

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف DWDM باستخدام صيغة التعديل متعددة المستويات QPSK

حسن محسن الراعي*¹ محمد الحسين²

*1. طالب دكتوراه - مهندس في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
- جامعة دمشق. hasan.alra3e@gmail.com

². أستاذ، دكتور- قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة
دمشق. MohamadAl-hussin@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تم في هذا البحث تصميم وتنفيذ نظام التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف باستخدام التعديل بإزاحة الطور الرباعي QPSK DWDM ، والذي يتيح فعالية طيفية عالية وإمكانية الإرسال بمعدلات نقل عالية ، مع تطبيق الكشف المتناسك ومعالجة الإشارة الرقمية.

حيث تتيح هذه التقنيات تحملاً عالياً لضجيج طور الموجة الحاملة، وتؤدي إلى تعويض أفضل للملاخطة ، بالإضافة إلى تعويض التشتت اللوني وتشتت نمط الاستقطاب . وتمت المحاكاة في بيئة 17 Optisystem ، و تم اختبار النتائج و تقييمها بناءً على الفعالية الطيفية وسعة الإرسال المحققين بالإضافة إلى المعاملات Q-factor ، BER (Bit Error rate) ، Error rate ، SER (Symbol Error rate) و OSNR .

تم تصميم نظام DWDM DP-QPSK ذو 32 قناة وكل قناة بمعدل 100Gb/s بمعدل إجمالي (3.2Tb/s) و بتباعد بين القنوات قدره 50GHz والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (2b/s/Hz) و تم اختبار النتائج من أجل مدى 160Km .

الكلمات المفتاحية: فعالية طيفية، نظام التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف DWDM، التعديل بإزاحة الطور الرباعي QPSK، الكشف المتناسك، معالجة الإشارة الرقمية.

تاريخ الإيداع: 2022/10/ 27

تاريخ القبول: 2023/5/3



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر
بموجب CC BY-NC-SA

Improving the spectral efficiency of a DWDM system using the QPSK multi-level modulation technique

Hasan Mohsen Alraei*¹ Mohamad Al-hussin²

*¹. PhD Student, Eng, Department Of Electronics and communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

hasan.alra3e@gmail.com.

². Professor , Department Of Electronics and communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

MohamadAl-hussin@damascusuniversity.edu.sy.

Abstract:

In this Research, a dense optical wavelength division multiplexing system using Quadrature phase shift Keying DWDM QPSK was designed and implemented, that enables Designing with high spectral efficiency, and the ability to transmit at high transmission rates, with applying coherent detection and digital signal processing. These techniques allow a high tolerance to carrier phase noise, and lead to Better compensation for nonlinearity, as well as compensation for chromatic dispersion and polarization pattern dispersion. The simulation was carried out in an Optisystem 17 environment, and the results were tested and evaluated based on the achieved spectral efficiency and transmission capacity as well as the parameters Q-factor, BER (Bit Error rate), SER (Symbol Error rate) and OSNR.

The DWDM DP-QPSK system was designed with 32 channels and each channel at a rate of 100Gb/s at a total rate of (3.2 Tb/s) and a spacing between channels of 50GHz, which gives a spectral efficiency of (2b/s/Hz) and the results were tested for a range of 160km.

Key words: spectral efficiency, Dense Optical Wavelength Division Multiplexing System DWDM, Quadrature phase shift Keying (QPSK), coherent detection, digital signal processing.

Received: 27/10/2022

Accepted: 3/5/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

الشبكة الضوئية معدل بيانات عالي جداً مقارنةً ب الاتصالات اللاسلكية RF بسبب محدودية النطاق الترددي لها [8]. إن العامل الأساسي في تصميم أنظمة اتصالات بسعات عالية هو إدخال بيانات عدة مستخدمين في قناة اتصال واحدة، ويمكن تحقيق ذلك عبر عدة تقنيات مثل التجميع بتقسيم الزمن (time-division multiplexing TDM)، التجميع بتقسيم الرمز (code-division multiplexing CDM)، و التجميع بتقسيم طول الموجة (wavelength-division multiplexing WDM).

إن الميزة الأساسية لأنظمة WDM أنه لا يتطلب أن يعمل كل مستخدم نهائي عند معدل نقل عالي جداً، بل يجب عليه أن يعمل على معدل النقل الخاص بأحد أقنية نظام WDM، لذلك يعتبر نظام الاتصالات WDM أكثر تفضيلاً في تصميم أنظمة الاتصالات الضوئية بعيدة المدى.

كما أنه عند تقليل التباعد بين القنوات يمكن الحصول على أنظمة التجميع بتقسيم الطول الموجي الكثيف DWDM ذو الفعالية الترددية العالية والذي يتيح الإرسال بسعات عالية جداً لنفس عرض النطاق الترددي.

إن تأثيرات تشتت الألياف واللاخطية عند معدل بيانات عالي مع تباعد ضيق للقنوات في نظام الألياف الضوئية WDM هي قضية رئيسية يجب معالجتها للتطور المستقبلي لأنظمة WDM البصرية. لذلك، تعتبر هذه التأثيرات تحدياً كبيراً لأنظمة الاتصالات الضوئية WDM وأنظمة DWDM، والذي سيتم تناوله في هذا البحث.

1- الدراسات المرجعية :

إن أكبر التحديات في أنظمة الاتصالات الضوئية هو التشتت في الليف الضوئي والتأثيرات اللاخطية، هناك تقنيات مختلفة لتعويض التشتت و اللاخطية في أنظمة الاتصالات الضوئية، مثل الليف المعوض للتشتت (DCF)، مشبك براغ (FBG)

أصبحت الاتصالات الضوئية في العصر الحديث وسيلة النقل الأساسية والأكثر جاذبية للاتصالات الإقليمية و العالمية، حيث حققت شركات الاتصالات التجارية المعتمدة على الألياف الضوئية سرعات نقل تصل إلى عشرات ال Gb/s لكل طول موجي. في الثمانينيات، كانت خطوط النقل الضوئية تحمل عادةً بضع مئات من ال Mb/s، كما كان من الضروري وضع مكبرات كل 40km تقريباً ذلك الوقت. حيث كانت تتأثر المسافة بين المكبرات كثيراً بفقد الألياف الضوئية، كما كان معدل نقل البيانات محدوداً بسبب تشتت الألياف الضوئية و اللاخطية.

تتمتع الألياف الضوئية بقدرة كبيرة على نقل المعلومات، لكنها لم تحقق نجاحاً تجارياً واسع النطاق إلا بعد تطوير تقنيات التضخيم البصري، حيث أنه في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات تم تطوير مضخم الألياف المشبعة بالإربيوم (EDFA erbium-doped fiber amplifier)، حيث أنها تسمح بتحقيق نظام اتصال بصري WDM بعيد المدى نظراً لقدرته على التضخيم على النطاق العريض، وبالتالي توفرت أنظمة نقل بيانات فعالة من حيث التكلفة و زيادة سعة النظام [7].

تستخدم أيضاً الاتصالات اللاسلكية RF بشكل واسع في الاتصالات عموماً و الاتصالات الخليوية خصوصاً.

لكل من الاتصالات اللاسلكية والاتصال البصري محدودياتها ومزاياها. إن العامل الأهم في المقارنة بين أنظمة الاتصالات هو النطاق الترددي والذي يحدد السعة الكلية للنظام. توفر الاتصالات اللاسلكية نطاقاً ترددياً محدوداً مقارنةً بالنطاق الترددي البصري. حيث أن الاتصال البصري يوفر عرضاً ترددياً يبلغ حوالي 10THz وهو أفضل بكثير من النطاق الترددي للاتصالات اللاسلكية، وبالتالي يمكن أن تحمل

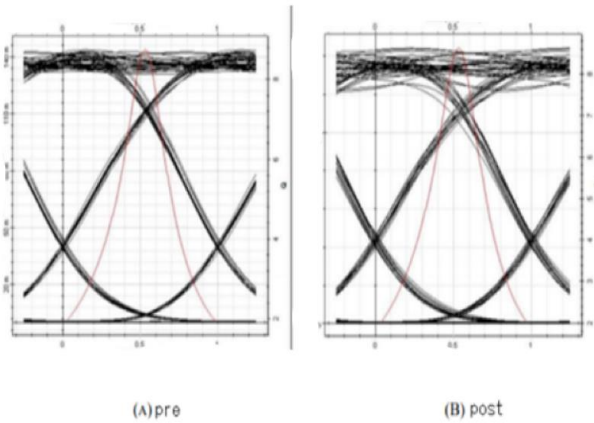
تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين

التشتت . على الرغم من أن نتائج هذه التقنية جيدة جداً لتعويض التشتت ، إلا أنها تتطلب مقترن 3dB coupler ، أو دوار ضوئي optical circulator. وبالتالي فإنه من الصعب تصميم بنية معقدة من مشبكات براغ لهذه التقنية. يعمل مشبك براغ FBG على نطاق ضيق من الأطوال الموجية للتعويض، وهو غير مناسب لنظام الاتصال البصري ذو الأطوال الموجية المتعددة.

