

تحسين أداء أنظمة اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة الكثيف DWDM باستخدام تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DP-16QAM

حسن محسن الراعي*¹ محمد الحسين²

*. طالب دكتوراه، مهندس، جامعة دمشق، هندسة الاتصالات الضوئية،

hasanalraei@damascusuniversity.edu.sy

². أستاذ دكتور، جامعة دمشق، هندسة الاتصالات الضوئية

mhd.alhusen@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

قدم هذا البحث تصميم لنظامي اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف، التقليدي DWDM، والمعتمد على تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DP-16QAM DWDM، وتمت المقارنة بينهما، حيث أن تقنية التعديل DP-16QAM تقدم فعالية طيفية عالية تنعكس بشكل مباشر على سعة النظام، حيث تم كenna من الإرسال عند معدلات إرسال للأقنية الضوئية تصل إلى ثمانية أضعاف معدلات الإرسال لأقنية أنظمة DWDM الضوئية التقليدية .

تمت المحاكاة عبر بيئة Optisystem وتم اختبار النتائج وتقييمها بناءً على الفعالية الطيفية و معدل النقل المحققين بالإضافة إلى المعاملات BER, OSNR, Q-Factor . تم تصميم نظام DWDM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193THz-193.775THz و بتباعد بين القنوات قدره 25GHz وتم الوصول إلى معدل نقل قناة 12.5Gb/s بمعدل إجمالي 400Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (0.5b/s/Hz) حيث تم اختبار النتائج على مدى 160Km .

كما تم تصميم نظام DWDM DP-16QAM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193THz-193.775THz و بتباعد بين القنوات قدره 25GHz وتم الوصول إلى معدل نقل قناة 100Gb/s بمعدل إجمالي 3.2Tb/s والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (4b/s/Hz) حيث تم اختبار النتائج على مدى 160Km .

الكلمات المفتاحية: الفعالية الطيفية، معدلات إرسال، (DWDM) نظام اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف، (DP-16QAM) تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16.

تاريخ الإيداع: 2023/6/6

تاريخ القبول: 2023/8/22



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب CC BY-NC-

SA

Improving The Performance Of DWDM Communication Systems Using Quadrature Amplitude Modulation DP-16QAM

Hasan Mouhsen Alraei*¹ Mohamad Al-hussin²

*¹.PhD Student, eng, Damascus University, optical communication,

hasanalraei@damascusuniversity.edu.sy

². Professor, Damascus University, optical communication Eng

mhd.alhusen@damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

In this research, two DWDM communication systems were designed and implemented, the traditional one, and the one which is based on the Quadrature amplitude modulation DP-16QAM technology, and a comparison has been made between them, as the DP-16QAM modulation technique provides high spectral efficiency that is reflected by Directly on system capacity, enabling transmission at optical channel transmission rates of up to eight times the transmission rates of traditional DWDM optical channels.

The simulation was carried out in an Optisystem environment, and the results were tested and evaluated based on the achieved spectral efficiency and transmission rates, as well as the parameters Q-factor, BER, and OSNR.

The first DWDM system was designed with 32 channels Distributed in the spectral frequency range 193THz-193.775THz and each channel at a rate of 12.5Gb/s at a total rate of (400 Gb/s) and a spacing between channels of 25GHz, which gives a spectral efficiency of (0.5b/s/Hz) and the results were tested for a range of 160km.

The second DWDM system was designed with 32 channels Distributed in the spectral frequency range 193THz-193.775THz and each channel at a rate of 100Gb/s at a total rate of (3.2 Tb/s) and a spacing between channels of 25GHz, which gives a spectral efficiency of (4b/s/Hz) and the results were tested for a range of 160km.

Keywords: Spectral Efficiency, Transmission Rates, (DWDM) Dense Optical Wavelength Division Multiplexing, (DP-16QAM) Quadrature Amplitude Modulation.

Received: 6/6/2023

Accepted: 22/8/2023



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

المقدمة (Introduction):

تعد الاتصالات الضوئية وسيلة النقل الأساسية والأكثر استخداماً للاتصالات العالمية، حيث أن المسافات التي يمكن تحقيقها عبر أنظمة الاتصالات الضوئية تمتد إلى مئات الكيلومترات دون أن تتخامد الإشارة بشكل كبير أو تتعرض لتشوهات كبيرة، ومع وجود المضخات الضوئية ومعوّضات التشوهات يمكن أن تصل إلى مسافات أكبر، بالإضافة إلى أن أنظمة الاتصالات الضوئية الحديثة تتيح معدلات نقل عالية تصل إلى مرتبة الـ Tb/s دون أن تشغل حيز مكاني كبير، مما يتيح سهولة التنفيذ، كما أنها يمكن تنفيذها عبر البحار مما يضيف مرونة إضافية لتنفيذ هذه الأنظمة (Venghaus 2017).

إن الاتصالات الضوئية توفر عرضاً ترددياً يبلغ حوالي 10THz وهو أفضل بكثير من المجال الترددي للاتصالات اللاسلكية، وبالتالي يمكن أن تحمل الشبكة الضوئية معدل بيانات عالي جداً مقارنةً بـ الاتصالات اللاسلكية (Venghaus 2017).

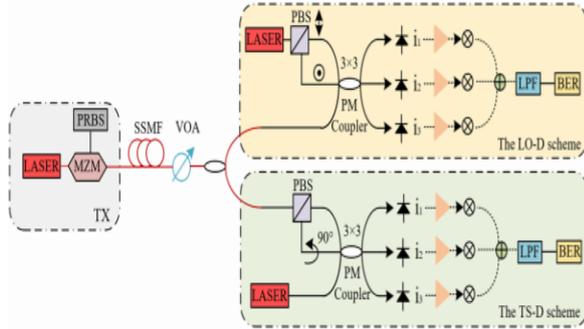
للحصول على أنظمة اتصالات بسعات عالية يمكن إدخال بيانات عدة مستخدمين في قناة اتصال واحدة، ويمكن تحقيق ذلك عبر عدة تقنيات، أحد أهم هذه التقنيات هي تقنية تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة (wavelength-division multiplexing WDM).

إن الميزة الأساسية لأنظمة WDM أن المستخدم النهائي يعمل على معدل النقل الخاص بأحد أقنية نظام WDM، أي أنه لا داعي لأن يعمل كل مستخدم نهائي عند معدل النقل العالي للنظام ككل، لذلك تعتبر أنظمة الاتصالات WDM أكثر تفضيلاً في تصميم أنظمة الاتصالات الضوئية بعيدة المدى، كما أنه عند تقليل التباعد بين القنوات يمكن الحصول على أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف DWDM (Dense Optical Wavelength Division Multiplexing).

والذي يتيح الإرسال بسعات عالية جداً لنفس عرض المجال الترددي (Dhadhal 2022). إن تقنيات التعديل الحديثة تتيح إمكانية استغلال الطيف بالشكل الأمثل، والتي تعتمد على أكثر من بعد لترميز الإشارات (المطال، التردد، والطور) وتعد تقنية التعديل المطالي التربيعة من الدرجة 16 (16QAM) أحد أهم هذه التقنيات، والتي تتيح فعالية طيفية عالية عبر زيادة معدل النقل والحفاظ على نفس عرض الطيف الترددي العامل عنده، ويمكن زيادة الفعالية الطيفية أكثر عند استخدام الاستقطاب الثنائي لهذه التقنية (DP-16QAM).

1. الدراسات المرجعية (Literature Review):

تم استخدام تقنية WDM مع الكشف المتماسك ومعالجة الإشارة الرقمية في طرف الإقبال من قبل بعض الباحثين، حيث كما يوضح الشكل (1) تم استخدام صيغة التعديل PAM من الدرجة الرابعة التي تقوم على مبدأ تعديل طول النبضات.



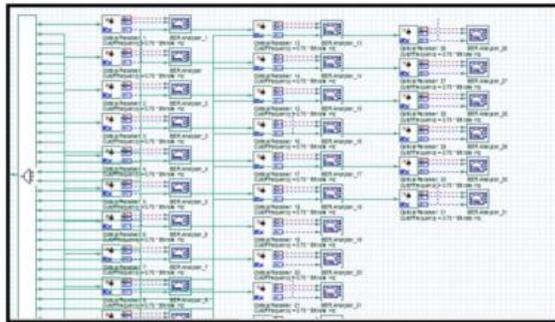
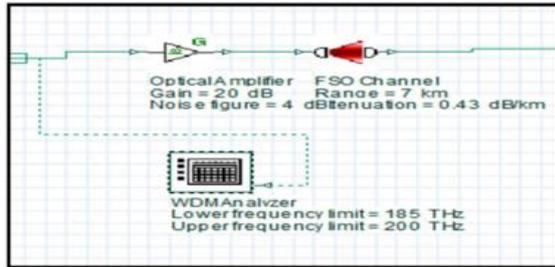
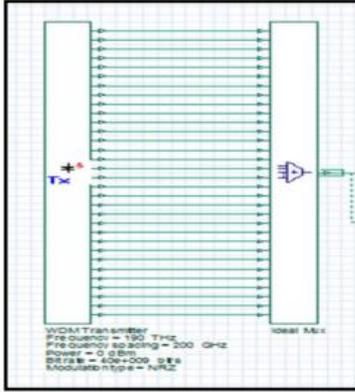
الشكل (1) نظام PAM WDM من الدرجة الرابعة

تم الحصول على قيمة معامل جودة Q-Factor حوالي 7dB من أجل مسافة 41KM وكانت الفعالية الطيفية 0.5bit/s/Hz حيث تم إرسال 8 حوامل فرعية كل حامل بمعدل 10GB/s بمعدل إجمالي 80Gb/s، وبتباعد ترددي 20GHz (Zhou 2021).

