محاكاة استخدام المحزز البصري في تعويض التشتت اللوني لليف الضوئي SMF

م.دريد حازم احمد الهلالي م.فيزياوي صبا مولود سليمان

قسم العلوم / كلية التربية الأساسية/ جامعة الموصل

(قدم للنشر في 2017/12/27 ، قبل للنشر في 2108/4/20)

الملخص :

تم توظيف أشكال الأداة البصرية ليف محزز براك في مجموعة البرمجيات البصرية Optisystem7 كعنصر تعويض لاتساع نبضة ضوئية بعرض 12.5 ps منتقلة بالليف SMF نتيجة للتشتت اللوني لليف بطول 10 km وتشتت قدره 16 ps/nm.km . بالإضافة إلى اعتماد تحليل قيم معدل خطأ البيانات BER وعامل النوعية QF لمنظومة اتصالات الليف SMF بطول 100 km ومعدل إرسال 10 Gbps NRZ تحوي عنصر التعويض محزز براك المثالي في دراسة تحديد أفضل أداء للمنظومة . بينت النتائج نجاح عملية التعويض وان أفضل أداء للمنظومة يحصل عند القيم $BER=8.7\times10^{-22}$, QF=9.51 عند تعويض قدره 1600ps/nm- إذ وجد بأنه يتطابق تماما والتشتت المتراكم لطول الليف 100km.

Simulation of using Optical grating in Dispersion compensation for Optical Fiber SMF

Lect. Duried Hazim Ahmad Asst. Phys. Saba Maulood Sulayman

Dept. of sciences/ College of Basic Education/ University of Mosul

Abstract:

In this work, a Fiber Bragg Gratings ,"FBG" had been implemented using a package of Optisystem7 as a compensation component for the spreading of optical pulse width equal to12.5ps transmitted by single mode optical fiber having 10km length and dispersion 16ps/nm.km. Moreover, the ideal performance had been investigated by using the mean value of bit error rate and quality factor for fiber communication system having fiber length 100km and bit rate 10Gbps NRZ . Also, ideal fiber grating have been taken under consideration . The results of this study confirm the ability of FBG to act as a dispersion compensation while the ideal performance occurring at QF= 9.51 & BER = 8.7×10^{-22}at compensation of -1600ps/nm for fiber length of 100km.

1- المقدمة:-

إن الإشارة الضوئية المستخدمة في أنظمة الاتصالات الضوئية تنتج عن الانبعاث التلقائي والمحفز للمصادر الضوئية شبه الموصلة LED,LD ولأنها تضم انطقه طاقية عريضة لذا سيعاني المصدر الضوئي من التشتت اللوني وسيفقد جزء من صفة النقاوة الطيفية [1].

من المعلوم أن الإشارة الضوئية المنتقلة داخل الليف الضوئي تعاني من عدة عوامل منها ضعف القدرة وتزايد التشوه , خاصةً عند المسافات بعيدة المدى, بزيادة معدل الإرسال وذلك بسبب تأثرها بتراكم الخواص الضوئية للألياف كالتشتت اللوني"CD", Chromatic Dispersion ، تشتت نمط الاستقطاب Polarization Mode "PMD", Dispersion والتأثيرات اللاخطية المختلفة كاستطارة رامان واستطارة برليون وخلط الموجات الأربعة "FWM", Four Wave Mixing بسبب التغيرات في الشدة والاعتماد على معامل انكسار الوسط مما يؤدي بالنتيجة إلى تحديد معدل البيانات Bit Rate والمدى [2] .

يعتبر التشتت اللوني الناتج عن انتشار الأطوال الموجية المختلفة بسرعة مختلفة ضمن الليف الواحد من أهم المصادر التي تعمل على اتساع الإشارة الضوئية وتشوهها بزيادة التراكم في معدل الإرسال والمدى, فعلى سبيل المثال يكون التشتت اللوني عند معدل إرسال40 Gb/s حساس بنسبة ستة عشر مرة عنه في معدل إرسال 10 Gb/s لذلك يقيد التشتت اللوني بجوالي 50ps/nm لمعدل إرسال40Gb/s للقناة الواحدة [3] .عملياً قدمت العديد من النظريات الخاصة بمعالجة التشتت وتعويضه تضمنت ما يلي :-

- ألياف تعويض التشتت Dispersion Compensation fiber, "DCF" ذات التشتت السالب (تصنع هذه الألياف من بلورات ضوئية Photonic Crystal ذات بنية دقيقة إذ أن المقطع العرضي لقلب الليف يملك خواص ضوئية ممتازة تعمل على كبس النبضات المتشتتة وإعادة شكلها لتصل بها إلى تشتت سالب) [3] .

- ليف محزز براك Fiber Bragg Grating "FBG", وهو ليف يضم محززات عاكسة لأطوال موجية محددة وتنفذ البقية عبر تغير دوري لمعامل انكسارها لإنتاج

تأخيرات زمنية طوريه ومن ثم إعادة كبس الإشارة الضوئية [3] .

- تعويض التشتت الكترونياً Electronic Dispersion compensation , "EDC".

بينما استخدم أسلوب التعويض كلياً بمرشحات العبور All Pass Filters ,"APF" في أنظمة الإرسال المتعدد الطول ألموجي Wavelength Division Multiplexer , "WDM" [1].

لكل من هذه الأساليب محاسن ومساوئ فأسلوبDCF يتميز بمدى تعويض بجدود - ps/nm.km (80, -100) وبعرض نطاق ~20nm فهو ملائم للإرسال المتعدد WDM ولكنه بالوقت نفسه يمتلك ليف طويل بجدود km(12-28) وتوهين عالي dB/km(0.5 - 0.6) مما يتطلب الأمر إلى التكبير بجدود dB(7.4 - 17) فضلاً عن التشوه اللاخطي الحاصل عند الإشارات المرتفعة [2] .

تم في هذه الدراسة محاكاة تناولنا فيها ثلاثة أشكال لأداة التعويض البصرية , FBG , هي :-

1- OptiGrating linear chirped and apodization FBG.

2- Fiber Bragg Grating.

