



متوفرة على الموقع: <http://www.basra-sciencejournal.org>



ISSN -1817 -2695

دراسة الاستقرارية والفوضى في ليزر شبه الموصل ذي التجويف الشاقولي والباعث للضوء سطحياً (VCSEL) *

علي مهدي جخيم و جاسب عبد الحسين مشاري
قسم الفيزياء / كلية التربية / جامعة البصرة / البصرة / العراق
*Ali_m1972ch@yahoo.com

الاستلام 2012-7-18، القبول 2012-10-8

الخلاصة:

درسنا الفوضى في ليزر شبه الموصل ذي التجويف الشاقولي (Vertical-cavity surface-emitting semiconductor laser-VCSEL) بوجود وانعدام الضوضاء وتأثير عدد كبير من معاملات النظام التي تظهر في نموذج سيامانا (Sciamanna) ومشاركته مثل تيار الحقن والمعدلات الزمنية لكل من التغذية العكسية واضمحلال المجال الكهربائي واضمحلال الحاملات وعامل اقتران الطور بالسعة والمعدل الزمني لاقتران قناتي الشعاع المستقطب دائرياً وثنائية اللون وثنائية معامل الانكسار وزاوية طور التغذية العكسية . ابدى النظام غنى واسعاً من الحركات المستقرة والدورية والمتعددة الدورات واللا دوريات والفوضى بأنواع مختلفة في خرجها . هذه النتائج تجعل هذا النظام غاية في الأهمية في دراسة عدم استقراريات أجهزة الليزر.

الكلمات المفتاحية: ليزر شبه موصل باعث شاقولي، نموذج سيامانا ،حركات لاخطية ، فوضى.

Vertical emitting semiconductor laser, Sciamanna model ,Nonlinear dynamics,chaos

1. مقدمة Introduction

ويتم ضخه بصريا وكهربائياً [3] وتم تشغيله بأنماط مختلفة منها ببعدين وأنماط مستعرضة [4].
خضع هذا النوع من ليزر اشباه الموصلات الى دراسات عملية ونظرية عديدة لتحديد افضل السبل التي يمكن ان يعمل فيها والظروف المختلفة التي يمكن ان يوضع فيها ليستجيب لرغبات الباحثين والعاملين في التطبيقات المختلفة في ان واحد.
في هذا البحث سنتعرض الى دراسة استقرارية خرج الليزر تحت تأثير العديد من عوامل السيطرة
Control (parameters) او العوامل المؤثرة على عمله ومحاولة تحديد المديات التي تصلح لعمله حسب رغبة الباحثين فمنهم من يبحث في استقرارية الجهاز ومدى استجابته سلبا او ايجابا بتأثير عوامل كثيرة منها تيار العتبة ومقدار التغذية العكسية ... الخ ومنهم من يبحث في عدم استقرارية الجهاز ليكون خرجه بالتالي غير مستقر او فوضويا لإمكانية استعماله في دوائر الاتصالات المشفرة.

استحوذ ليزر شبه الموصل ذو التجويف الشاقولى والباعث للضوء سطحيا-Vertical-cavity-surface-emitting semiconductor laser (VCSEL) على اهتمام متزايد فى السنوات العشر الاخيرة نظرا لإمكانية عمله بالنمط الطولى المنفرد وخرجه الدائري المقطع وامكانية تكامله او اندماجه فى الدوائر الالكترونية ببعدين وكذلك امكانية زيادة عرض حزام تضمينه الى مستويات عالية ، وهو يمثل مصدراً مهماً فى روابط الاتصالات قصيرة المدى (Short reach optical communication links) بسبب صغر ابعاده وانخفاض كلفة تصنيعه والانخفاض الكبير فى كثافات تيارات الحقن له وسرعة عالية جدا فى التضمين بتيارات واطئة. بناءً على ما ذكر فان هذا الليزر خضع لأبحاث كثيرة جدا لمحاولة تطوير اداءه فقد وصلت عتبة تيار الحقن فيه الى مستويات دنيا بحدود [1] 1.35 mA ووصل مقدار تضمينه فى درجة حرارة الغرفة الى مديات كبيرة تقرب من [2] 35 G bit. وصنّع من مواد مختلفة منها AIN/GaN