قام باحثون آخرون بتنفيذ نظام DWDM باستخدام تقنية التعديل (MDRZ (Modified Duobinary Return to Zero)،

تم تنفيذ نظام DWDM لأنظمة FSO (Free-space optical) وأنظمة الألياف الضوئية من قبل مجموعة أخرى من الباحثين، حيث تم إرسال 32 حامل فرعي كل حامل بمعدل 40Gb/s بمعدل إجمالي 1.28Tb/s، وبفعالية طيفية 0.2bit/s/Hz (بتباعد طيفي 200GHz)، وتم الوصول إلى قيمة Q-Factor تصل إلى 18dB من أجل مسافة 10Km للوصلة الضوئية واستطاعة إرسال 0dBm (Mohsen 2022).

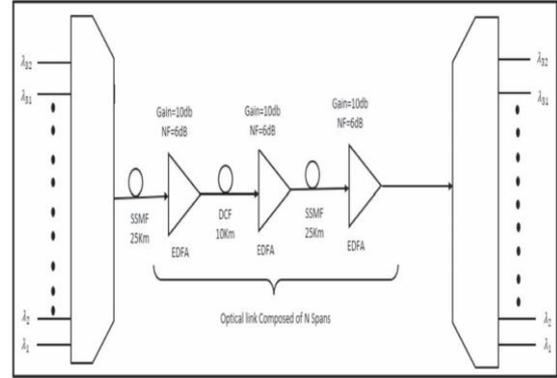
حيث يوضح الشكل (4) قسم الإرسال (المنبع والمجمع) وقناة الاتصال المستخدمة وآلية الكشف في طرف الاستقبال.



الشكل (4) نظام FSO DWDM

حيث تم إرسال 32 حامل فرعي، كل حامل بمعدل 40Gb/s بمعدل إجمالي 1.2Tb/s، وتم الحصول على فعالية طيفية 0.5bit/s/Hz (بتباعد طيفي 80GHz)، وتم الوصول إلى قيمة Q-Factor جيدة تصل إلى 21dB من أجل مسافة 50Km واستطاعة إرسال -5dBm (Dhadhal 2022).

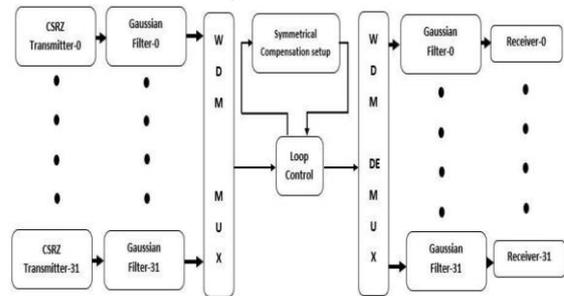
حيث يوضح الشكل (2) آلية التجميع في طرف الإرسال وقناة الاتصال وفك التجميع في طرف الاستقبال.



الشكل (2) نظام MDRZ DWDM

في عام 2023 تم تنفيذ نظام DWDM آخر باستخدام تقنية التعديل CSRZ (Carrier-Suppressed Return-to-Zero)، حيث تم إرسال 32 حامل فرعي كل حامل بمعدل 40Gb/s بمعدل إجمالي 1.2Tb/s، وتم الوصول إلى فعالية طيفية 1bit/s/Hz (بتباعد طيفي 40GHz)، وتم الوصول إلى قيمة BER تصل إلى 10^{-10} من أجل مسافة 50Km للوصلة الضوئية واستطاعة إرسال 5dBm (Mishra 2023).

حيث يوضح الشكل (3) التقنية المستخدمة في طرف الإرسال وقناة الاتصال وآلية فك التجميع في طرف الاستقبال.



الشكل (3) نظام CSRZ DWDM

2. الهدف من البحث:

إن استغلال الطيف الترددي يؤثر بشكل مباشر على سعة النظام، حيث أنه لتحقيق أنظمة اتصالات DWDM بسعات عالية، يمكننا محاولة زيادة الفعالية الطيفية عبر تقليص التباعد بين الأقنية الفرعية، أو زيادة معدل النقل للأقنية لنظام الاتصالات مع الحفاظ على التباعد الترددي بين القنوات.

يهدف البحث إلى زيادة معدل النقل، ويمكن تحقيق ذلك عبر استخدام تقنيات التعديل متعددة المستويات الحديثة، والتي تعتمد على أكثر من بعد لترميز الإشارات (المطال، التردد، والطور)، وتعد تقنية التعديل المطالي التربيعي من الدرجة 16 (16QAM) (المستخدمة في هذا البحث) أحد أهم هذه التقنيات، والتي تتيح فعالية طيفية عالية عبر زيادة معدل النقل والحفاظ على نفس عرض الطيف الترددي العامل عنده، ويمكن زيادة الفعالية الطيفية أكثر عند استخدام الاستقطاب الثنائي لهذه التقنية (DP-16QAM)، حيث أنها تمكننا من الإرسال عند معدلات نقل تصل إلى ثمانية أضعاف معدلات النقل المحققة في أنظمة الاتصالات التقليدية.

3. مواد وطرق البحث:

تم إجراء البحث بالاعتماد على بيئة 17 Optisystem، التي تستخدم لتخطيط وتصميم واختبار شبكات الألياف الضوئية. حيث أنه يوفر كافة الأدوات التي تساعد في تصميم ومحاكاة كافة العناصر الضوئية وطبقات نقل الشبكة الضوئية الحديثة.

تم تصميم نظامي اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف، التقليدي DWDM، والمعتمد على تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DP-16QAM DWDM، والمقارنة بينهما .

و تم اختبار النتائج و تقييمها بناءً على الفعالية الطيفية وسعة الإرسال المحققين بالإضافة إلى المعاملات Quality factor و BER (Bit Error Rate) و OSNR (Optical Signal to Noise Ratio).

4. تعدد الإرسال في أنظمة الاتصالات الضوئية:

إن العامل الأساسي في تصميم أنظمة اتصالات بسعات عالية هو إدخال بيانات عدة مستخدمين في قناة اتصال واحدة، ويمكن تحقيق ذلك عبر عدة تقنيات ومن أهم هذه التقنيات وأكثرها انتشاراً هي تقنية التجميع بتقسيم الطول الموجي (Wavelength-Division Multiplexing) WDM (Gopalan 2022).

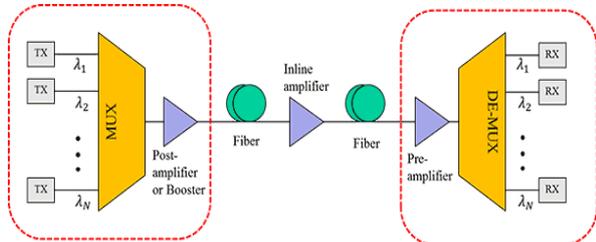
1-4 أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة الضوئية:

تعتمد هذه التقنية على إرسال معلومات كل مستخدم باستخدام طول موجي مختلف، وبالتالي إرسال أطوال موجية متعددة ضمن الليف الضوئي الواحد دون حصول تداخل (faadoo 2021).

إن الهدف من هذه التقنية هو زيادة سعة أنظمة الاتصالات الضوئية العاملة دون الحاجة لوضع ألياف جديدة بالخدمة.

في أنظمة WDM كل مستخدم نهائي يجب عليه أن يعمل على معدل النقل الخاص بأحد أقنية نظام WDM وليس معدل النقل الإجمالي للنظام، وتعتبر هذه ميزة أساسية لأنظمة WDM (Lee 2020).

يوضح الشكل (5) تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية، حيث يتم تجميع الأطوال الموجية ضمن الليف الضوئي باستخدام موزعات ضوئية، يتم تصميمها بحيث ترتبط توابعها بأطوال الموجة المستخدمة.



