

تصميم ومحاكاة نظام اتصالات ضوئية عالي السرعة باستخدام تقنية OFDM

محمد نصر *

ريم اسعد **

(تاريخ الإيداع ٥ / ٢ / ٢٠٢٠ . قبل للنشر ١٠ / ٦ / ٢٠٢٠)

الملخص

يزداد تطور تكنولوجيا الاتصالات سرعة يوماً بعد يوم مع تزايد الطلب على عرض النطاق الترددي لتلبية حاجة المستخدمين وتلعب الشبكات الضوئية دوراً أساسياً في تلبية هذه المطالب كونها تحقق نقل البيانات بمعدلات عالية. تعتبر تقنية التعديل باستخدام التقسيم الترددي المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiplexing أكثر تقنيات التعديل فعالية كونها تؤمن كفاءة طيفية عالية وقدرة على التغلب على المعوقات التي تتعرض لها الإشارة الضوئية.

يقدم هذا البحث تعريفاً بتقنية OFDM ودراسة تحليلية لأداء نظام اتصالات ضوئية يعتمد على الكشف المباشر باستخدام OFDM واختبار أداء هذا النظام اعتماداً على صيغ التعديل (4QAM,QPSK) على مسافات مختلفة حيث تمت المحاكاة باستخدام المحاكى الضوئي optisystem وعرض النتائج من خلال منحنيات توضيحية.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة الضوئية، تقنية التقسيم الترددي المتعامد، الكشف المباشر، معدل خطأ البت، الألياف الضوئية أحادية النمط، تحويل فورييه العكسي.

** مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا
* مهندسة في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا.

Designing and Simulation of High Speed Optical Fiber Communication System with OFDM

Mohammad Nassr *

Reem Asaad **

(Received 5 / 2 / 2020 . Accepted 10 / 6 / 2020)

ABSTRACT

Telecommunication technology continues to evolve because of the growing demand for bandwidth to meet users' needs . Optical networks play an essential role in meeting these demands because it provides high data rates.

The modulation technique using orthogonal frequency division (OFDM) is the most effective modulation technique as it provides a high spectral efficiency and ability to overcome the effects of the light signal.

This research introduces an definition of OFDM technology and an analytical study of the performance of an optical communication system based on direct detection using OFDM and testing the performance of this system based on multi-level modulation formats (4QAM, QPSK) at different distances. We used the Optical simulator Optisystem, and display the results through illustrative curves.

Key Words Optical systems, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Direct Detection, BER, Single Mode Fiber, Inverse Fast Fourier Transform.

*Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria .

** Engineer in the Department of Communications Technology Engineering _ Faculty of Information and Communication Technology _ University of Tartous _ Tartous _ Syria.

مقدمة

تُعد تقنية التقسيم الترددي بالتعامد شكلاً مطوراً من أشكال التعديل بالتقسيم الترددي حيث يجري تحويل سلسلة معطيات الدخل إلى عدة سلاسل جزئية على التوازي بآن واحد وسرعات إرسال منخفضة، على حوامل ترددية جزئية متراكبة فوق بعضها في المجال الترددي بطريقة تضمن عدم حدوث تداخل فيما بينها، وذلك بعد أن يجري تعديلها باستخدام أحد طرق التعديل الرقمية .

إن المبدأ الأساسي في تقنية التقسيم الترددي بالتعامد هو تجزئة عرض حزمة الإرسال إلى العديد من القنوات الترددية الجزئية المتعامدة فيما بينها والضيقة بما يكفي نظرياً بحيث تواجه خفوتاً مستوياً.

تستخدم تقنية OFDM في نظم الاتصالات الرقمية عريضة النطاق في العديد من التطبيقات مثل البث التلفزيوني والبث الصوتي ، والوصول إلى الإنترنت DSL ، والشبكات اللاسلكية ، اتصالات الجيل الرابع . هناك ميزتان أساسيتان لتقنية OFDM هما متانتها ضد تشتت القناة وسهولة تقدير الطور في بيئة متغيرة مع الزمن . ومع ذلك، فإن OFDM لها عدة عيوب مثل ارتفاع نسبة الذروة إلى متوسط الطاقة $peak\ to\ average\ power\ ratio$ والحساسية لضجيج التردد والطور. [1]

هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة نظم الاتصالات الضوئية عالية السرعة اعتماداً على تقنية OFDM باستخدام الكشف المباشر وذلك من خلال إجراء نمذجة ومحاكاة للتقنية المذكورة باستخدام صيغ تعديل مختلفة (4QAM,QPSK) على مسافات مختلفة بمعدل إرسال بيانات 10Gbit/s وتحليل النتائج المستنبطة من هذه الدراسة.

مواد وطرق البحث:

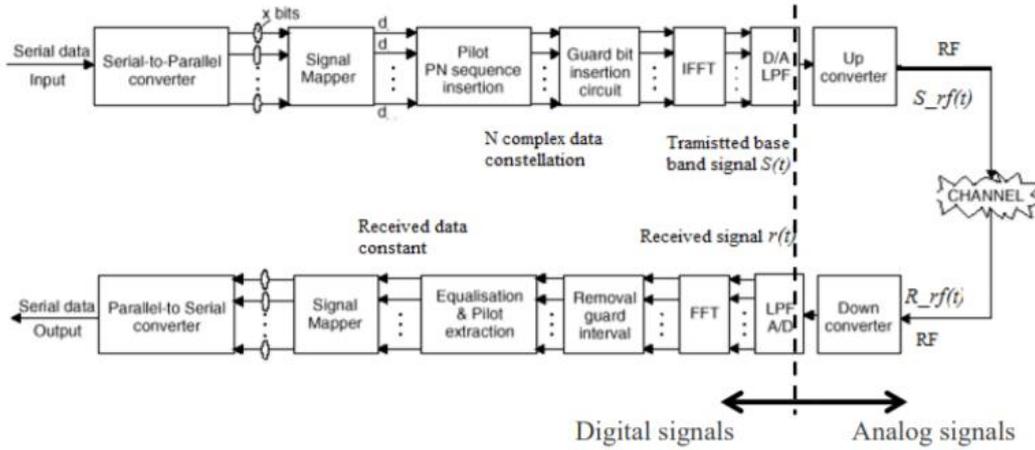
اعتمد هذا البحث في تنفيذه على العديد من المراجع والدراسات الحديثة [1][2][3][4][5] ، كما اعتمدنا في المحاكاة على برنامج optisystem وهو برنامج متخصص بمحاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية وذو موثوقية عالية ومعتمد لدى كبرى شركات الاتصالات في العالم .

يبدأ هذا البحث بإجراء دراسة مرجعية عن تقنية OFDM و مبادئ نظام الاتصال باستخدام التصميم بالتقسيم الترددي المتعامد وشرح لمراحل تشكيل إشارة OFDM في المرسل وعمليات فك تعديل الإشارة المستقبلية في الحزمة القاعدية، ثم تمت نمذجة ومحاكاة نظام يقوم بتوليد وترميز إشارة OFDM باستخدام (4QAM,QPSK) كطريقة تعديل متعددة المستويات وتحليل سلوك الإشارة في النظام الموافق لصيغة التعديل ذات الأداء الأفضل.

