

Build and Performance Analysis of NG-PON2 Works with TWDM Technique and Eight Wavelength and Data Rate 80 Gbps

Dr. Mouhamad Al-hussin*

(Received 18 / 3 / 2019. Accepted 8 / 8 / 2019)

□ ABSTRACT □

In this article, we will study the next generation of passive optical network NG-PON2, and its performance with changing the length of fiber optic and the power of signal before transmitting, by using simulation through OptiSystem software, the evaluation will be on values of bit error rate BER, Q Factor, and Eye Diagram.

The network works with Time and Wavelength Division Multiplexing TWDM technique, which it chosen as best technique for next stage for NG-PON2 by (Full Service Access Network **FSAN**) organisation, the proposed NG-PON2 is with data rate 80 Gbps by using eight wavelengths for each upstream and downstream.

Keywords: NG-PON2, TWDM Time and Wavelength Division Multiplexing, Simulation, Q Factor, Eye Diagram.

* The Applied College, Damascus University, Damascus, Syria.

بناء وتحليل أداء شبكة NG-PON2 تعمل بتقنية TWDM ذات ثمان أطوال موجية وبمعدل 80 Gbps

د. محمد الحسين*

(تاريخ الإيداع 18 / 3 / 2019. قُبِلَ للنشر في 8 / 8 / 2019)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة المرحلة الثانية من شبكات الجيل القادم الضوئية غير الفعالة NG-PON2، ودراسة أدائها ومخرجاتها على حسب تغير طول الليف الضوئي وتغير طاقة الإشارة قبل الإرسال، من خلال المحاكاة الحاسوبية عبر البرنامج OptiSystem، التقييم سيعتمد على قيم معدل خطأ البت BER وعامل الجودة Q Factor وشكل مخطط العين Eye Diagram. إن الشبكة تعمل وفق تقنية التجميع بتقسيم الزمن وطول الموجة TWDM التي تم اختيارها كأفضل تقنية تحقق احتياجات المرحلة الثانية من شبكات الجيل القادم غير الفعالة NG-PON2 وذلك من قبل منظمة (Full Service Access Network FSAN) المكونة من العديد من مزودي ومشغلي خدمات الاتصالات في العالم، تمتاز شبكة NG-PON2 المراد بنائها أنها تقدم معدل بيانات 80 Gbps عبر استخدام ثمان قنوات ضوئية لكل من الحزمة الهابطة والحزمة الصاعدة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الجيل القادم الضوئية غير الفعالة، التجميع بتقسيم الزمن وطول الموجة، المحاكاة، عامل الجودة، مخطط العين.

مقدمة:

ازدياد الطلب على عرض الحزمة بالآونة الأخيرة من قبل المستخدمين للشبكة كأفراد وكشركات اتصالات وربط، بالإضافة إلى ازدياد عدد المستخدمين ذاته وتنوع استخدام الشبكة ليشمل معظم مجالات الحياة كافة، على سبيل الذكر إنترنت الأشياء والحوسبة والتخزين السحابي واستخدام الشبكة من صوت وصورة بدقة عالية الوضوح، كل ذلك تتطلب إلى إيجاد حلول لزيادة الطاقة الاستيعابية للشبكة ككل، وعلى اعتبار أن الشبكات الضوئية تعتبر العمود الفقري للشبكة، بالإضافة إلى تنوع استخداماتها في إيصال المعلومات والبيانات كشبكة FTTH الواسعة الانتشار وتنوع الاستخدام [1]، كان التركيز على الشبكات الضوئية في محاولة تحسينها وزيادة معدلاتها، فتم التركيز على المرحلة الثانية من شبكات الجيل القادم من الشبكات الضوئية غير الفعالة على اعتبار تحسينها سيعود بالنفع على الشبكة ككل.

أهمية البحث وأهدافه:

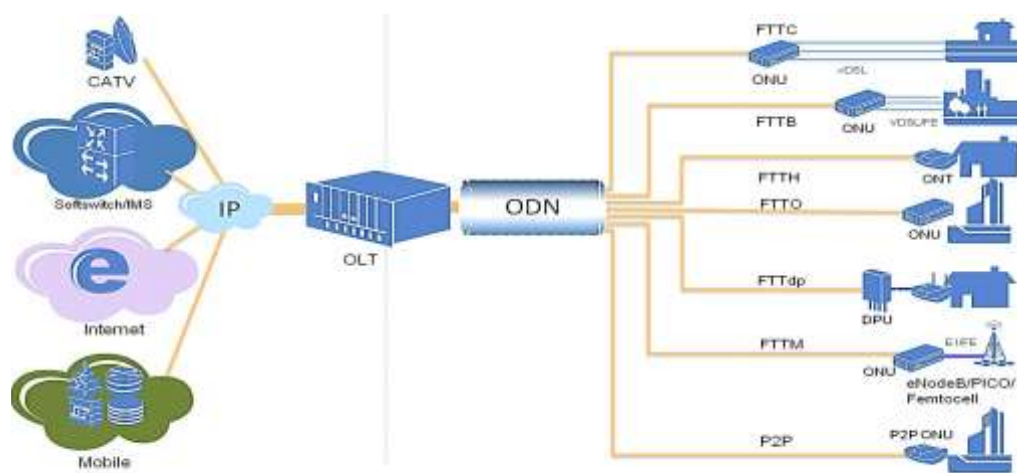
الغاية من البحث هي بناء شبكة ضوئية غير فعالة ذات تقسيم بتجميع الزمن وطول الموجة TWDM-PON، ذات توافق مع احتياجات الشبكة NG-PON2 بمعدل نقل بيانات 80 Gbps مع طول ليف ضوئي متغير يصل لغاية 40 Km، ودراسة أدائها وقيم مخرجاتها مع تغيير طول الليف الضوئي وتغير الطاقة الضوئية عند الإرسال، بهدف تحقيق شبكة ذات سرعة وعرض مجال واسع لنقل البيانات مع تكلفة منخفضة من ناحية الطاقة والمعدات.