الشكل (5) تقنية التجميع بتقسيم طول الموجة الضوئية

تتخامد أثناء النقل تستخدم المضخمات الضوئية عند مسافات محددة على طول خط النقل (Skorupski 2020).
في كل مرحلة تضخيم نجد أن هناك حاجة لإضافة معوضات التشتت وذلك وفقاً لمعدل الإرسال ونوع الليف الضوئي المستخدم. قبيل مرحلة الاستقبال تضخم الإشارة مجدداً بواسطة مضخم أولي Pre-amplifier، ثم تأتي مرحلة فك التجميع الضوئي وفي هذه المرحلة تكشف كل موجة بواسطة كاشف ضوئي خاص بها وتزود الإشارة إلى المستقبل المطلوب (Antoniades 2011).

كما هو واضح من تصميم نظام DWDM فإنه يمنح قدرة عالية على نقل كمية كبيرة من المعلومات على نفس الليف الضوئي، كما أنها من التقنيات الأكثر أماناً في مجال نقل المعلومات وتستخدم في نقل مقاطع الفيديو مع إمكانية كبيرة في التحكم بالمعالجة والتطبيق.

يكون التباعد بين القنوات في نظام الاتصال WDM العادي بحدود 4-10nm، أما في DWDM فإن التباعد بين القنوات بحدود 1nm أو أقل، أي تكون كثافة الأمواج في DWDM أكبر. في النظام WDM تقسم المنطقة بين الموجتين 1540-1570nm إلى أربع قنوات وهي، 1556، 1550، 1540، 1570nm (بينما خصصت أنظمة DWDM للاستخدامات الأوسع، حيث يقسم عرض المجال الضوئي إلى 32 قناة أو أكثر. في الوقت الراهن يستخدم الطول الموجي 1550nm في النوعان، فعنده يكون التخامد أصغرياً كما أن المضخمات الضوئية المستخدمة تعمل بشكل فعال جداً ومستقر عند الموجة 1550 nm (Sharan 2016).

تخضع هذه الخطوات التي تم ذكرها لمعايير التصميم، لكن باعتبار أن النظام الذي نقترحه هو نظام رقمي Digital System، فإن كل بت مرسل يجب أن يصل إلى المستقبل المطلوب دون أي تشويه ويكون المقياس المعتمد غالباً لجودة الإشارة هو معدل خطأ البت BER Bit Error Rate أو معامل الجودة Q-Factor Quality Factor، وتعتبر قيمة معدل

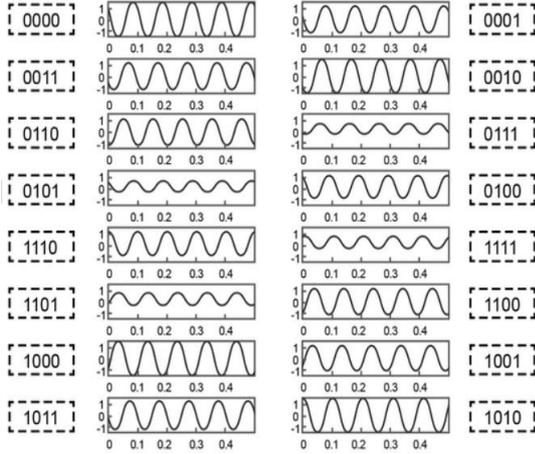
عندما يكون التباعد الترددي بين الأطوال الموجية قليل تسمى بأنظمة التجميع بتقسيم الطول الموجي الكثيف DWDM (Dense optical wavelength division multiplexing).
تتطلب أنظمة WDM طاقة أقل بالمقارنة مع DWDM، وتستخدم الليف وحيد النمط (Single Mode Fiber) SMF أو الليف متعدد الأنماط (Multi Mode Fiber) MMF، ويمكنها استخدام منابع ضوء عادية مثل LEDs، ولكن بالمقابل فإن أنظمة WDM ذات سعة أقل، بينما DWDM ذات سعة أكبر فيمكن إرسال عدد أكبر من الأطوال الموجية على نفس الليف، بالإضافة إلى أن سرعة DWDM أكبر من WDM في نقل المعلومات.

يتألف النظام بشكل أساسي من قسم الإرسال ثم المجمع الضوئي، يأتي بعدها الليف الضوئي ثم مفكك التجميع الضوئي وأخيراً قسم الاستقبال، كما يحتاج النظام إلى مجموعة من المضخمات الضوئية التي تتوزع على طول مسافة الإرسال.
تصنف المضخمات حسب وظيفتها وموقعها ضمن خط النقل إلى ثلاثة أنواع (Venghaus 2017):

- Power Amplifier: يوجد بعد المرسل ووظيفته زيادة طاقة الإرسال
- Line Amplifier: يوجد في نقاط معينة على طول خط النقل ووظيفته تعويض الضياعات أثناء النقل
- Optical Pre-amplifier: يوجد عند طرف الاستقبال ووظيفته دعم حساسية المستقبل

4.2 آلية عمل نظام اتصال يستخدم DWDM:

يتألف المرسل ضمن نظام DWDM من مجموعة من ليزرات ذات تعديل مباشر أو خارجي، وذلك بحيث يكون لكل طول موجة معدل خاص بها، ثم يتم جمع الإشارات ذات الأطوال الموجية المختلفة بواسطة مجمع ضوئي، ويستخدم مضخم استطاعة ضوئي لزيادة طاقة الإرسال بعد مسافة معينة من المجمع، ثم ترسل بعدها عبر الليف الضوئي. وكون الإشارة



الشكل (7) الأشكال الموجية لمجموعات الرموز في 16-QAM (RF ED 2022)

باستخدام تقنية 16QAM، من الممكن تعديل كل من المطال وكذلك طور إشارة الموجة الحاملة، على عكس مخططات التشكيل الرقمي الأخرى ذات الترتيب الأدنى مثل BPSK حيث يكون تعديل الطور فقط ممكناً. ونتيجة لذلك، فإنه يدعم أيضاً إرسال كمية أكبر نسبياً من البيانات.

وبالتالي، يمكن تحقيق معدل بيانات مرتفع كون بتات تشكيل الرمز تصل إلى 4 بتات. يتم إعطاء عدد البتات التي يدعمها M-ary QAM بالمعادلة (1). حيث يمثل N عدد البتات و M هو عدد التركيبات الممكنة المقابلة لعدد معين من البتات، أي أنه يعبر عن عدد نقاط الكوكبة (Antoniades 2011).

$$M=2^N \quad (1)$$

تعدد الإرسال باستخدام كلا الاستقطابين:

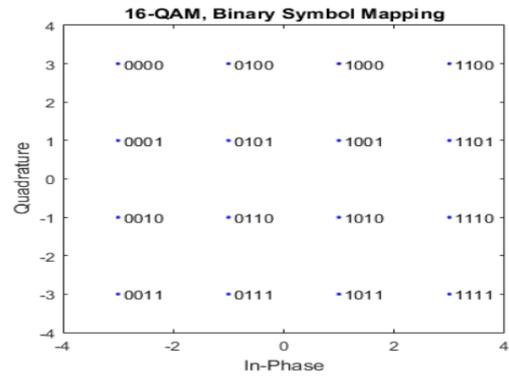
تستخدم تقنيات الاستقطاب عادةً في الإرسال الراديوي لتقليل التداخل بين القنوات، خاصة عند ترددات VHF (Very high frequency) وما بعدها.

ولكن يمكن أيضاً في أنظمة الاتصالات الضوئية مضاعفة معدل البيانات عن طريق إرسال قناتين منفصلتين على نفس التردد، وذلك باستخدام تعدد الاستقطاب (الاستقطاب المتعامد). يمكن تطبيق هذه التقنية على أنظمة 16QAM للحصول على فعالية طيفية مضاعفة، وبالتالي زيادة معدل نقل البيانات على

الخطأ المقبولة واقعة في المجال (10^{-8} - 10^{-10}) أما قيمته المثالية فهي 10^{-12} وتعتمد على كمية الضجيج التي يضيفها كل عنصر في نظام DWDM (Venghaus 2017).

5. التعديل المطالي التربيعي 16QAM:

تعتبر تقنية 16QAM نوع من التعديل التربيعي (QAM) حيث يمكن لموجة حاملة لتردد ثابت أن تكون في واحدة من ست عشرة حالة مختلفة. يمكن تمثيل ذلك في مخطط كوكبة الإشارة الموضح بالشكل (6)، حيث يعبر عن كل حالة برمز يحتوي على واحد من 16 مستوى مطال وطور مختلفة. تتكون كوكبة الإشارة من محورين، حيث يكون المحوران متعامدين مع بعضهما البعض، أي أنهما موصولان بطور 90 درجة عن بعضهما البعض (RF ED 2022).



الشكل (6) كوكبة الإشارة لنظام 16QAM (RF ED 2022)

يحتوي كل رمز في الكوكبة على 4 بتات (0 و 1) في مخطط 16QAM. لذلك فإن عدد التركيبات الممكنة باستخدام 4 بتات ثنائية هو $2^4 = 16$ ، كل حالة أو رمز يحتوي على قيمة من 0000 إلى 1111.