1- نموذج نظام OFDM:

هناك العديد من الطرق لبناء نظام إرسال باستخدام تقنية OFDM، وإنما العلة في اختلاف الطرق. يتألف نظام OFDM بشكل أساسي من الأجزاء الرئيسية التالية: تحويل المعطيات التسلسلية إلى تفرعية وبالعكس، التعديل وفك التعديل، تحويل من المجال الزمني إلى المجال الترددي وبالعكس. تم فيما يلي عرض البنية النظرية لكل من مرسل ومستقبل OFDM.

يوضح الشكل (1) مخططاً صندوقياً لنظام OFDM لكل من مرحلتي الإرسال والاستقبال.



الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام OFDM [6].

1-1- مرسل OFDM

يمكن تجزئة عملية الإرسال في نظام OFDM إلى سبع مراحل رئيسية، حيث يتم أولاً تحويل سلسلة معطيات الدخل التسلسلية إلى عدة سلاسل تفرعية جزئية. Serial to Parallel Conversion. ويجري فيها تقسيم سلسلة معطيات الدخل الثنائية إلى عدة كلمات (رموز) ويعتمد طول الكلمة على نوع التعديل المرغوب استخدامه وهناك العديد من نماذج التعديل التقليدية التي يمكن استخدامها في نظام ترسل OFDM استخدمنا في الدراسة تعديلي (4QAM, QPSK)، ثم يتم تعديل معطيات الدخل Mapper Signal وفيها يتم تحويل سلسلة رموز المعطيات التسلسلية إلى عدد من المجموعات التفرعية، ويتم تحديد عدد رموز المعطيات في كل سلسلة تفرعية تبعاً لعدد الحوامل الترددية الجزئية التي ستستخدم لإرسال المعطيات فإذا كان لدينا N حامل ترددي جزئي لإرسال المعطيات فسيكون لدينا N مجموعة جزئية من رموز المعطيات العقدية. يليها مرحلة إدراج حوامل الإرشاد Pilot Insertion لكي يتمكن المستقبل من تصحيح أخطاء المزامنة في التردد أو في الزمن والتي يمكن أن تحدث نتيجة وجود إزاحات بين المستقبل والمرسل، تخفض حوامل الإرشاد من الفعالية الطيفية للنظام لأنها تخفض من عرض المجال الترددي المتاح للمعطيات. يتم بعد ذلك تطبيق تحويل فورييه العكسي IFFT لنقل الرموز التي جرى تشكيلها في المجال الترددي إلى المجال الزمني، وتوليد مجموعة من القنوات الجزئية المتعامدة فيما بينها، ويسمح تطبيق فورييه المتقطع العكسي بإلغاء التعقيدات العنادية اللازمة لإنجاز هذه المرحلة، ويمكن كتابة التمثيل الرياضي لإشارة ال OFDM في الحزمة القاعدية بالشكل التالي [6]:

$$S_{baseband}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kt/T} \quad (1)$$

حيث X_k هي رموز المعطيات المعدلة، N هي عدد الحوامل الترددية الجزئية، T هي طول رمز ال OFDM. بعد ذلك يتم إدراج فاصل الحماية Guard Insertion في بداية كل رمز بهدف إنقاص تأثير التداخل بين رموز ISI Inter Symbols Interference الناتج عن تشوهات المسارات المتعددة في قناة الإرسال، لذلك يجب أن يكون طول فاصل الحماية أكبر من الاستجابة النبضية المتوقعة لقناة الإرسال وبعدها يتم تحويل رموز OFDM التفرعية إلى سلسلة رموز تسلسلية Parallel to Serial Conversion مستمرة في المجال الزمني تمثل

إشارة OFDM في الحزمة القاعدية ، وأخيراً يتم رفع إشارة OFDM إلى حزمة التمرير المرغوب الإرسال ضمنها من خلال ضرب إشارة الحزمة القاعدية بإشارة راديوية تهتز عند التردد المركزي لحزمة التمرير المطلوبة. [6]

٢-١- مستقبل OFDM

يقوم المستقبل بشكل أساسي بإجراءات معاكسة لما جرى في مرحلة الإرسال، ويوضح الشكل (١) المراحل الأساسية لمستقبل OFDM. يمكن تجزئة عملية الاستقبال في نظام ترانس OFDM في الحزمة القاعدية إلى ست مراحل رئيسية وهي: تحويل الرموز المستقبلية التسلسلية إلى عدة سلاسل تفرعية جزئية ويجري في هذه المرحلة تقطيع الإشارة المستقبلية بواسطة مبدل تماثلي رقمي بمعدل عينة لكل حامل جزئي ويجري بعدها تجميع هذه العينات لكامل رمز الـ OFDM بغية البدء بإجراءات معاكسة لإجراءات الإرسال حيث يجري استخلاص رموز المعطيات من الحوامل الجزئية ومن ثم توليد القيم الثنائية المرتبطة بقيم هذه الرموز، وبعدها يتم تطبيق تحويل فورييه السريع FFT تسمح هذه المرحلة باستعادة الطيف الأساسي للإشارة المرسل من خلال إعادة القيم الحقيقية المستقبلية والممثلة لرموز الـ OFDM من المجال الزمني إلى المجال الترددي وتعتبر هذه المرحلة هامة جداً في عملية الاستقبال لأنها تسمح باستعادة كامل الحوامل الجزئية المضممة دون الحاجة إلى المهتزات والمرشحات المتعددة ، ويتم استعادة مطال وطور القيم العقدية المحملة على الحوامل الجزئية. بفرض أنه يمكن توصيفه الاستجابة الزمنية المنقطعة للقناة متعددة المسارات بالعلاقة [6]:

$$h(k) = \sum_{p=0}^{k-1} h_p \delta(k - \beta) \quad (2)$$

تمثل تابع $\delta(k)$ نبضة ديراك وتمثل h_p مجموعة الريح العقدي للمسارات المختلفة، وتمثل β مجموعة أزمان تأخير المسارات، وتمثل k العدد الكلي لمسارات الانتشار.