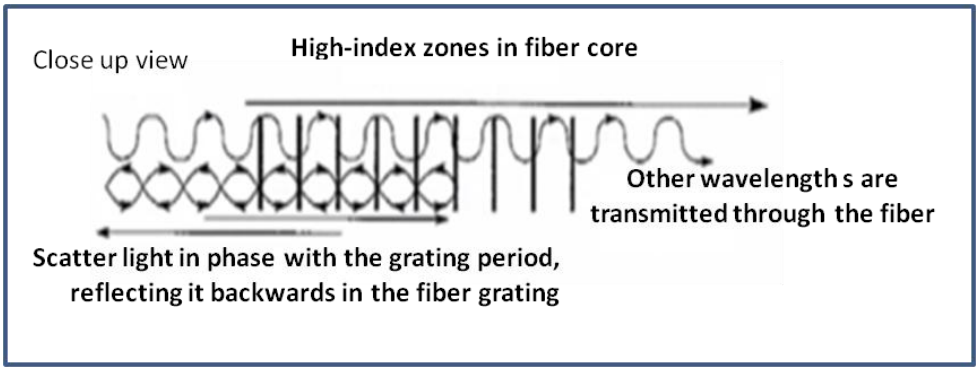
3- Ideal Dispersion Component.

في منظومة اتصالات ضوئية وذلك لتعويض التشتت والاتساع الحاصل لنبضة ضوئية عرضها 12.5 ps بعد انتشارها بليف Single Mode Fiber ,"SMF" بطول 10 km وتشتت قدره 16 ps/nm.km فضلا عن دراسة التعويض في تحديد الأداء الأفضل لعمل منظومة اتصال الليف SMF بطول 100 km لمعدل إرسال 10 Gbps بهيئة نبضات , Non Return to Zero "NRZ" من خلال التعرف على قيم أدنى معدل خطأ في البيانات وأعلى عامل نوعية للمنظومة .

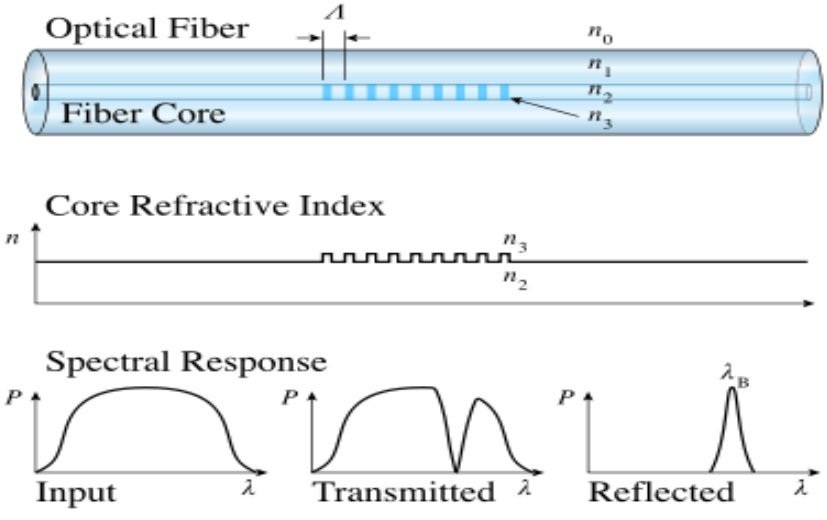
أظهرت المحاكاة نتائج ممتازة في تعويض التشتت اللوني للنبضات الضوئية زيادة على تحقيق أفضل أداء لمنظومة الاتصالات عند التطابق العملي والنظري بين التشتت المتراكم لمنظومة الاتصالات -1600ps/nm والقيمة الافتراضية للتعويض.

2- نظرية عملFBG:-

تعتبر تقنية FBG إحدى الطرائق المهمة في تعويض التشتت فهي تعكس ترددات مختلفة خلال مواقع مختلفة من الليف لتصل في نهاية الأمر إلى تعديل في شكل الإشارة, وهي نوع من المحززات العاكسة موزعة داخل ليف وحيد النمط مصنع بطريقة بحيث أن معامل انكسار الليف متغير بمناطق موزعة على طول الليف لتكوين مرايا عاكسة لأطوال موجية محددة وإمرار أطوال موجية أخرى(كمرشح بصري) . الإشكال (1,2) أدناه توضح البنية الأساسية للFBG[4].



شكل (1) أساس عمل FBG [4]



شكل (2) بنية ليف محزز براك والتغيرات في معامل انكسار قلب الليف والاستجابة الطيفية له[4].

يعبر عن الطول الموجي المنعكس، موجة براك λ_B ، بدلالة تكرار المحزز $\wedge$ ومعامل انكسار قلب المحزز المؤثر على سرعة الضوء n_e بالعلاقة الآتية[4] :

$$\lambda_B=2\, n_e \wedge \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

هذا النظام سيؤثر على سرعة انتشار الموجة الضوئية داخل الليف بسبب اعتماد التردد على معامل انكسار الوسط وعلى الأنماط المنتشرة . ويعبر عن عرض الطيف$\Delta\lambda$ المنعكس لمحزز براك بالعلاقة الآتية [4]:-

$$\Delta\lambda=[2\delta n_o \eta].\lambda_B \quad /\pi \quad \ldots\ldots(2)$$

إذ أن $\delta n_o= n_3-n_2$ تغيرات معامل انكسار قلب الليف"قوة المحززStrength of Grating", ηجزء القدرة الضوئية داخل قلب الليف وان زمن عبور النبضة (T)لطول ليف ضوئي (L) يتحدد بالعلاقات الآتية[5]:-

$$T = L/V_g = B.L \ldots..(3)$$

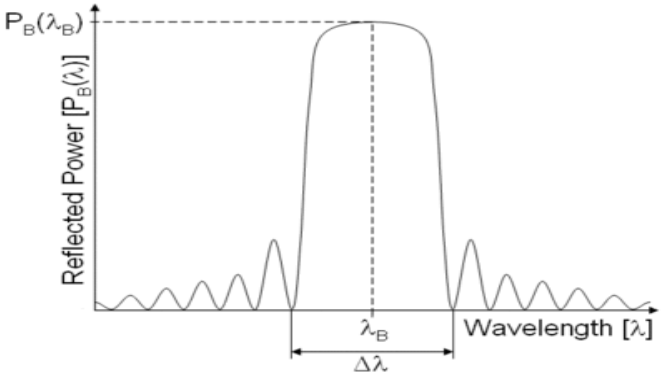
$$\Delta T= L\beta_2\Delta\omega \quad \ldots\ldots(4)$$

$\Delta\omega$ عرض نطاق النبضة , β_2 معامل التشتت لسرعة المجموعة Group Velocity Dispersion "GVD"., B معدل الإرسال ويمكن تعريف التشتت بدلالة العلاقة الآتية [5]:-

$$D = d\,(1/v_g)/d\lambda = -2\pi c.\beta_2/\lambda^2 \quad \ldots\ldots.(5)$$

وان معدل الإرسال سيتحدد بالعلاقة الآتية [5]:-

$$B(\Delta T) = BL\beta_2\,\Delta\omega \cong BLD\Delta\lambda < 1 \quad \ldots\ldots.(6)$$



