

تأثير الحرارة على خصائص التشغيل المستمر والتضمين لليزر الفجوة العمودية ذي الانبعاث السطحي VCSEL باستخدام برنامج المحاكى الضوئي Optisys7

أفراح مشعل كريم، يونس ذنون يونس*

قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل

<https://doi.org/10.54153/sjpas.2021.v3i4.300>

البحث مسجل من رسالة ماجستير الباحث الاول

الخلاصة:

تعد ليزرات الانبعاث السطحي ذي الفجوة العمودية VCSEL حلا واعدة للكثير من المشاكل التكنولوجية التي تتطلب نقل بيانات بسرعات عالية جدا كأنظمة الايثرنت ذات البيانات في حدود التيرابت لكل ثانية وغيرها. تضمن هذا البحث استخدام برنامج المحاكى الضوئي Optisystem7 لغرض دراسة تأثير درجة الحرارة على خصائص التشغيل المستمر CW كخصائص (التيار-الضوء) وكفاءة الميل والتيار العتبة، وكذلك دراسة الخصائص الديناميكية والتي تشمل تضمين هذا النوع من الليزر بمعدلين من البيانات الشبه العشوائية (16, 10) Gbps، من خلال تحليل نمط مخطط العين Eye-diagram وعامل النوعية QF ونسبة خطأ البت BER، لحالات تضمين الليزر من خلال تثبيت جميع الخصائص والمتغيرات لمنظومة المحاكاة وتعديل معلم واحد فقط وهي درجة حرارة الليزر. أظهرت نتائج المحاكاة الحاسوبية زيادة تيار العتبة ومعامل التضمين I_{th} مقابل زيادة درجة الحرارة لليزر VCSEL ومن الجانب الاخر وجدنا تناقصا كبيرا في كفاءة الميل SE وسجلنا ايضا تناقصا في عامل النوعية QF مقابل زيادة نسبة خطأ البت BER مع زيادة درجة حرارة الليزر VCSEL. أظهرت نتائج المحاكاة ايضا ثباتا كبيرا لليزر في جودة التضمين مع زيادة درجة الحرارة.

معلومات البحث:

تأريخ الاستلام: 2021/08/23

تأريخ القبول: 2021/10/01

الكلمات المفتاحية:

الاتصالات الضوئية، تضمين الليزر
شبه الموصل، الخصائص الحرارية
لليزر VCSEL، تيار العتبة، برنامج
المحاكاة OptisysVer.7

معلومات المؤلف

الايمل: younisthannon@uomosul.edu.iq

الموبايل: 07739644121

المقدمة:

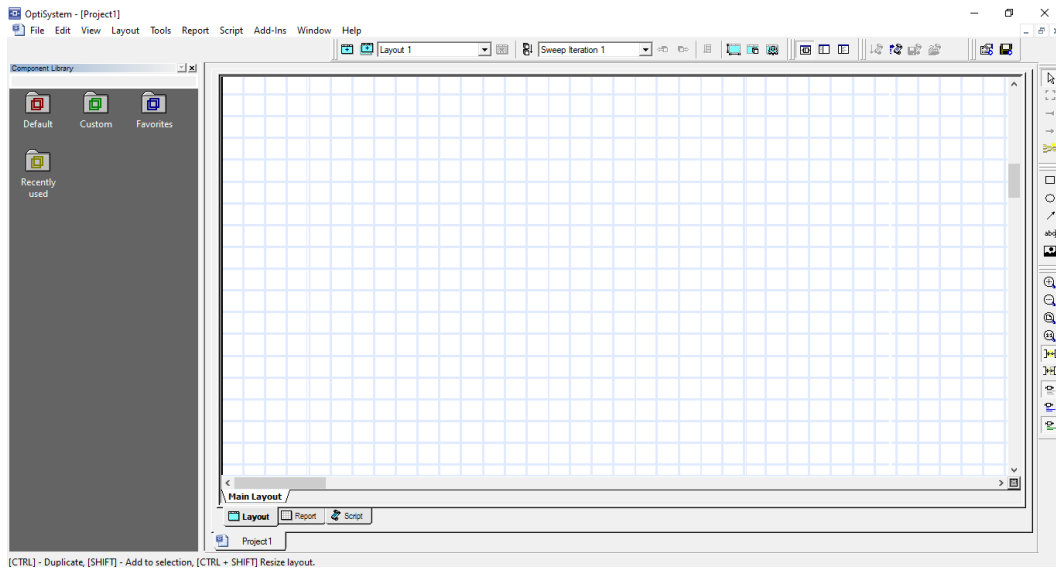
يعد ليزر الانبعاث السطحي ذو التجويف العمودي (VCSEL) Vertical Cavity Surface Emitting Laser من أحدث أنواع الليزر ويتبين من تسميته بأن الضوء ينبعث بشكل عمودي على سطحه خلاف الأنواع التقليدية من ليزرات اشباه الموصلات التي تشع الضوء من الوجهين الجانبين او حافة الليزر الاقوي Edge emitting [1][2]. بسبب سرعة عرض نطاق تضمينه العالي والتيار عتبه الواطئة ورخص ثمنه، فانه يعد مفتاح الحل لكثير من التطبيقات التكنولوجية منها الايثرنت في مدى الكيكا والتيرابايت للشبكات الواسعة النطاق WAN والوصلات البينية الضوئية في الحاسبات الفائقة السرعة super computer وشاشات العرض.

إن مبدأ عمل الليزر VCSEL يشابه الأنواع التقليدية من ليزرات اشباه الموصلات والتي تتميز بإشعاع الضوء من الوسط الفعال او وسط التضخيم الذي يتراوح سمكه ما بين عدة نانومترات الى عدة مايكرومترات لذلك بسبب هذا الطول الضئيل للوسط الفعال فإن هذا النوع من الليزر يتطلب مرنان ذات انعكاسية عالية جدا أكثر من 99% ويتم الحصول على هذه الانعكاسية العالية من عواكس مكونة من طبقات متعددة مترابطة من مواد ذات معاملي انكسار متناوبتين في القيمة مكونة ما يسمى بعاكس براك الموزعة DBR Distributed Bragg Reflector [3][4]. وموجه موجة براك الموزعة DBR waveguide وعاكسات متعددة الطبقات, توضع فوق وتحت المنطقة الفعالة لتعمل كمرنان تعكس حتما ضيقة من الانماط الرنينية للأطوال الموجية المتولدة

في المنطقة الفعالة وتخرج جزء من هذه الأشعة المكبرة والمتذبذبة بين المرأتين من المرآة العلوية (ذات معمل الانكسار الأقل من المرآة الخلفية) مكونة اشعاعا متشاكها ذات طول موجي منفرد (بسبب عامل النوعية العالية جدا لمرنان الليزر VCSEL)، ان من ابرز مميزات الليزر VCSEL صغر حجمه , وتيار عتبه الصغير التي لا يتجاوز (1mA) , وكذلك يتميز باستقرارية حرارية عالية لا يتأثر بتغيرات درجة الحرارة [5][6] .