يوضح الشكل (7) أشكال الموجة للرموز ذات الأربع بتات، كل رمز يحتوي على مطال ومستوى طور فريد. على سبيل المثال يحتوي الرمز 0000 و 0001 على مطال متساوي لكن مستويات طور مختلفة. وبالمثل، يحتوي الرمز 1001 و 1101 على نفس مستوى الطور لكن سوياط مطال مختلفة.

نفس عرض المجال الترددي وتسمى عندها بتقنية DP-16QAM وتم استخدام موصلات الليزر وفق ما يوضح الجدول (1) (Sharma 2022).

Type	Laser Diode
wavelength	1.548 – 1.554 um
Power	+5 dBm (1 mw)
Line-width	0.1MH
Initial phase	0 deg

6. القسم العملي:

تم تصميم نظامي اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف، التقليدي DWDM، والمعتمد على تقنية التعديل المطالي التريبي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DWDM DP-16QAM على بيئة Optisystem والمقارنة بينهما.

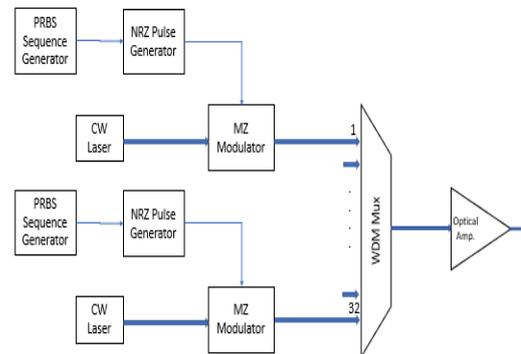
6.1 نظام DWDM:

تم تصميم نظام DWDM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193THz-193.775THz، وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz وتم الوصول إلى معدل نقل قناة 12.5Gb/s بمعدل إجمالي 400Gb/s، والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (0.5b/s/Hz)، حيث تم اختبار النتائج على مدى 160Km.

6.1.1 قسم الإرسال:

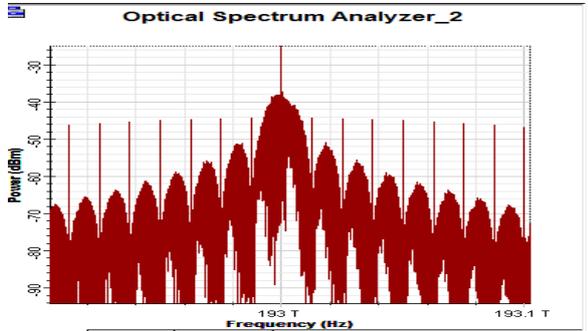
يتكون قسم الإرسال من 32 قناة، يتم استخدام ليزر Laser Diode لكل قناة ويغذي معدل زندر، والذي يتم التحكم به باستخدام مولد تتابع شبه عشوائي يعبر عن إشارة المعلومات ومولد نبضات كما يوضح الشكل (8).

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



الشكل (8) قسم الإرسال في نظام DWDM

يكون شكل الطيف على خرج معدل ماك زندر لقناة واحدة كما في الشكل (9) (حيث يتم استخراجها عبر وحدة optical spectrum analyzer في بيئة Optisystem).

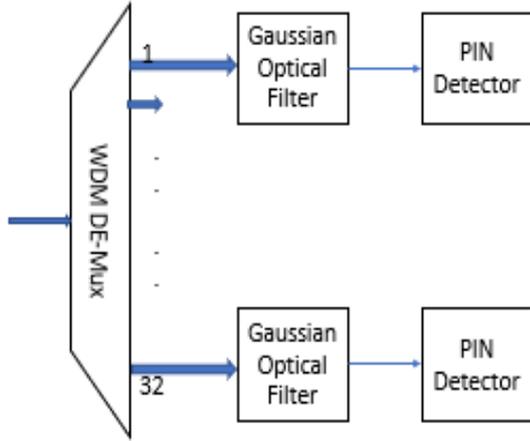


الشكل (9) طيف الإشارة على خرج معدل ماك زندر

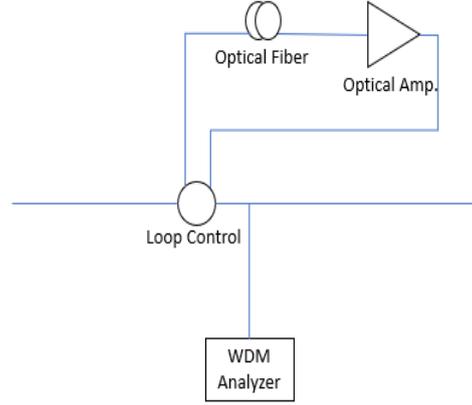
نلاحظ أن مركز طيف الإشارة يكون عند القيمة 193THz، وهي قيمة التردد المقابل للطول الموجي المرسل بهذه القناة

6.1.2 القناة الضوئية:

تنتشر الإشارة المرسل ذات الـ 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 (10) من وصلة بطول 80Km مع مضخم ضوئي نوع (EDFA) (مضخم الألياف المشبعة بالإربيوم)، والذي يعمل بفعالية عالية مع أنظمة DWDM وعند الحزمة C (التي تعمل عندها) وحيث أنه يقوم بالتعويض بشكل متساوي لكافة القنوات، ويتم تكرار الوصلة مرتين بواسطة حلقة تحكم (Loop Control) لتحقيق المسافة المطلوبة.



الشكل (11) قسم الاستقبال في نظام DWDM



الشكل (10) الوصلة الضوئية لنظام DWDM

تم اختيار موسطات الليف الضوئي وفق الجدول (2) بحيث يتوافق مع النظام المستخدم والمسافة والطول الموجي العامل عنده.

الجدول (2) موسطات الليف الضوئي لنظام DWDM

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)

6.2 نظام DWDM DP-16QAM:

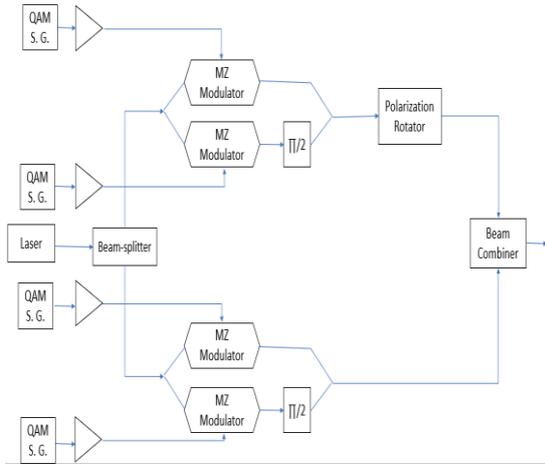
تم تصميم نظام DWDM DP-16QAM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193.775THz-193THz، وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz، وتم الوصول إلى معدل نقل قناة 100Gb/s بمعدل إجمالي 3.2Tb/s، والذي يعطي فعالية طيفية تقدر ب (4b/s/Hz)، حيث تم اختبار النتائج على مدى 160Km.

6.2.1 قسم الإرسال:

يتكون قسم الإرسال من 32 قناة، يتم استخدام ليزر Laser Diode لأجل كل قناة ويغذي وحدة إرسال DP-16QAM، والتي يتم التحكم بها باستخدام مولد تتابع QAM يعبر عن إشارة المعلومات، ويتم تجميع القنوات باستخدام مجمع WDM، ويتم بعدها تضخيم الإشارة قبل إرسالها بواسطة مضخم ضوئي كما يوضح الشكل (12)

6.1.3 قسم الإستقبال:

يتكون قسم الاستقبال من مفكك تجميع WDM، والذي يخرج 32 إشارة خاصة بالقنوات المرسله، تدخل بعدها كل إشارة إلى مرشح غاوص ليتم ترشيحها من التوافقيات الجانبية، تدخل بعدها إلى الكاشف الضوئي الذي يحول الإشارة الضوئية إلى إشارة إلكترونية تعبر عن المعلومات كما يوضح الشكل (11).



الشكل (13) وحدة إرسال DP-16QAM

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

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

(3) (Palermo 2022)

حيث:

 $E_{in}(t)$ هي إشارة الدخل

IL هو فقد الدخل

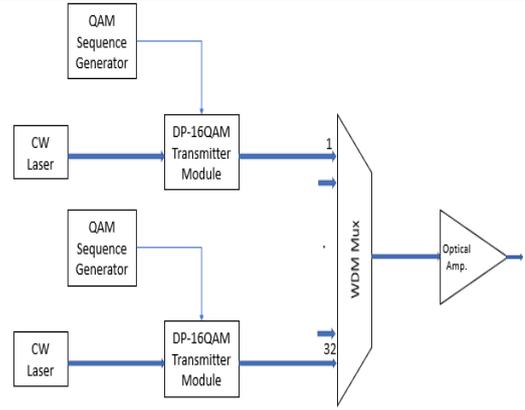
 V_1 V_2 جهدي التحكم على طرفي معدل ماك زندر والتي يتم

إعطائها من مولد تتابع QAM

 $v_{bias1}(t)$ $v_{bias2}(t)$ جهود الإنحياز $V_{\pi RF}$ جهد تبديل التعديل $V_{\pi DC}$ جهد تبديل الإنحياز γ هي نسبة فصل الطاقة لفرعي المعدل

إن علاقة خرج عنصر إزاحة الإشارة مع الدخل تعطى بالعلاقة:

$$E_{out}(t) = E_{in}(t) \cdot \exp(j\Delta\Phi) \quad (4) \text{ (Optisystem 17)}$$



الشكل (12) قسم الإرسال في نظام DWDM

إن قيمة الطور Φ_i الني تنتجها وحدة إرسال DP-16QAM ترتبط برقم تسلسل مولد التتابع M بالعلاقة:

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

حيث أن:

 $M = 2^h$

حيث أن h هي عدد البتات بالرمز (في حالتنا $h = 4$ كون مولد التتابع هذا مسؤول عن أحد الاستقطابات فقط) و ϕ هي مقدار انزياح الطور.