شكل (3) طيف انعكاس FBG دالة للطول ألموجي[4]

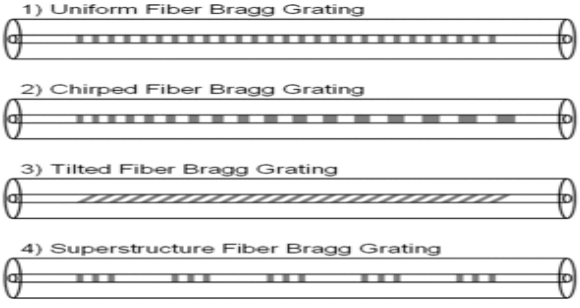
تتقيد مسافة الإرسالL لنظم اتصالات التضمين الخارجي بالتشتت اللوني لليف المستخدم بالعلاقة الآتية[5] :-

$$L< 2\pi c/16D\lambda^2B^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

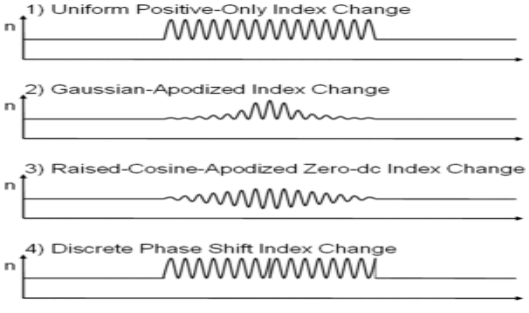
c سرعة الضوء . فمثلا D=16ps/nm.km

B=2.5Gbps, L~500km, بينما تهبط المسافة إلى L~30km في حالة الإرسال B=10Gbps .

صنع أول محزز معقد من قبل (J. Conning, 1994)[4] الذي كان حجر الأساس في دعم وتطور تقنية توزيع التغذية العكسية لليزرات Distributed Feedback fiber lasers ,"DFB"اذ يصمم محزز براك من خلال تغير تكرار التحزيز كالتحزيز المنتظم Uniform Fiber Bragg Grating والتحزيز المتصاعد الفاصلة Chirped Fiber Bragg Gratingوالمائل Tilted Fiber Bragg Grating والخاص Superstructure Fiber Bragg Grating أو بتغير شكل معامل الانكسار بالاتجاه الطولي أو العرضي كما هو موضح بالأشكال (4,5) . وفيما يلي أنواع محززات براك [4] .



شكل (4) أشكال تغيرات معامل انكسار FBG[4]



شكل (5) أشكال توزيع معامل الانكسار الجانبي لل FBG[4]

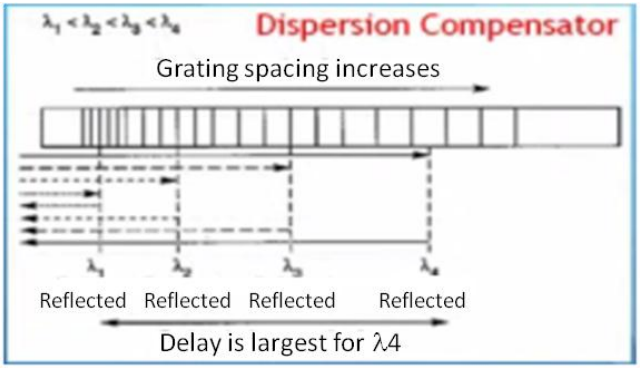
أ–المحززات التي يقترب معامل انكسارها الجانبي إلى الصفرApodized gratings

هناك عاملان مهمان جداً يحددان خصائص FBG هما طول المحزز $L_g = N \wedge$, وقوة المحزز δn_o إذ أنN تمثل عدد التحزيز , مع ذلك , هناك ثلاثة خصائص تحتاج إلى ضبط في FBG هي الانعكاسية ، عرض النطاقB، القوة الجانبية للمحززδn_o. إن عرض النطاق كما موضح في المعادلة (2) يعتمد على قوة المحزز وليس على طول المحزز وهذا يعني أن قوة المحزز تستعمل لضبط عرض النطاق $\Delta\lambda$.[4]

طول المحزز يتأثر بـ N ويمكن ضبطه لأقصى انعكاسية والتي تعتمد على كل من قوة المحزز وطوله. إن القوة الجانبية للمحزز لا يمكن ضبطها إلا من خلال الضغط الجانبي للمحزز وهذا ما يدعى بتغير معامل الانكسار الجانبي apodization وان الدالتين العمليتين المستعملتين لذلك هما الدالة الكاوسية والجيب تمام [4] .

ب– محززات براك ذات التكرار الخطي المتغير (المزحزح) Linear Chirped FBG

يمكن تعديل معامل الانكسار الجانبي , يشير المصطلح إلى طريقة تدرج معامل انكسار قلب الليف بتغيرات متكررة ، زحزحة، وبذلك يتغير الطول ألموجي المنعكس بتغير التكرار ليشمل طيف انعكاس عريض وعلى هذا الأساس ستخضع الترددات المختلفة إلى تأخيرات مختلفة.هذه السمة قد استعملت في تطوير أنظمة Phase-array antenna وفي تعويض Polarization Mode Compensation أيضا كما موضح بالشكل (6) المرفق أدناه لذا سيظهر طيف الانعكاس كدالة للطول ألموجي كما هو في الشكل (3) والمتمركز حول موجة براك [4].

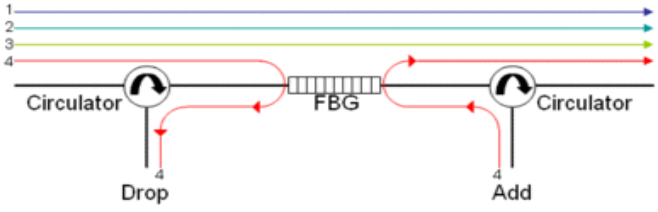


شكل (6) زحزحة معامل الانكسار الجانبي في Chirped FBG[4]

ج- محززات براك المائلة Tilted FBG

في هذا النوع من المحززات تميل التغيرات في معامل الانكسار بزاوية مع المحور المركزي لليف وان مقدار الميلان يوثر على كل من الطول ألموجي المنعكس وعرض النطاق[4] .

استخدمت تقنية محززات براك في العديد من التطبيقات العملية لمنظومات الاتصالات الضوئية كاستخدامها في تضمين المعلومات وكمرشح بصري [6] , مدخل متعدد الاستعمال لإضافة قناة أو لإزالة قناة "لاحظ الشكل (7)" [4], متحسس للإجهاد [7] أو كمتحسس لدرجة الحرارة [4].