طرائق البحث ومواده:

بالدراسة النظرية لفكرة البحث عبر المراجع الحديثة والاطلاع على آخر أعمال الباحثين ضمن مجال شبكة NG-PON2 تم تحديد معالم البحث ونقاطه الأساسية، وعبر المحاكاة الحاسوبية وضمن البيئة البرمجية OptiSystem تمت بناء شبكة NG-PON2 ومناقشتها واستخلاص النتائج، واعتبار الشبكة المبنية كجزء جيد لتحسين أداء الشبكات الضوئية.

الأساس النظري:

كان أول ظهور للشبكات الضوئية غير الفعالة عام 1998 مع معدل نقل للبيانات 155 Mbps لكل من الوصلة الصاعدة والهابطة ضمن المعيار الأول APON ثم تطور هذا المعيار ليصبح المعيار الثاني BPON مع معدل نقل 1.2 Gbps للحزمة الهابطة ولغاية 622 Mbps للحزمة الصاعدة مع إضافة ميزة الدعم لتقنية WDM. يظهر الشكل (1) بنية الشبكة الضوئية غير الفعالة مع تنوع استخداماتها.

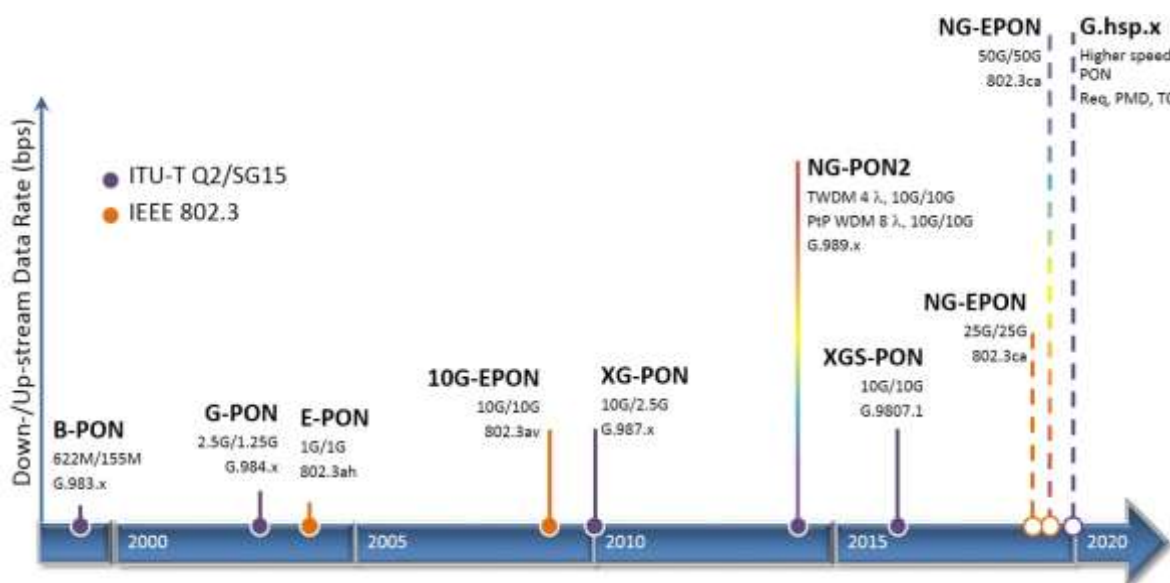


الشكل (1) بنية الشبكة الضوئية غير الفعالة واستخداماتها.

في المعيار EPON ازدادت سعة النقل لتصبح متناظرة عبر 1 Gbps لكل من الحزمة الصاعدة والهابطة، أما ضمن المعيار GPON فكان المعدل 2.5 Gbps للحزمة الهابطة و 1.25 Gbps للصاعدة، تم دمج المعيارين ضمن معيار GE-PON مع تقديم معدل متناظر 2.5 Gbps لكل من الوصلة الصاعدة والهابطة [2,3].

ازداد المعدل ليصبح 10 Gbps لكل من الوصلة الصاعدة والهابطة ضمن المعيار 10GE-PON.

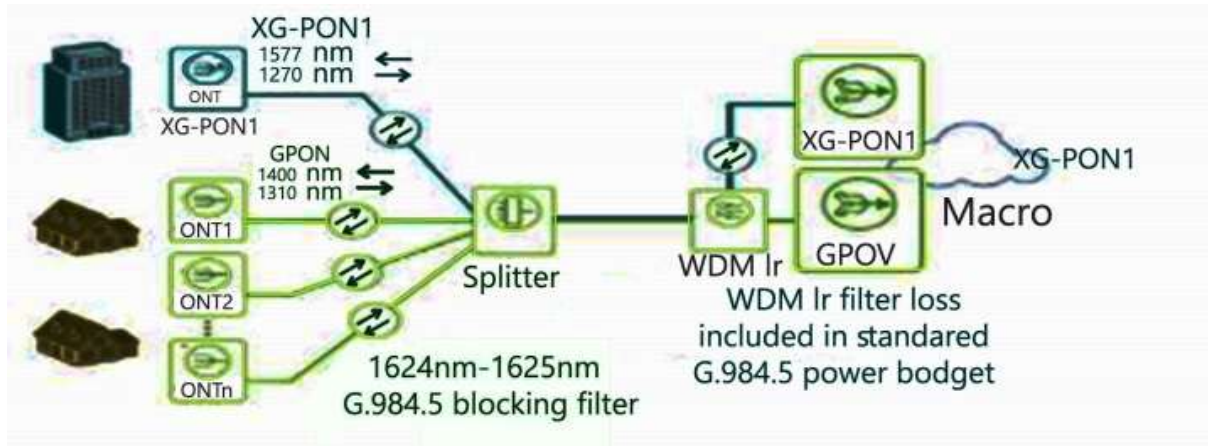
يبين الشكل (2) التطور الزمني لتطور معايير الشبكات غير الفعالة.



الشكل (2) تطور معايير الشبكة غير الفعالة مع الزمن.