تتكون وحدة إرسال DP-16QAM كما يوضح الشكل (13) من أربع معدلات ماك زندر يتم تغذيتها بواسطة ليزر محلي ومجزء حزمة (Beam-Splitter)، ويتم التحكم بهم بواسطة مولد تتابع QAM.

كل زوج من معدلي ماك زندر يعالج أحد الاستقطابات وكل معدل من الزوج يكون مزاح عن الآخر بفرق طور 90 درجة، ويتم في النهاية مزج الإستقطابين بواسطة مزاج الحزم (Beam Combiner) من أجل الإرسال بقناة واحدة ضمن مجمع WDM.

تحسين أداء أنظمة اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة الكثيف DWDM باستخدام.....الراعي، الحسين

يتكون قسم الاستقبال 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-16QAM، 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، ومن ثم يتم تفكيك الترميز بواسطة QAM Sequence Decoder ، يتم بعدها جمع الإشارات بواسطة محول P/S وبالتالي نحصل على إشارة المعلومات المرسله كما هو موضح بالشكل (16) .

يعطى عامل تحويل مرشح غاوص بالعلاقة:

(5) (Optisystem 17)

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

حيث: α هي فقد الدخل، f هو التردد، B هو عرض المجال f_c هو التردد المركزي للمرشح (في حالتنا يكون التردد المركزي للقناة المستقبلة، مثلاً 193THz للقناة الأولى) إن قيمة الطور Φ_i ترتبط برقم التسلسل المحتمل لمولد التتابع M بالعلاقة:

(6) (Optisystem 17)

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

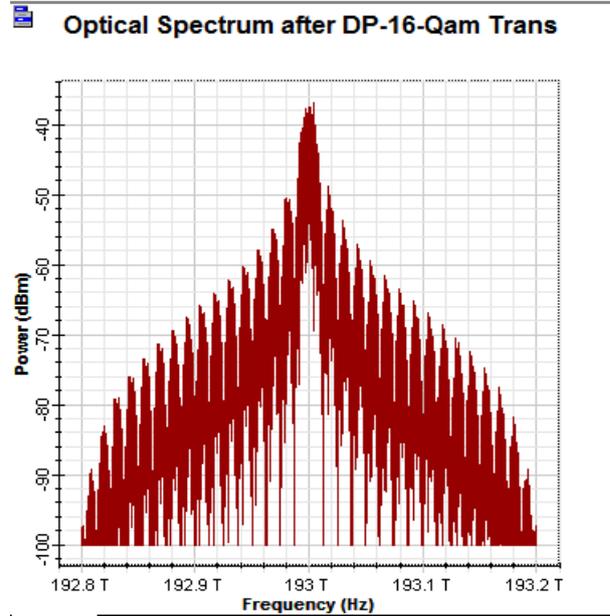
حيث أن:

$$M = 2^h$$

حيث أن h هي عدد البتات بالرمز (في حالتنا $h = 4$ كون مولد التتابع هذا مسؤول عن أحد الاستقطابات) و ϕ هي مقدار انزياح الطور.

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

ويكون شكل الطيف بعد وحدة إرسال DP-16QAM لقناة واحدة كما في الشكل (14).



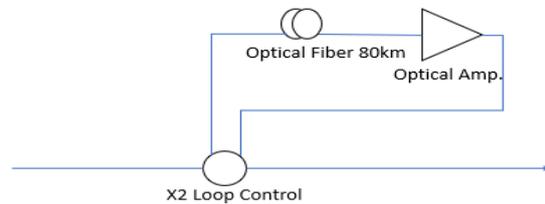
الشكل (14) طيف الإشارة على خرج وحدة إرسال DP-16QAM

ونلاحظ من الشكل أن مركز طيف الإشارة يكون عند القيمة 193THz مع وجود توافقيات جانبية.

6.2.2 القناة الضوئية:

تنتشر الإشارة الخاصة بنظام نظام DWDM DP-16QAM ذات ال 32 حامل فرعي عبر الليف الضوئي من النوع (SMF Single Mode Fiber) على مسافة 160Km كما يوضح

الشكل (15)



الشكل (15) الوصلة الضوئية لنظام DWDM DP-16QAM

6.2.3 قسم الإستقبال:

8. النتائج والمناقشة:

تم محاكاة نظامي اتصالات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي الكثيف، التقليدي DWDM، والمعتمد على تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DWDM DP-16QAM، اللذان تم تصميمهما.

7.1 نظام DWDM:

تم تصميم نظام DWDM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193.775THz-193THz وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz وتم اختبار النتائج على مدى 160Km.

بهدف الحصول على أعلى معدل نقل بيانات ممكن، تم اختيار مجال طيفي وتباعد طيفي بين القنوات ثابتين، بحيث يتم زيادة معدل النقل للأقنية الفرعية حتى الوصول إلى أعلى معدل نقل قناة دون حدوث تأثيرات تداخل وتشويه للإشارة (بدلاً من تثبيت معدل النقل وإنقاص تباعد القنوات)، مما يعني الوصول إلى أعلى فعالية طيفية ممكنة، والتي تعكس معدل النقل الإجمالي الممكن تحقيقه من أجل طيف ترددي محدد.

بالنسبة لأنظمة الاتصالات التي لا تعتمد على تقنيات تعديل متعددة المستويات فإن معدل النقل يجب أن تكون قيمته أقل من تباعد القناة.

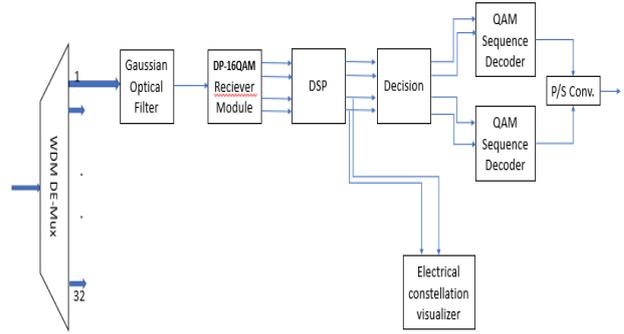
$$\text{BitRate} < \text{Channel Spacing}$$

أي أنه في الحالة التي يتم دراستها يجب أن يكون

$$\text{BitRate} < 25\text{Gb/s}$$

إلا أنه عملياً يتم الأخذ بعين الاعتبار الإنحناء لشكل الطيف الترددي للإشارة (Roll-off) مع إضافة هوامش جانبية لتجنب التداخل وبالتالي فإن معدل نقل القناة يكون عملياً أقل من تلك القيمة بكثير.

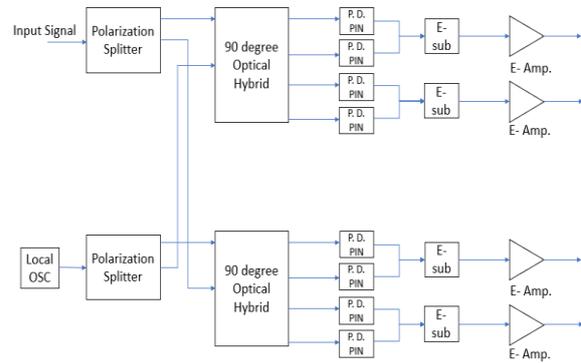
من أجل معدل نقل قناة 10Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي $(\text{BitRate}/\text{Channel Spacing} = 10/25)$ 0.4b/s/Hz تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (18).