شكل (7) استخدام FBG كمدخل متعدد [4]

3- الجزء العملي:

فيما يلي جدول رقم(1) يعرض مواصفات الليف SMF الذي استخدمناه في مجموعة برمجيات الأدوات البصرية لمعالجة وتعويض تشتته اللوني .

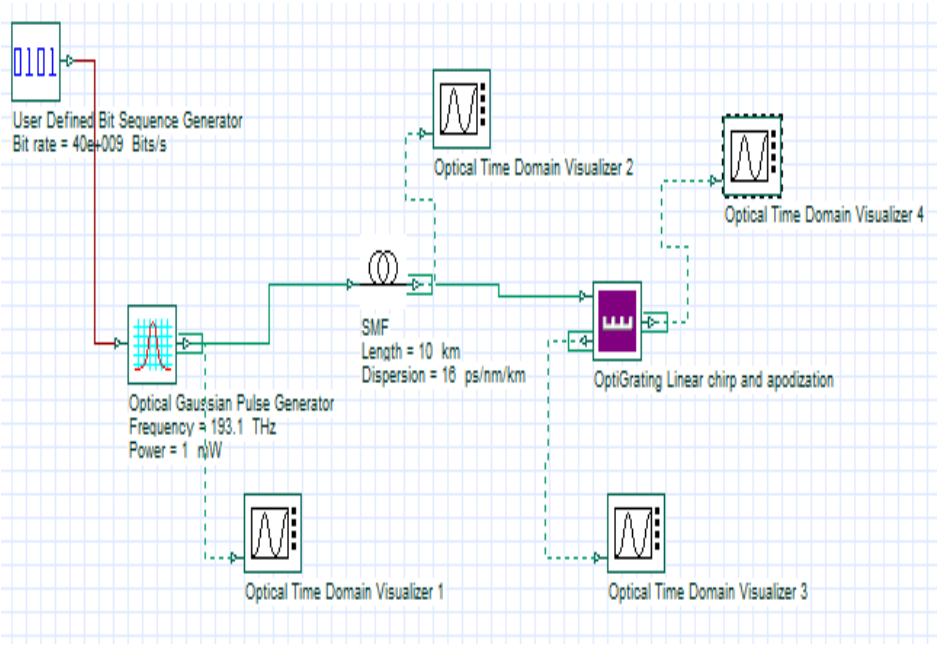
جدول رقم (1) مواصفات الليف البصري SMF

SMF Properties	
Reference wavelength	193.1 THz
Length	10 km
Attenuation	0.2 dB/km
Dispersion	16 ps/nm.km

أ- تعويض التشتت اللوني باستخدام OptiGrating linear chirped FBG

تم تهيئة منظومة ضوئية في الشكل (8) أدناه لفحص عملية التعويض لمعدل إرسال 40Gb/s , 0.5 time bit slot لنبضة ضوئية بالمواصفات الآتية : Freq. 193.1THz ,Power 1mW, Width 0.5 Bit . ولمتابعة التغيرات الحاصلة في النبضة لاحظ الشكل (9) أدناه إذ يعرض طيف النبضة الضوئية المنتقلة , الشكل

9:A يعرض النبضة بعرض 12.5 ps وبقدرة أقصاها 1 mw ثم في الشكل 9:B بعرض يقارب 50ps~ وقدرة 270µwبعد انتقالها لمسافة 10km داخل الليف, بسبب التوهين وتراكم **التشتت اللوني لليف البصري** (160 ps/nm) , وأخيرا في الشكل 9:C إذ ظهرت النبضة بعرض 18ps وقدرة 13µw بعد تعويض تشتتها بانعكاسها عن الأداة البصرية. يتبين بوضوح نجاح عملية التعويض في تشتت عرض النبضة على حساب النقصان في القدرة .



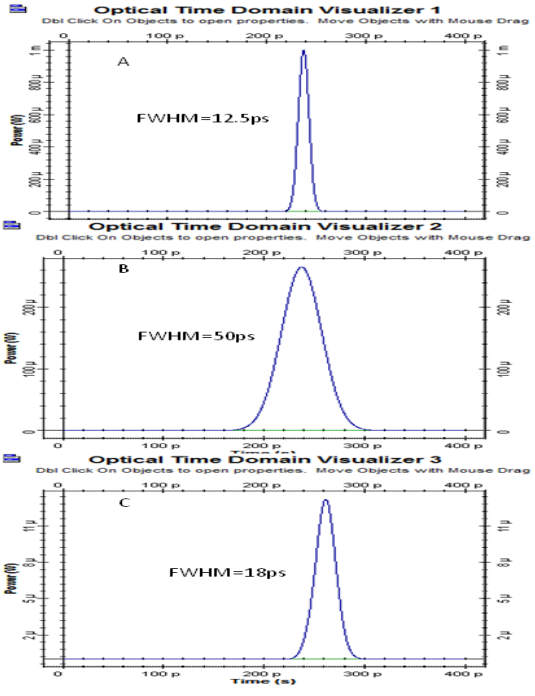
شكل (8) دائرة تعويض التشتت اللوني لليف SMF باستخدام

OptiGrating Linear chirp and apodization

صممت أداة التعويض هذه في احد الملفات الخاصة بمجموعة البرمجيات البصرية وفيما يلي بيانات التصميم للأداة موضح في الجدول (2) .

جدول رقم (2) مواصفات الأداة البصرية OptiGrating Linear chirp and apodization

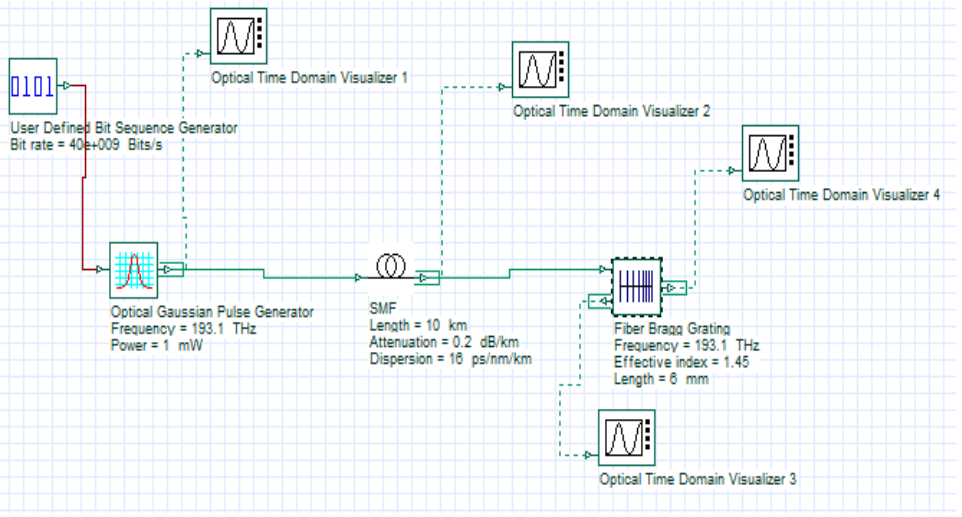
Properties OptiGrating linear chirped FBG			
Single fiber profile		Grating definition	
Core width	2µm	Grating shape	Sine
Refractive index	1.46	Average index	uniform
Cladding width	8µm	Period chirp	Linear
Refractive index	1.45	Apodization	uniform
step	1	Length	16 mm
Central frequency	1.55 µm	Period	0.53381µm
		Total chirp	0.35 nm



شكل(9) طيف النبضة الضوئية : A– عند مولد النبضة . B– بعد 10km.