2- الانموذج الرياضى Mathematical model

- Spontaneous ضوضاء الانبعاث التلقائى
 - emission noise
 - Stimulated اعادة الالتحام المستحث
 - recombination
 - Dichroism الامتصاص الانتقائى او ثنائية اللون
 - Birefringence ثنائية معامل الانكسار
 - Carrier injection حقن الحاملات
 - Spin-flip rate المعدل الزمنى لقلب البرم
 - Linearly مركبات الضوء المستقطبة خطيا
 - polarized components
 - Total carrier density كثافة الحاملات الكلية
 - Carrier difference الفرق فى الحاملات
- وبذلك فأن انموذج (Sciamanna) ومشاركه يكتب على شكل [8]:

من اكثر الانظمة الرياضية استعمالاً لوصف حركات ليزرات (VCSEL) هو انموذج [5] (SFM) ثم ما تبعه من تطورات عديدة على يد كل من (Martin-Regalado ومشاركه [6] و (Mulet) ومشاركه [7]. فى عام (2003) ظهر انموذج اخر مبني على اعمال الباحث (Sciamanna) ومشاركه [8]. فى جميع النماذج المشار اليها هنا تُعتمد فرضية ان ليزر شبه الموصل عموماً رباعي المستويات .
ان انموذج (SFM) يفترض وجود نظام ليزر رباعي المستويات وفيه تقوم الالكترونات ذات البرم الى الاسفل (spin down) و ذات البرم الى الاعلى (spin up) بانتقالات بصرية تؤدي الى انبعاث ضوء ذي استقطاب دائري الى اليمين او اليسار على التوالي.
وبناءً على ذلك فان أنموذج (Sciamanna) ومشاركه يعبر عن:

$$\frac{\partial E_{\pm}}{\partial t} = k(1 + i\alpha)[(N \pm n)F_{\pm} - 1]E_{\pm} - (\gamma_a + i\gamma_p)E_{\mp} + f E_{\pm} e^{-i\omega_0 \tau} + \sqrt{\beta_{sp}(N \pm n)} \xi_{\pm} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma[N - \mu + (N + n)F_+ |E_+|^2 + (N - n)F_- |E_-|^2] \quad (2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\gamma_s n - \gamma[(N + n)F_+ |E_+|^2 - (N - n)F_- |E_-|^2] \quad (3)$$

كثافة ثنائية معامل الانكسار الخطية وثنائية اللون على التوالي لكل رحلة ذهاب واياب داخل التجويف. تمثل β_{sp} المعدل الزمني للانبعاثات التلقائية. ان ξ_{\pm} هما بشكل غير معتمد الضوضاء واسعة النطاق ذات التباين الاحادي ومعدل صفر. ويمثل μ تيار الحقن المعيار ($\mu = 1$ عند العتبة). تشير f الى المعدل الزمني للتغذية العكسية فيما تمثل $\omega_0 \tau$ طور التغذية العكسية، حيث ω_0 تردد الليزر الوحيد (Solitary) عند عتبة انبعاث الليزر و τ زمن رحلة الذهاب والاياب في التجويف الخارجي وان F_{\pm} تمثلان حدي اشباع التحصيل، ويكتبان على شكل [8]:

$$F_{\pm} = 1 - \epsilon |E_{\pm}|^2 \quad (4)$$

واخيراً فإن ϵ معامل التحصيل المشبع ذاتياً.

حيث E_{\pm} تمثل المركبتين المستقطبتين دائريا الى اليمين والى اليسار للمجال البصري المتغير ببطء (Slowly varying optical field) و N الفرق بالتعداد الكلي بين حزمتي التوصيل والتكافؤ. n تشير الى الفرق بين كثافتي فرق تعداد لمستويين متميزتين والتي تقترن بشكل منفصل مع انبعاث الضوء المستقطب دائريا الى اليمين او اليسار. k المعدل الزمني لاضمحلال المجال الكهربائي داخل التجويف. α عامل اقتران الطور بالسعة او معامل تعزيز عرض الخط. γ المعدل الزمني لاضمحلال الحاملات. اما $\gamma_s = \gamma + 2\gamma_j$ حيث γ_j المعدل الزمني لاقتران قناتي الشعاع المستقطب دائرياً، والتي تُتمذج اليات الاسترخاء المختلفة على المستوى المجهري والتي توازن برم الحاملات، فيما γ_a و γ_p هما

3- نتائج المحاكاة Simulation results

اتبنا في هذا البحث القيم التي استعملها

[8] (Sciamanna) الا اننا درسنا كل الاحتمالات

الممكنة عن طريق اخذ مديات مختلفة لكافة العوامل التي

الجدول (1) يبين قيم معاملات VCSEL المستعملة في الحسابات.