في العام 2007 تم طرح المرحلة الأولى من شبكات الجيل القادم NG-PON1 تعتمد هذه المرحلة على تقنيات PON المتوافقة مع المعيار GPON حيث يمكن تحقيق عرض مجال أكبر من ترسل البيانات كما تكون التجهيزات الضوئية لهذا المعيار متوافقة مع تجهيزات الشبكات الضوئية السابقة لها. بناءً على ذلك، تم تقديم المعيار XG-PON1 ليحقق معدل نقل بيانات 10 Gbps للحزمة الهابطة و 2.5 Gbps للصاعدة. كما تم تقديم المعيار XG-PON2

ليحقق معدل نقل متناظر 10 Gbps على كل من الحزمة الصاعدة والهابطة [4,5]، يظهر الشكل (3) البنية الأساسية للمرحلة الأولى من شبكات الجيل القادم الضوئية غير الفعالة.



الشكل (3) البنية الأساسية للمعيار NG-PON1.

في المرحلة الثانية من الجيل القادم للشبكات الضوئية غير الفعالة NG-PON2 الذي تم اقتراحه من قبل FSAN و ITU و IEEE ليلبي الاحتياج الكبيرة في الطلب على عرض المجال [6,7] من ميزات هذا المعيار:

- معدل نقل البيانات 40 Gbps كحد أدنى.
 - مسافة نقل تصل حتى 40 Km.
 - نسبة تقسيم تصل إلى 1:128.
 - دعم مجموعة واسعة من متطلبات الاتصالات على شبكة توزيع ضوئية واحدة تدعم أيضا بما في ذلك الأعمال التجارية والبنية التحتية للاتصالات الخلوية وكذلك تطبيقات الكبل الضوئي إلى المنازل FTTH.
- وتم تقديم عدة مقترحات لتلبية متطلبات هذه المرحلة من الشبكات الضوئية، والتي يمكن تلخيصها بمايلي:

I. الشبكات الضوئية غير الفعالة ذات التجميع بتقسيم الزمن TDM-PON: تم اقتراحه لزيادة XGPON1 من 10 Gbps حتى 40 Gbps ولكن للوصول إلى هذه السرعة يحتاج إلى تطوير طرفية الخط البصري OLT والكرونيات متطورة لنقل معطيات بسرعات عالية جداً وهذه التقنية لاتزال قيد الدراسة، وبالتالي هي تقنية غير ناضجة ومكلفة.

II. الشبكات الضوئية غير الفعالة ذات التجميع بتقسيم طول الموجة WDM-PON: توفر تقنية WDM قناة مخصصة لكل مشترك ولذلك يجب استخدام WDM عالي الكثافة لتخديم عدد كبير من المستخدمين، وتتمثل المشكلة الرئيسية لهذا النوع في التكلفة العالية للمرسلات والمستقبلات بالإضافة إلى التكلفة العالية للمرشحات المستخدمة.

III. الشبكات الضوئية غير الفعالة ذات التجميع بتقسيم الرمز OCDM-PON: تقدم هذه التقنية مستوى عالٍ من الأمان نظراً لاستخدام أكواد مختلفة لكل ONU، ولكنها تعاني من مشكلة التعقيد في التصميم ولها تكلفة عالية بسبب وجود المرمرات ومفككات الترميز.

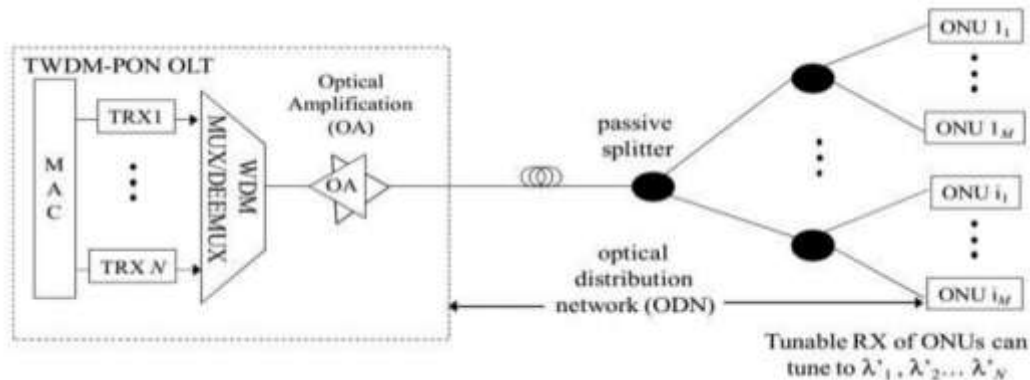
IV. الشبكات الضوئية غير الفعالة ذات التجميع بتقسيم التردد المتعامد OFDM-PON: وهذه التقنية مفيدة جداً لتقديم عرض مجال كبير، وتتميز بمناعتها ضد التداخل. إلا أنها تقنية غير ناضجة ولا زالت قيد الدراسة كونها تحتاج إلى تطوير كل من الـ OLT والـ ONU لتكون قادرة على تخديم سرعات عالية.

v. الشبكات الضوئية غير الفعالة ذات التجميع بتقسيم الزمن وطول الموجة TWDM-PON: تعتمد هذه التقنية على الدمج بين ميزات كل من TDM-PON و WDM-PON بحيث تقدم معدل نقل معطيات عالي 40 Gbps ولمسافة لا تقل عن 40 كيلومتر بدون أي تعديل على كل من طرفية الخط البصرية OLT او وحدة الشبكة البصرية ONU. على الرغم من كل التقنيات السابقة المقترحة فقد تم اختيار TWDM-PON كأفضل تقنية لتلبي متطلبات المرحلة الثانية من الجيل القادم للشبكات الضوئية غير الفعالة بسبب أنها تقنية ناضجة ومتوافقة مع التقنيات السابقة لها وبتكلفة منخفضة [6,7].