بفرض وجود تزامن مثالي بين المرسل والمستقبل، يمكن التعبير عن عينات الإشارة التي جرى استقبالها بالعلاقة:

$$r(k) = \exp\left(j \frac{2\pi nk}{N}\right) \sum_{p=0}^{k-1} h_p s(k - \beta) \quad (3)$$

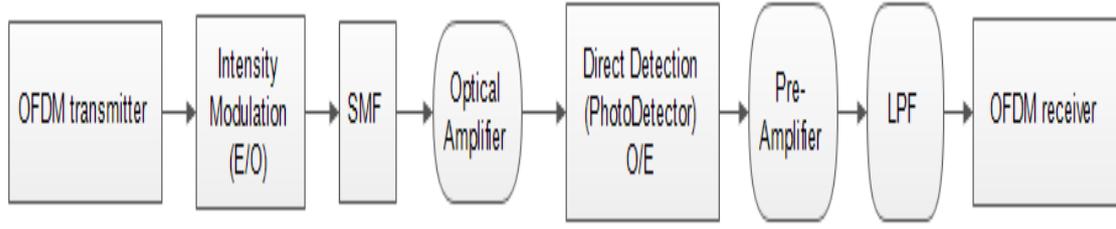
حيث n دليل الحامل أو دليل مصفوفة نقاط الـ FFT التي تعبر عنها بالعلاقة:

$$Y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} r(k) \exp(-j2\pi \frac{nk}{N}) \quad (4)$$

بعد ذلك يتم إزالة فاصل الحماية عن رموز الـ OFDM المستقبلية وذلك بإهمال عينات من بداية كل رمز OFDM تفرعي جرى استقباله، وبعدها تأتي مرحلة التسوية واستبعاد حوامل الإرشاد للتغلب على أثر القناة، وثم مرحلة فك تعديل رموز المعطيات المستقبلية ويجري في هذه المرحلة استعادة المعلومات الثنائية التي جرى إرسالها وتجري عملية الاستعادة اعتماداً على طور أو مطال الرموز المستقبلية. وأخيراً تأتي مرحلة التحويل من تفرعي إلى تسلسلي ويتم فيها تحويل المعطيات الثنائية إلى سلسلة معطيات ثنائية تسلسلية وبفرض أن المستقبل مثالي ستكون هذه السلسلة من المعطيات الثنائية مطابقة لسلسلة معطيات الدخل الثنائية التي جرى إرسالها. [6]

٢- نموذج نظام OFDM ذو الكشف المباشر DD-OFDM:

يبين الشكل (٢) المخطط الصندوقي لنظام DD-OFDM والذي يحوي على مرسل OFDM- والليف الضوئي ومستقبل DD-OFDM Direct Detection.



الشكل (٢) المخطط الصندوقي لنظام DD-OFDM .

يولد مرسل OFDM إشارة كهربائية يتم تحويلها إلى إشارة ضوئية باستخدام محول كهربائي إلى ضوئي اعتماداً على تعديل الكثافة. وبعدها يتم نقل الإشارة الضوئية الناتجة عبر الليف حيث يستخدم مضخم ضوئي لتعويض الخسارة التي تعرضت لها الإشارة أثناء انتقالها . عند المستقبل، يتم تحويل الإشارة القادمة من المجال الضوئي إلى الكهربائي باستخدام كاشف ضوئي. [7]

تعطى الإشارة الكهربائية المستقبلية بالعلاقة [7]:

$$A_e(t) = |A_0(t)|^2 \square h_e(t) + w(t) \quad (5)$$

حيث:

$A_e(t)$: إشارة OFDM الكهربائية في المستقبل، $A_0(t)$: إشارة الضوئية، $h_e(t)$: الاستجابة النبضية في المجال الكهربائي، $w(t)$: ضجيج النظام. بعد التحويل، يتم تضخيم الإشارة الضوئية ثانياً وتمريضها على مرشح تمرير LPF منخفض وتُرسل إلى مستقبل OFDM للحصول على الإشارة الآلية.

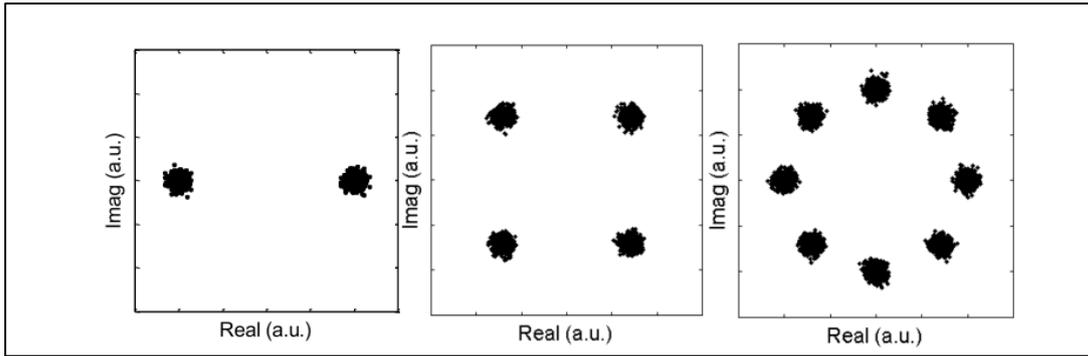
٣- تعديل البيانات في أنظمة الاتصالات الضوئية المتماسكة

يتم ضمن نظم الاتصالات الحديثة تخزين المعلومات وإرسالها كبيانات رقمية ممثلة برموز مختارة من أبجدية محدودة. أما البيانات الرقمية فتعدل عن طريق ربط كل قيمة بإشارة مرجعية معينة.

٣-١- تعديل إزاحة الطور PSK

يتم ضمن تعديل إزاحة الطور Phase shift keying تخزين المعلومات ضمن طور الإشارة المرسل، ومن أهم المزايا التي يقدمها هذا النمط هي السماحية العالية للضجيج عند المستقبل وسماحية أكبر للتشتت مقارنةً مع On-off keying OOK ولكن هذه السماحية تقل مع زيادة مستوى التعديل [5][9].

في حالة تعديل الحامل باستخدام أكثر من بت من إشارة الدخل نحصل على تعديل إزاحة الطور متعدد المستويات M-PSK حيث إن M تمثل عدد المستويات $M=2^m$. تمثل m عدد البتات المستخدمة لترميز كل عينة من إشارة الدخل.



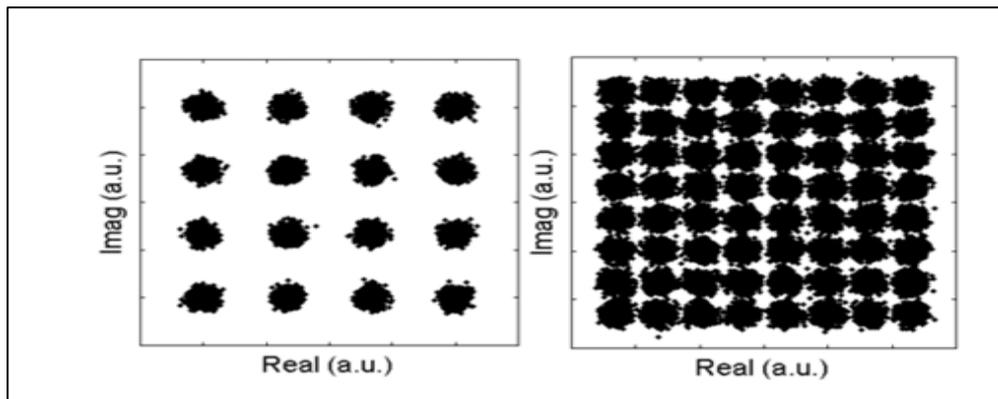
الشكل (3): مخطط المجموعة من أجل BPSK (يمين)، QPSK (وسط)، 8PSK (يسار) [9].