المعامل	القيمة الاصلية	القيمة من البحث الاصلى [8]	القيمة الاعلى	الوحدة
	1	1.5	2	بدون وحدة
	50	80	100	GHZ
	200	300	400	
	0.1	1	10	
	1	10	100	
	-0.01	-0.1	-1	
	1	4	10	
	1	3	5	بدون وحدة
	3	6	10	rad
	لا توجد	0	0.001,0.01,0.1	بدون وحدة

- قيمة $\gamma = 0.1ns^{-1}$ يكون ذا حركيات فوضوية بوجود وانعدام الضوضاء اما عندما $\gamma = 10ns^{-1}$ فتتحول الى دورية ذات تردد عالي بوجود الضوضاء وفوضوية بتردد واطئ بانعدامها والشكل (4.a-d).
- $\gamma_s = 1ns^{-1}$ يكون ذو حركيات فوضوية وبالحالتين، اما عندما $\gamma_s = 100ns^{-1}$ فيكون دورياً بوجود الضوضاء وفوضوياً بانعدامها والشكل (5.a-d) يمثل نماذج من النتائج.
- عند قيمتي γ_a فإنه فوضوي في كل الاحوال والشكل (6.a-d) يمثل نماذج من النتائج.
- قيمة $\gamma_a = 1ns^{-1}$ يكون فوضوي بانعدام الضوضاء ومستقر بوجودها اما عند $\gamma_s = 10ns^{-1}$ فيكون فوضوياً في كل الاحوال والشكل (7.a-d) يوضح النتائج.
- قيمة $\alpha = 1$ فوضوياً بانعدام الضوضاء ومستقر بوجودها ويكون عند $\alpha = 5$ فوضوياً في الحالتين والشكل (8.a-d) يبين النتائج.
- قيمة $\omega_0\tau = 3$ فوضوياً في الحالتين اما اذا اصبحت قيمتها 10 فهو فوضوي بانعدام الضوضاء ودوري بوجودها كما في الشكل (9.a-d).
- 2- عندما $\epsilon = 0.01$ فلم نلاحظ اختلاف بالنتائج مع الحالة التي فيها $\epsilon = 0.001$ في حالة انعدام الضوضاء لذا وفي حالة وجود الضوضاء فان الخرج عند:
- $\mu = 1$ يكون فوضوياً اما عند القيمة 2 فهو دورياً كما في الشكل (1.e-h).
- يكون دورياً لقيمتي f كما في الشكل (2.e-h) وكذا الحال عند قيمتي k كما يظهر في الشكل (3.e-h).
- $\gamma = 0.1ns^{-1}$ يكون فوضوياً بدورة واطئة اما عند $\gamma = 10ns^{-1}$ فيكون دورياً والشكل (4.e-h) يوضح ذلك.
- قيمة $\gamma_s = 1ns^{-1}$ يكون فوضوياً واعتيادياً عند $100ns^{-1}$ كما في الشكل (5.e-h).
- $\gamma_a = -0.01ns^{-1}$ فوضوياً دورياً لكنه عند $-1ns^{-1}$ فوضوياً والشكل (6.e-h).

لغرض استخراج النتائج فقد اعتمدنا طريقة (Range-Kutta) العددية ذات المرتبة الرابعة باستخدام برنامج (Matlab) لغرض حل مجموعة المعادلات (1-3).