القسم العملي

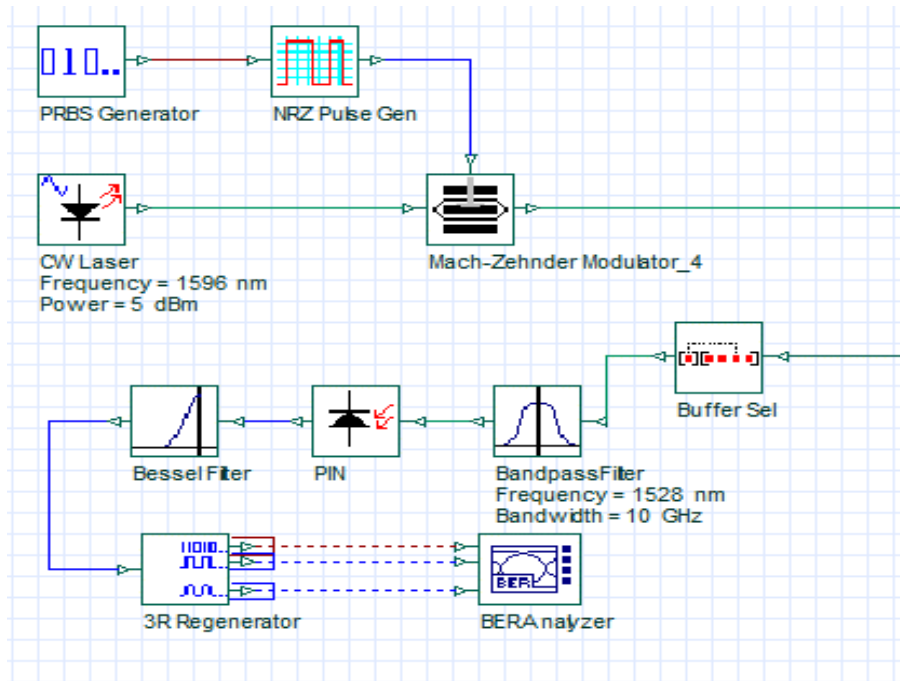
1 - بناء شبكة TWDM-PON

يبين الشكل (4) البنية الرئيسية لشبكة TWDM-PON بحيث يتألف التصميم بشكل أساسي من OLT مكوّنة من ثمانية OLT XG-PON، وذلك من أجل ثمانية أزواج أطوال موجية (الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة) مختلفة ويتم تجميع الأطوال الموجية الثمانية عن طريق التجميع بتقسيم الموجة باستخدام WDM MUX ثم يتم توزيع البيانات وفق تقنية TDM باستخدام موزع ضوئي SPLITTER لتصل إلى عدد محدد من ONU حيث يحتوي التصميم على 128 ONU بحيث تكون كل ONU 16 مخصصة بزوج من الأطوال الموجية للوصلة الصاعدة والهابطة [8].

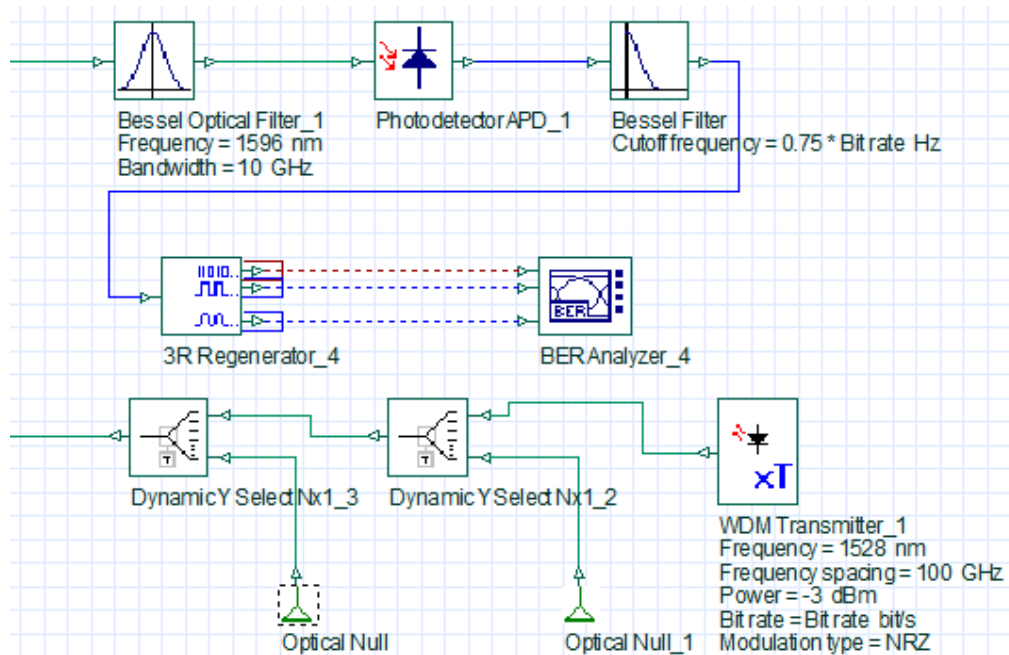


الشكل (4): البنية الرئيسية لشبكة TWDM-PON.

وتبين الأشكال (5) و (6) البنية الرئيسية لكل من طرفية الخط الضوئي OLT و وحدة الشبكة الضوئية ONU على الترتيب [2].