C– المنعكسة عن أداة التعويض .

ب- **تعويض التشتت اللوني باستخدام FBG** . تم بناء الدائرة في الشكل (10) باستخدام الأداة البصرية FBG المبينة مواصفاتها في الجدول رقم (3) لانجاز عملية التعويض في التشتت اللوني للنبضة الضوئية.

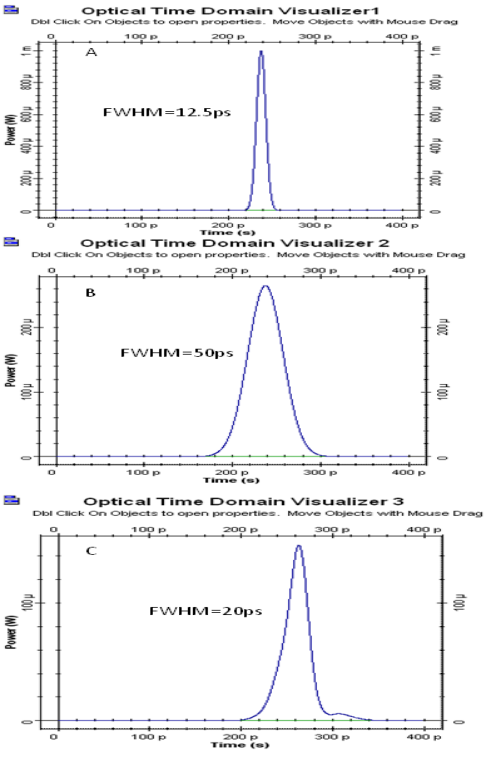


شكل (10) دائرة تعويض التشتت اللوني لليف SMF باستخدام FBG

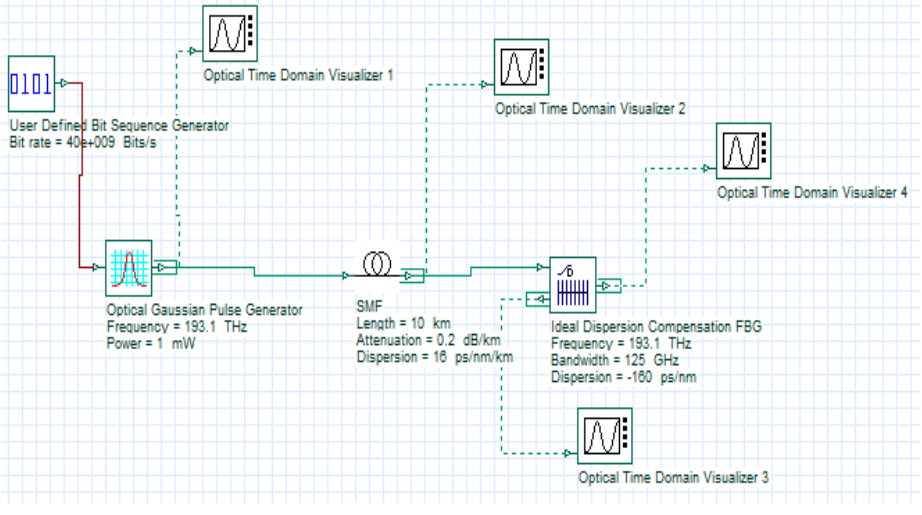
جدول رقم (3) مواصفات أداة التعويض Fiber Bragg Grating

Fiber Bragg Grating Properties					
Frequency	193.1 THz	Length	6 mm	Chirp Function	Linear
Effective Index	1.45	index of modulation	0.0001	Apodization	Uniform

الشكل (11) يوضح التغيرات التي تطرأ على النبضة الضوئية أثناء انتقالها خلال الدائرة وتعويض تشتتها بالأداة البصرية FBG .لاحظ أن عرض النبضة بعد التعويض بحدود 20 ps وبقدرة اقصاها 135 µw . وهي أفضل من سابقتها بسبب قلة التوهين إذ إن طول هذه الأداة 6 mm بينما 16 mm للأداة OptiGrating Linear chirp and apodization



شكل (11) طيف النبضة الضوئية : A– عند مولد النبضة. B– بعد 10 km .C– بعد التعويض



شكل (12) دائرة تعويض التشتت اللوني لليف SMF باستخدام

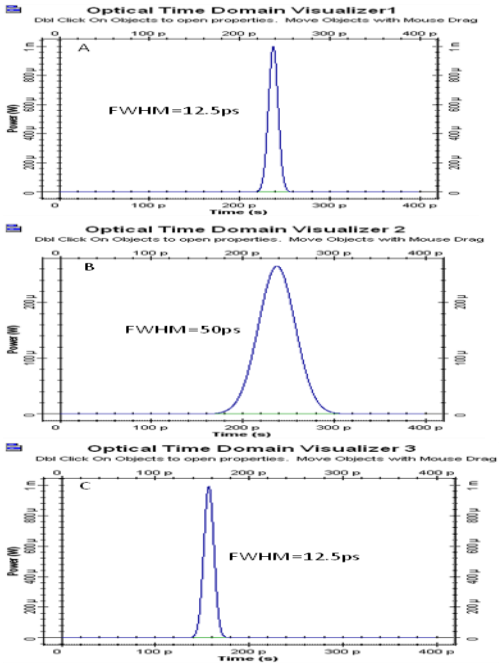
Ideal Dispersion Compensation FBG

ج- تعويض التشتت اللوني باستخدام
Ideal Dispersion Compensation

في هذا الجزء تم تعويض التشتت اللوني للنبضة باستخدام أداة التعويض المثالية ذات المواصفات المعروضة بالجدول (4) إذ تم تثبيت تعويض التشتت المطلوب -160ps/nm بدون أي خسائر تذكر insertion loss =0 dB , لاحظ الشكل (12) للدائرة البصرية المستخدمة والشكل (13) لتغيرات النبضة . وكما هو متوقع ستكون النبضة بعد التعويض مطابقة تماما لشكلها الابتدائي , لاحظ الشكل (13:C) .