3-2 - تعديل السعة التعامدي QAM

يتميز تعديل السعة التعامدي Quadrature Amplitude Modulation بإمكانية أن تأخذ السعة أكثر من قيمة، وكذلك بالنسبة للطور مما يسمح بالحصول على أكبر عدد من المستويات أو القيم المتاحة. [9] باعتبار إن عدد قيم السعة المتاحة KA وعدد قيم الطور المتاحة KP، فإن عدد المستويات المتاحة:

$$M = KA \times KP$$

وهذا يتطلب عدد بتات: $N = \text{Log}_2 M = \text{Log}_2 (KA \times KP)$

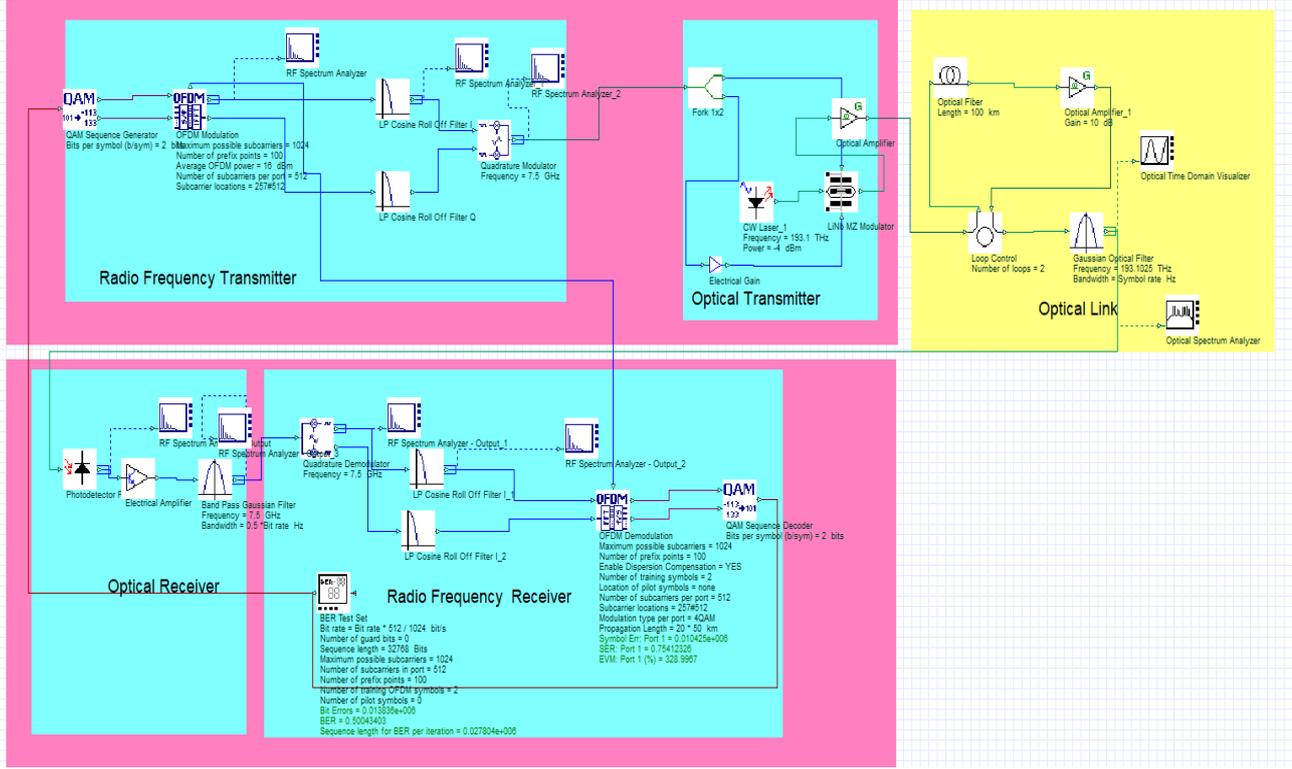


الشكل (4): مخطط المجموعة من أجل 64QAM (يمين)، 16QAM (يسار) [5].

النتائج والمناقشة

1- نموذج المحاكاة

يبين الشكل (5) المخطط العام للنموذج المقترح والذي يمثل نظام اتصالات ضوئي يعتمد على الكشف المباشر بمعدل 10 Gbit/s باستخدام صيغ تعديل متعددة المستويات مختلفة (4QAM, QPSK) وبالاعتماد على تقنية .OFDM

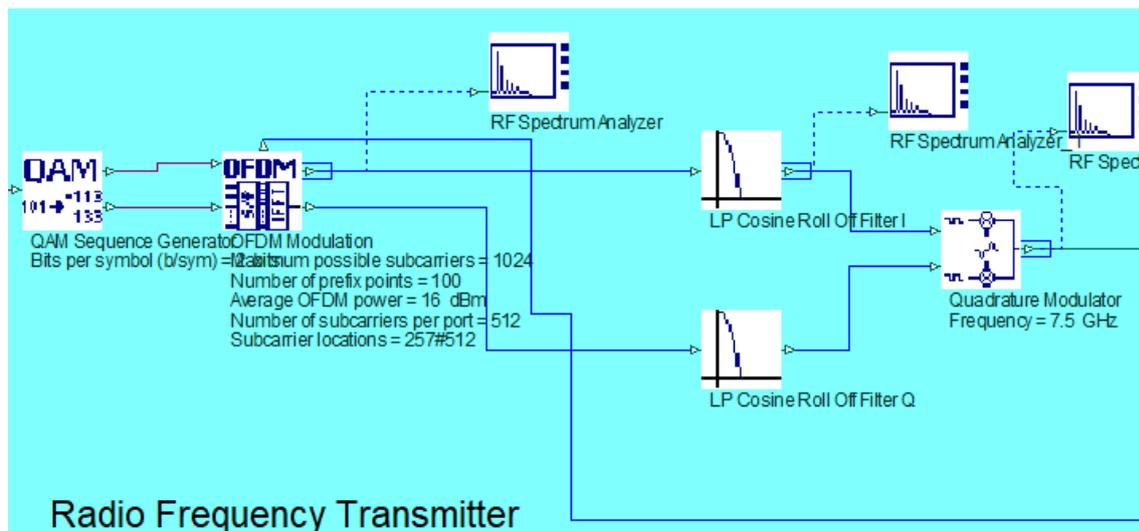


الشكل (٥): المخطط العام للنموذج المدروس.

تم استخدام برنامج Optisystem لوصف نموذج نظام OFDM وهو برنامج تصميم شامل يمكن المستخدمين من تخطيط واختبار ومحاكاة الوصلات والنظم الضوئية. وتقدم مجموعة كبيرة من المكونات الضوئية واللاسلكية من أجل تخطيط وتنفيذ الشبكات الضوئية كاملة. يتكون النظام من خمس مكونات رئيسية تتمثل بمرسل التردد اللاسلكي، المرسل الضوئي، الوصلة الضوئية، المستقبل الضوئي، مستقبل التردد اللاسلكي.