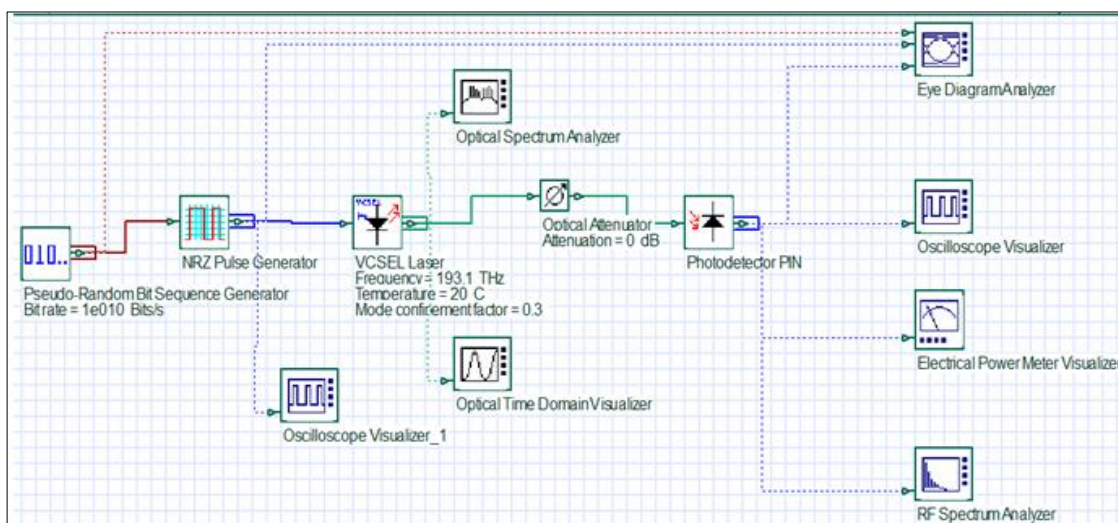
اعداد المحاكاة Simulation Setup

تم تصميم وبناء دائرة تضمين الليزر باستخدام برنامج المحاكى الحاسوبي Optisys7 من شركة Optiwave™ الكندية، والمخصصة لتصميم انظمة الارسال والاستلام وشبكات الاتصالات الضوئية [7]. يبين الشكل (1) الواجهة الرئيسية للبرنامج بعد تشغيل البرنامج المحاكى يتم بناء الدائرة الارسال الضوئية من خلال فتح مشروع جديد New Layout وازافة المكونات الاساسية (كالليزر والكاشف الضوئي ومولد النبضات وغيرها) بالسحب من مجلد مكتبة العناصر التي تظهر على يسار الواجهة وادراجها الى بيئة العمل ثم الربط فيما بينها.



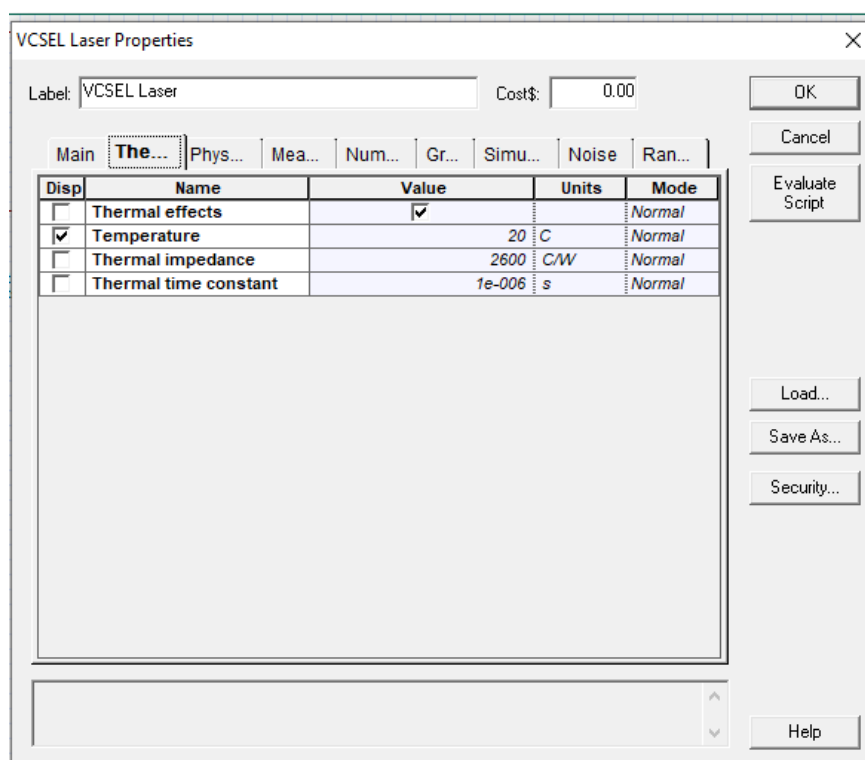
الشكل (1) الواجهة الرئيسية لبرنامج المحاكى الضوئي Optisystem7

يتألف منظومة الارسال الضوئية وكما يظهر من الشكل (2) من نبيطة ليزر الفجوة العمودية ذي الباعث السطحي VCSEL والذي يتم تضمينه بشكل مباشر بواسطة اشارة عدم الرجوع للصف NRZ والتي بدورها تكون مدفوعة بمولد متسلسلة بت شبه عشوائية PRBS مع معدل بت مقداره 10Gbps وتمثل اشارة التضمين او ما تسمى باشارة معلومات النطاق الاساس , يتم توجيه الخرج الضوئي عن طريق وسط موهن ضوئي واستلام اشارة الكاشف الضوئي وبذلك يتم تحويل الاشارة الضوئية الى اشارة كهربائية لاستخراج تسلسلات البت العشوائية المتكونة في النطاق الاساسي base band ويتم مراقبة اشارة تسلسل البتات (السلسلة الزمنية) من محلل الطيف الكهربائي حيث تقاس الاشارة الكهربائية لتسلسل البتات بواسطة مقياس مستوى الشدة بالديسيبل (dB) وان جزءا من الاشارة الضوئية الخارجة من الليزر VCSEL يتم اظهاره بواسطة محلل المجال الزمني الضوئي Optical Time Domain Visualizer ويتم تحليل طيفه بواسطة محلل الطيف الضوئي Optical Spectrum Analyzer (OSA) . يبين الجدول (1) قيم المعلمات الاساسية لليزر المستخدم في المنظومة [7].



الشكل (2): دائرة الارسال الضوئية المستخدمة لتضمين الليزر (VCSEL) باستخدام برنامج Optisys7

يتم التحكم بدرجة حرارة الليزر من خلال نافذة خصائص الليزر VCSEL التي يتم فتحها بالنقر المزدوج على زر الليزر VCSEL في واجهة العمل وكما مبين في الشكل (3). يتم تثبيت كافة متغيرات الليزر على القيم الموجودة في الجدول (1) وتغيير درجة الحرارة فقط من خلال قائمة الخصائص الحرارية المدمجة في نافذة الخصائص العامة لليزر.