تضمنت النتائج المستحصل عليها رسم 1 لشدة الداخلية الكلية I_{tot} مع الزمن الحقيقي والتي تكتب على شكل:

وقد تُرس تصرف I_{tot} لمنظومة (VCSEL) عن طريق فحص التصرفات التي تطرأ على هذه الشدة مرة بدون وجود حد الضوضاء $(\sqrt{\beta_{sp}(N \pm n)})\xi_{\pm}$ وذلك بجعل $\beta_{sp} = 0$ ومرة اخرى بوجود هذا الحد وهو ما يميز هذا الانموذج الرياضي وقد تم اعطاء β_{sp} قيمتين - كما مبين في الجدول (1) ووجدنا عدم تأثر النتائج عند مقارنتها تحت تأثير القيمتين المشار اليهما لذا سنكتفي بالإشارة فقط الى وجود او عدم وجود حد الضوضاء عند استعراض النتائج ومن الجدير بالذكر اننا درسنا التصرفات لكافة العوامل عند ثلاث قيم ثابتة للمعامل ϵ المبينة في الجدول (1) وفيما يلي استعراض للنتائج المتحصل عليها من تغيير المعاملات الواردة في المعادلات (1-3):

1- عندما $\epsilon = 0.001$ فان الخرج عند:

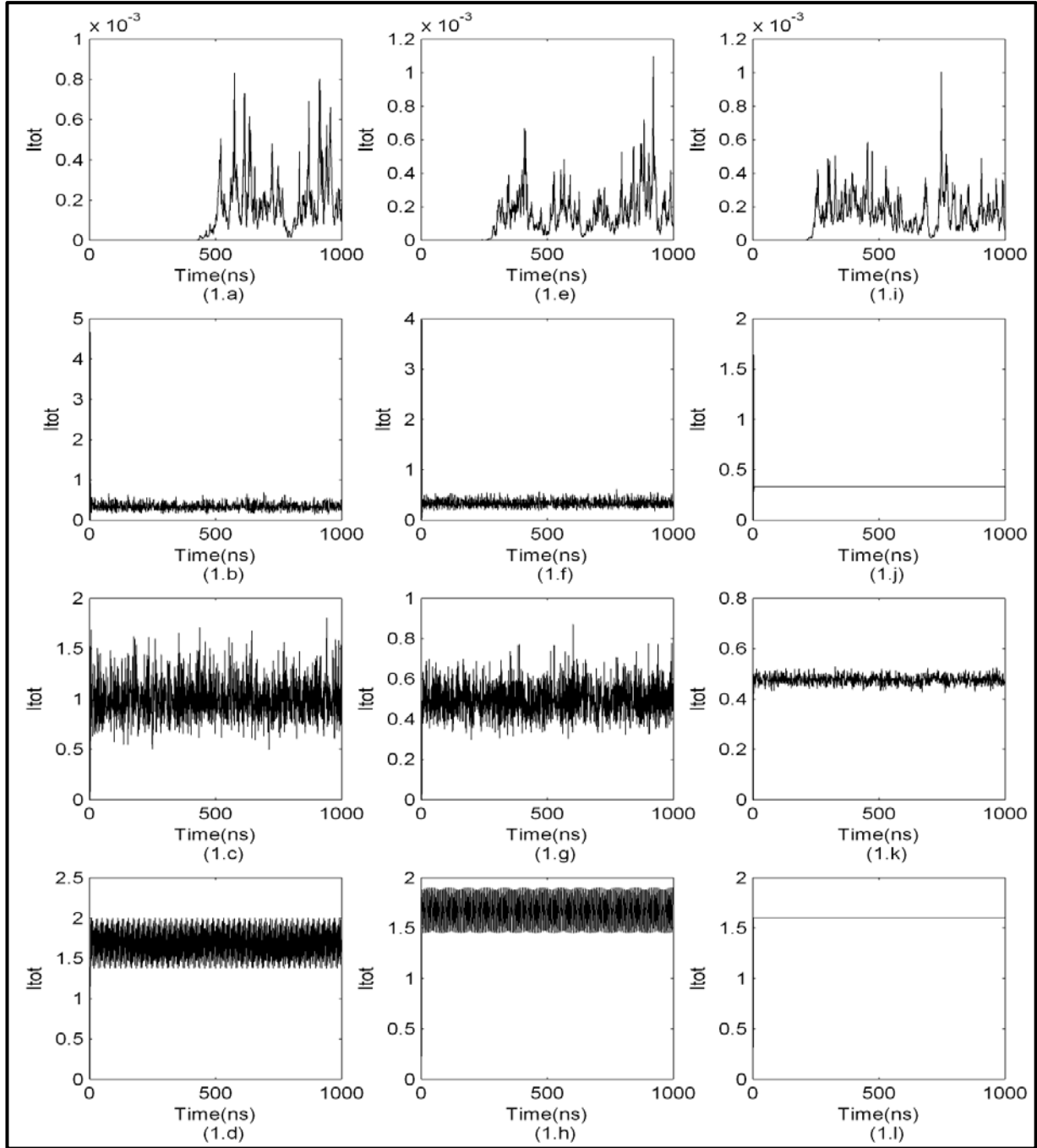
- تغير قيم μ بين 1 الى 2 فان التصرف الزمني يتسم بالفوضوية للقيمتين ويوجد تأخير في ولادة خرج الليزر في حالة انعدام الضوضاء بمقدار 400ns كما وان تردد الإشارة منخفض جداً والشكل (1.a-d) انموذج من النتائج.