الشكل (16) قسم الاستقبال في نظام DWDM DP-16QAM

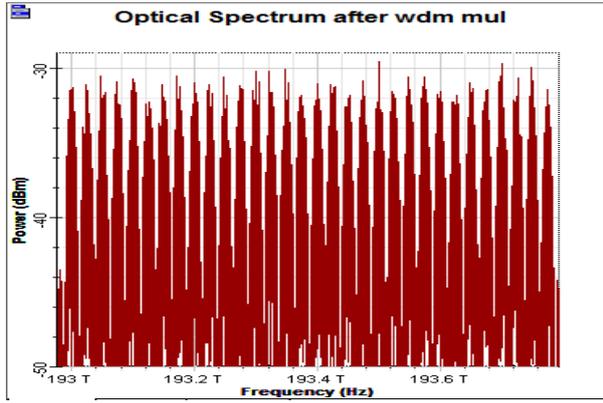
تتكون وحدة استقبال DP-16QAM كما يوضح الشكل (17) من مجزء استقطاب Polarization Splitter يقوم بفصل الإشارة المستقبلية إلى إشارتين باستقطابين مختلفين، يتم مزج هذه الإشارتين مع إشارتين مولدتين بواسطة ليزر محلي Laser Diode (يعمل بمثابة Local Oscillator)، يتم المزج بواسطة مزج 90 degree Optical Hybrid ويكون كل مزج معنى بأحد الاستقطابات، وعلى 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 مضخم إلكتروني.

نحصل في خرج وحدة استقبال DP-16QAM على أربع إشارات كل إشارتين باستقطاب مختلف وبين كل إشارة وأخرى فرق طور 90 درجة.



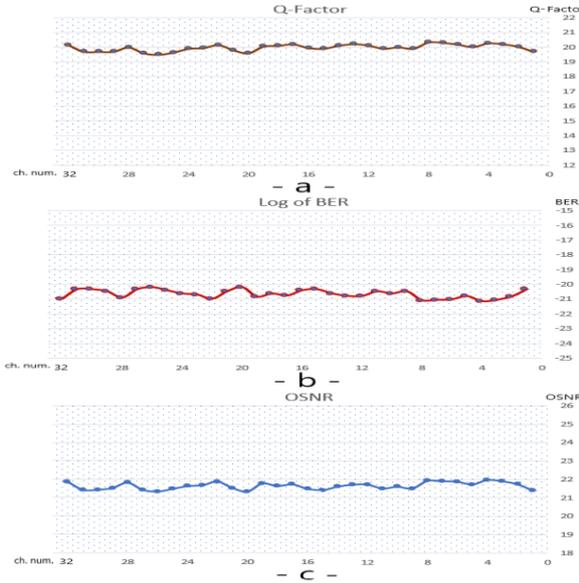
الشكل (17) وحدة استقبال DP-16QAM

أن قيم Q-Factor مرتفعة (حوالي 20dB)، و قيم BER منخفضة (من مرتبة 10^{-21})، وقيم OSNR مرتفعة (حوالي 22dB)، مما يعني أداء عالي للنظام. تم زيادة معدل نقل القناة إلى 12.5Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي 0.5b/s/Hz، حيث تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (20).

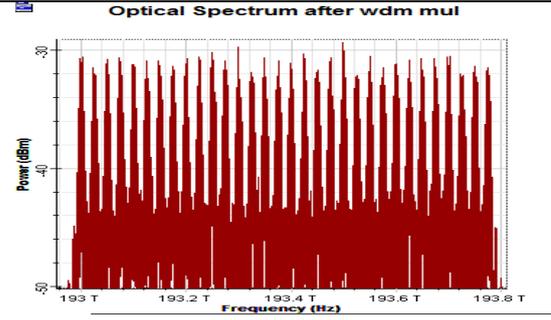


الشكل (20) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ هنا أيضاً عدم وجود تداخل بين القنوات حيث كانت النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (21).

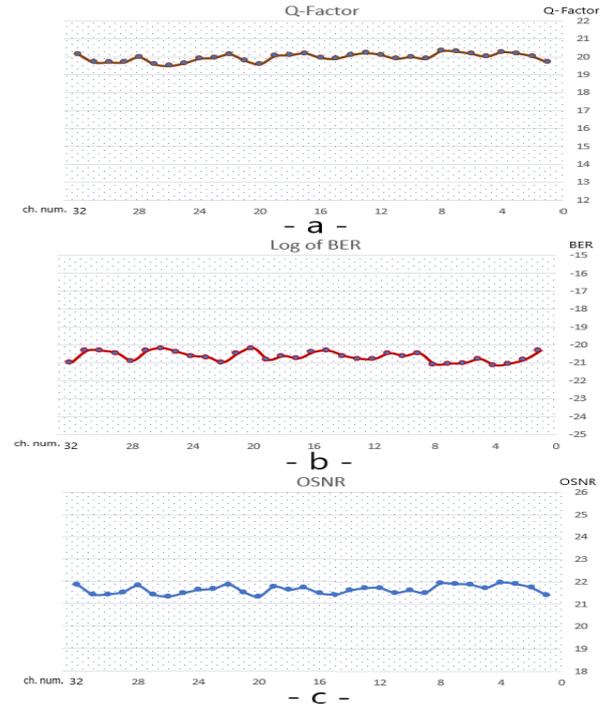


الشكل (21) قيم Q-Factor، b: قيم BER، c: قيم OSNR من أجل الأقتية المتعددة عند معدل نقل قناة 12.5Gb/s



الشكل (18) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

حيث يوضح الشكل أن طيف الإشارة يمتد من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ من شكل الطيف عدم وجود تداخل بين القنوات عند استطاعة إشارة معينة (-40dBm) (حيث تبين تجريبياً أنه عند حدوث تداخل عند قيمة استطاعة الإشارة هذه، فإن ذلك يؤثر على نتائج الخرج بشكل كبير (BER, OSNR, Q-Factor)، حيث كانت النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (19) (عند الإرسال باستطاعة 5dBm).



الشكل (19) قيم Q-Factor، b: قيم BER، c: قيم OSNR من أجل الأقتية المتعددة عند معدل نقل قناة 10Gb/s

حيث تم استخراج النتائج عبر وحدات قياس ضمن بيئة Optisystem (WDM analyzer, BER Analyzer) ونلاحظ

حيث نلاحظ أن قيم Q-Factor انخفضت كثيراً مقارنة مع الحالة السابقة (حوالي 11.5dB)، وقيم BER ارتفعت مقارنة مع الحالة السابقة (من مرتبة 10^{-9})، وقيم OSNR انخفضت أيضاً (حوالي 13.5dB)، مما يعني انخفاض واضح بأداء النظام عند محاولة زيادة معدل النقل إلى 15Gb/s على نفس الطيف الترددي.

وبالتالي يمكن القول أنه تم الوصول إلى فعالية طيفية مساوية ل $0.5b/s/Hz$ (BitRate/Channel Spacing = 12.5/25) مع الحفاظ على أداء نظام عالي من أجل أنظمة DWDM.

8.2 نظام DP-16QAM DWDM

تم تصميم نظام DWDM DP-16QAM ذو 32 قناة موزعة على المجال الطيفي الترددي 193THz-193.775THz وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz وتم اختبار النتائج على مدى 160Km.

إن الهدف من البحث هو الحصول على أعلى معدل نقل بيانات ممكن، لذلك تم اختيار مجال طيفي وتباعد طيفي بين القنوات ثابتين، وسيتم زيادة معدل النقل للأقنية الفرعية حتى الوصول إلى أعلى معدل نقل قناة دون حدوث تأثيرات تداخل وتشويه للإشارة، مما يعني الوصول إلى أعلى فعالية طيفية ممكنة، والتي تعكس معدل النقل الإجمالي الممكن تحقيقه من أجل طيف ترددي محدد.

بالنسبة لأنظمة الاتصالات التي تعتمد على تقنيات تعديل متعددة المستويات فإن معدل النقل يجب أن تكون قيمته أقل من قيمة معينة (وهي تباعد القناة مضروب بعدد البتات لكل رمز).

$$\text{BitRate} < \text{Channel Spacing} * \text{Bits/Symbol}$$

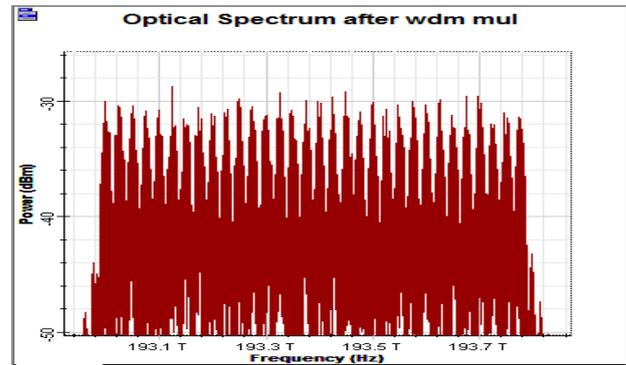
في الحالة التي يتم دراستها يكون عدد البتات بكل رمز يساوي 4Bits/Symbol، وكوننا هنا نستخدم كلا الاستقطابين فيرتفع هذا الرقم ليصبح 8Bits/Symbol لكل 4Bits/Symbol لكل

استقطاب) وبالتالي يجب أن يكون معدل نقل القناة:

$$\text{BitRate} < 200\text{Gb/s}$$

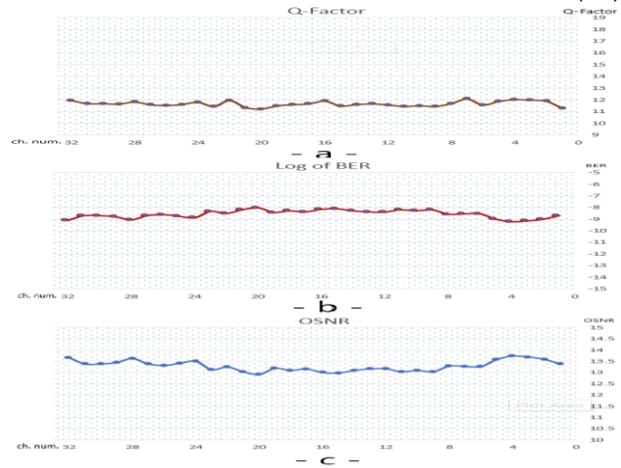
حيث نلاحظ أيضاً أن قيم Q-Factor بقيت مرتفعة (حوالي 19dB)، وقيم BER منخفضة (من مرتبة 10^{-19})، وقيم OSNR مرتفعة (حوالي 21dB)، مما يعني أن النظام حافظ على أداء عالي عند زيادة معدل النقل إلى 12.5Gb/s على نفس الطيف الترددي.