الشكل (3): نافذة الخصائص الحرارية لعنصر الليزر VCSEL في برنامج Optisystem7

النتائج والمناقشة

تضمن دراسة تأثير درجة الحرارة على خصائص الليزر VCSEL في هذا البحث عدة نواحي:
أ- تأثير درجة الحرارة على خصائص الليزر الباعث للسطح ذو التجويف العمودي VCSEL

نتيجة التسخين الناتج عن التأثير الجول – الاومي وايضا بسبب خسائر امتصاص الحاملات الحرة فإن درجة حرارة الليزر VCSEL تصعد تلقائيا مع استمرار تشغيل الليزر، ويمكن التعبير عن درجة حرارة المنطقة الفعالة T نتيجة تأثير التسخين الذاتي بالعلاقة الاتية [8]:

$$T = T_{amb} + (IV - P)R_{th} - \tau_{th} \frac{dT}{dt} \quad \dots (1)$$

حيث ان T_{amb} تمثل درجة حرارة المحيط (الجو) و I تيار حقن الليزر، و V فولتية الليزر، و τ_{th} الثابت الزمني الحراري، و P القدرة الضوئية و R_{th} الممانعة الحرارية ل VCSEL والتي تعطى بالعلاقة :

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P_{diss}} \quad \dots (2)$$

حيث ΔT هي مقدار الزيادة في درجة الحرارة لليزر P_{diss} القدرة الكهربائية المبددة والمعطى بالعلاقة الاتية :

$$P_{diss} = IV - P = IV(1 - \eta_c) \quad \dots (3)$$

حيث ان η_c تمثل الكفاءة الخارجية او كفاءة الميل لليزر تؤثر على اداء الليزر، بشكل عام زيادة درجة الحرارة تعمل على تناقص فجوة الطاقة لمادة المنطقة الفعالة وبالتالي زيادة الطول الموجي المنبعث كذلك يؤثر على كفاءته الكمية الداخلية وعلى عمره التشغيلي، وبسبب تغير كفاءته الكمية فإن تيار العتبة I_{th} ستتغير وفقا لذلك و تكون دالة لدرجة الحرارة :

$$I_{th} = I_{th300K} e^{(T-300)/T_0} \quad \dots (4)$$

حيث ان I_{th300k} تمثل تيار العتبة لليزر عند درجة حرارة الغرفة 300k و T درجة حرارة العمل لليزر و T_0 معلم لمدى حساسية تيار العتبة لدرجة الحرارة وكلما كانت قيمته كبيرة كانت افضل لليزر VCSEL لمدى واسع من درجات الحرارة [10]. يتم فحص اداء الحالة المستقرة لهيكل الليزر الباعث لسطح التجويف العمودي تحت تأثير درجة الحرارة عدديا حيث استخدم محاكاة برنامج الليزر في هذه الدراسة وان الزيادة في درجة الحرارة تؤدي الى زيادة تيار العتبة وانخفاض طاقة الخرج للطول الموجي لليزر وانخفاض في كفاءة خرج المنحدر وكفاءة الكم التفاضلية علاوة على ذلك فان العمر التشغيلي لليزر اشباه الموصلات يتناقص عادة بشكل كبير مع درجة حرارة منخفضة باستمرار للحصول على موثوقية أفضل [11].

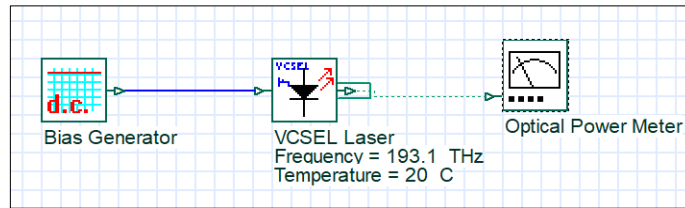
الجدول (1): المعلمات الاساسية لليزر VCSEL [7]

Parameter	Value	Unit
Active layer Volume (V)	1.5×10^{-10}	cm^3
Group velocity (v)	8.5×10^9	cm/s
Quantum efficiency (η_0)	0.4	
Differential gain coefficient (σ_d)	2.5×10^{-16}	cm^2
Carrier density at transparency (N_T/V)	10^{18}	cm^{-3}
Mode confinement factor (Γ)	0.1-0.5	
Gain coefficient (g)	16000	1/s
Carrier number at transparency (NT)	19400000	
Carrier lifetime (τ_c)	10^{-9}	s
Photon lifetime (τ_p)	3×10^{-12}	s
Spontaneous emission factor (β)	3×10^{-5}	
Gain compression coefficient (ϵ_m)	10^{-17}	cm^3
Linewidth enhancement factor (α)	5	
Current injection efficiency (η_{inj})	1	
Scaling factor (S)	2.6×10^{-8}	w

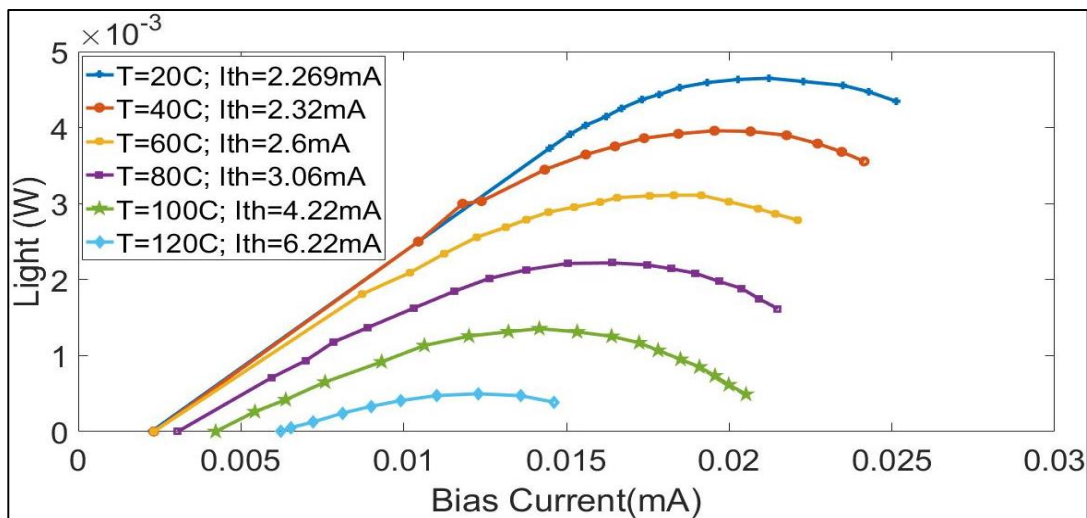
ب- تأثير درجة الحرارة T على تيار العتبة وكفاءة الميل لليزر الفجوة العمودية

من المعروف ان ليزرات-اشباه الموصلات تكون شديدة-الحساسية في تأثر-خصائصها (الكفاءة الكمية، تيار العتبة، الطول الموجي للنمط الرئيسي وغيرها) مع تغير درجات الحرارة للمنطقة الفعالة. على هذا الاساس قمنا بقياس خصائص (التيار المستمر-القدرة الضوئية) (L-I) characteristics من خلال تنفيذ محاكاة المنظومة المبينة في الشكل(4) المصمم ببرنامج المحاكى الضوئي Optiwave7، عند درجات حرارة متعددة لمعرفة الاداء-الاقصى لليزر الانبعاث السطحي VCSEL ومن هذه المنحنيات تم