اقتران الطور الضوئي (OPC) و تعويض التشتت الإلكتروني (EDC). كل واحدة من هذه التقنيات لها مزاياها ومساوئها.

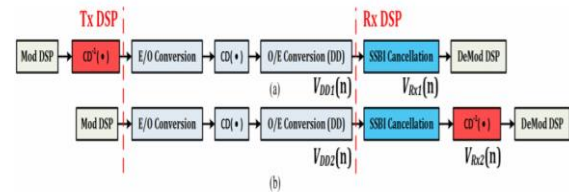
• قام مجموعة من الباحثين [1] بتصميم نظام اتصال ضوئي WDM مع تقنية الكشف المباشر Direct Detection وباستخدام معوض التشتت الإلكتروني EDC، وصل الباحثون إلى نتائج مرضية من أجل المسافات القصيرة والمتوسطة إلا أن النظام واجه مشكلة بالأداء من أجل المسافات البعيدة و معدلات النقل العالية بسبب استخدام تقنية الكشف المباشر، كونها تعتمد على بعد واحد وهو تعديل الشدة للإشارة. حيث يمكن استخدام تقنية EDC في طرف الإرسال وفي طرف الإستقبال.



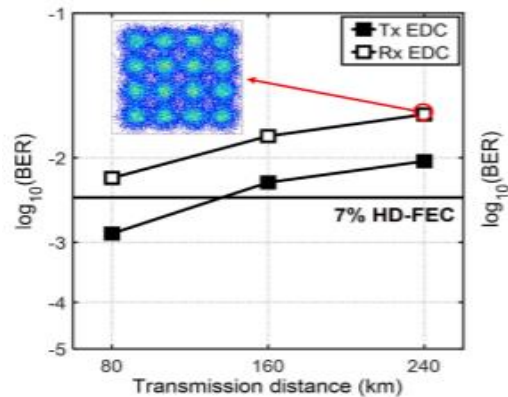
الشكل (3) مخطط العين لتقنيات التعويض باستخدام مشبك براغ

تم استخدام تقنية مشبك براغ بثلاث حالات (التعويض المسبق التعويض اللاحق، والتعويض المختلط) من أجل مسافة 120km وتم الحصول على معامل الجودة Q-factor متدرج من 8.27 إلى 8.57 لـ 8 قنوات من أجل التعويض المسبق و من 8.15 إلى 8.32 من أجل التعويض اللاحق. كما تم الوصول إلى قيمة BER أقل من 10^{-12} من أجل مسافة 50Km [10].

• قام بعض الباحثين [3] باستخدام تقنية الكشف المتماسك مع تقنية الألياف المعوضة للتشتت DCF، والتي تعمل على تعويض التشتت الإيجابي للألياف أحادية النمط القياسية بواسطة معامل تشتت سلبي مرتفع ، إلا أنه نظراً لصغر حجم قطر لب الليف، فإن التأثيرات غير الخطية تزداد بشكل كبير في النظام البصري عند طاقات النقل العالية للنقل بعيد المدى، إضافة إلى لزوم وجود مطابقة كبيرة بين ربح مضخم EDFA و



الشكل (1) تقنية معوض التشتت الإلكتروني EDC



الشكل (2) أداء BER مع تغير مسافة الإرسال

من أجل مسافة إرسال تتراوح من 80km إلى 160km تدرج معدل BER من 6.3×10^{-3} إلى 2.4×10^{-2} .

• استخدم بعض الباحثين [2] تقنية الكشف المتماسك مع تعويض التشتت باستخدام مشبكات براغ، حيث تعتمد هذه التقنية على استخدام أطوال مسار ضوئي متغيرة للأطوال الموجية المختلفة الموجودة في النبضات المشتتة لتعويض

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....
 طول الليف، وبالتالي فإن هذه التقنية تفشل في تحسين أداء النظام البصري بعيد المدى.

الراعي، الحسين

الشكل (5) تقنية الكشف المتماك مع تقنية اقتران الطور الضوئي OPC

تم الوصول إلى قيمة Q-factor تساوي 16.3 من أجل مسافة إرسال 150km [12].

2- الهدف من البحث :

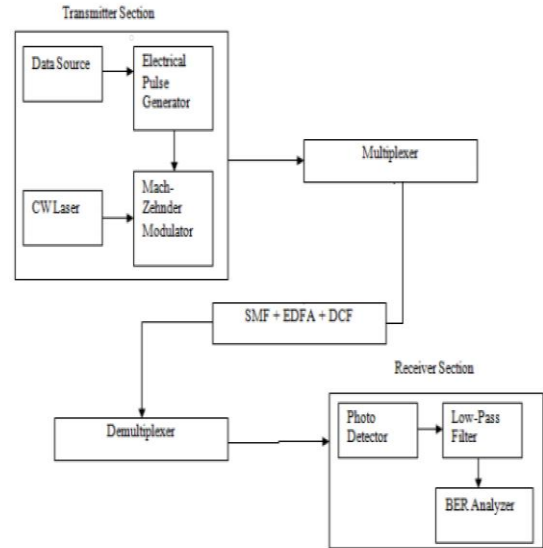
قمت الدراسات السابقة بتقنيات جيدة لتعويض التشتت اللوني و اللاخطية في أنظمة الاتصالات الضوئية، إلا أنها كانت تعاني دائماً من عدم إمكانية الحفاظ على مستوى جيد من الأداء عند معدلات نقل عالية وطاقتات نقل عالية، أو أنها تتطلب بنية معقدة و شروط غير ممكن تحقيقها عملياً.

وفي هذا السياق يعتبر الكشف المتماك مع معالجة الإشارة الرقمية (DSP) في طرف المستقبل حلاً واعداً في هذه الحالة لأنظمة الاتصالات الضوئية DWDM متعددة الحوامل. يمكننا الكشف المتماك من استخدام صيغ التعديل متعددة المستويات PDM QPSK، والتي تؤدي إلى تحسين الفعالية الطيفية بشكل كبير، و بالتالي زيادة سعة الإرسال على نفس المجال الترددي المخصص، فضلاً عن كون هذه التقنية تقدم تحمل عالياً لضجيج طور الموجة الحاملة وتؤدي إلى تعويض أفضل لللاخطية، يتم أيضاً تعويض التشتت اللوني وتشتت نمط الاستقطاب بواسطة DSP.

ما ذكر سابقاً يحفزنا على تطبيق كشف متماك باستخدام تقنية DSP وباستخدام صيغ التعديل متعددة المستويات لتحسين أداء أنظمة الاتصالات الضوئية DWDM وتقديم أنظمة ذات معدلات نقل عالية و بعيدة المدى وذات كفاءة طيفية عالية، وسيتم تقييم أداء الأنظمة بناءً على الفعالية الطيفية و سعة الإرسال المحققين بالإضافة إلى المعاملات Q-factor، BER (Bit Error rate)، SER Symbol Error rate و OSNR.

3- مواد وطرق البحث:

تم تنفيذ العمل بالاعتماد على برنامج حاسوبي في بيئة Optisystem 17.



الشكل (4) تقنية الألياف المعوضة للتشتت DCF

تم الوصول إلى قيمة Q-Factor تساوي 9 من أجل مسافة 160Km.

تم استخدام تقنية الكشف المتماك مع تقنية اقتران الطور الضوئي OPC من قبل عدة باحثين [4]، وهي أيضاً تقنية واعدة لتعويض التشتت واللاخطية لنظم الاتصالات الضوئية. حيث يقوم OPC بتعويض انزياح الطور اللاخطي الناتج عن الانتشار بالليف الضوئي. إلا أنه من أجل الإلغاء الدقيق لللاخطية، يلزم وجود تناسق كبير حول مقارن الطور، مما يؤثر على مرونة نظام الاتصال البصري، بالإضافة إلى أن التعويض المثالي مع OPC يتطلب خصائص ليف متطابقة في جميع أنحاء نظام النقل الضوئي ويتطلب توزيع طاقة متماثل، وهو أمر غير ممكن تحقيقه عملياً.



تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين

$$\Delta t = \frac{\Delta \phi}{2\pi f} \quad (1)$$

حيث ϕ هو الطور و f هو التردد.

4.1.2 تشتت نمط الاستقطاب:

هناك عدة عوامل تحدث على امتداد الألياف الضوئية مثل القطر غير الدائري أو الشوائب المضمنة أو الإجهاد البيئي، والتي تعمل كعقبات أمام انتشار النبضات البصرية في الألياف. تسبب هذه العوائق تبايناً في سرعات المجموعة للاستقطابات المختلفة للنبضات الضوئية. ينتج عن ذلك تشتت النبضة الضوئية، والتي تُعرف باسم تشتت وضع الاستقطاب (PMD) polarization mode dispersion. يتم تعريف تأخير المجموعة التفاضلية (DGD) Differential group delay على أنه:

$$\Delta \tau = D_{PMD} \sqrt{L} \quad (2)$$

يرتبط تأخير المجموعة التفاضلية (DGD) بالجذر التربيعي لطول الألياف الضوئية L تقاس D_{PMD} ب $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ وتتراوح بين $0.1-1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$. يظهر هذا النوع من التشتت من أجل النظم التي تعمل وفق معدلات إرسال أعلى من 10Gbps .