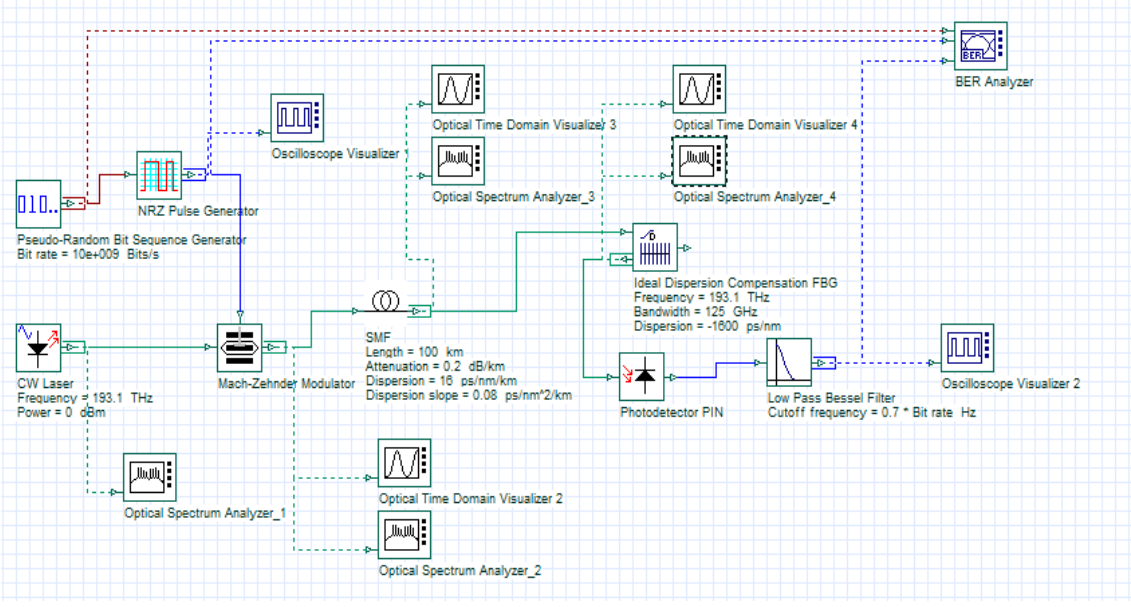
جدول رقم (4) مواصفات أداة التعويض Ideal Dispersion Component

Ideal Dispersion Component Properties			
Frequency	193.1THz	Insertion Loss	0 dB
Bandwidth	125 GHz	Dispersion	-160 ps/nm



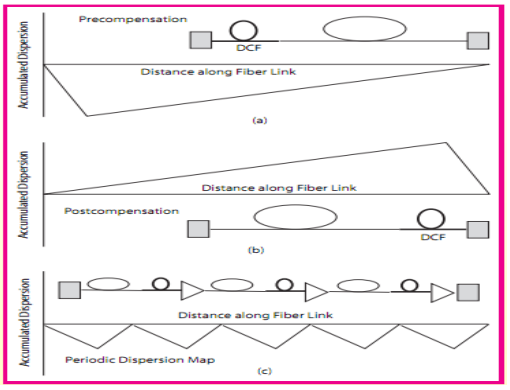
شكل (13) أشكال النبضة : A-عند المولد . B- بعد الليف. C- بعد التعويض.

ولدراسة تأثير التعويض على أداء منظومة اتصالات الليف SMF بطول 100 km لنقل 10 Gbps NRZ تم تهيئة المنظومة الموضحة في الشكل (14) حيث اعتمدنا أسلوب التضمين الخارجي باستخدام الأداة البصرية Mach-Zehnder Modulator والمصدر الضوئي CW Laser بقدرة 0 dBm وتردد 193.1 THz .



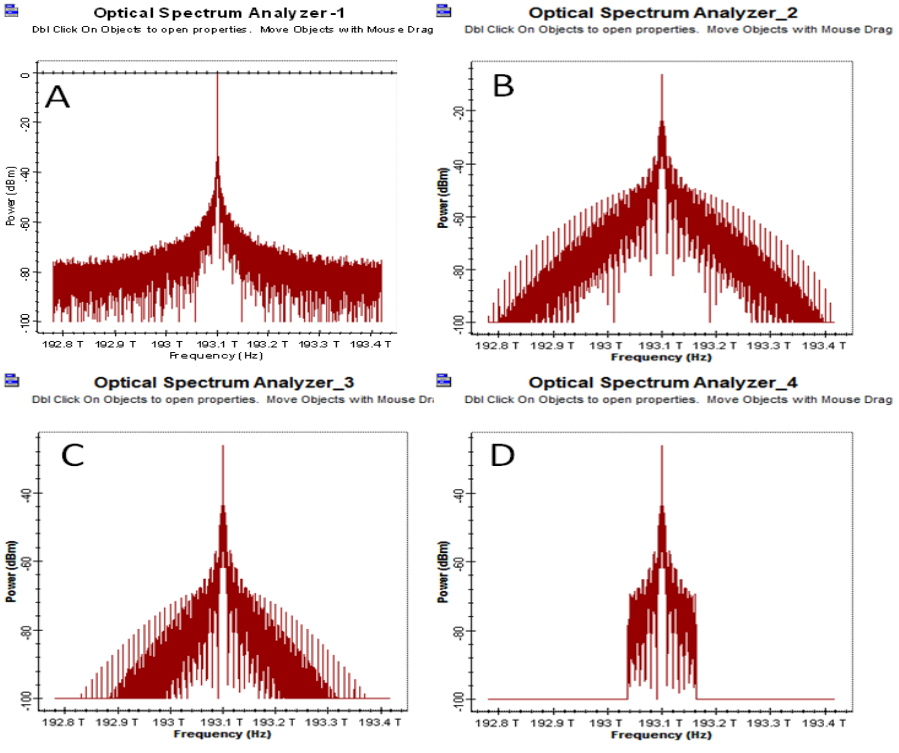
شكل (14) منظومة اتصالات الليف SMF واثر التعويض في التشتت اللوني على أداء المنظومة

عمليا يمكن إتمام التعويض في التشتت بثلاثة أنماط كما هو مبين في الشكل (15) a: تعويض أولي قبل الليف , b : تعويض نهائي بعد الليف , c : تعويض متكرر . ولقد بينت الدراسات السابقة أن اختيار نمط التعويض النهائي هو الأفضل في الأداء [5] لذا تم اعتماد هذا النمط في الشكل (14) .