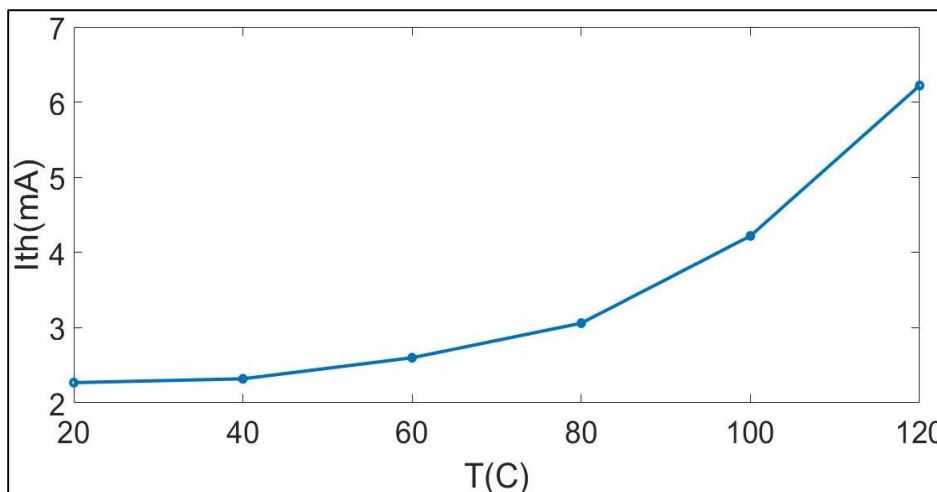
حساب تيار العتبة I_{th} لكل درجة حرارة T , ومن خلال تنفيذ محاكاة الشكل (4) عند درجات حرارة مختلفة حصلنا على منحنيات $L-I$ لدرجات حرارة متعددة, كما يظهر في الشكل (5), والذي يتبين منه ان تيار العتبة I_{th} للليزر تزداد مع زيادة درجة الحرارة ويكون هذه الزيادة بشكل علاقة أسية exponential كما يظهر في الشكل (6) الذي يبين نتائج محاكاة تغير تيار العتبة I_{th} مع درجة الحرارة والذي يتوافق مع المعادلة (4).



الشكل (4): مخطط الدائرة المستخدمة لدراسة خصائص (التيار-القدرة الضوئية) لليزر VCSEL



الشكل (5): خصائص التيار-الضوء للخروج الضوئي لليزر VCSEL مع تيار الحقن عند درجات حرارة مختلفة وتغير تيار العتبة I_{th} مع درجة الحرارة T



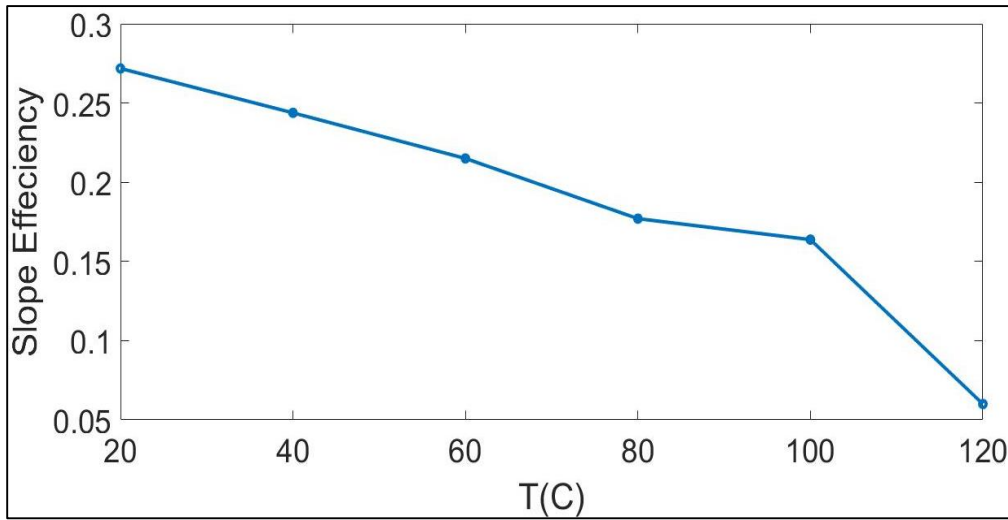
الشكل (6): تيار العتبة I_{th} لليزر VCSEL كدالة لدرجة الحرارة T

ايضا تم حساب كفاءة الميل (SE) Slope Efficiency من منحنيات الشكل (5) وقياس تغيرها مع درجة الحرارة وكما يظهر في المخطط البياني للشكل (7) اذ يظهر فيها انخفاض ميل المنحنيات بارتفاع درجة الحرارة دلالة على انخفاض كفاءة الميل

slope efficiency مع زيادة درجة الحرارة . نظرا لاعتمادية تيار-العتبة على درجة الحرارة فان معامل-التضمين m الذي يعرف بأنه النسبة بين تيار الاشارة المضمنة I_m الى تيار حقن الليزر المستمر فوق العتبة كما معرّف بالمعادلة:

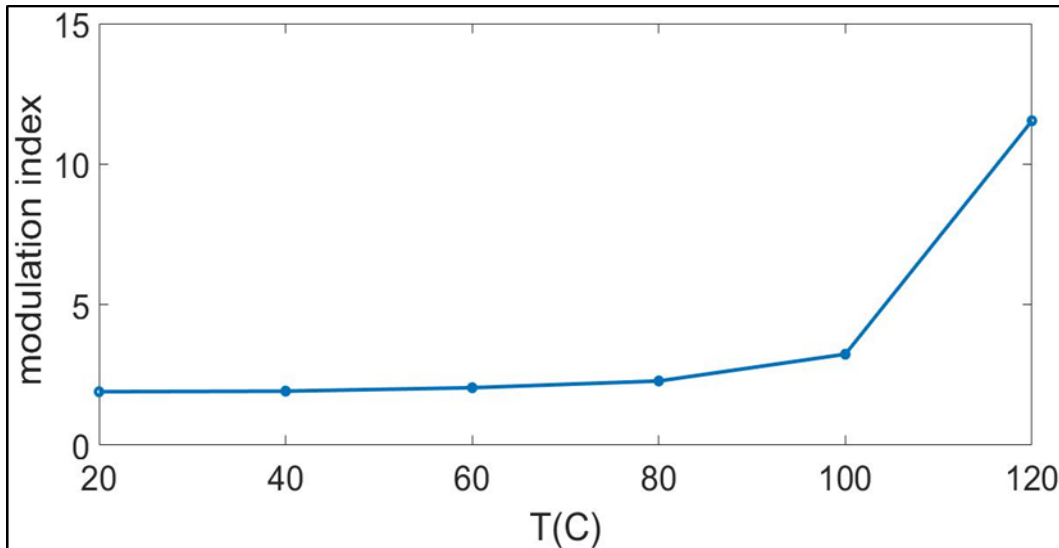
$$m = \frac{I_m}{I_b - I_{th}} \quad \dots(5)$$

حيث ان I_b تمثل تيار حقن الليزر المستمر



الشكل (7): كفاءة الميل (Slope Efficiency(SE) كدالة لدرجة الحرارة T لليزر VCSEL

وبسبب اعتمادية تيار العتبة I_{th} على درجة الحرارة فان معامل التضمين ايضا يكون متغيرا مع درجة الحرارة عند تثبيت كل من تيار انحياز الليزر المستمر I_b والتيار النبضي للاشارة المضمنة I_m وكما يظهر من الشكل (8) حيث ان العلاقة بين معامل التضمين m ودرجة الحرارة تكون طردية بشكل اسي نظرا لاعتماديتها على تيار العتبة التي بدورها تتغير اسيًا مع درجة الحرارة [12].