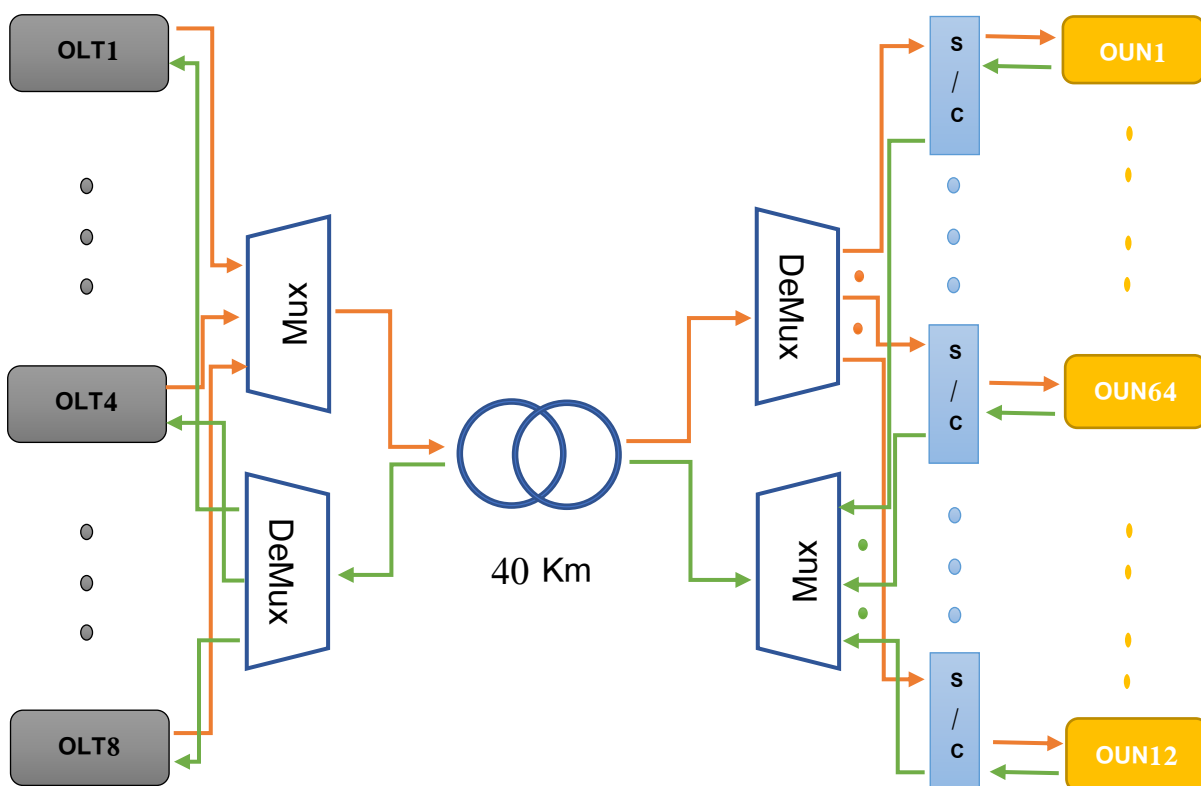
الشكل (5): بنية طرفية الخط الضوئي OLT.



الشكل (6): بنية وحدة الشبكة الضوئية ONU.

2 - قسم المحاكاة

يبين الشكل (7) المخطط الصندوقي للشبكة المقترحة TWDM-PON والتي تتمتع بالمزايا الاساسية التالية:



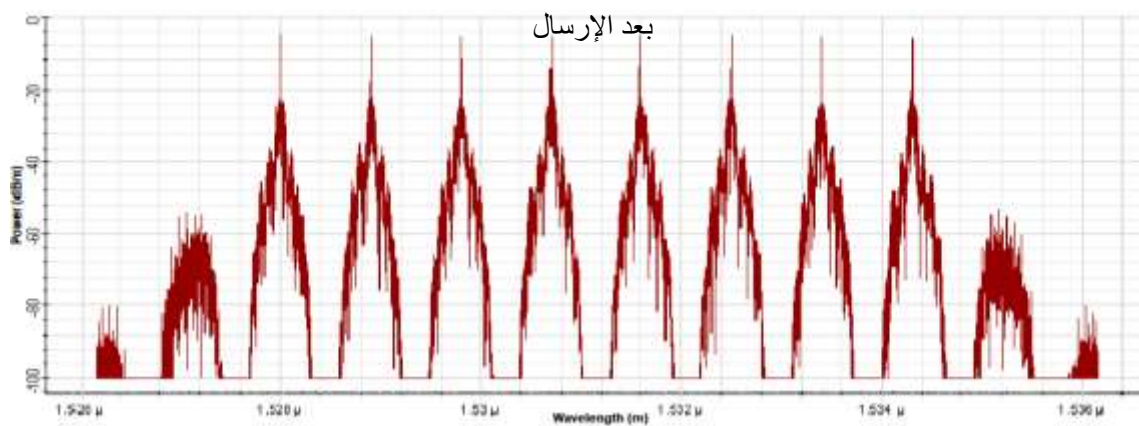
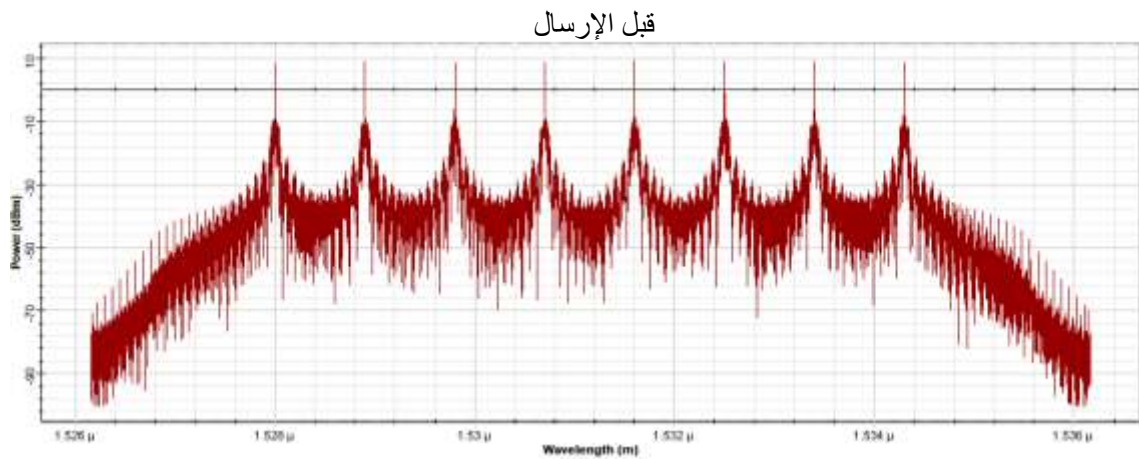
الشكل (7): البنية المقترحة لشبكة TWDM-PON.