شكل (15) الأنماط الثلاثة في عمليات التعويض

بصورة عامة المعيار المتداول لتقييم أداء أي منظومة اتصالات رقمية ممثل باحتساب معدل خطأ البيانات Bit Error Rate ,"BER" $\leq 10^{-9}$ وعامل النوعية Quality Factor ,"QF" ≥ 6[5]. الشكل (16) يظهر تغيرات الطيف لمصدر الليزر A :عند المصدر, B : بعد التحميل بالمعلومة , C : بعد الليف , D : بعد التعويض.

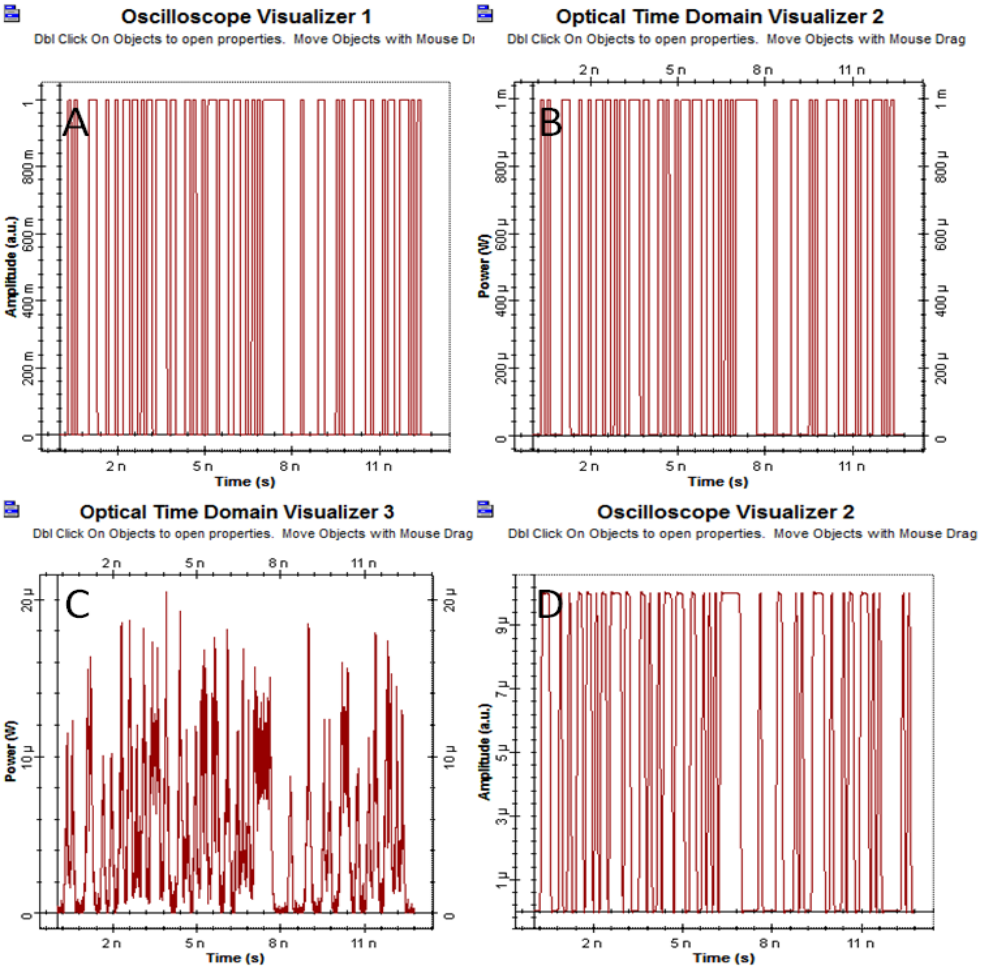


شكل (16) تغيرات الطيف لمصدر الليزر عبر مناطق مختلفة من المنظومة

A- عند المصدر. B- بعد التضمين . C- بعد الليف . D- بعد التعويض .

لاحظ النقصان في القدرة والتشوه والاتساع الحاصل في الطيف وبخاصة بعد الليف , الشكل 16:C , بسبب تراكم التشتت اللوني لليف (1600 ps/nm= 100Km×16 ps/nm.km) بينما تتضح معالجة الأداة البصرية Ideal Dispersion Component في كبس الطيف في الشكل 16:D .

ولإظهار التغيرات الحاصلة بالمعلومة تم تسجيل الشكل (17) إذ يعرض الاوسيلسكوب الإشارة عند المولد في 17:A بينما يعرض المحلل الضوئي الإشارة الضوئية بعد التضمين في 17:B وبعد انتقالها بالليف لمسافة 100 km في 17:C ثم بالاوسيلسكوب بعد التعويض والكشف في 17:D .



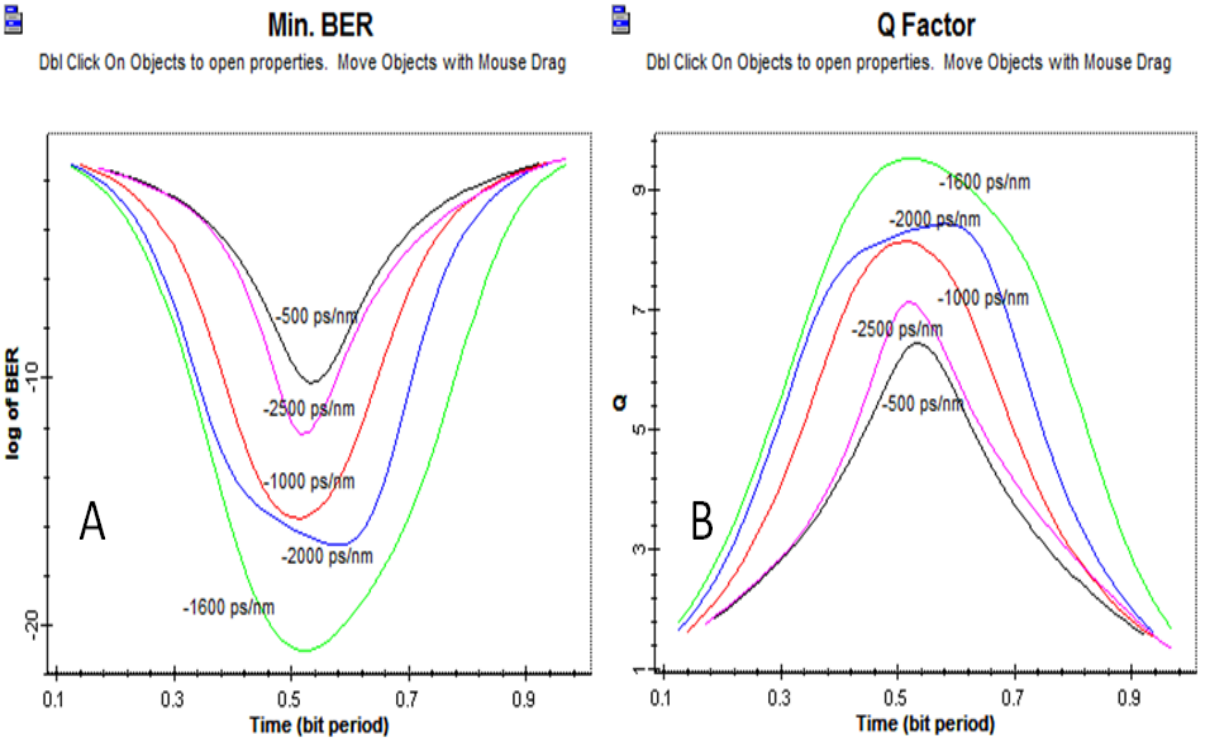
شكل (17) شكل المعلومة 10Gbps NRZ عبر مناطق مختلفة من المنظومة