1-1- مرسل التردد الراديوي

يتكون مرسل الترددات اللاسلكية من عدة مكونات ، ويوضح الشكل (٥) جميع مكونات نظام إرسال الترددات اللاسلكية. ويبدأ بتوليد سلسلة بتات بخصائص عشوائية. في هذه المحاكاة ، يكون طول التسلسل ٦٥٥٣٦ بت، ثم تدخل الإشارة إلى مولد QAM-4 (2 بت لتمثيل كل رمز)، وبعدها تمر ضمن معدل OFDM مع ١٠٢٤ حامل فرعي و ٥١٢ نقطة FFT وتمر الإشارة ضمن مرشحات تمرير منخفضة لتدخل إلى معدل تربيعي يستخدم لتحويل الإشارة عند الترددات اللاسلكية العالية.



الشكل (٦): مرسل التردد الراديوي Radio Frequency

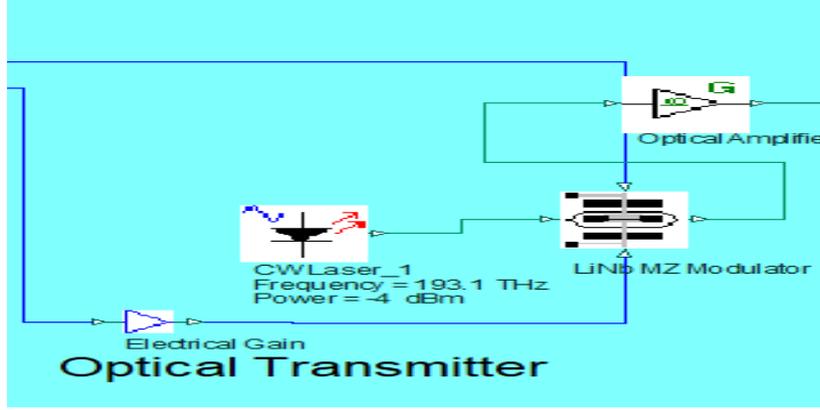
يبين الجدول (١) البارامترات العامة للمرسل الراديوي

الجدول (١): البارامترات العامة للمرسل الراديوي

المحدد	القيمة
معدل البيانات	10 Gbit/s
حجم النافذه	$1,6384 \times 10^{-4} \text{ s}$
معدل التقطيع	40 Ghz
طول السلسلة	65036 bit
عدد البتات بالرمز	٤
عدد العينات	262144

1-1- المرسل الضوئي

يجول المرسل الضوئي الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضوئية ، ويسمى بمحول RF to optical up-converter (RTO) . يتكون المرسل الضوئي من مصدر ضوئي ومولد نبضات كهربائي ووحدة تعديل ضوئية كما هو مبين في الشكل (٧).



الشكل (٧): المرسل الضوئي

يشع المصدر الضوئي ضوء بعرض خط ٠,١٥ ميغا هرتز عند طول موجة ١٥٥٢ نانومتر (193.1 THz) المستخدمة في هذه المحاكاة ، وتم تعديل الإشارة باستخدام معدل LiNbO3 MZM ، بعد ذلك تم استخدام مكبر ضوئي مع ربح 13dB من أجل الحفاظ على قوة الإشارة.

يبين الجدول (2) بارامترات الليزر CW المستخدم في المحاكاة .

الجدول (٢): بارامترات الليزر CW.

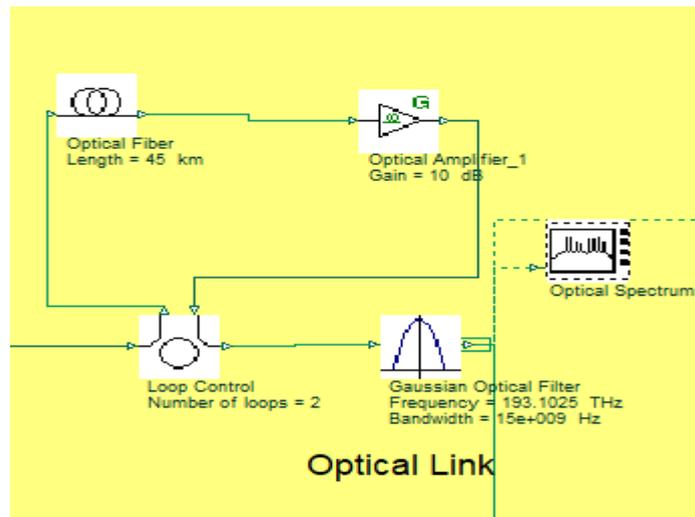
البارامتر	القيمة
طول الموجة	1550 nm
التردد	193.1 THz
عرض الخط	0.1 MHz

1-2- قناة الاتصال الضوئية

يتم إرسال الإشارة في قناة الألياف الضوئية وهي عبارة عن ليف أحادي النمط SMF، بطول متغير. يوضح الجدول (٣) بارامترات المحاكاة لقناة الألياف الضوئية . تم استخدام المكبر الضوئي لتضخيم الإشارات الضعيفة والإشارة الضوئية مع حلقة تكرار بمعدل دورتين.

الجدول (٣): بارامترات الليف الضوئي.

المحدد	القيمة
الطول	متغير
ثابت تخامد α	0.2 dB/km
معامل التشتت D	16.75 ps/(nm.km)
انحدار تشتت S	0.075 ps/(km.nm ²)
معامل لا خطي	2.6×10^{-20}



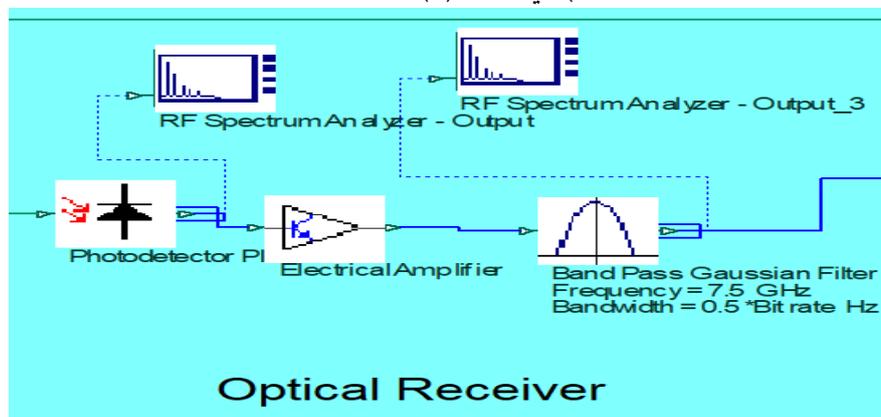
الشكل (٨): وصلة الإرسال الضوئية

3-1-1 - مستقبل OFDM

يتكون نموذج المستقبل لنظام OFDM من جزأين: المستقبل الضوئي ومستقبل الترددات اللاسلكية.