- I. ثمان قنوات متناظرة.
 - II. سعة كل قناة 10 Gbps لكل من الحزمة الصاعدة والهابطة.
 - III. عدد مستخدمين يصل ل 128 مستخدم.
 - IV. طول ليف ضوئي 40 Km.
- تم بناء الشبكة عبر برنامج المحاكاة OptiSystem، [9]، كما هو واضح من الشكل (7) تتكون من 8 وحدات OLT تقوم كل وحدة باستخدام طول موجي خاص للإرسال يختلف عن وحدات OLT الأخرى وطول موجي للاستقبال مختلف أيضاً. ويحتوي الجدول (1) على قيم الأطوال الموجية المستخدمة في كل من الوصلة الصاعدة والهابطة. وتتكون الشبكة في الطرف المقابل من 128 وحدة ONU تقوم كل 16 وحدة باستخدام طول موجي للإرسال وطول موجي مختلف للاستقبال. ويحتوي الجدول (1) على معاملات المحاكاة المستخدمة لهذا النموذج. تم اختبار النموذج المقترح من أجل أطوال مختلفة للليف الضوئي واستطاعة إرسال مختلفة لكل من وحدات ONU وONT.

الجدول (1) قيم المعاملات للشبكة TWDM-PON.

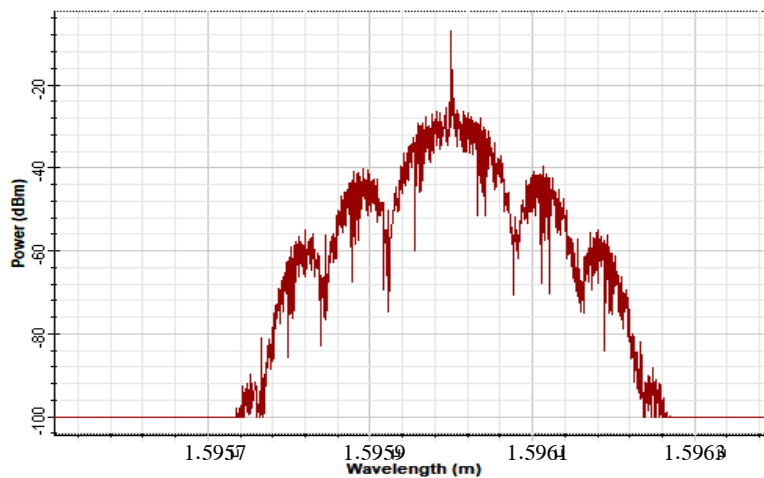
اسم المعامل	قيمة المعامل
الأطوال الموجية المستخدمة للوصلة الصاعدة $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$	(1528, 1528.9, 1529.8, 1530.7, 1531.6, 1532.5, 1533.4, 1534.3) nm
الأطوال الموجية المستخدمة للوصلة الهابطة $\lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}$	(1596, 1598, 1600, 1602, 1604, 1606, 1608, 1610) nm
معدل البيانات لكل طول موجي	10 Gbps للحزمة الصاعدة والهابطة
نوع الكبل الضوئي	وحيد النمط SMF.
طول الكبل الضوئي	40 Km
نسبة التقسيم	1:128
استطاعة المرسل	10 dBm
تخامد الليف	0.24 dB/Km

يُبين الشكل (8) طيف الإشارة الضوئي لإشارة الحزمة الصاعدة قبل الإرسال وبعده على خرج المجموع Mux الموجود بطرف وحدات OUN وقبل المفكك، والذي يتكوّن من ثمانية أطوال موجية (مذكورة بالجدول 1)، تقوم كل 16 وحدة ONU باستخدام نفس الطول الموجي ولكن بزمن مختلف. حيث يتم تقسيم زمن الإرسال إلى حيزات زمنية (time slots) ويتم تخصيص كل وحدة ONU بحيز زمني خاص بها. نفس الأمر يتم من أجل وحدات ONU المشتركة بنفس طول الموجة ويكون عرض حزمة كل طول موجي مستخدم على الوصلة الصاعدة 10 Gbps لكل طول موجي.



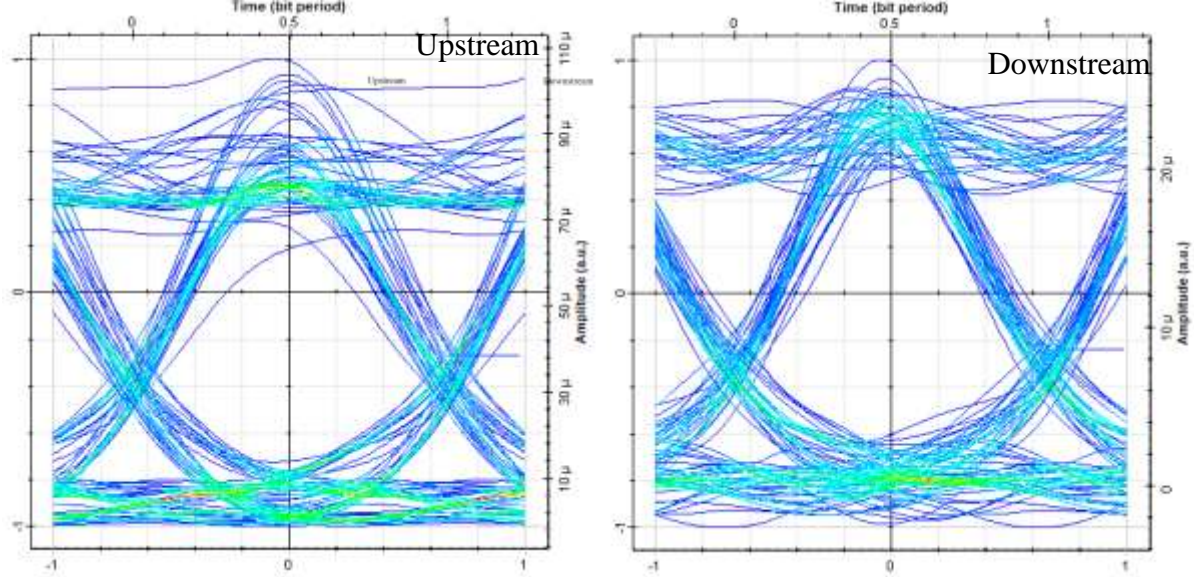
الشكل (8): طيف الإشارة الضوئي للحزمة الصاعدة قبل الإرسال وبعده.