4.2 التأثيرات اللاخطية:

4.2.1 التعديل الطوري الذاتي Self-Phase Modulation

(SPM):

تسبب شدة النبضة الضوئية تغيرات طورية تؤدي إلى تعديل الطور، وهو ما يسمى التعديل الطوري الذاتي SPM. حيث ينتج تغييراً في معامل الانكسار مع الشدة أثناء انتشار النبضة في الألياف الضوئية. لذا، فإن معامل الانكسار هو دالة لشدة الضوء I ومعطى بالعلاقة:

$$n(I) = n_1 + n_{n1} \cdot I \quad (3)$$

حيث يستخدم Optisystem لتخطيط ومحاكاة واختبار شبكات الألياف الضوئية. حيث أنه يوفر كافة الأدوات التي تساعد في تصميم ومحاكاة طبقات نقل الشبكة البصرية الحديثة.

تم تصميم وتنفيذ نظام التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف باستخدام التعديل بإزاحة الطور الرباعي DWDM QPSK، والذي يتيح فعالية طيفية عالية وإمكانية الإرسال بمعدلات نقل عالية، وتم تطبيق الكشف المتماسك مع معالجة الإشارة الرقمية حيث تتيح هذه التقنيات تحملاً عالياً لضجيج طور الموجة الحاملة وتؤدي إلى تعويض أفضل للاخطية، بالإضافة إلى تعويض التشتت اللوني وتشتت نمط الاستقطاب. وتم اختبار النتائج و تقييمها بناءً على الفعالية الطيفية وسعة الإرسال المحققين بالإضافة إلى المعاملات Q-factor، OSNR، BER، KSER.

4- التحديات في أنظمة الاتصالات الضوئية:

4.1 التأثيرات الخطية:

4.1.1 التشتت اللوني:

التشتت هو اتساع النبضة الضوئية بسبب معامل الانكسار المعتمد على الطول الموجي. حيث أنه عندما ينتشر الضوء عبر الليف الضوئي فإن تأثيرات التشتت تنتج تداخل الرمز الداخلي (ISI).

يرجع التشتت اللوني بشكل أساسي إلى العرض الطيفي المحدود للمصدر البصري.

تنتقل مركبات الطول الموجي المختلفة بسرعات مختلفة بسبب معامل الانكسار المعتمد على الطول الموجي، ونظراً لاختلاف سرعة مركبات الطول الموجي المختلفة، تصبح النبض الضوئية واسعة وبعد مسافة ما تتداخل نبضتان متتاليتان مع بعضهما البعض، يؤدي هذا التداخل إلى قراءة خاطئة في طرف المستقبل.

يتم قياس التأخر الزمني الحاصل بالوصلة والمرتبب بإزاحة الطور بالعلاقة:

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين

تجمع بين إشارة عالية التردد F1 و أخرى F2 لإنتاج إشارة ذات تردد أقل (F1-F2) مع الإشارة المستقبلية من خلال جهاز مزج الترددات الراديوية، بحيث يمكن استرداد معلومات السعة والطور الموجودة في حامل التردد اللاسلكي في معالج الإشارات الرقمية (DSP).

في كشف Heterodyne، يتم اختيار تردد المذبذب المحلي (LO) ω_{LO} ليختلف عن تردد الموجة الحاملة ω_0 بحيث يكون التردد المتوسط ω_{IF} في منطقة المايكروويف، بينما في تقنية كشف Homodyne، يتم اختيار تردد ω_{LO} ليتطابق مع تردد الموجة الحاملة ω_0 بحيث تكون $\omega_{IF} = 0$.

بالنسبة لأنظمة الاتصالات الضوئية المتماسكة فإن الليزر القابل للضبط ذو النطاق الضيق، والذي يعمل بمثابة LO يتم ضبط تردده إلى (intradyn) مع تردد إشارة مستقبل من خلال مازج بصري متماسك، و بالتالي يستعيد كلاهما معلومات السعة والطور الموجودة في الناقل بصري، وتعني كلمة "intradyn" أن فرق التردد بين المذبذب المحلي والحامل البصري المستقبل صغير و ضمن عرض نطاق المستقبل، ولكن لا يجب أن يكون صفراً، وهذا يعني أن تردد وطور المهتز المحلي LO ليس من الضروري أن يتم التحكم فيهما بدقة قصوى، وبالتالي تجنب استخدام حلقة الطور المغلقة .

5.2 مزايا الكشف المتماسك:

- تحسن كبير في حساسية المتلقي.
- يمكن استخراج معلومات السعة والتردد والطور من الموجة الحاملة البصرية، وبالتالي يمكن أن تحقق سعة أعلى بكثير في نفس عرض النطاق الترددي.
- يمكن لمعالج الإشارة الرقمية (DSP) أن يعوض تشتت وضع الاستقطاب والتشتت اللوني ويلغي الحاجة إلى معوضات التشتت البصري والمضخمات الضوئية المرتبطة بها، وهذا لا يوفر النفقات المالية الكبيرة فحسب بل يبسط أيضاً تصميم الشبكة الضوئية بشكل كبير.

حيث، n_1 و n_{n1} عبارة عن معامل الانكسار الخطي ومعامل الانكسار غير الخطي من الدرجة الثانية للوسط على التوالي.

يعطى الطور اللاخطي في SPM بواسطة العلاقة:

$$\Phi_{NL} = \gamma P L_{eff} \quad (4)$$

4.2.2 التعديل الطوري المتبادل Cross Phase Modulation (XPM):

يحدث التعديل الطوري المتبادل بسبب انتشار الإشارات الضوئية المتعددة في وقت واحد في الألياف الضوئية. حيث يحدث تعديل الطور غير الخطي في XPM بسبب النبضات البصرية الأخرى المنتشرة. يؤدي XPM إلى ظاهرة cross talk وبالتالي يحد من عدد القنوات التي يتم إرسالها في نفس الوقت عبر شبكة WDM. يحول XPM تذبذب القدرة في قناة ذات طول موجي ما إلى طور في قناة أخرى ذات طول موجي آخر . تعطى المرحلة اللاخطية من خلال العلاقة :

$$\Phi_{NL} = 2\gamma P_{other} L_{eff} \quad (5)$$

يتم التقليل من أثر XPM عن طريق زيادة التباعد بين قنوات الإتصال.

5- الكشف المتماسك:

هو تقنية للكشف عن الإشارات في أنظمة الاتصالات، و يستخدم مذبذباً محلياً في جهاز الإستقبال، ومع القدرة على القيام بالكشف المتماسك يمكن للمستقبل البصري أن يتتبع طور المرسل البصري ومن ثم اتساق الطور لاستخراج أي معلومات عن الطور والتردد التي تحملها إشارة المعلومات المرسلة. يمكن أن يحقق الكشف المتماسك حساسية أعلى من الكشف المباشر، كما يمكنه زيادة كفاءة الطيف بشكل كبير كونه يستخدم الطور و المطال و الإستقطاب للحامل الضوئي وذلك لنقل المعلومات.

إن الكشف المتماسك مستخدم في أنظمة الاتصالات اللاسلكية، حيث أنه في الأنظمة اللاسلكية يتم ضبط مذبذب محلي للترددات الراديوية على (heterodyne) وهو تقنية معالجة إشارة

الراعي، الحسين

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

- يمكن استخدام صيغ تعديل متقدمة مثل PDM و QPSK و PDM 16-QAM مع أنظمة الاتصالات الضوئية WDM.

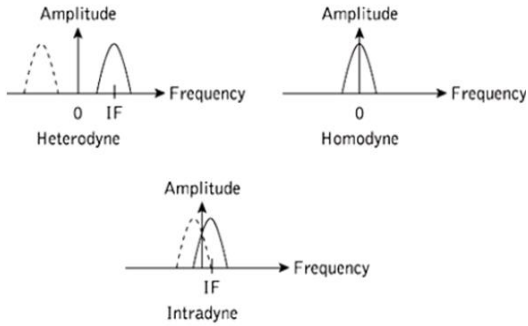
(8) حيث :

$$P_s = A_s^2, \quad P_{LO} = A_{LO}^2, \quad \omega_{IF} = \omega_0 - \omega_{LO}.$$

(9)

التردد $V_{IF} = W_{IF}/2\pi$ يُعرف بالتردد المتوسط (IF). عندما W_0 لا تساوي W_{LO} ، يتم إزالة تشكيل الإشارة الضوئية على مرحلتين. يتم تحويل تردد الموجة الحاملة أولاً إلى تردد وسيط V_{IF} (عادةً 0.1-5GHz). تتم معالجة إشارة التردد الراديوي الناتجة إلكترونياً لاستعادة تدفق البتات. كما ذكر سابقاً ليس من الضروري دائماً استخدام تردد وسيط، حيث أنه هناك طريقتان مختلفتان للكشف المتماسك ، اعتماداً على ما إذا كان WIF يساوي صفر، و المعروفة بتقنيات كشف homodyne و heterodyne .