1-3-1 - المستقبل الضوئي

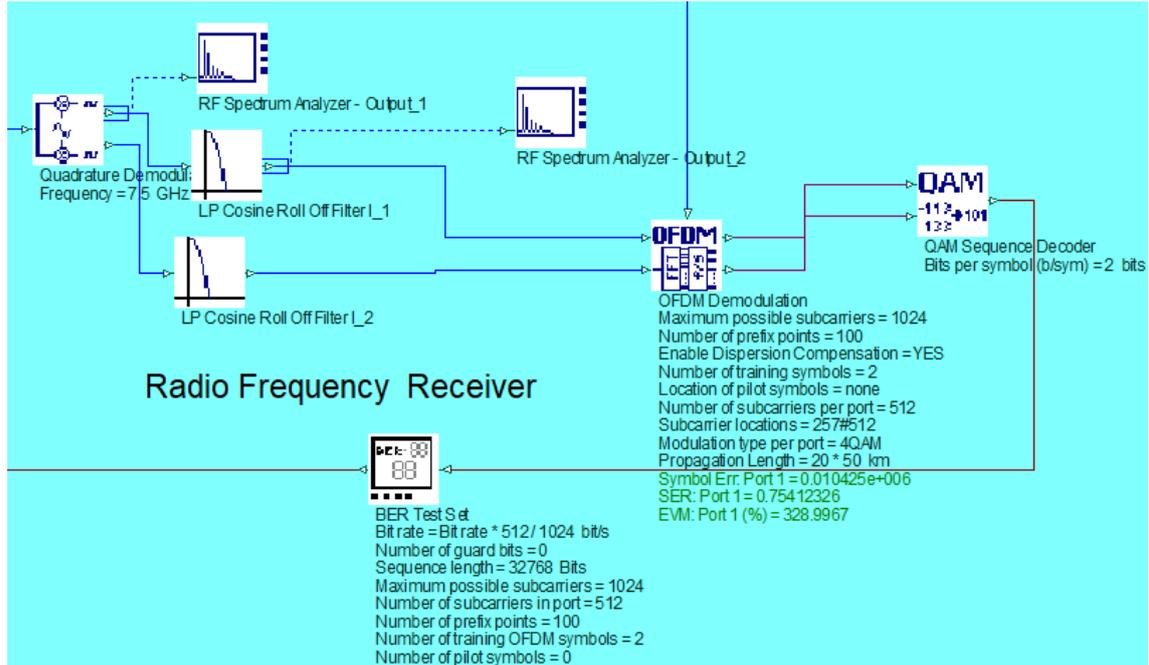
يقوم الكاشف الضوئي Positive Intrinsic Negative PIN بالكشف عن الإشارة الضوئية المرسله من الليزر إلى المستقبل ، مع استجابة 1 A/W ، وضجيج حراري 1×10^{-22} W/Hz ، تيار الظلام 10 nA ، وتردد مركزي 193.1 THz . بعد ذلك يتم ترشيح الإشارة بواسطة مرشح تمرير حزمة يستخدم للحد من الضجيج المضاف من الألياف ، وهذا المرشح له تردد إشارة RF وعرض حزمة مساوي لنصف معدل البت. يظهر المستقبل الضوئي (optical to RF down-converter OTR) في الشكل (9).



الشكل (٩): Optical to RF Receiver

3-1-2 - مستقبل الترددات اللاسلكية RF

بعد تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية وإزالة كل الضجيج ، تم فك تعديل الإشارة باستخدام فاك تعديل OFDM لاستخراج الرموز ثم فك ترميزها باستخدام مفكك ترميز 4QAM للحصول على البتات الأصلية ، والتي ترسل بدورها إلى مجموعة اختبار BER للكشف عن الأخطاء. يوضح الشكل (١٠) مستقبل الترددات اللاسلكية RF

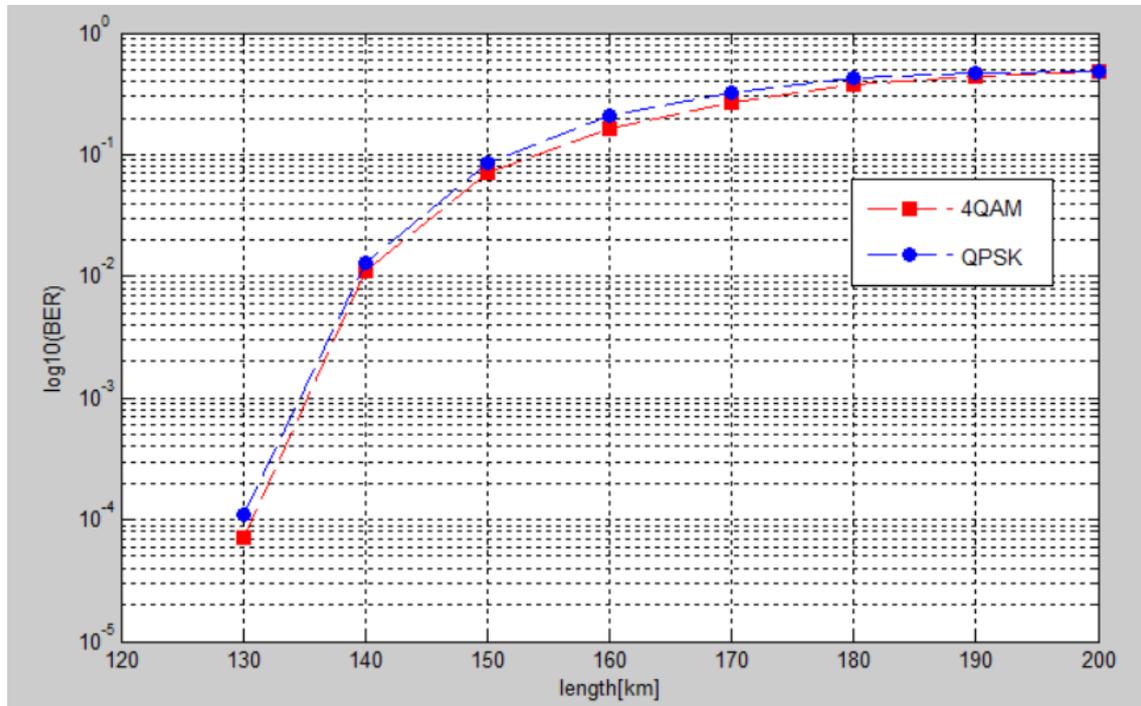


الشكل (١٠): مستقبل الترددات اللاسلكية RF

2- اختبار صيغ تعديل مناسبة لأداء نظام ضوئي يعتمد على الكشف المباشر ويستخدم تقنية OFDM

تم اختبار أداء النظام بمعدل إرسال بيانات 10Gbit/s باستخدام صيغ التعديل مختلفة (4QAM, QPSK)

تستخدم من أجل تعديل الإشارة الضوئية المرسله على مسافات مختلفة.



الشكل (١١): معدل خطأ البت من أجل صيغ التعديل متعددة المستويات المختلفة.