فيما يظهر الشكل (9) طيف الإشارة الضوئية للقناة الأولى في الحزمة الهابطة عند المستقبل من جهة المستخدم النهائي، حيث لكل وحدة OLT طول موجة مختلف ويعرض حزمة 10 Gbps لكل طول موجة.



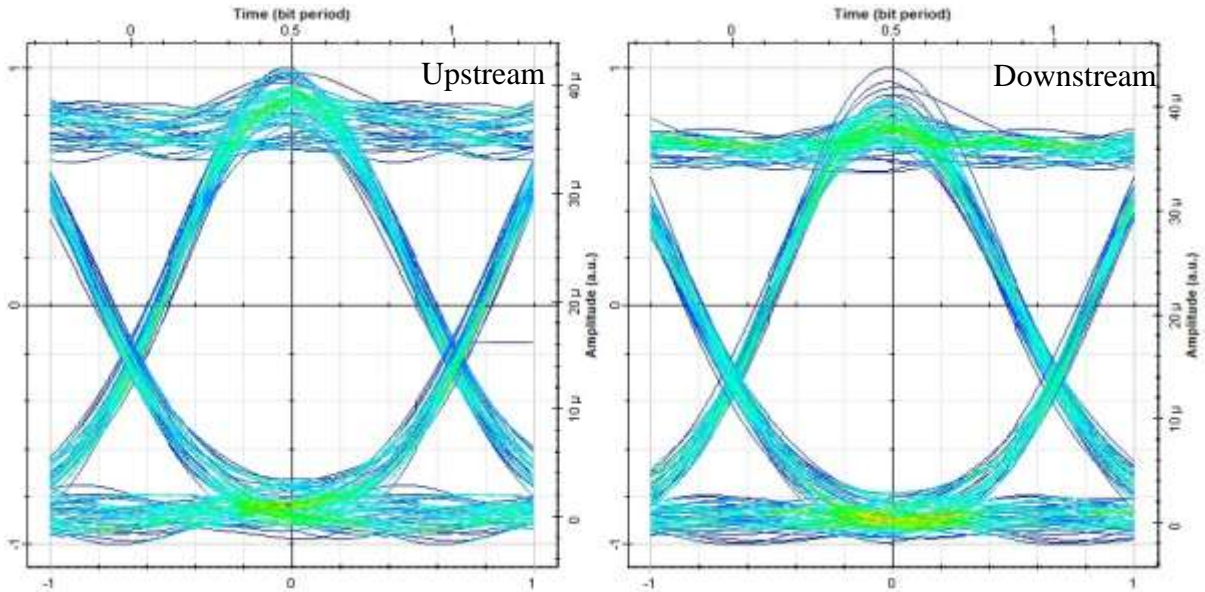
الشكل (9): طيف الإشارة للقناة الأولى في الحزمة الهابطة عند المستقبل.

بالنسبة لقيم المعامل خطأ البت عند طول الليف الضوئي Km 40 كانت متوسط النتائج كالتالي $BER = 10^{-9}$ للحزمة الصاعدة مع عامل جودة Q Factor = 5.8 و $BER = 10^{-18}$ للحزمة الهابطة مع عامل جودة Q Factor = 8.6، مع استطاعة 10 dBm، يبين الشكل (10) مخطط العين للقناة الواحدة للحزمة الصاعدة والهابطة.



الشكل (10): مخطط العين للحزمة الصاعدة والهابطة على مسافة 40 Km.

تذكر الدراسات المرجعية على أن القيمة الدنيا المقبولة لمعدل خطأ البت هو 10^{-8} وبشكل وسطي 10^{-12} وبالتالي فإن النتائج ضمن الشبكة المُصممة تعتبر قابلة للعمل بها ضمن معايير أنظمة الاتصالات الضوئية [10]. سيتم دراسة أداء الأنظمة بعد تقليل طول الليف الضوئي إلى 30 Km فكانت متوسط النتائج كالتالي $BER = 10^{-35}$ للحزمة الصاعدة مع عامل جودة Q Factor = 12.3 و $BER = 10^{-44}$ للحزمة الهابطة مع عامل جودة Q Factor = 13.8، مع استطاعة 10 dBm، يبين الشكل (11) مخطط العين للقناة الواحدة للحزمة الصاعدة والهابطة.



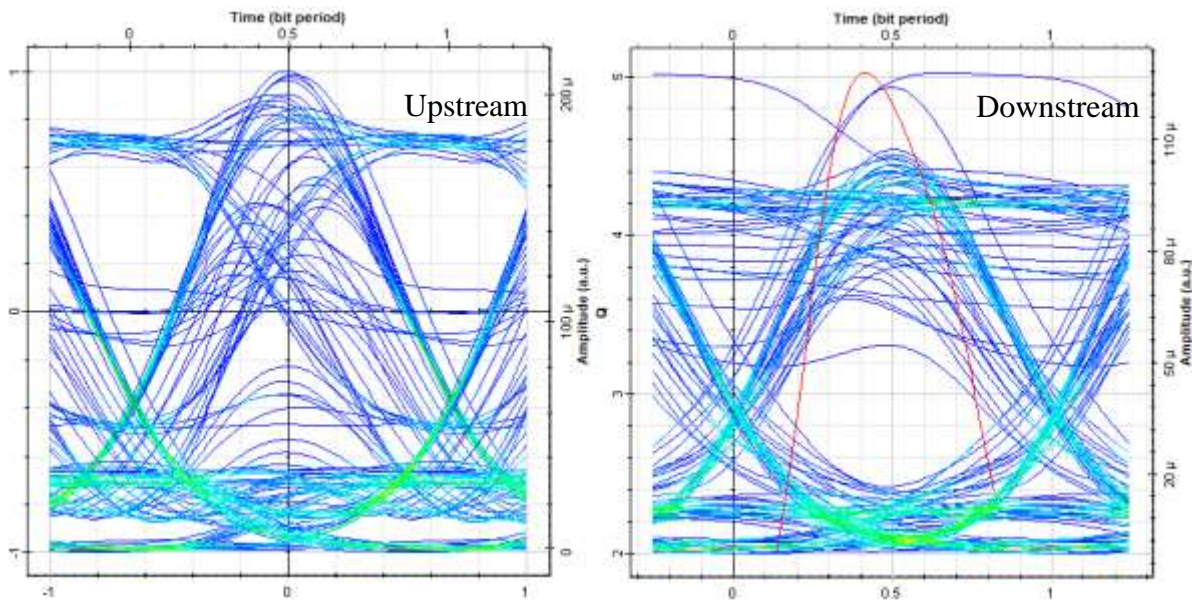
الشكل (11): مخطط العين للحزمة الصاعدة والهابطة على مسافة 30 Km.