- مقارنة طيفية لكشف intradyne مع كشف homodyne و heterodyne :



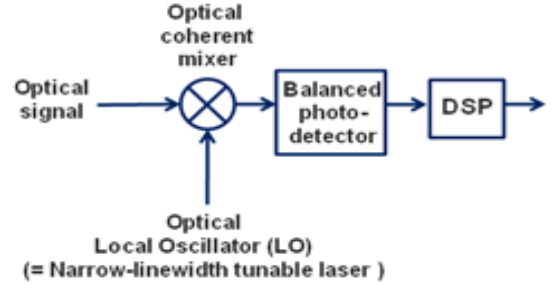
الشكل (7) مقارنة intradyne مع heterodyne و homodyne

يمكن ملاحظة أن طيف intradyne يتم تخفيضه لإنتاج تردد IF بالقرب من النطاق الأساسي بحيث يقدم ليزر المذبذب المحلي تقريباً نفس التردد البصري للإشارة الواردة.

6 - معالجة الإشارة الرقمية DSP [21]:

في الإرسال الضوئي الرقمي المتماسك ، يقوم DSP بالتعديل وفك التعديل وتعويض تشوهات الموجة حيث يقوم بتعويض

الشكل (6) يوضح تقنية الكشف المتماسك في أنظمة الاتصالات الضوئية.



الشكل (6) تقنية الكشف المتماسك في أنظمة الاتصالات الضوئية

5.3 المهتز المحلي:

كما هو موضح في الشكل (6)، يتم إنشاء تردد متماسك محلياً في المستقبل باستخدام ليزر ضيق النطاق ، يسمى المذبذب المحلي (LO). يتم دمجه مع التردد البصري الوارد باستخدام مزج الحزمة ، وعادةً ما يكون مقرون ليفي عملياً. لإيضاح كيف يمكن لمثل هذا المزج أن يحسن أداء المستقبل ، يعبر عن الإشارة الضوئية باستخدام علاقة معقدة مثل :

$$E_s = A_s \exp[-i(\omega_0 t + \phi_s)], \quad (6)$$

حيث W_0 هو تردد الموجة الحاملة ، كما ان A_s هو السعة ، و ϕ_s هي الطور. يتم إعطاء المجال البصري المرتبط بالمذبذب المحلي بواسطة تعبير مشابه :

$$E_{LO} = A_{LO} \exp[-i(\omega_{LO} t + \phi_{LO})], \quad (7)$$

حيث تمثل A_{LO} و W_{LO} و ϕ_{LO} سعة وتردد وطور المذبذب المحلي ، على التوالي. يتم استخدام الترميز القياسي لكل من E_{LO} و E_s بعد افتراض أن الحقلين مستقطبان بشكل متماثل. يعطى تابع القدرة الضوئية للكاشف الضوئي بواسطة $P = |E_s E_{LO}|^2$ فيكون لدينا :

$$P(t) = P_s + P_{LO} + 2\sqrt{P_s P_{LO}} \cos(\omega_{IF} t + \phi_s - \phi_{LO}),$$

7- القسم العملي: التشنت اللوني وتشتت نمط الاستقطاب. يوضح الشكل (8).

تم تصميم نظام التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية باستخدام التعديل بإزاحة الطور الرباعي DWDM DP-QPSK ذو 32 قناة وكل قناة بمعدل 100Gb/s بمعدل إجمالي (3.2Tb/s) وبتباعد بين القنوات قدره 50GHz والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (2b/s/Hz) و تم اختبار النتائج من أجل مدى 160Km.

ملاحظة:

إن الأطوال الموجية التي يتم العمل عندها تقع ضمن النطاق C (1530-1560nm)

7.1 قسم الإرسال:

كما هو موضح بالشكل (9) يتكون قسم الإرسال من 32 قناة ، يتم استخدام ليزر Laser Diode لأجل كل قناة و يغذي وحدة إرسال DP-QPSK والتي يتم التحكم بها باستخدام مولد تتابع PSK .

• إن قيمة الطور Φ_i ترتبط بعدد تسلسل مولد التتابع M بالعلاقة :

$$\Phi_i = \left(\frac{2\pi}{M}(i - 1) + \phi \right), i = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

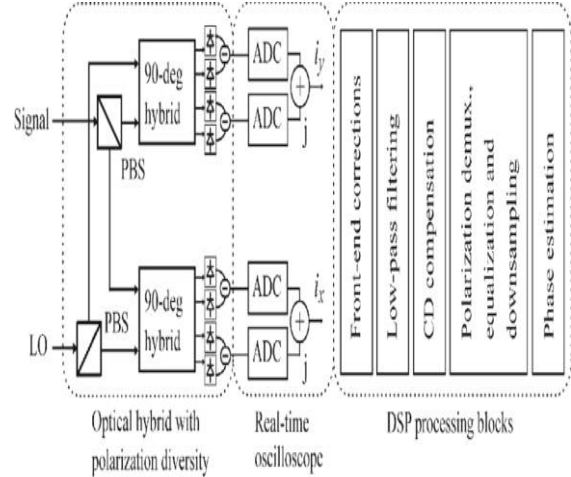
حيث أن:

$$M = 2^h$$

حيث أن h هي عدد البتات بالرمز (في حالتنا h = 2 كون مولد التتابع هذا مسؤول عن أحد الاستقطابات فقط) و ϕ هي مقدار انزياح الطور.

الجدول (1) محددات الليزر المستخدم

Type	Laser Diode
wavelength	1.54 – 1.55 um
Power	-5 to +5 dBm (0.1 to 1 mw)
Line-width	0.1MH
Initial phase	0 deg



الشكل (8) التكوين الوظيفي لوحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP .

حيث يتم بداية في القسم الخاص بالإستقبال المتماثل فصل الإشارة المستقبلة إلى إشارتين باستقطابين مختلفين عبر مجزء استقطاب PBS ، يتم مزج هذه الإشارتين مع إشارتين مولدتين بواسطة ليزر محلي (يعمل بمثابة Local Oscillator)، يتم المزج بواسطة مزجي Optical Hybrid 90 degree ويكون كل مزج معنى بأحد الإستقطابات و على خرج كل مزج 4 إشارات كل إشارتين مختلفتين عن الإشارتين الأخرتين بفرق طور 90 درجة ، و تدخل كل إشارتين على كواشف PIN photodiode ، يتم بعدها جمعها بإشارة واحدة و إدخالها إلى محول تماثلي إلى رقمي ADC، فنحصل على أربع إشارات كل إشارتين باستقطاب مختلف وبين كل إشارة و أخرى فرق طور 90 درجة.

تدخل هذه الإشارات على معوض أولي لتشوهات الإشارة. يتبع ذلك ترشيح تمرير منخفض (مرشح Bessel من الدرجة الخامسة) لإزالة الضجيج، يتم بعدها تعويض التشنت اللوني في مجال التردد، بعد ذلك يتم إزالة تعدد الاستقطاب ، ثم تسوية الإشارة، و من ثم الاختزال إلى عينة واحدة لكل رمز، وأخيراً يتم تقدير الطور وتعويض تقلبات الطور.

الراعي، الحسين

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

بعد تجميع القنوات باستخدام مجمع WDM يتم تضخيم الإشارة قبل إرسالها بواسطة مضخم ضوئي.

IL هو فقد الدخل

V1 V2 جهدي التحكم على طرفي معدل ماك زندر والتي يتم

إعطائها من مولد تتابع PSK

جهود الإنحياز $v_{bias1}(t)$ $v_{bias2}(t)$

جهود تبديل التعديل $V_{\pi RF}$

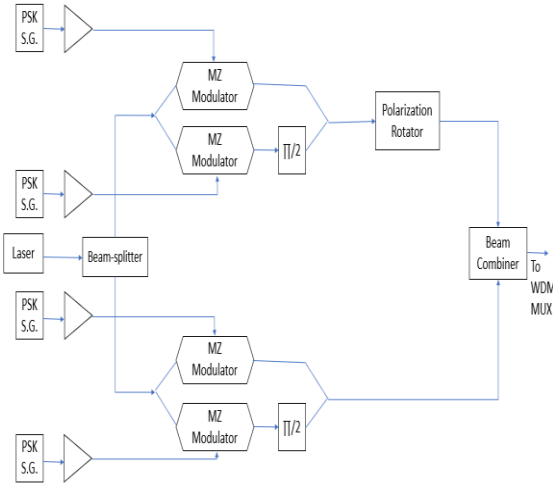
جهود تبديل الإنحياز $V_{\pi DC}$

γ هي نسبة فصل الطاقة لفرعي المعدل

• إن علاقة خرج عنصر إزاحة الإشارة مع الدخل تعطى بالعلاقة:

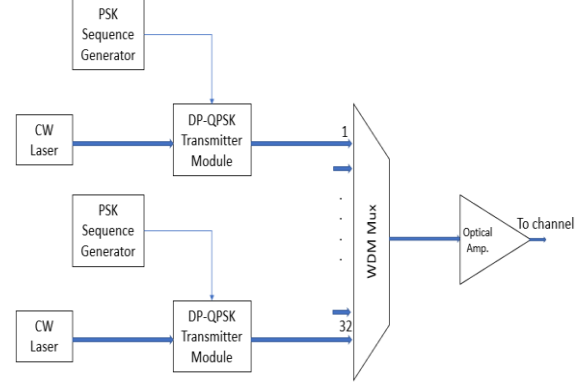
$$E_{out}(t) = E_{in}(t) \cdot \exp(j\Delta\Phi) \quad (12)$$

حيث $\Delta\Phi$ هي قيمة إزاحة الطور (بجالتنا $\pi/2$)



الشكل (10) وحدة إرسال DP-QPSK

يكون شكل الطيف بعد وحدة إرسال DP-QPSK لقناة واحدة كما في الشكل (11).