تم زيادة معدل نقل القناة إلى 15Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي 0.6b/s/Hz، حيث تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (22).



الشكل (22) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

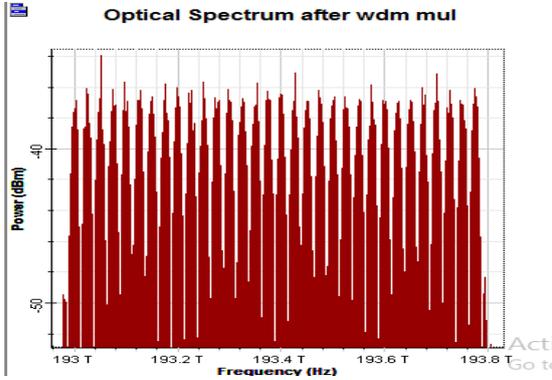
حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ هنا وجود تداخل بين القنوات عند استطاعة إرسال 40dBm حيث أن النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (23).



الشكل (23) قيم Q-Factor، b: قيم BER، c: قيم OSNR من أجل الأقنية المتعددة عند معدل نقل قناة 15Gb/s

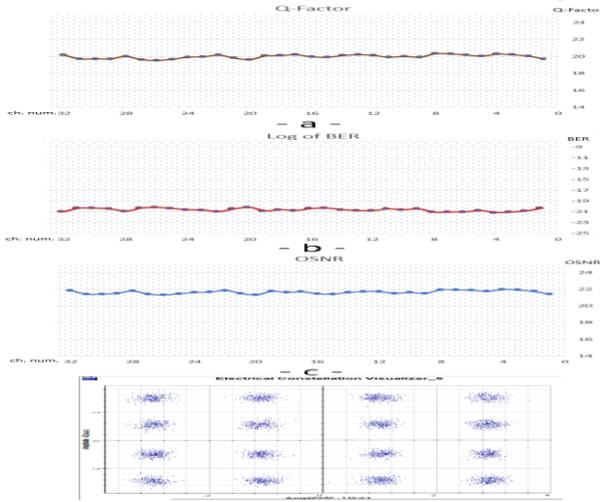
حيث نلاحظ أن قيم Q-Factor مرتفعة (حوالي 20dB)، وقيم BER منخفضة (من مرتبة 10^{-21})، وقيم OSNR مرتفعة (حوالي 21dB)، مما يعني أداء عالي للنظام، كما يوضح شكل كوكبة الإشارة Signal Constellation (الخاص بتقنيات التعديل متعددة المستويات) أنه من السهل استخلاص المعلومات من الإشارة المستقبلية.

تم زيادة معدل نقل القناة إلى 100Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي 4b/s/Hz، حيث تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (26).



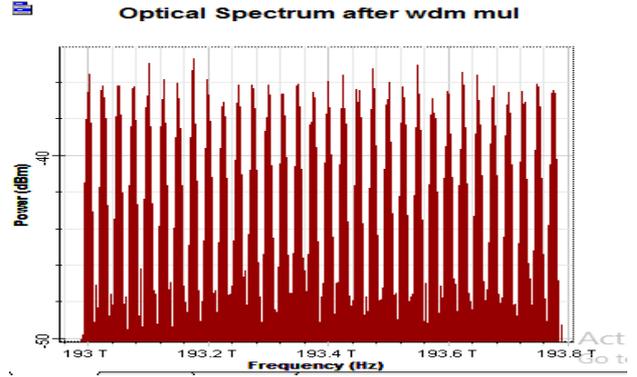
الشكل (26) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ هنا أيضاً عدم وجود تداخل بين القنوات حيث كانت النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (27).



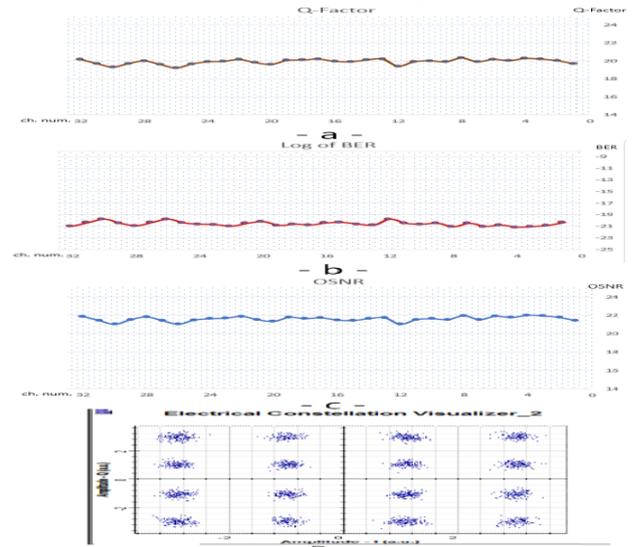
إلا أنه عملياً يتم الأخذ بعين الاعتبار الإنحناء لشكل الطيف الترددي للإشارة (Roll-off) مع إضافة هوامش جانبية لتجنب التداخل وبالتالي فإن معدل نقل القناة يكون عملياً أقل من تلك القيمة بكثير.

من أجل معدل نقل قناة 75Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي $(\text{BitRate/Channel Spacing} = 75/25) 3\text{b/s/Hz}$ تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (24).



الشكل (24) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

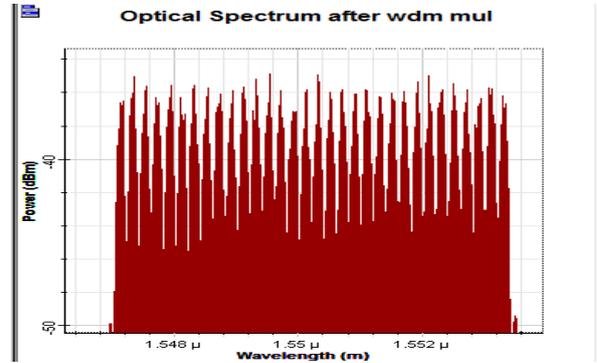
حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ عدم وجود تداخل بين القنوات حيث كانت النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (25) (عند الإرسال باستطاعة +5dBm).



الشكل (25) a: قيم Q-Factor، b: قيم BER، c: قيم OSNR، d: شكل كوكبة الإشارة عند معدل نقل قناة 75Gb/s

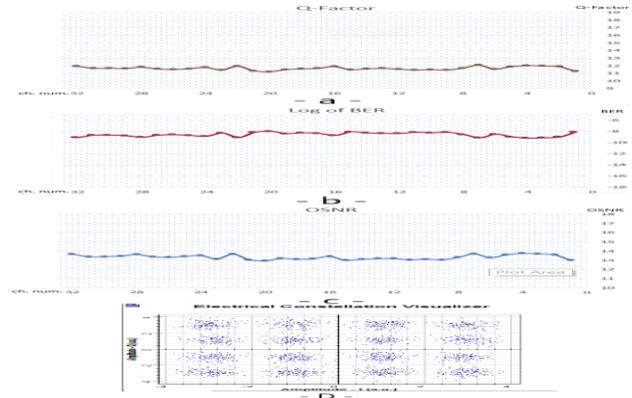
الشكل (27) قيم Q-Factor، b: قيم BER، c: قيم OSNR، D: شكل كوكبة الإشارة عند معدل نقل قناة 100Gb/s

حيث نلاحظ هنا أيضاً أن قيم Q-Factor مرتفعة (حوالي 20dB)، وقيم BER منخفضة (من مرتبة 10^{-20})، وقيم OSNR مرتفعة (حوالي 21dB)، مما يعني أن النظام حافظ على أداء عالي عند زيادة معدل النقل إلى 100Gb/s على نفس الطيف الترددي، كما يوضح شكل كوكبة الإشارة أنه من السهل استخلاص المعلومات من الإشارة المستقبلية. تم زيادة معدل نقل القناة إلى 125Gb/s والذي يعطي فعالية طيفية تساوي 5b/s/Hz، حيث تم الحصول على الشكل الطيفي الترددي الموضح بالشكل (28).