تبعاً للنتائج الجيدة على طول الليف 30 Km، سيتم تقليل طاقة المنبع تدريجياً مع مراقبة قيم معدل خطأ البت وعامل الجودة، فكانت النتائج كما في الجدول (2).

الجدول (2) قيم BER و Q Factor تبعاً لطاقة المنبع.

Q Factor		BER		طاقة المنبع
upstream	downstream	upstream	downstream	
12.3	13.8	10^{-35}	10^{-44}	10 dBm
6.1	8.7	10^{-11}	10^{-19}	5 dBm
2.5	5	10^{-2}	10^{-7}	3 dBm

تبين النتائج أنه يمكن إرسال الإشارة باستطاعة 5 dBm ضمن الحد المقبول من قيم معدل خطأ البت وعامل الجودة، بينما مع الاستطاعة 3 dBm كانت النتائج غير مقبولة للعمل ضمنها فالشكل (12) يظهر مدى تشوه الإشارة ضمن مخطط العين للحزمتين الصاعدة والهابطة.



الشكل (12): مخطط العين للحزمة الصاعدة والهابطة مع استطاعة 3dBm.

حيث يلاحظ مدى تشوه شكل العين وسماكة الخطوط وتداخلها، الذي يعكس تشوه النبضات، وانغلاق فتحة العين، الذي يفسر مدى تأثير الضجيج على الإشارة [11].

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تقديم مقترح لشبكة ضوئية غير فعالة تعمل بتقنية التجميع بتقسيم التردد والزمن TWDM-PON وذلك للمرحلة الثانية من الشبكات الضوئية غير الفعالة NGPON2 تعمل مع ثمان أطوال موجية، تم بنائها

ومحاكاتها عبر برنامج المحاكاة OptiSystem حيث أظهرت النتائج قيم جيدة للمعاملات المميزة فكانت قيمة معدل خطأ البت 10^{-18} للحزمة الهابطة و 10^{-9} للحزمة الصاعدة عند طول ليف ضوئي 40 Km، كما تم دراسة أداء الشبكة عند طول ليف ضوئي 30 Km، مع قيم متغيرة من استطاعة المرسل، حيث أمكن الإرسال مع قيمة 5 dBm وتحقيق نتائج مقبولة لقيم معدل الخطأ البت 10^{-19} للحزمة الهابطة و 10^{-11} للحزمة الصاعدة.

مسرّد المصطلحات:

ATM Asynchronous Transfer Mode	FTTH Fiber To The Home
NGPON Next-Generation Passive Optical Networks	OLT Optical Line Terminal
OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing	ONU Optical Network Unit
WDM Wavelength Division Multiplexing	SMF Single Mode Fiber
TWDM Time and Wavelength Division Multiplexing	PON Passive Optical Network
TDM Time Division Multiplexing	OCDM Optical code Division Multiplexing

المراجع:

- [1] Gerber, A. and Doverspike, R., 2011, March. Traffic types and growth in backbone networks. In *Optical Fiber Communication Conference* (p. OTuR1). Optical Society of America.
- [2] Konstadinidis, C., Sarigiannidis, P., Chatzimisios, P., Raptis, P. and Lagkas, T.D., 2018. A Multilayer Comparative Study of XG-PON and 10G-EPON Standards. *arXiv preprint arXiv:1804.08007*.
- [3] Frenzel, L., 2014. ¿, What's the difference between Epon and Gpon optical fiber networks?. *Electronic Design*, <http://www.electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-epon-and-gpon-optical-fiber-networks> (zuletzt aufgerufen am 08.01. 2018).
- [4] P. Chanclou et. al., "Network operator requirements for the next generation of optical access networks", IEEE Network, vol. 26, no. 2, pp. 8–14, Mar. 2012.
- [5] S. Bindhaiq, et al., "Recent development on time and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation passive optical network stage 2 (NG-PON2)", Optical Switching and Networking (2014).
- [6] Naqshbandi, F & Jha, R.K. "TWDM-PON-AN optical backhaul solution for hybrid optical wireless networks", Journal of Modern Optics, (2016). DOI: 10.1080/09500340.2016.1177126.
- [7] Huawei, White Paper on Technological Developments of Optical Networks, 2016.
- [8] Pooja Sharma¹, Satbir Singh², "Simulative Analysis of 80Gbps NGPON Stage-2 based TWDM Communication System for Different Data Formats", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 5, May 2016.
- [9] The Optiwave team, "Optisystem", 15.1 ed. Ottawa, Ontario, K2E 7X1, Canada.: Optiwave, 2017.
- [10] Al-Azzawi, A., 2017. *Fiber optics: principles and advanced practices*. CRC Press.
- [11] Semiconductor, O.N., 2014. Understanding data eye diagram methodology for analyzing high speed digital signals. *Application Note*. [Online]. Available: <http://onsemi.com>.