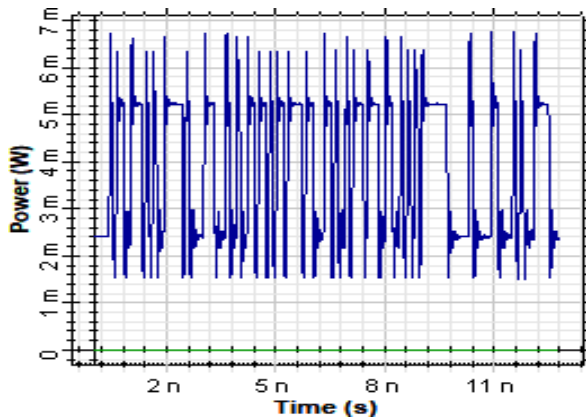
الشكل (8): منحنى اعتمادية معامل التضمين m على درجة الحرارة T

ج- تأثير درجة الحرارة على خصائص الحامل الضوئي المضمن لليزر VCSEL

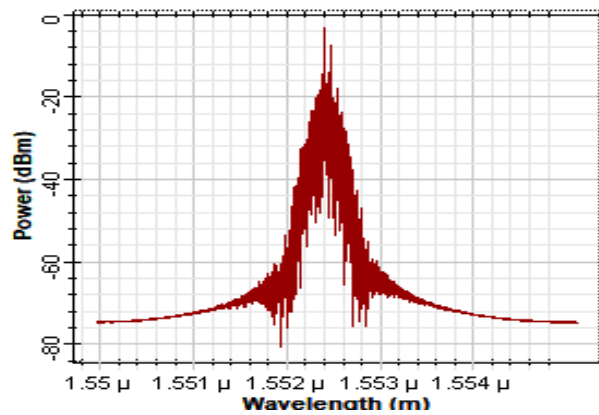
في هذا الجزء نبين تأثير درجة الحرارة على جودة تضمين ليزر الفجوة العمودية ذي الانبعاث السطحي VCSEL ببيانات شبه عشوائية PRBS بصيغة عدم الرجوع للصفر NRZ وبمعدل 10Gbps من خلال دائرة الارسال الضوئية المبينة في الشكل (2) والمصممة ببرنامج المحاكى الضوئي Optiwave7 [13] . ويظهر نتائج تنفيذ محاكاة دائرة الارسال للشكل(2) من خلال

الشكل (9a) المجال الزمني لضوء الليزر المضمن بنبضات NRZ بمعدل 10Gbps عند درجة حرارة 20°C , والشكل (9b) يبين طيف الإشارة الضوئية المضمنة المذكورة. اما قياس جودة نقل البيانات السريعة فيتم بتحليل نمط مخطط العين Eye diagram عند مرحلة استلام الإشارة في دائرة الكاشف [14].

تم ضبط متغيرات ليزر VCSEL وفقاً للجدول (1) وتم تثبيت تيار الانحياز المستمر I_b عند القيمة 7mA وتيار تضمين الإشارة NRZ عند القيمة 9mA مع تثبيت عامل حصر النمط عند القيمة $\Gamma=0.5$. فعند وضع درجة حرارة الليزر عند 20°C وتنفيذ المحاكاة حصلنا على نمط العين المبين في الشكل (10a) وفيها يظهر نمط العين-مفتوحاً بشكل واسع وسمك-مخطط العين يظهر بشكل-رفيع جداً بسبب تطابق سلسلة البتات المكونة لهذا النمط وهذا يشير الى ان نسبة الإشارة الى الضوضاء Signal-to-Noise ratio (SNR) عالية جداً وهذا يظهر جلياً من خلال عامل النوعية الذي بلغ $QF=23.34$ ونسبة خطأ البت بلغ $BER=8.082 \times 10^{-121}$ اي تقريباً صفر, بمعنى إشارة شبه خالية من الضوضاء. وعند رفع درجة الحرارة الى $T=45^{\circ}\text{C}$ وتنفيذ محاكاة دائرة الارسال حصلنا على شكل نمط العين المبين في الشكل (10b), وفيها ايضا يظهر نمط العين مفتوحاً-بشكل كبير لكنه اضيق من الحالة السابقة, وسمكه لازال-دقيقاً لكن أثنى من الحالة السابقة بقليل وفي هذا دلالة على زيادة ضوضاء التردد, ويظهر فيها زيادة قليلة في نسبة الضوضاء وعامل النوعية انخفض بشكل قليل الى $QF=15.26$ ونسبة خطأ البت ارتفع بشكل قليل ليصل الى $BER=6.5 \times 10^{-53}$ وهذه القيمة الضئيلة تشير الى قلة الخطأ في الإشارة المستلمة. عند وضع درجة حرارة الليزر للقيمة $T=65^{\circ}\text{C}$ وتنفيذ البرنامج تم الحصول على نمط العين المبين في الشكل (10c) وفيه ازداد سمك مخطط العين دلالة على زيادة نسبة الضوضاء-المترافق مع الإشارة الرقمية وانخفض عامل النوعية الى $QF=10.02$ وبالمقابل ارتفعت نسبة خطأ البت الى $BER=5.05 \times 10^{-24}$ وهي نسبة خطأ اعلى من سابقتها لكن لا زالت الإشارة عالية الجودة. عند وضع درجة حرارة الليزر عند $T=90^{\circ}\text{C}$ وتنفيذ محاكاة منظومة تضمين الليزر VCSEL ازدادت سمك مخطط العين بشكل كبير بسبب الزيادة الكبيرة في الضوضاء وكما يظهر في الشكل (10d), لذلك انخفض عامل النوعية الى $QF=6.723$. وارتفعت نسبة-خطأ البت الى $BER=8.206 \times 10^{-12}$ وهذه القيمة تعد الحد الاعلى المسموح بها حدوثه عند معدل ارسال 10Gbps في معايير الاتصالات الموصى من قبل منظمة مؤسسة IEEE لكي تكون نسبة ضياع البتات اقل ما يمكن، والحصول على أقل تشوه بالضوضاء [15].