تظهر النتائج تزايد في معدل خطأ البت مع ازدياد مسافة الإرسال نتيجة لتزايد المعوقات الخطية أثناء انتشار الإشارة ضمن الليف الضوئي. كما تظهر النتائج إن صيغة التعديل 4QAM تحقق أداء أفضل للنظام مقارنة مع .QPSK

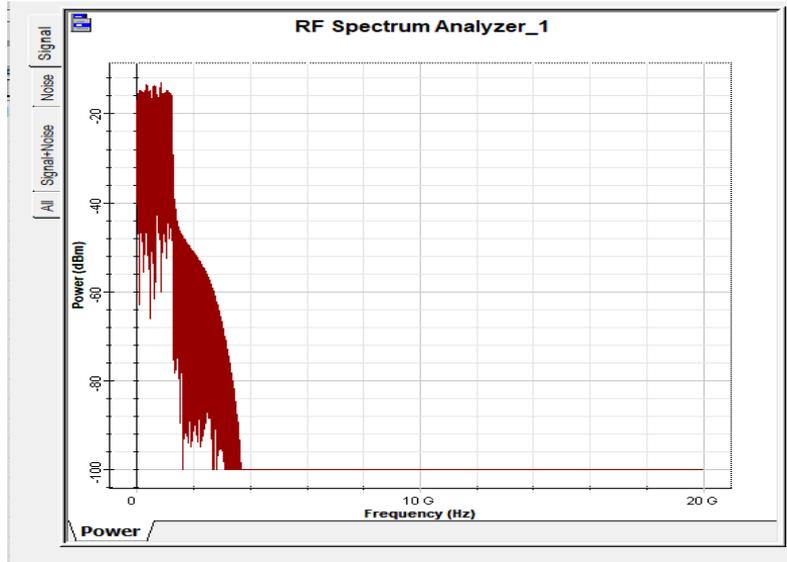
الجدول (٣): معدل خطأ البت مع المسافة في نظام OFDM

معدل خطأ البت 4QAM_BER	معدل خطأ البت QPSK_BER	طول الليف
0	0	٨٠
0	0	90
0	0	١٠٠
0	0	110
0	0	١٢٠
72.33796e-006	0.0001085	١٣٠
0.01110388	0.012912	١٤٠
0.071397569	0.0844546	١٥٠
0.166016	0.20815	١٦٠
0.26949508	0.326497	١٧٠
0.3742405	0.42093	١٨٠
0.4460359	0.4697627	١٩٠
0.479311	0.4895109	٢٠٠

٢- تحليل أداء نظام ضوئي يعتمد على الكشف المباشر بمعدل 10 Gbit/s يستخدم صيغة التعديل

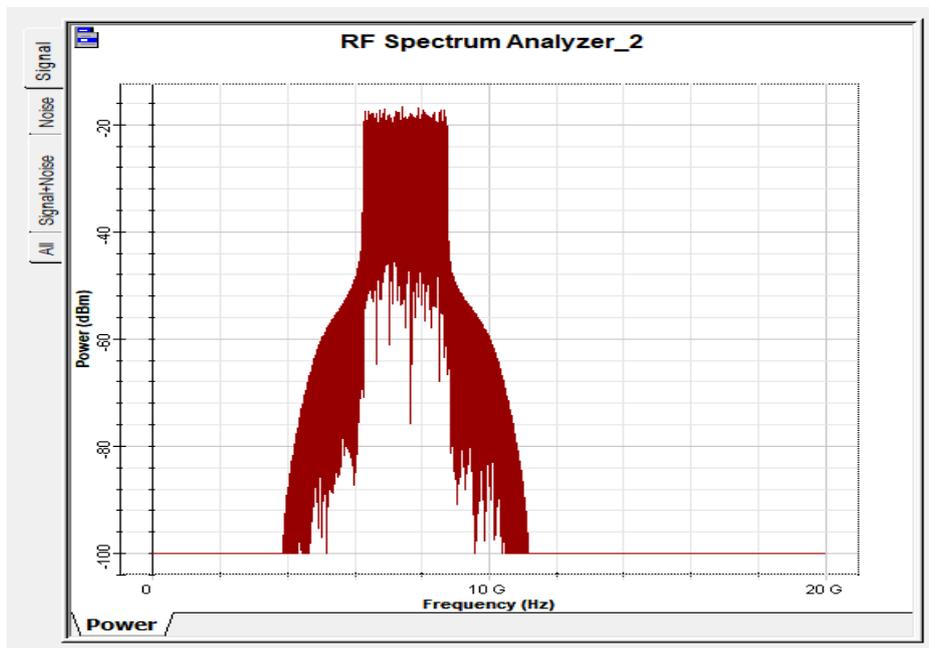
4QAM على مسافة ١٣٠ كم

يوضح الشكل (١٢) إشارة OFDM التي تم ترشيحها بواسطة مرشح LP



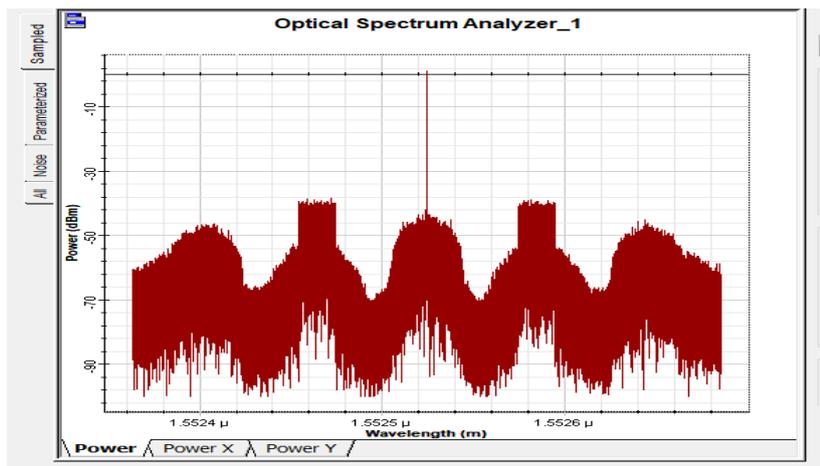
الشكل (١٢): إشارة OFDM التي تم ترشيحها بواسطة مرشح LP

يوضح الشكل (١٣) إشارة OFDM المعدلة بعد المعدل التربيعي في مجال التردد. قوة إشارة OFDM المعدلة تساوي -20dB وعرض النطاق الترددي 12 GHz.



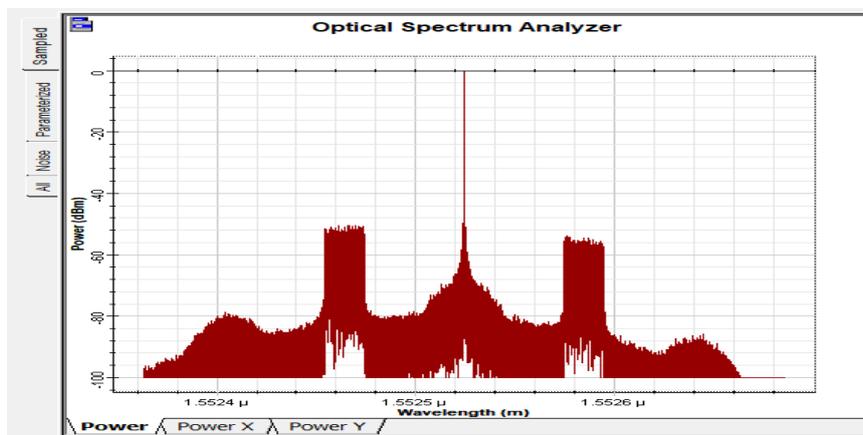
الشكل (١٣): إشارة OFDM في مجال التردد

يوضح الشكل (١٤) تحويل إشارة RF OFDM إلى إشارة ضوئية في نافذة تبلغ 1550nm باستخدام المعدل الخارجي MZM مع طاقة مناسبة واردة من الليزر .