- تغير قيم f بين 50GHz و 100GHz يكون فوضوياً للقيمتين الا ان تردد الإشارة واطئ عند قيمتها الواطئة وفي حالتها انعدام وجود الضوضاء والشكل (2.a-d) يمثل انموذج من النتائج.

- تغير قيم k بين $k = 200ns^{-1}$ و $k = 400ns^{-1}$ يكون التصرف الزمني فوضوي الا انها مختلفة بالشكل عند القيمة الكبيرة وفي حالتها انعدام وجود الضوضاء، والشكل (3.a-d) يمثل انموذج من النتائج.

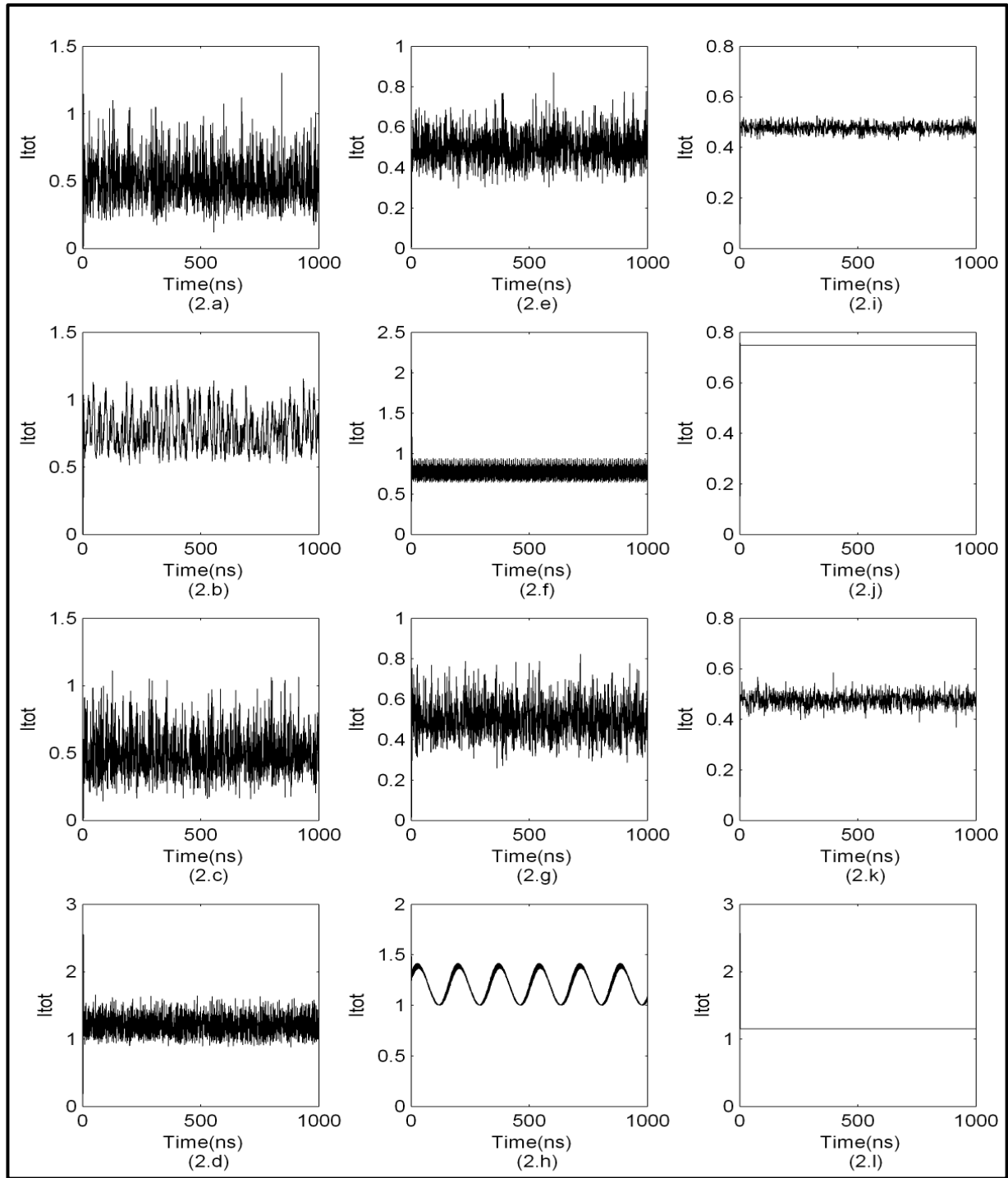
- قيمتي f الواطئة والعالية يكون فوضوياً بانعدام الضوضاء ومستقر بوجودها وهذا الأمر يتكرر لجميع المعاملات الأخرى وحسب التسلسل في اختيارها وايضاً تسلسل قيمها من الواطئة الى العالية وبانعدام الضوضاء ثم بوجودها كما في الاشكال التالية المرتبة حسب تسلسل المعاملات:
 فالشكل (2.i-1) لقيم f والشكل (3.i-1) عند قيم k والشكل (4.i-1) عند قيم γ والشكل (5.i-1) عند قيم γ_s والشكل (6.i-1) عند قيم γ_a والشكل (7.i-1) قيم γ_p والشكل (8.i-1) لقيم α واخيراً الشكل (9.i-1) لقيم $\omega_0 \tau$.