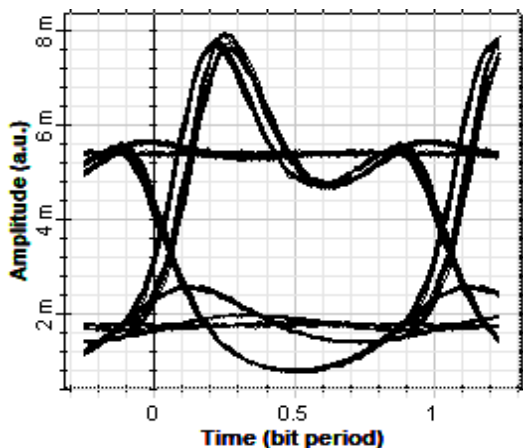


(a)

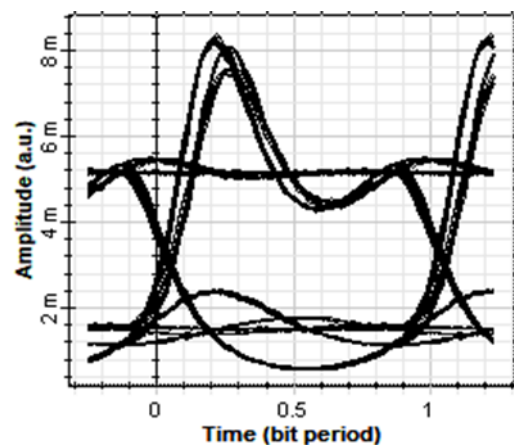


(b)

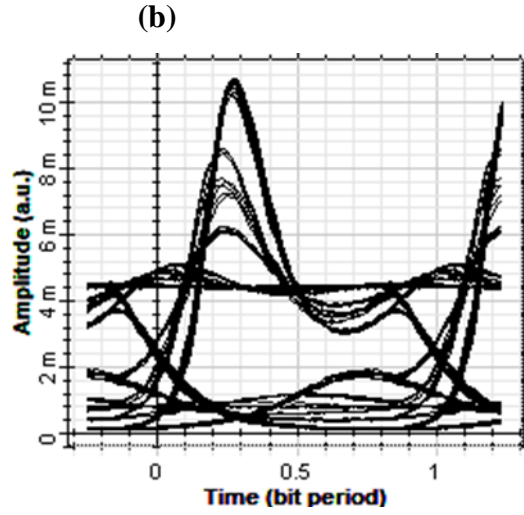
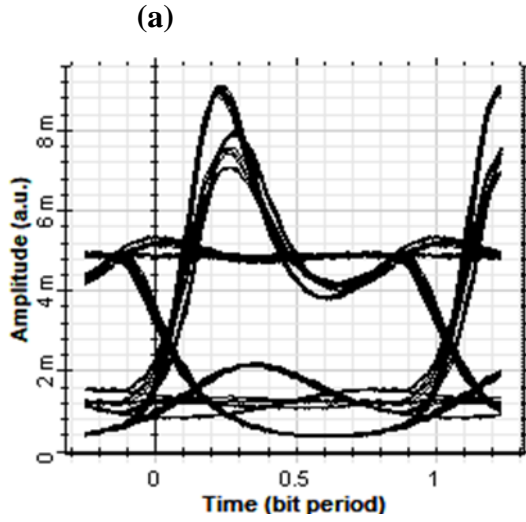
الشكل (9): الإشارة الضوئية المضمنة ل VCSEL بنبضات NRZ وبمعدل 10Gbps عند درجة حرارة 20°C ، (a) المجال الزمني، (b) الطيف الضوئي



$QF=23.342$; $BER=8.08 \times 10^{-121}$



$QF=15.26$; $BER=6.49 \times 10^{-53}$

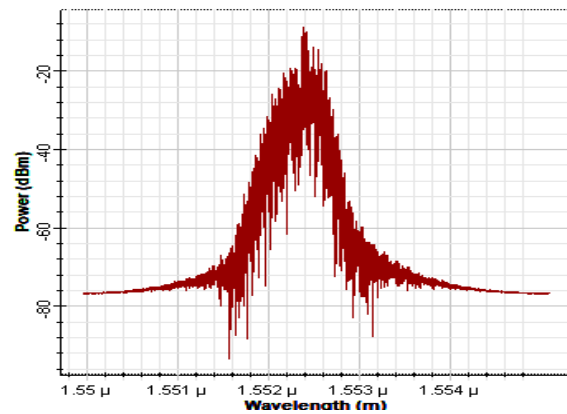
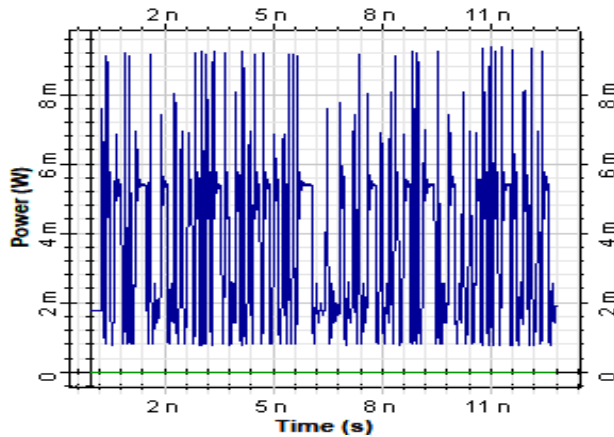