A- عند المولد . B- بعد التضمين . C- بعد الليف . D- بعد التعويض والكشف .

ولأجل تحديد أفضل أداء للمنظومة قمنا بتغيير قيم التعويض في التشتت لأداة التعويض , المبينة في الشكل (14) , ضمن مدى (-500,-2500) ps/nm .

تبين بان أعلى قيمة لعامل النوعية Max.QF=9.51 وأدنى معدل لخطأ البيانات $Min.BER=8.7\times10^{-22}$

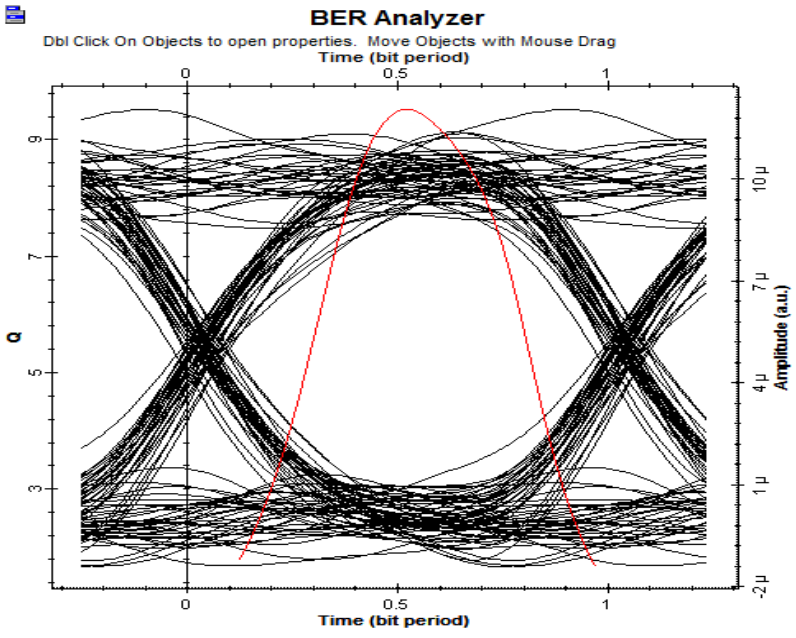
عندما يكون التعويض 1600 ps/nm- , لاحظ الشكل (18) , وهو مطابق تماما للتشتت المتراكم لطول الليف 100 km .



شكل (18) التغيرات في :- A: Min.BER , B: Max.QF لمختلف التعويضات.

لاحظ إن أدنى معدل لخطأ البيانات وأعلى عامل نوعية , المتمثل باللون الأخضر في A,B, يحدث عند قيمة التشتت المتراكم لطول الليف إذ نشاهد أهمية التعويض المتمركز عند - 1600 ps/nm والمناظر لأفضل أداء . أما الشكل (19)

فانه يظهر تحليل واحتساب قيم BER,QF بين الإرسال والاستقبال لأداة الفحص الالكترونية BER Analyzer عند -1600 ps/nm .



شكل (19) تحليل قيمBER وQ.F عند تعويض قدره -1600ps/nm

4- الاستنتاج :-

من ما سبق يمكن التوصل إلى الاستنتاجات الآتية :-

1- استخدام الأداة FBG مثالي في تعويض التشتت اللوني المتراكم لليف البصريSMF .

2- أشكال الأداة FBG تضمنت ليف ضوئي بطول صغير قدره 6 mm للأداة Fiber Bragg Grating و بطول قدره 16 mm للأداة OptiGrating Linear chirp and apodization غير أنهما يسببان خسارة في القدرة بمقدار 4.8% للأولى و 50% للثانية .

3- تبين أن أسلوب تحليل معدل خطأ البيانات وعامل النوعية لقيم مختلفة من تعويض التشتت لنظم الاتصالات الضوئية التي تضم الأداة FBG نجح في البحث عن أفضل أداء للمنظومة .

4- قيمة التعويض في التشتت اللوني لليف SMF تمركزت حول التشتت المتراكم لطول الليف الضوئي المستخدم .

5- المصادر:-

1- S.Devra and G. kaur, "Dispersion compensation using all pass filters in optical fibers", IACSIT press, IPCSIT Vol. 6, 2011 .

2- M.Syuhaimi and M.Moghaddasi," A comparison between Electrical and optical chromatic dispersion compensation in wavelength division multiplexing network regarding to electrical pulse shapes", J. Comp. Sci. 8(1) , pp.76-83, 2012.

3- M.Chen," chromatic dispersion monitoring method based on semiconductor optical amplifier spectral shift effect in 40 Gb/s optical communication systems", Advances in optical amplifiers, 2011.

4- http://en.wikipedia.org/wiki/file:Fiber_Bragg _Grating -en-evg.

5- G.P. Agrawal , fiber-optic communication system, Institute of optics University of Rochester, 2007.

6- الهلالي ، دريد حازم ، "استخدام المضمن الصوتي الضوئي في تحليل الطيف الضوئي" ، مجلة أبحاث كلية التربية الأساسية ، المجلد 11، العدد 2 ،2011.

7- F. Urban, J. Kadlec , R. Vlach and Radek Kuchta ," Design of a Pressure Sensor Based on Optical Fiber Bragg Grating Lateral Deformation", Sensors , 2010 .10.11212-11225.