5×10^{-8}	35 GHz	280 Km	7

من أجل الأنظمة السابقة نلاحظ ما يأتي:

1. يمكن زيادة سعة النظام بإضافة قنوات ضمن المجال المكروي دون الحاجة إلى وضع نظام بصري جديد ضمن الخدمة وهو ما يقلل من الكلفة بشكل كبير.

2. زيادة عدد القنوات محدد بمعدل الخطأ الأصغري المسموح ضمن النظام، وكذلك بمعدل إرسال القناة

الواحدة.

3. تتحدد المسافة الترددية بين الأطوال الموجية العاملة من أعلى تردد مكروي مستخدم، وبسبب العزل الجيد

تمكن إضافة أطوال موجية بحيث لا تتجاوز الطاقة الكلية المنتشرة ضمن الليف الحد المسموح لظهور التأثيرات

اللاخطية ومنها تأثير رامان، وتأثير بريليون.

- [8] Adalid, J, C. *Modulation Format Conversion in Future Optical Networks*. Technical University of Denmark, 2009, 111.
- [9] Udalcovs, A; Bobrovs, V; Trifonovs, I; Celmins, T. *Investigation of Maximum Distance Reach for Spectrally Efficient WDM System with Mixed Data Rates and Signal Formats*. Elektronika Ir Elektrotehnika, Latvia, Vol. 19, No. 1, 2013, 87-92.
- [10] Khanaa, V; Mohanta, K and Saravanan, T. *Performance Analysis of Two Channel Optical WDM System using Binary and Duo Binary Modulation Formats*. Indian Journal of Science and Technology, Vol 6 , June 2013, 4727-4732.
- [11] Phogat, A; Gulati, T and Malik, D. *Q-Factor and Jitter performance in WDM systems using RZ, NRZ and Duo binary modulation formats at different distances*. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET).India, Vol. 2 Issue 4, July 2013,30-34.
- [12] Reza, S; Hossain, m; Chowdhury, A, A. *Performance Evaluation of SCM-WDM System Using Different Line coding*. Journal Of Telecommunications, Volume2, Issue 1, April 2010, 60-67.
- [13] KELLY, P.L; KAMINOW, I.P; AGRAWAL, G.P. *Nonlinear Fiber Optics*. 3rd. ed., Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, London, Tokyo, 2001, 481.