الشكل (9) قسم الإرسال في نظام DWDM DP-QPSK

تتكون وحدة إرسال DP-QPSK كما يوضح الشكل (10) من أربع معدلات ماك زندر يتم تغذيتها بواسطة ليزر محلي و مجزء حزمة (Beam-Splitter) و يتم التحكم بهم بواسطة مولد تتابع PSK.

كل زوج من معدلي ماك زيندر يعالج أحد الإستقطابات و كل معدل من الزوج يكون مزاح عن الآخر بفرق طور 90 درجة بواسطة عنصر إزاحة الإشارة (Phase Shifter)، ويتم في النهاية مزج الإستقطابين بواسطة مازج الحزم (Beam Combiner) من أجل الإرسال بقناة واحدة ضمن مجمع WDM.

• يتم التحكم بشدة الخرج على مخرج معدل ماك زندر بواسطة جهدي التحكم المطبقين على طرفي المعدل حيث يعبر عن كثافة الخرج بالعلاقة :

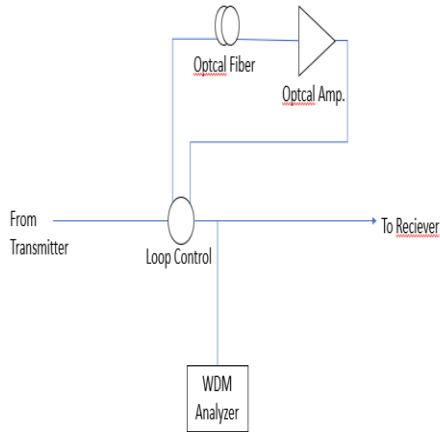
$$E_O(t) = \frac{E_{in}(t)}{10^{(IL/20)}} \cdot [\gamma \cdot e^{(j\pi v_2(t)/V_{\pi RF} + j\pi v_{bias2}/V_{\pi DC})} + (1 - \gamma) \cdot e^{(j\pi v_1(t)/V_{\pi RF} + j\pi v_{bias1}/V_{\pi DC})}] \quad (11)$$

حيث:

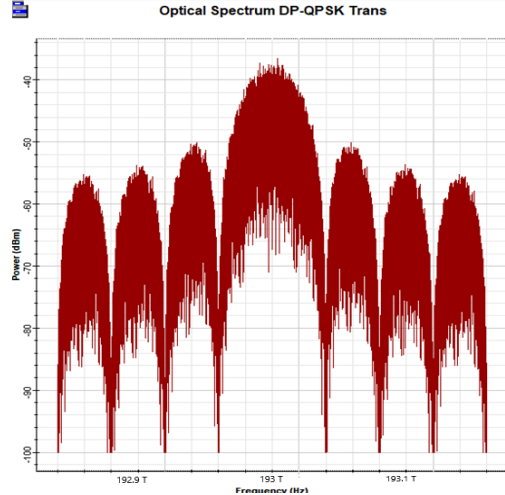
$E_{in}(t)$ هي إشارة الدخل

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين



الشكل (12) الوصلة الضوئية لنظام DWDM DP-QPSK



الشكل (11) طيف الإشارة على خرج وحدة إرسال DP-QPSK

7.3 قسم الإستقبال:

يتكون قسم الإستقبال كما يوضح الشكل (13) من مفكك تجميع WDM ، والذي يخرج 32 إشارة خاصة بالقنوات المرسله ، تدخل بعدها كل إشارة إلى مرشح غاوص ليتم ترشيحها، تدخل بعدها على وحدة استقبال DP-QPSK، والتي تقوم بفصل الإشارة الواردة إلى أربع إشارات كل إشارتين باستقطاب مختلف وبين كل إشارة و أخرى فرق طور 90 درجة، تدخل هذه الإشارات بعدها إلى وحدة المعالجة الرقمية DSP، التي تقوم بمعالجة الإشارة و تعويض التأثيرات اللاخطية، تأتي بعدها مرحلة أخذ القرار بواسطة Decision Maker، و من ثم يتم تفكيك الترميز بواسطة PSK Sequence Decoder، يتم بعدها جمع الإشارات بواسطة محول P/S وبالتالي نحصل على إشارة المعلومات المرسله.

- يعطى عامل تحويل مشرح غاوص بالعلاقة:

$$H(f) = \alpha e^{-\ln(\sqrt{2})\left(\frac{f-f_c}{B/2}\right)^{2N}} \quad (13)$$

حيث: α هي فقد الدخل، f هو التردد، B هو عرض الحزمة
 f_c هو التردد المركزي للمرشح (في حالتنا يكون التردد المركزي للقناة المستقبلة، مثلاً 193THz للقناة الأولى)

نلاحظ أن مركز طيف الإشارة يكون عند القيمة 193THz، وهي قيمة التردد المقابل للطول الموجي المرسل بهذه القناة.

7.2 الوصلة الضوئية:

تنتشر الإشارة ذات ال 32 حامل فرعي عبر الليف الضوئي من النوع (SMF) على مسافة 160Km، كونه يعطي فعالية طيفية أعلى لمسافة إرسال أكبر مقارنة بالليف ذو النوع (MMF) حيث تم تمثيل الوصلة الضوئية كما يوضح الشكل (12) من وصلة بطول 80Km مع مضخم ضوئي نوع (SOA) (مضخم أشباه الموصلات) ويتم تكرار الوصلة مرتين بواسطة حلقة تحكم (Loop Control).

تم اختيار بارامترات الليف الضوئي وفق الجدول (2).

الجدول (2) بارامترات الليف الضوئي لنظام DWDM DP-QPSK

Parameter	Value
Reference wavelength	1550 nm
Length	160Km
Attenuation	0.2 dB/km
Dispersion	16.75 ps/nm/km
Dispersion slope	0.075 ps/nm ² /km
PMD co-efficient	0.05 ps/sqrt(km)

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين
نحصل في خرج وحدة استقبال DP-QPSK على أربع إشارات، كل إشارتين باستقطاب مختلف وبين كل إشارة و أخرى فرق طور 90 درجة.

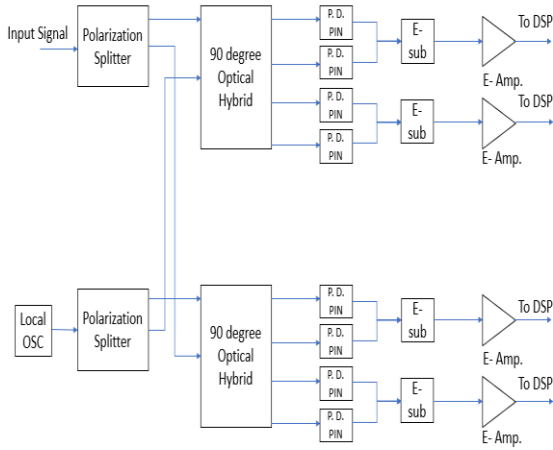
• إن قيمة الطور Φ_i ترتبط بعدد التسلسل المحتمل لمولد التتابع M بالعلاقة:

$$\phi_i = \left(\frac{2\pi}{M}(i-1) + \phi \right), i = 1, 2, \dots, M \quad (14)$$

حيث أن:

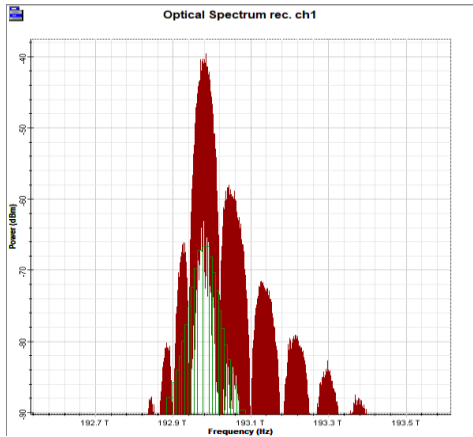
$$M = 2^h$$

حيث أن h هي عدد البتات بالرمز (في حالتنا h = 2) كونه مولد التتابع هذا مسؤول عن أحد الإستقطابات) و ϕ هي مقدار انزياح الطور.