(c) QF=10.02; BER=5.05x10⁻²⁴

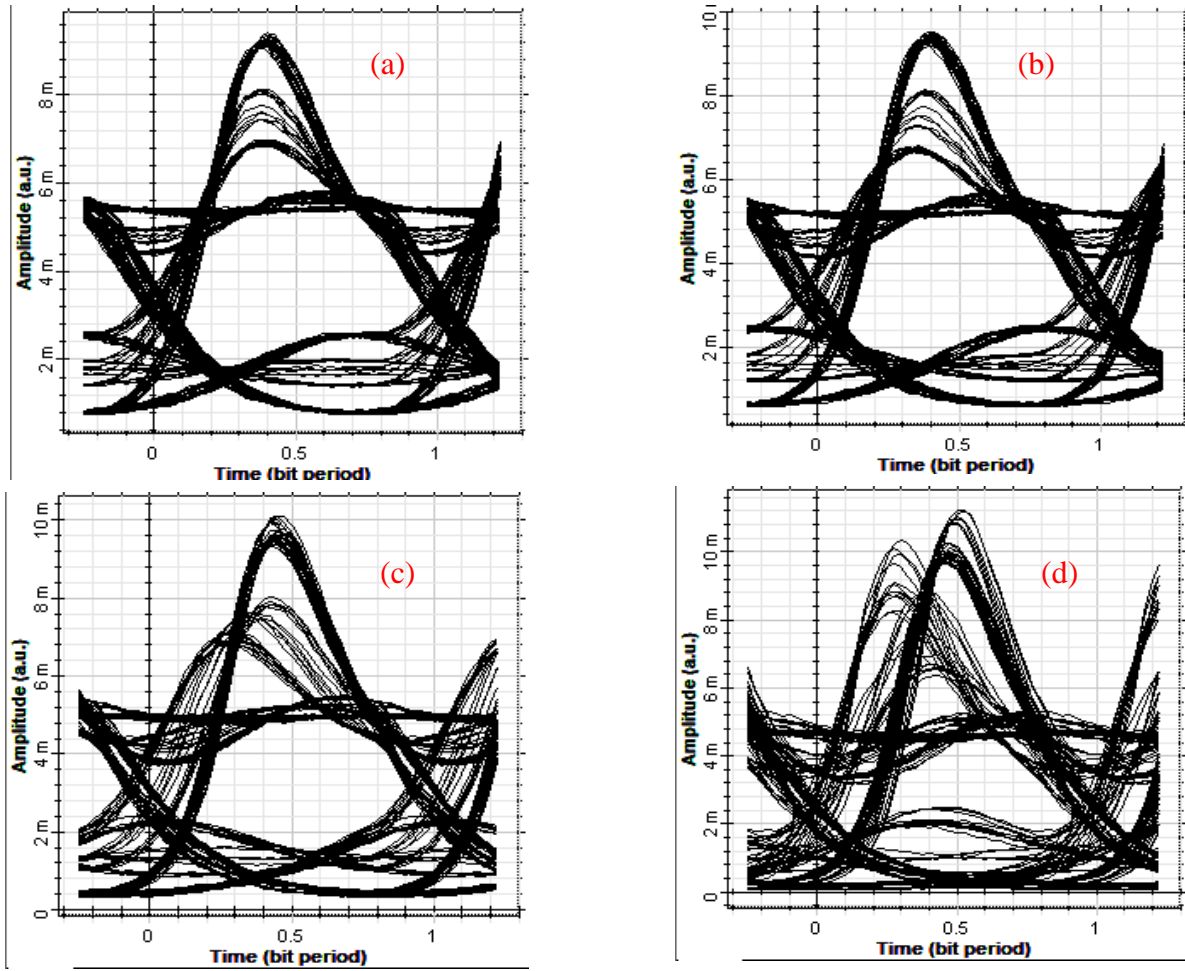
(d) QF=6.72; BER=8.2x10⁻¹²

الشكل (10) : تأثير تغير درجة الحرارة على نمط مخطط العين لاشارات البيانات الشبه العشوائية بصيغة NRZ بمعدل 10Gbps المضمنة على ليزر VCSEL. (a) T=20°C (b) T=45°C (c) T=90°C (d) T=65°C

الحالة الدراسية الاخرى هي استقصاء جودة تضمين الليزر VCSEL بمعدل بت 16Gbps وذلك ايضا عند درجات حرارة مختلفة (20⁰, 45⁰, 65⁰ and 95⁰)C, والشكلين (11a) و(11b) يظهران المجالين الزمني والتردد للحمامل الضوئي المضمن على التوالي. عند وضع درجة حرارة الليزر 20⁰C وتنفيذ المحاكاة ظهر نمط العين للاشارة المستلمة عند الكاشف الضوئي بالشكل (12a) وفيها يكون نمط العين مفتوحا بشكل واضح لكن سمك المخطط اكبر من الحالة الاولى (عند تضمين 10Gbps) وهذا بسبب تناقص سرعة استجابة الليزر عند معدلات التضمين العالية وبالتالي زيادة التشوه التوافقي الناتج عن التذبذب المضمحل Relaxation oscillation للليزر VCSEL, وتكون قيمة عامل النوعية QF=6.193 ونسبة خطأ البت تكون BER=2.833x10⁻¹⁰. عند رفع درجة حرارة الليزر الى 40⁰C واجراء المحاكاة لدائرة الارسال نحصل على الشكل (12b) ويظهر فيه زيادة نسبية في سمك المخطط بفعل زيادة الضوضاء الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة، وتناقص نسبي في ارتفاع العين وتناقص عامل النوعية الى QF=4.83 مع زيادة نسبية في خطأ البت BER=6.47x10⁻⁷. عند رفع درجة حرارة الليزر الى 60⁰C واجراء المحاكاة حصلنا على الشكل (12c) ويظهر فيه تشوه كبير في نمط العين بسبب زيادة ضوضاء لانجيفن Langiven noise الناتجة عن زيادة الانبعاث التلقائي spontaneous emission وكذلك الالتحام غير المشع للحاملات non-radiative emission وحصول ثبوت نسبي في عامل النوعية QF=4.55 مع زيادة نسبية في قيمة خطأ البت لتصل الى BER=2.47x10⁻⁶. عند رفع درجة حرارة الليزر الى 80⁰C واجراء المحاكاة لمنظومة الارسال الضوئية نحصل على نمط مخطط العين المبينة في الشكل (12d) والتي يظهر فيها تشوه شبه كلي لنمط مخطط العين بسبب انغلاق فتحة العين وزيادة سمك المخطط بفعل عدم تطابق البتات المكونة للنمط والناتج عن زيادة الضوضاء الناجمة عن ارتفاع درجة حرارة نبيطة الليزر، وتهبط فيها عامل النوعية QF الى 4.17 وبالمقابل تزداد نسبة خطأ البت BER الى 1.5x10⁻⁵, وعند هذه القيمة من نسبة خطأ البت تحصل تشوه كبير للبتات Bits المستلمة عند الكاشف الضوئي, لانه اكبر من القيمة الدنيا المسموحة والبالغة 10⁻⁹ عند معدلات ارسال اعلى من 10Gbps .



الشكل (11): الإشارة الضوئية المضمنة ل VCSEL بنبضات NRZ وبمعدل 16Gbps عند درجة حرارة 20°C , (a) المجال الزمني، (b) الطيف الضوئي



الشكل (12): تأثير تغير درجة الحرارة على نمط مخطط العين لإشارات البيانات الشبه عشوائية بصيغة NRZ بمعدل 16Gbps المضمنة على ليزر VCSEL. (a) $T=20^{\circ}\text{C}$ (b) $T=40^{\circ}\text{C}$ (c) $T=60^{\circ}\text{C}$ (d) $T=80^{\circ}\text{C}$

الاستنتاجات:

وجد من خلال المحاكاة الحاسوبية لمنظومة الإرسال الضوئية باستخدام برنامج المحاكى الضوئي Optisys7, في حالة التشغيل المستمر CW لليزر VCSEL, ان زيادة درجة حرارة نبيطة الليزر تؤدي الى زيادة تيار عتبة الليزر I_{th} بشكل اسي وبالتالي ازدادت قيمة معامل التضمين m , وتناقص معها كفاءة الميل Slope Efficiency او الكفاءة الخارجية لليزر. بالنسبة للخصائص الديناميكية لليزر، وجدنا من خلال المحاكاة الحاسوبية لدائرة الإرسال الضوئية لحالتين من معدل تضمين الليزر ببيانات شبه عشوائية, الحالة الاولى هي بمعدل 10Gbps حيث أظهرت نتائج المحاكاة ان زيادة درجة نبيطة الليزر ادى الى زيادة الضوضاء المترافقة مع إشارة البيانات المضمنة على الليزر من خلال تحليل نمط العين، حيث لوحظ تناقص فتحة العين وزيادة سمك خطوطه وذلك مع زيادة درجة الحرارة، في مدى درجات الحرارة ($20^{\circ}\text{C}-90^{\circ}\text{C}$).