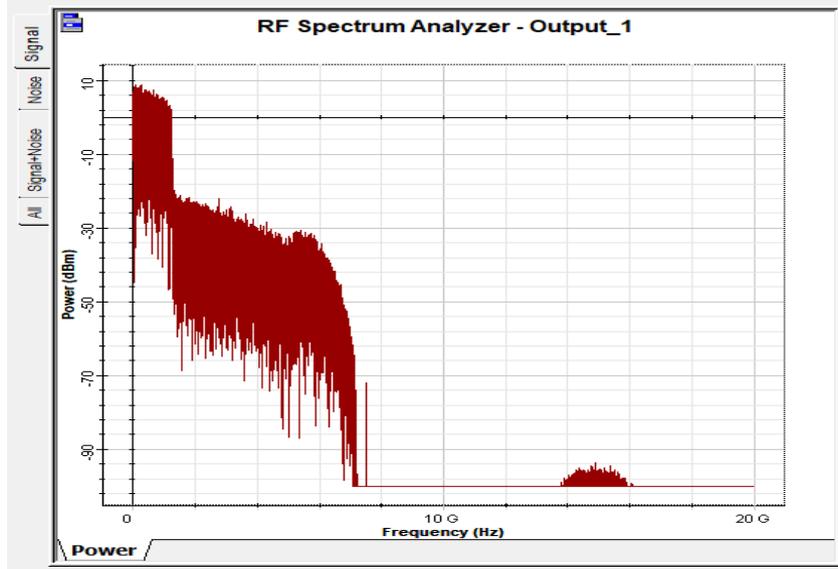
الشكل (١٤): الإشارة الضوئية المعدلة في مجال التردد

بعد ذلك ، سيتم نشر الإشارة من خلال الألياف الضوئية ليتم استقبالها بعد حلقتين بطول ٨٠ كم من الألياف. يوضح الشكل (١٥) إشارة OFDM المعدلة بعد انتشارها في الوصلة الضوئية.



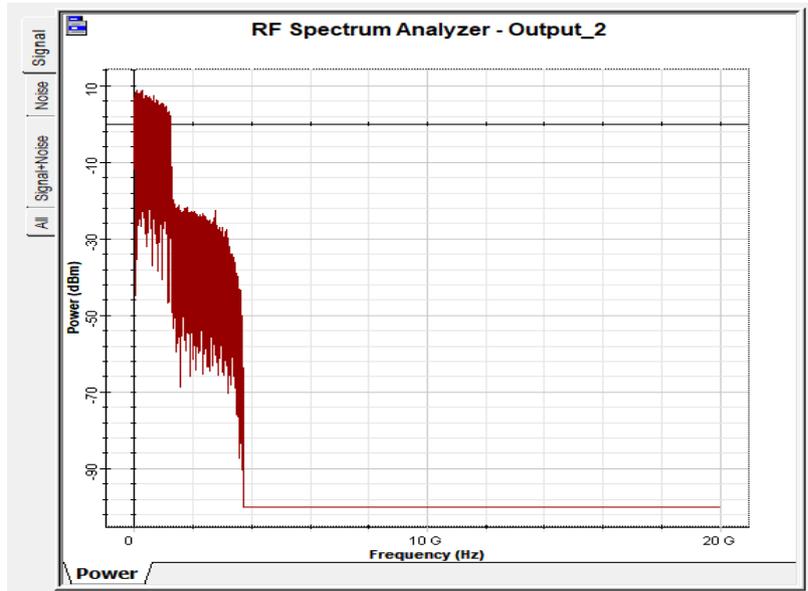
الشكل (١٥): إشارة OFDM بعد الوصلة الضوئية.

يوضح الشكل (١٦) طيف التردد الراديوي في جانب المستقبل بعد مفكك التعديل التربيعي



الشكل (١٦): الطيف الترددي بعد فك تعديل التربيع

يوضح الشكل (١٧) طيف الإشارة بعد ترشيحها بواسطة مرشح LP



الشكل (١٧): طيف الإشارة بعد ترشيحها بواسطة مرشح LP

الاستنتاجات والتوصيات

• قمنا في هذه الدراسة باختبار أداء النظام بمعدل إرسال بيانات 10Gbit/s باستخدام صيغ التعديل مختلفة (4QAM, QPSK) على مسافات مختلفة وتظهر النتائج إن صيغة التعديل 4QAM تحقق أداء أفضل مقارنة مع صيغة التعديل QPSK ، كما تظهر النتائج تزايد في معدل خطأ البت مع ازدياد مسافة الإرسال نتيجة لتزايد المعوقات الخطية أثناء انتشار الإشارة ضمن الليف الضوئي، كما قمنا بتحليل أداء نظام ضوئي يعتمد على الكشف المباشر بمعدل 10Gbit/s يستخدم صيغة التعديل 4QAM على مسافة ١٣٠ كم ومراقبة التغير الحاصل على الإشارة أثناء انتقالها ضمن النظام. يمكن دراسة أداء نظام الاتصالات

الضوئية المعتمدة على الكشف المباشر والتي تستخدم تقنية OFDM من أجل أنماط أخرى من صيغ تعديل متعددة المستويات ومعدلات إرسال مختلفة ومقارنة أدائها.

المراجع

[1] Hanzo, L; Keller, T ;Webb, W.2004, *Quadrature amplitude modulation: From basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalized and space-time coded OFDM, CDMA and MGCDMA systems*. John Wiley and Sons, New York, 2004.

[2] غصنة، ف؛ نصر، م. ٢٠١٨. زيادة الفعالية الطيفية لأنظمة الاتصالات البصرية DWDM باستخدام المرشحات ضيقة المجال". مجلة جامعة طرطوس.

[3] غصنة، ف. ٢٠١٩. تقنية مبتكرة في تصميم مستقبل ضوئي- ذو تضخيم مسبق في الاتصالات الضوئية عبر الأقمار الصناعية". مجلة جامعة طرطوس.

[4] نصر، م. ٢٠١٨. مقارنة أداء نظام اتصالات بصري متعدد الأطوال الموجية DWDM يستخدم عدة تقنيات لتعويض التشتت". مجلة جامعة طرطوس.

[5] نصر، م؛ اسعد، ر. ٢٠١٨. استخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية لتحسين أداء نظم الاتصالات الضوئية المتناسكة عالية السرعة". مجلة جامعة طرطوس.

[6] Nolan, K. 2005, *Reconfigurable OFDM System*, PhD Thesis, University of Dublin.

[7] Giacoumidis, E. 2011, *Adaptive optical OFDM for local and access networks*, PhD Thesis, Bangor University.

[8] Nee, R; Prasad, R. 2000, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. Artech House Publishers.

[9] Sharifian, S. 2010, *Chromatic dispersion compensation by signal predistortion: Linear and nonlinear filtering*. Chalmers University of technology, Sweden, 8-17.