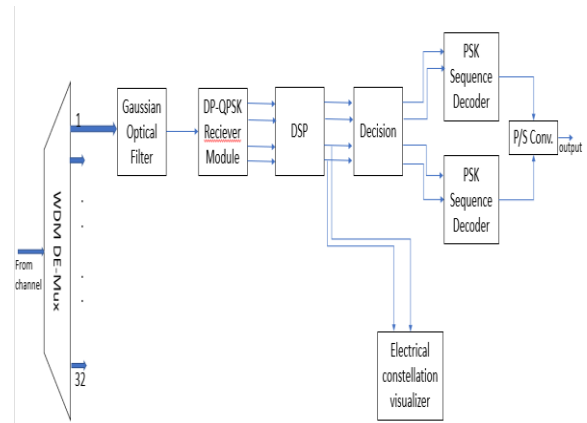


الشكل (14) وحدة استقبال DP-QPSK

يكون شكل الطيف لقناة واحدة بعد مفكك تجميع DWDM كما يوضح الشكل (15).



الشكل (15) طيف الإشارة لقناة واحدة على خرج مفكك تجميع DWDM ويكون شكل طيف الإشارة لنفس القناة على خرج مرشح غاوص كما يوضح الشكل (16).



الشكل (13) قسم الإستقبال في نظام DWDM DP-QPSK

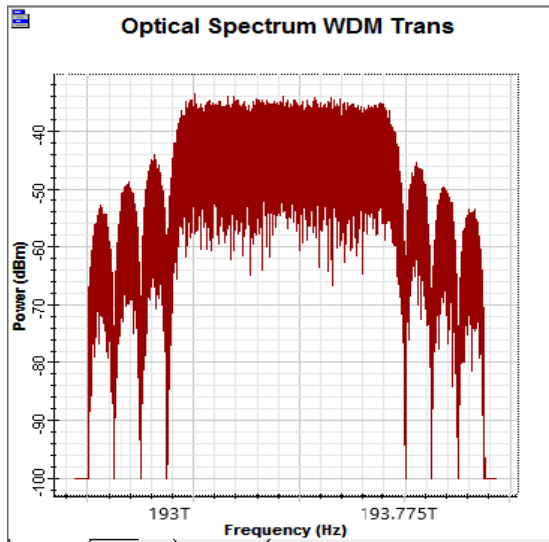
تتكون وحدة استقبال DP-QPSK كما يوضح الشكل (14) من مجزء استقطاب Polarization Splitter يقوم بفصل الإشارة المستقبلية إلى إشارتين باستقطابين مختلفين ، يتم مزج هذه الإشارتين مع إشارتين مولدتين بواسطة ليزر محلي CW (يعمل بمثابة Local Oscillator) ، يتم المزج بواسطة مازجي 90 degree Optical Hybrid ويكون كل مازج معنى بأحد الإستقطابات و على خرج كل مازج 4 إشارات كل إشارتين مختلفتين عن الإشارتين الأخرتين بفرق طور 90 درجة، و تدخل كل إشارتين على كواشف PIN photodiode، يتم بعدها جمعها بإشارة واحدة و إدخالها إلى مضخم إلكتروني.

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين

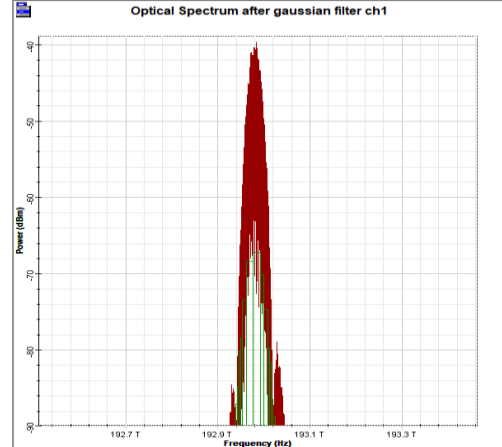
إلا أنه عملياً يتم الأخذ بعين الاعتبار الإنحناء Roll-off لشكل الطيف الترددي مع إضافة هوامش جانبية لتجنب التداخل.

- من أجل تباعد طيفي 25GHz (للحصول على فعالية طيفية حوالي حيث 4b/s/Hz وهي القيمة النظرية)، نلاحظ كما يبين الشكل (17) التداخل الحاصل بين القنوات بسبب عدم أخذ الهوامش المذكورة سابقاً بعين الاعتبار:



الشكل (17) طيف الإشارة لـ 32 قناة DWDM

- من أجل ملاحظة عند أي تباعد بين القنوات تبدأ عملية التداخل (للحصول على أفضل فعالية طيفية) تم بداية الدراسة عند تباعد 100GHz والتي تعطي فعالية طيفية مساوية لـ 1b/s/Hz وتم الحصول على شكل الطيف الترددي الموضح بالشكل (18)



الشكل (16) طيف الإشارة لقناة واحدة على خرج مرشح غاوص

نلاحظ اختفاء التوافقيات الجانبية غير المرغوب بها بعد مرور الإشارة عبر مرشح غاوص.

8- النتائج والمناقشة:

تمت محاكاة النظام على بيئة 17 Optisystem للحصول على النتائج وتحليلها، حيث تم تصميم نظام WDM DP-QPSK ذو 32 قناة بمعدل إرسال كلي (3.2Tb/s) ومسافة إرسال 160KM.

8.1 أثر تقليل التباعد بين القنوات:

بهدف الحصول على أعلى فعالية طيفية دون أن تؤثر على أداء النظام، تم دراسة أثر تقليل التباعد بين القنوات. حيث أن نظام QPSK يقدم فعالية طيفية نظرية تصل إلى (2b/s/Hz)، وبالتالي فإن نظام DP-QPSK يقدم فعالية طيفية نظرية تصل إلى (4b/s/Hz) كونه يعتمد على استقطابين حيث أن عدد البتات بالرمز يكون 4Bits/Symbol. وبالتالي يجب أن يكون تباعد القناة أكبر من قيمة معينة وهي معدل الرمز.

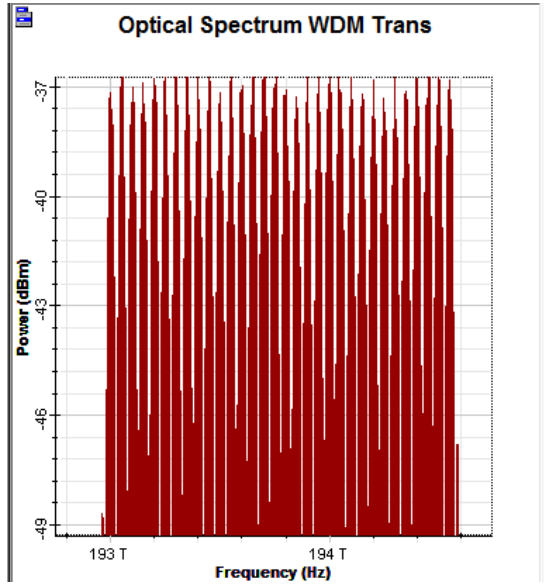
$$\text{Channel Spacing} > \text{Symbol Rate} \\ \text{Channel Spacing} > \frac{\text{BitRate}}{\text{Bits/Symbol}}$$

وبالتالي في الحالة التي يتم دراستها يكون

$$\text{Channel Spacing} > 25\text{GHz}$$

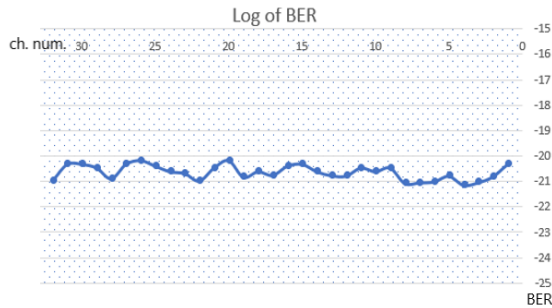
تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين



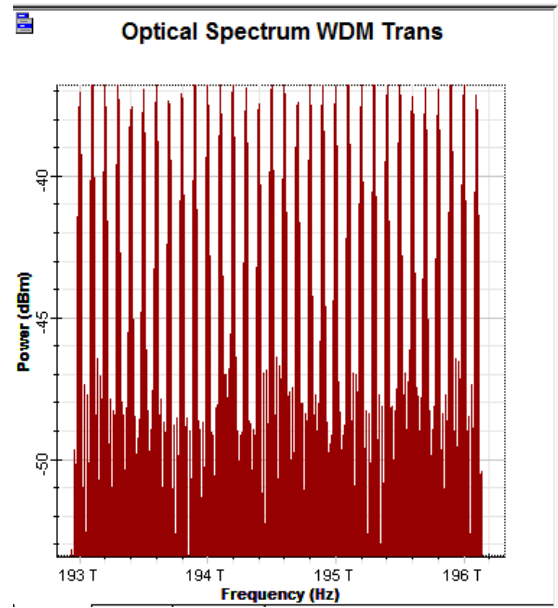
الشكل (20) طيف الإشارة لـ 32 قناة DWDM

إن طيف الإشارة لـ 32 قناة يمتد من 193THz وحتى 194.55THz وبتباعد 50GHz بين كل قناتين متجاورتين، ونلاحظ عدم وجود تداخل بين القنوات المتجاورة حيث كانت قيمة BER للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (21) ، ونلاحظ أنها متقاربة مع الحالة السابقة (عند تباعد 100GHz) أي أنه تم الحصول على ضعف الفعالية الطيفية دون التأثير على أداء النظام.