وأظهرت نتائج المحاكاة الحاسوبية لمنظومة الإرسال الضوئية ايضا تناقص قيمة عامل نوعية QF نسبيا وزيادة معدل خطأ البت BER مع زيادة درجة الحرارة, لكن حتى في الدرجة الحرارية العالية (90°C) وصل اقصى نسبة خطأ البت الى حدود ال 10^{-12} وهي القيمة التي لا تزال فيها احتمالية حدوث خطأ البت قليلا واحتمالية تداخل الرمز البينية ISI فليلا، مما يؤكد الثبات العالي لهذا النوع من الليزر المقاومة لظروف التشغيل في درجات الحرارة العالية بشرط ان يكون معدل البيانات المضمنة Bit rate اقل من تردد التراخي, على عكس ليزرات الانبعاث الجانبي التقليدية (EEL) Edge Emitting Lasers الذي تكون حساسة جدا لزيادة درجات الحرارة. الحالة الثانية هي زيادة معدل التضمين الى 16Gbps ودراسة تغير جودة التضمين عند مدى درجات حرارة ($20^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$), عند زيادة معدل التضمين نتج عنه تناقص جودة نمط العين وعامل النوعية QF وزيادة نسبة خطأ

البت BER, وهذا بسبب ان جودة التضمين الليزر يعتمد على تردد التراخي Relaxation Oscillation, فعند زيادة معدل التضمين اكثر من تردد التراخي لليزر (تردد التراخي RO لليزر المستخدم في هذه التجربة 7.8GHz) فإن قيمة الدالة الانتقالية للتضمين modulation transfer function تهبط بمقدار 3dB لكل زيادة عشرية في التردد اعلى من تردد التراخي, ولكون معدل البيانات في الحالة الثانية 16Gbps اكبر من تردد التراخي لليزر, فإن استجابة التضمين عند هذا المعدل سوف تتناقص بشكل كبير وبالتالي سوف تزداد نسبة خطأ البت BER وتتناقص عامل النوعية QF, الامر الاخر هو ان تردد التراخي تتناقص مع زيادة درجة الحرارة, وكذلك تتناقص عامل الاضمحلال Damping coefficient للثانوية لتردد التراخي RO ايضا مع زيادة درجة الحرارة لنبيطة الليزر VCSEL, وهذا يعني تناقص جودة التضمين مع درجة الحرارة وزيادة تشوه اشارة الخرج الضوئي لليزر [17].

المصادر:

- 1- Iga, K. (2000). Surface-emitting laser-its birth and generation of new optoelectronics field. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 6(6), 1201-1215.
- 2- Suhara, T. (2004). *Semiconductor laser fundamentals*. CRC press.
- 3- Yu, B. L., Chen, J., & Li, W. Y. (2013). 10Gbps VCSEL Driver in 0.18 μm CMOS Technology. In *Advanced Materials Research* (Vol. 760, pp. 147-151). Trans Tech Publications Ltd.
- 4- Larsson, A. (2011). Advances in VCSELs for communication and sensing. *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 17(6), 1552-1567.
- 5- Coldren, L. A., Corzine, S. W., & Mashanovitch, M. L. (2012). *Diode lasers and photonic integrated circuits* (Vol. 218). John Wiley & Sons.
- 6- Grabherr, M., Wiedenmann, D., King, R., Jaeger, R., & Schneider, B. (2002, June). Speed it up to 10 Gb/s and flip chip it: VCSEL today. In *Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers VI* (Vol. 4649, pp. 11-18). International Society for Optics and Photonics.
- 7- Ly, K. S., Rissons, A., Gambardella, E., Bajon, D., & Mollier, J. C. (2008, January). Modeling and characterization of VCSEL-based avionics full-duplex ethernet (AFDX) gigabit links. In *Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers XII* (Vol. 6908, p. 69080J). International Society for Optics and Photonics.
- 8- Opti-System Component Library Ver.7", Copyright © 2008 Optiwave™ Co. Ltd., Canada.
- 9- Li, S., Nezami, M. S., Rolston, D., & Liboiron-Ladouceur, O. (2020). A compact high-efficient equivalent circuit model of multi-quantum-well vertical-cavity surface-emitting lasers for high-speed interconnects. *Applied Sciences*, 10(11), 3865.
- 10- Goharrizi, A. Z., & Alahyarizadeh, G. (2016). The study of temperature effect on the performance characteristics of the InGaN-based vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) by solving the rate equations. *International Journal of Modern Physics B*, 30(22), 1650150.
- 11- Shen, C. C., Hsu, T. C., Yeh, Y. W., Kang, C. Y., Lu, Y. T., Lin, H. W., ... & Kuo, H. C. (2019). Design, modeling, and fabrication of high-speed VCSEL with data rate up to 50 Gb/s. *Nanoscale research letters*, 14(1), 1-6.
- 12- Jasim, F. Z., Omar, K., & Hassan, Z. (2009). Temperature effect on VCSEL output performance. *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 3, 1136-1138.
- 13- Lee, Y. H., Jewell, J. L., Scherer, A., McCall, S. L., Harbison, J. P., & Florez, L. T. (1989). Room-temperature continuous-wave vertical-cavity single-quantum-well microlaser diodes. *Electronics Letters*, 25(20), 1377-1378.

- 14- Rissons, A., Perchoux, J., Mollier, J. C., & Grabherr, M. (2004, June). Noise and signal modeling of various VCSEL structures. In *Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers VIII* (Vol. 5364, pp. 80-91). International Society for Optics and Photonics.
- 15- Breed, G. (2005). Analyzing signals using the eye diagram. *High Frequency Electronics*, 4(11), 50-53.
- 16- Anatomy of an Eye Diagram”, www.tektronix.com/bertscope.
- 17- Safaisini, R., Joseph, J. R., Louderback, D., Jin, X., & Lear, K. L. (2007, October). Temperature Dependence of 980 nm VCSEL Dynamics. In *LEOS 2007-IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting Conference Proceedings* (pp. 636-637). IEEE.

شكر وتقدير:

يتقدم الباحثان بوافر التقدير والامتنان الى جامعة الموصل/كلية التربية للعلوم الصرفة لتسهيلهما اجراء هذا البحث

Thermal Effects on Continuous and Modulation properties of Vertical Cavity Surface Emitting Laser VCSEL by simulation using Optisys7

Afrah Meshal Kareem and Younis Thanoon Younis*

Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Iraq

<https://doi.org/10.54153/sjpas.2021.v3i4.300>

Article Information

Received: 23/08/2021

Accepted: 01/10/2021

Keywords:

Thermal properties of Semiconductor laser, laser modulation, optical communication, Laser VCSEL simulation Optiwave™ software version 7

Corresponding Author

E-mail:

younisthannon@uomosul.edu.iq

Mobile: 07739644121

Abstract

VCSEL surface emission lasers are considered a promising solution to many technological problems that require data transmission at very high speeds, such as Ethernet systems with data in the limits of terabits per second and others. This research included the use of Optisystem7 software for the purpose of studying the effect of temperature on the characteristics of continuous operation (CW) as characteristics (current - light), slope efficiency and threshold current, as well as studying the dynamic characteristics, which include the inclusion of this type of laser with two rates of pseudo-random data (10, 16) Gbps, By analyzing the eye-diagram pattern, quality factor QF and BER, of the laser modulation cases by fixing all the characteristics and variables of the simulation system and changing only one parameter, which is the laser temperature. The computer simulation results showed an increase in the threshold current I_{th} and modulation coefficient m versus increasing the temperature of the VCSEL laser. On the other hand, we found a significant decrease in the slope efficiency SE, and we also recorded a decrease in the quality factor QF versus an increase in the BER percentage with the increase in the temperature of the VCSEL laser. The simulation results also showed a great stability of the embedding quality with increasing temperature.