الشكل (28) طيف الإشارة ل 32 قناة DWDM

حيث يمتد طيف الإشارة من 193THz إلى 193.775THz، ونلاحظ هنا وجود تداخل بين القنوات عند استطاعة إرسال 45dBm حيث أن النتائج للقنوات المتعددة موضحة بالشكل (29).



حيث نلاحظ أن قيم Q-Factor انخفضت كثيراً مقارنة مع الحالة السابقة (حوالي 12dB)، وقيم BER ارتفعت (من مرتبة 10^{-8})، وقيم OSNR انخفضت أيضاً (حوالي 13.5dB)، مما يعني انخفاض واضح بأداء النظام عند محاولة زيادة معدل النقل إلى 125Gb/s على نفس الطيف الترددي، كما يوضح شكل كوكبة الإشارة أنه من الصعب استخلاص المعلومات من الإشارة المستقبلية. وبالتالي يمكن القول أنه تم الوصول إلى فعالية طيفية مساوية ل 4b/s/Hz مع الحفاظ على أداء نظام عالي من أجل أنظمة DP-16QAM DWDM.

9. تحليل النتائج والاستنتاجات:

حيث تم في النظام الأول (DWDM) الإرسال عبر 32 حامل فرعي سعة كل حامل 12.5Gb/s وبمعدل إجمالي (400Gb/s) وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz، والذي يعطي فعالية طيفية مقدارها (0.5b/s/Hz)، حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن النظام المدروس يقدم فعالية طيفية تصل ل 0.5b/s/Hz ومعدل نقل 12.5Gb/s دون أن يؤثر ذلك على أداء النظام، حيث أنه عند معدل نقل قناة 15Gb/s بدأ حصول تداخل بين القنوات المتجاورة مما أثر سلباً على أداء النظام المدروس.

كما تم في النظام الثاني (DP-16QAM DWDM) الإرسال عبر 32 حامل فرعي سعة كل حامل 100Gb/s وبمعدل إجمالي (3.2Tb/s) وبتباعد بين القنوات قدره 25GHz، والذي يعطي فعالية طيفية مقدارها (4b/s/Hz)، حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن النظام المدروس يقدم فعالية طيفية تصل ل 4b/s/Hz ومعدل نقل 100Gb/s دون أن يؤثر ذلك على أداء النظام، حيث أنه عند معدل نقل قناة 125Gb/s بدأ حصول تداخل بين القنوات المتجاورة مما أثر سلباً على أداء النظام المدروس.

* مقارنة بين العملين المقدمين والدراسات السابقة:

مرتبة 10^{-20} والذي يسمح بالاستقبال بالحد الأدنى من الأخطاء.

وبالتالي نستنتج أن استخدام تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائية الاستقطاب في أنظمة DWDM تقدم فعالية طيفية عالية جداً وتسمح بزيادة معدل النقل بنسب كبيرة على نفس المجال الترددي المستخدم، وبالتالي تحقيق أنظمة اتصالات بسعات عالية جداً.

المصطلحات العلمية:

DWDM Dense optical wavelength division multiplexing	تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة الكثيف
WDM optical wavelength division multiplexing	تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة
QAM Quadrature Amplitude Modulation	التعديل المطالي للتربيعي
spectral efficiency	الفعالية الطيفية
QPSK Quadrature phase shift Keying	التعديل بإزاحة الطور المتعامد
BER Bit Error Rate	معدل خطأ البت
OSNR Optical Signal to Noise Ratio	نسبة الإشارة إلى الضجيج الضوئية
Q-Factor	معامل الجودة
MDRZ (Modified Duobinary Return to Zero)	تعديل العودة إلى الصفر الثنائي
CSRZ (Carrier-Suppressed Return-to-Zero)	تعديل العودة إلى الصفر بتقنية النال المحجوب
SMF Single Mode Fiber	الليف وحيد النمط
MMF Multi Mode Fiber	الليف متعدد الأنماط
code-division multiplexing CDM	التجميع بتقسيم الرمز
VHF Very High Frequencies	الترددات العالية جداً
Reference wavelength	الطول الموجي المرجعي
Attenuation	التخامد
Dispersion	التشتت
Initial phase	الطور الأولي
Line-width	عرض الخط

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

إن أنظمة DWDM المعتمدة على تقنية التعديل الحديثة متعددة المستويات DP-16QAM تقدم معدلات نقل إجمالية تصل إلى 8 أضعاف معدلات النقل المحققة عبر أنظمة DWDM التقليدية (بسبب استخدام تقنية التعديل متعددة المستويات ثنائية الإقطاب DP-16QAM) وذلك على نفس عرض المجال الطيفي الترددي المستخدم، مع أخذ الهوامش الجانبية والإنحاء لشكل الطيف الترددي بعين الاعتبار.

وبالمقارنة مع الدراسات المرجعية السابقة الواردة في البحث، تبين أن نظام DWDM DP-16QAM قدم فعالية طيفية وسعة إرسال أعلى بكثير مقارنة بالدراسات السابقة (4b/s/Hz)، كما قدم أداء أفضل بالنسبة لقيمة المعامل Q-factor حوالي (20) والذي يحدد جودة النظام، ونسبة إشارة ضوئية إلى ضجيج مرتفعة حوالي (21dB)، وكان معدل الخطأ BER من مرتبة 10^{-20} والذي يسمح بالاستقبال بالحد الأدنى من الأخطاء.

الخاتمة:

قدم هذا البحث دراسة لنظامي تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة الضوئية الكثيف، التقليدي DWDM، والمعتمد على تقنية التعديل المطالي التربيعي ثنائي الاستقطاب من الدرجة 16 DWDM DP-16QAM.

حيث تبين أن أنظمة DWDM المعتمدة على تقنية التعديل الحديثة متعددة المستويات DP-16QAM تقدم معدلات نقل أعلى بكثير (تصل إلى 8 أضعاف معدلات النقل المحققة عبر أنظمة DWDM التقليدية) وذلك على نفس عرض المجال الطيفي الترددي المستخدم.

كما تبين أن نظام DWDM DP-16QAM قدم فعالية طيفية وسعة إرسال أعلى بكثير مقارنة بالدراسات السابقة (4b/s/Hz)، كما قدم أداء أفضل بالنسبة لقيمة المعامل Q-factor حوالي (20) والذي يحدد جودة النظام، ونسبة إشارة ضوئية إلى ضجيج مرتفعة حوالي (21dB)، وكان معدل الخطأ BER من

[10] Gopalan S, Hemanth C, Ranganth B, Saketh K (2022) “Nonlinear effects on WDM optical communication system” ResearchGate.

[11] K. Skorupski, S. Cieszczyk, P. Panas and P. Kisała (2020) “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.

[12] Fado E, (2021) Introduction to Optical fiber System, Optical Waveguide and Optical fiber types. faadoo engineers.

[13] Sharma N, Agrawal S, (2022) “review of advancements in DP-QPSK WDM systems” Optical and Quantum Electronics, Researchgate.

[14] Palermo S, (2022) “Mach-Zehnder Modulator Transmitters” Analog & Mixed-Signal Center, Texas A&M University

(References):

[1] Jiajun Zhou, Lin Gan, Chen Chen, Songnian Fu, Senior Member (2021) “8 × 10 Gb/s Downstream PAM-4 Transmission for Cost-Effective Coherent WDM-PON Application” JOURNAL OF LIGHT-WAVE TECHNOLOGY

[2] Dhadhal D, Mishra V, Thummar R (2022) “Implementation and analysis of 32 channel MDRZ DWDM system at narrow channel spacing” J. Phys. Commun.

[3] Mishra V, Dhadhal D, Thummar R (2023) “Implementation and analysis of 32 channel CSRZ DWDM system at narrow channel spacing” Alliance University

[4] Mohsen D, Abbas E, Abdulwahid M (2022) “Implementation and analysis of 32 channel MDRZ DWDM system at narrow channel spacing” ResearchGate.

[5] everything RF Ed Team (2022) “16-QAM Modulation” Everything RF

[6] Lee H, Choo J, Kim J, (2020) “Multiplexed Passive Optical Fiber Sensor Networks” MPDI Journal.

[7] Venghaus, H. and Grote, N. eds., (2017). Fibre optic communication: key devices (Vol. 161). Springer

[8] 29. Antoniadis, N.N., Ellinas, G. and Roudas, I. eds., (2011). WDM Systems and Networks: Modeling, Simulation, Design and Engineering. Springer Science & Business Media.

[9] Sharan L, Shanbhag A, Chaubey V.K; (2016) “Design and simulation of modified duobinary modulated 40 Gbps 32 channel DWDM optical link for improved non-linear performance “ Cogent Engineering