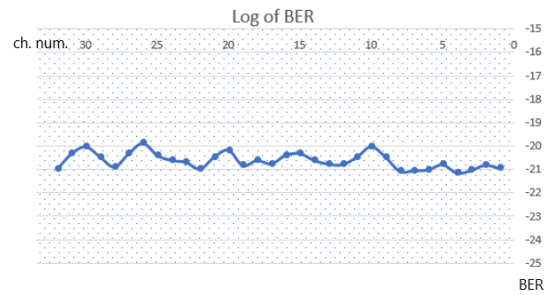
الشكل (21) أثر تغيير تباعد القناة على قيمة BER

تم إنقاص التباعد إلى 40GHz والذي يعطي فعالية طيفية مساوية لـ 2.5b/s/Hz، وتم الحصول على شكل الطيف الترددي الموضح بالشكل (22)



الشكل (18) طيف الإشارة لـ 32 قناة DWDM

حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 196.1THz، ونلاحظ عدم وجود تداخل بين القنوات حيث كانت قيمة BER للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (19) (عند الإرسال بطاقة 5dBm).



الشكل (19) أثر تغيير تباعد القناة على قيمة BER

تم إنقاص التباعد إلى 50GHz والذي يعطي فعالية طيفية مساوية لـ 2b/s/Hz، وتم الحصول على شكل الطيف الترددي الموضح بالشكل (20).

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين

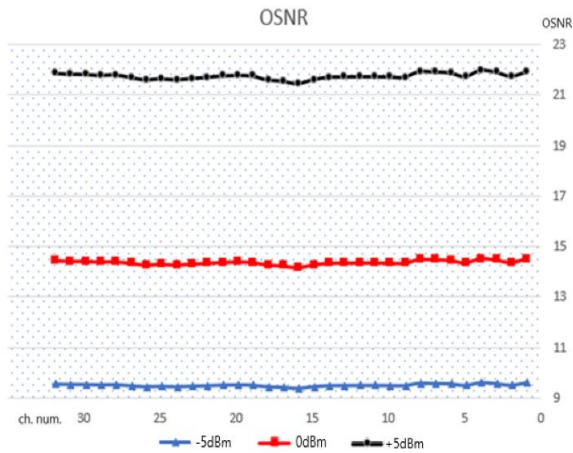
الإشارة، حيث تم أخذ قيمة OSNR و قيمة المعامل Q-Factor وشكل كوكبة الإشارة بعين الإعتبار، ومقارنة النتائج للقنوات المتعددة من أجل عدة قيم لطاقة الإرسال.

• تعطى قيمة OSNR بالعلاقة :

$$OSNR = 10dB * \log_{10}(S/N) \quad (15)$$

حيث S هي طاقة الإشارة الضوئية و N هي طاقة الضجيج الضوئية .

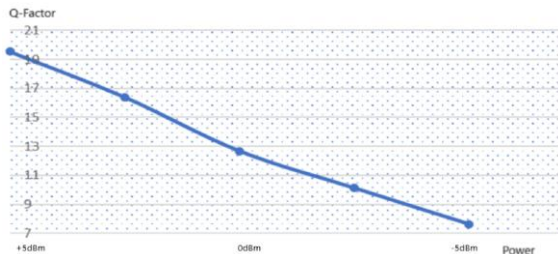
يوضح الشكل (24) أثر تغير طاقة الإرسال على قيمة OSNR للقنوات المتعددة.



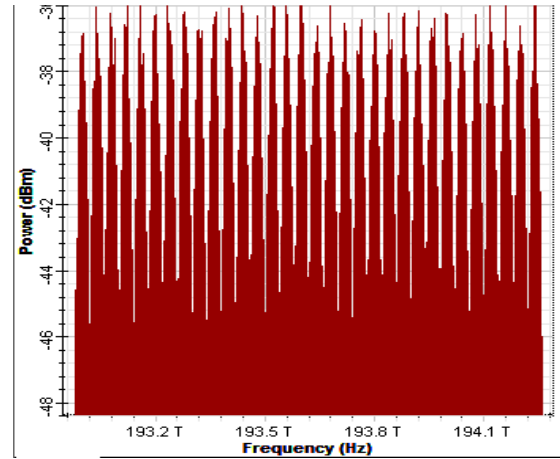
الشكل (24) أثر تغير طاقة الإرسال على قيمة OSNR

نلاحظ من الشكل التأثير الواضح لزيادة طاقة الإرسال على الإشارة ، حيث زادت قيمة OSNR بمقدار حوالي 12 ديسبل عند الإرسال بطاقة +5dBm (ما يعادل 3.16mw) مقارنة بالإرسال بطاقة 5dBm.

يوضح الشكل (25) أثر تغير طاقة الإرسال على قيمة المعامل Q-Factor.

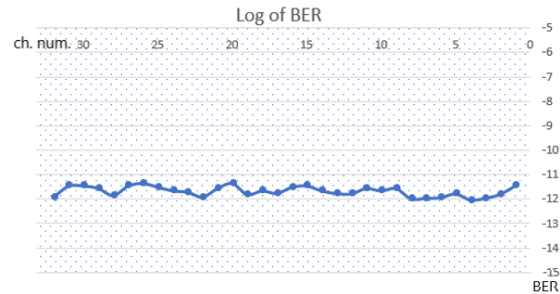


الشكل (25) أثر تغير طاقة الإرسال على قيمة المعامل Q-Factor



الشكل (22) طيف الإشارة لـ 32 قناة DWDM

إن طيف الإشارة لـ 32 قناة يمتد من 193THz وحتى 194.24THz وبتباعد 40GHz بين كل قناتين متجاورتين، ونلاحظ وجود تداخل بين القنوات المتجاورة (عند طاقة إشارة -45dBm) ، وهذا التداخل أدى لزيادة قيمة BER ، كانت قيمة BER للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (23) ، حيث نلاحظ أن معدل الخطأ ارتفع للضعف تقريباً، وبالتالي فإن زيادة الفعالية الطيفية لهذا الحد من أجل النظام المدروس ستؤدي إلى تدهور أداء النظام.



الشكل (23) أثر تغيير تباعد القناة على قيمة BER

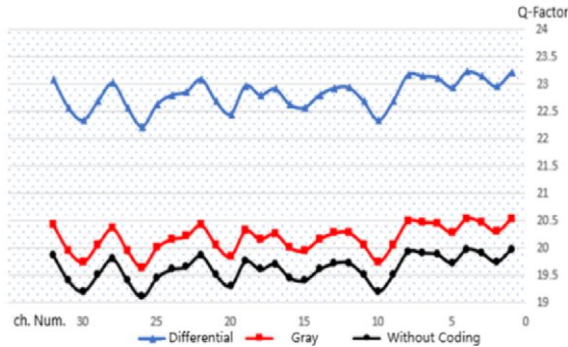
بالنتيجة فإن النظام المدروس يقدم فعالية طيفية تصل لـ 2b/s/Hz وبتباعد قنوات 50GHz دون أن يؤثر ذلك على أداء النظام.

8.2 أثر تغير طاقة الإرسال:

إن طاقة الإرسال تعتبر من المحددات الهامة التي تؤثر على أداء النظام، لذلك تم دراسة أثر تغير طاقة الإرسال على

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....

الراعي، الحسين
انخفض بمقدار أكثر من 100 بالمئة مقارنة بترميز غراي أو حالة الإرسال بدون ترميز .
يوضح الشكل (28) تغير قيمة المعامل Q-Factor عند استخدام أنواع الترميز المختلفة (التفاضلي- غراي- بدون ترميز).



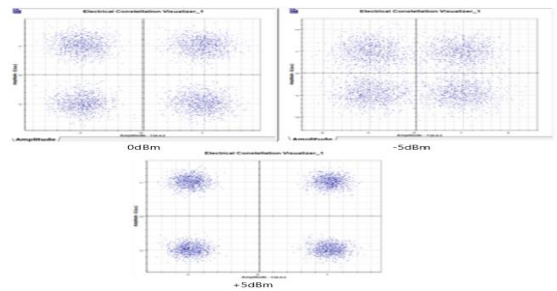
الشكل (28) تغير قيمة المعامل Q-Factor لأنواع الترميز المختلفة
نلاحظ من الشكل أن قيمة المعامل Q-Factor زادت بمقدار 3dB تقريباً عند استخدام الترميز التفاضلي مقارنة بترميز غراي أو حالة الإرسال بدون ترميز ، مما يعني أن الترميز التفاضلي هو الأفضل.

9- تحليل النتائج و الإستنتاجات:

قدم هذا البحث دراسة لنظام DWDM DP-QPSK (التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف باستخدام التعديل بإزاحة الطور الرباعي). حيث تم الإرسال عبر 32 حامل فرعي سعة كل حامل 100Gb/s وبمعدل إجمالي (Tb/s3.2) و بتباعد بين القنوات قدره 50GHz ، والذي يعطي فعالية طيفية مقدارها (b/s/Hz2).

حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن النظام المدروس يقدم فعالية طيفية تصل ل 2b/s/Hz وبتباعد قنوات 50GHz دون أن يؤثر ذلك على أداء النظام، حيث أنه عند تباعد قناة 40GHz بدأ حصول تداخل بين القنوات المتجاورة مما أثر سلباً على أداء النظام المدروس.

نلاحظ من الشكل أيضاً التأثير الواضح لزيادة طاقة الإرسال على الإشارة، حيث زادت قيمة المعامل Q-Factor بمقدار حوالي 12.5 ديسبل عند الإرسال بطاقة +5dBm (ما يعادل 3.16mw) مقارنة بالإرسال بطاقة -5dBm ، مما يعني معدل خطأ أقل عند طرف الإستقبال .
كما يوضح الشكل (26) تغير شكل كوكبة إشارة الإستقبال (electrical constellation) الخاصة بنظام QPSK على خرج وحدة المعالجة الرقمية DSP مع زيادة طاقة الإرسال .

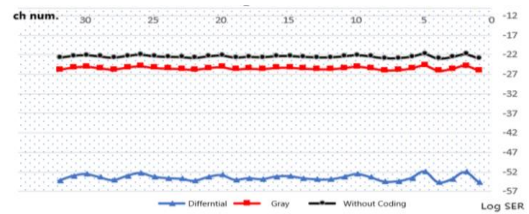


الشكل (26) أثر تغير طاقة الإرسال على شكل (electrical constellation)
نلاحظ من الشكل أنه عند طاقة إرسال +5dBm يكون من السهل استخلاص المعلومات من الإشارة.

8.3 أثر استخدام أنواع مختلفة من الترميز:

بهدف الحصول على أفضل أداء تم دراسة تغير قيمة معدل خطأ الرمز SER باستخدام أنواع مختلفة من الترميز (ترميز غراي - الترميز التفاضلي - بدون ترميز)، لمعرفة عند أي من هذه الترميز يعطي النظام المدروس أفضل أداء .

يوضح الشكل (27) تغير قيمة معدل خطأ الرمز SER لأنواع الترميز المختلفة.



الشكل (27) تغير قيمة معدل خطأ الرمز SER لأنواع الترميز المختلفة.
نلاحظ من الشكل أن الترميز التفاضلي (Differential Coding) يعطي أفضل أداء، حيث أن معدل خطأ الرمز SER

تحسين الفعالية الطيفية لنظام اتصالات التجميع بتقسيم طول الموجة.....
 كما أظهرت النتائج أنه عند انقاص طاقة الإرسال عن الحد +5dBm تقل قيمة كل من OSNR و المعامل Q-Factor. كما قدم أداء أفضل بالنسبة لقيمة المعامل Q-factor حوالي (20) والذي يحدد جودة النظام.
 الراعي، الحسين
 إرسال أعلى بكثير مقارنة بالدراسات السابقة، كما قدم أداء أفضل بالنسبة لقيمة المعامل Q-factor حوالي (20) والذي يحدد جودة النظام.
 مما سبق نستنتج أن الكشف المتماسك يمكّننا من استخدام صيغ التعديل متعددة المستويات DP-QPSK، والتي تؤدي إلى تحسين الفعالية الطيفية بشكل كبير، و بالتالي زيادة سعة الإرسال على نفس المجال الترددي المخصص ، فضلا عن كون هذه التقنية تقدم تحملاً عالياً لضجيج طور الموجة الحاملة وتؤدي إلى تعويض أفضل للاختلال.

المصطلحات العلمية:

Coherent Detection	الكشف المتماسك
Direct Detection	الكشف المباشر
DWDM Dense optical wavelength division multiplexing	التجميع بتقسيم طول الموجة الكثيف
WDM optical wavelength division multiplexing	التجميع بتقسيم طول الموجة
QPSK Quadrature phase shift Keying	التعديل بإزاحة الطور المتعامد
spectral efficiency	الفعالية الطيفية
DSP digital signal processing	معالجة الإشارة الرقمية
chromatic dispersion	التشتت اللوني
SER Symbol Error rate	معدل خطأ الرمز
OSNR Optical Signal to Noise Ratio	نسبة الإشارة إلى الضجيج الضوئية
EDFA erbium-doped fiber amplifier	مضخم الليف المشبع بالأيريبيديوم
time-division multiplexing TDM	التجميع بتقسيم الزمن
code-division multiplexing CDM	التجميع بتقسيم الرمز
EDC Electronic Dispersion Compensator	معوّض التشتت الإلكتروني
Fbg Fiber Bragg Grating	مشبك براغ
Dcf Dispersion Compensated Fiber	الألياف المعوضة للتشتت
OPC optical phase conjugation	اقتزان الطور الضوئي

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595)

Electromagnetics Research Symposium. Springer, 2017.

[11] Fadil, Paloi; Taimur, Mirza; Shyqyri, Haxha. "Optimisation of dispersion compensating in a long-haul fibre for RF transmission of up to 100 Gbit/s by using RZ and NRZ formats." *Optik* 131 (2017): 640–654.

[12] Difference between Homodyne and Heterodyne Detection, Electronics Club 2021.

[13] Jiajun Zhou, Lin Gan, Chen Chen, Songnian Fu, Senior Member "8 × 10 Gb/s Downstream PAM-4 Transmission for Cost-Effective Coherent WDM-PON Application" *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY* 2021.

[14] Introduction to Optical fiber System, Optical Waveguide and Optical fiber types. faadoo engineers 2021.

[15] Jiajun Zhou, Lin Gan, Chen Chen, Songnian Fu, Senior Member "8 × 10 Gb/s Downstream PAM-4 Transmission for Cost-Effective Coherent WDM-PON Application" *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY* 2021.

[16] Naqshbandi, R.K. "TWDM-PON-AN optical backhaul solution for hybrid optical wireless networks", *Journal of Modern Optics*, (2016).

[17] Sonakshi, Divya Dhawan, "High Speed TWDM PON - A Review", *IJRITCC*, Volume: 4 Issue: 11, November 2016.

[18] K. Skorupski, S. Cieszczyk, P. Panas and P. Kisała "Numerical and Experimental Analysis of Matched Filter Interrogation of FBG Sensors with Large Side Lobes". Department of Electronics and Information Technology, Lublin University of Technology, 20-618 Lublin, Poland 2020.

[19] Kalyani V, Sharma V, "Different types of Optical Filters and their Realistic Application" researchgate 2016.

[20] Lee H, Choo J, Kim J, "Multiplexed Passive Optical Fiber Sensor Networks" *MPDI Journal* 2020.

[21] Jiajun Zhou, Lin Gan, Chen Chen, Songnian Fu, Senior Member "8 × 10 Gb/s Downstream PAM-4 Transmission for Cost-Effective Coherent WDM-PON Application" *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY* 2021.

Reference:

[1] Zhe Li; M. Sezer E; Kai S; Eric S; Lidia G; Benn C.; Polina Bl; Robert I. "SSBI mitigation and the Kramers–Kronig scheme in single-sideband directdetection transmission with receiver-based electronic dispersion compensation." *Journal of Lightwave Technology* 35.10 (2017): 1887-1893.

[2] Song Z; Man J; Wei L; Can Li; Rongtao Su; Pu Zhou; Zong f. "Temperature control on fiber Bragg gratings to suppress spectral broadening of 100-W fiber oscillator" *National University of Defense Technology* 2022.

[3] Neheeda Pa, Pradeep Ma, Shaija P J " Analysis of WDM System With Dispersion Compensation Schemes" *Govt Model Engineering College, Thrikkakara, Kochi, India – 2016 682021.*

[4] Kumar G; Kumar CH. "Effect of OPC on Fiber Nonlinearities for Dense Soliton Optical Communication Medium." *Journal of Optical Communications* (2020).

[5] Xiong Wu, Junwei Z, Gai Z, Alan P; Tao L, and Chao Lu "C-Band 112-Gb/s PAM-4 Transmission over 50-km SSMF Using Absolute-Term Based Nonlinear FFE-DFE" *Asia Communications and Photonics Conference* 2021.

[6] Meena S, Masih A. "Performance Analysis of Equalizers as Dispersion Compensation for Optical Communication Networks." *Gedrag en Organisatie*, (2020).

[7] K. Skorupski, S. Cieszczyk, P. Panas and P. Kisała "Numerical and Experimental Analysis of Matched Filter Interrogation of FBG Sensors with Large Side Lobes". Department of Electronics and Information Technology, Lublin University of Technology, 20-618 Lublin, Poland 2020.

[8] Chowdhury M, Hossan MD, Amirul I, Jang Y "A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications" *IEEE*, (2018).

[9] Zhu, Xianming, et al.; "Performance Analysis of Equalizers as Dispersion Compensation for Optical Communication Networks." *Gedrag en Organisatie*, 2020.

[10] Valts, Dilendorfs; Sandis, Spolitis; Vjaceslavs, Bobrovs;. "Comparison of Dispersion Compensation Methods for 40 Gbit/s WDM-PON Transmission Systems" *Progress In*