- $\gamma_b = 1ns^{-1}$ اعتيادياً وعندما $10ns^{-1}$ فيكون فوضوياً كما يوضح الشكل (7.e-h).
- $\alpha = 1$ فهو فوضوي دوري عند قيمة β_{sp} الواطئة واعتيادي عند العالية اما عندما $\alpha = 5$ فيكون فوضوياً والشكل (8.e-h) يوضح ذلك.
- $\omega_0 \tau = 3$ فيكون فوضوياً اما عندما $\omega_0 \tau = 10$ فيكون فوضوي دوري مع قيمة β_{sp} الواطئة وفوضوي مع القيمة العالية كما مبين في الشكل (9.e-h).
- 3- عندما $\epsilon = 0.1$ فان الخرج عند:
 • قيمتي μ وهما 1 يكون فوضوياً ومتأخر $200ns$ بانعدام الضوضاء ومستقر بوجود الضوضاء اما عندما تبلغ $\mu = 2$ فان الخرج فوضوي بانعدام الضوضاء ومستقر بوجودها كما في الشكل (1.i-1).



الشكل (1) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة μ وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبيتة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8] وكما يأتي:

$\epsilon = 0.1$ (i)	$\epsilon = 0.01$ (e)	$\epsilon = 0.001$ (a)	عندما $\mu = 1, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (j)	$\epsilon = 0.01$ (f)	$\epsilon = 0.001$ (b)	عندما $\mu = 1$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1$ (k)	$\epsilon = 0.01$ (g)	$\epsilon = 0.001$ (c)	عندما $\mu = 2, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (l)	$\epsilon = 0.01$ (h)	$\epsilon = 0.001$ (d)	عندما $\mu = 2$ وبوجود الضوضاء فان:



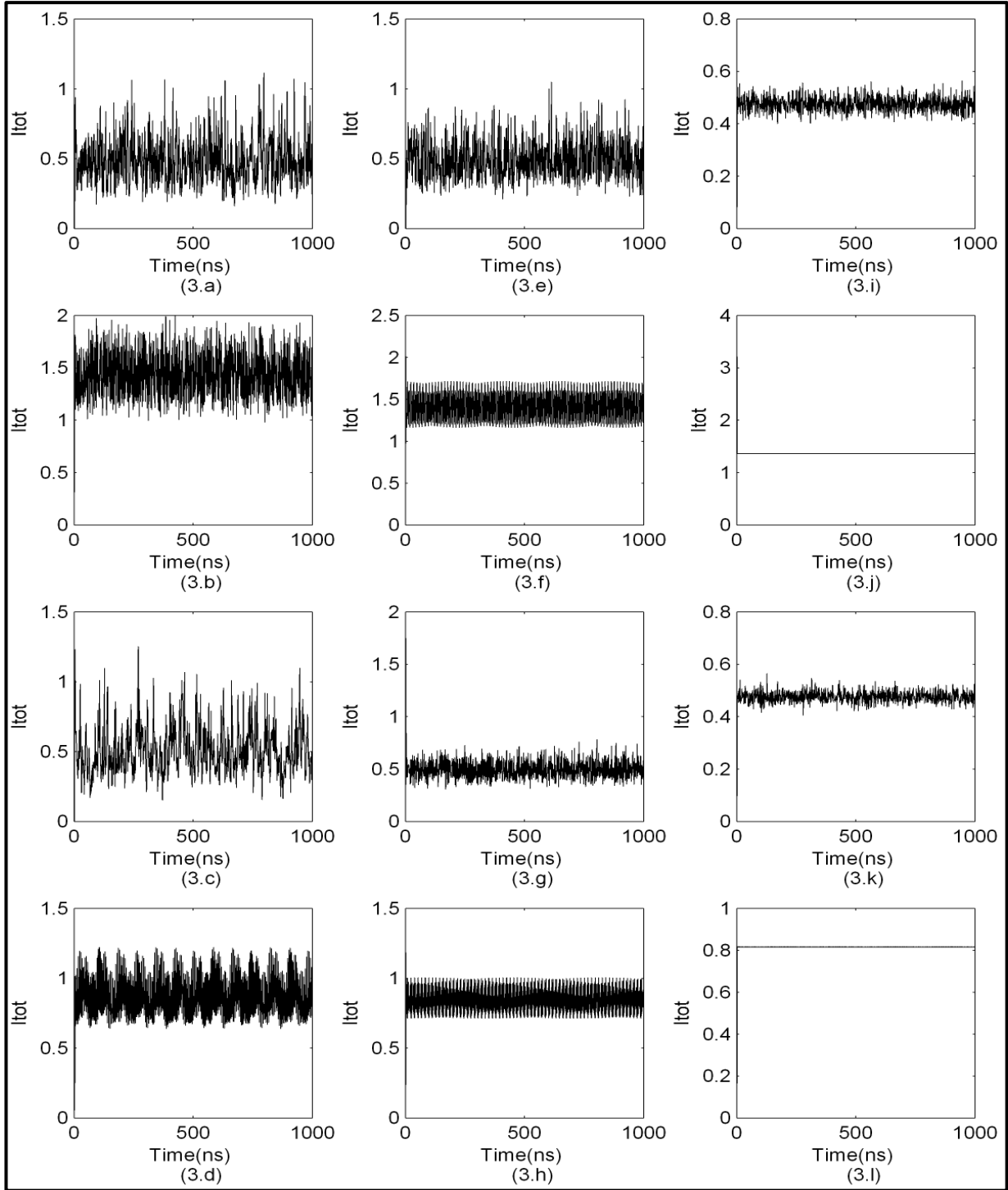
الشكل (2) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة f وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8] وكما يأتي:

عندما $f = 50GHz$, $\beta_{sp} = 0$ فان: (a) $\epsilon = 0.001$ (e) $\epsilon = 0.01$ (i) $\epsilon = 0.1$

عندما $f = 50GHz$ وبوجود الضوضاء فان: (b) $\epsilon = 0.001$ (f) $\epsilon = 0.01$ (j) $\epsilon = 0.1$

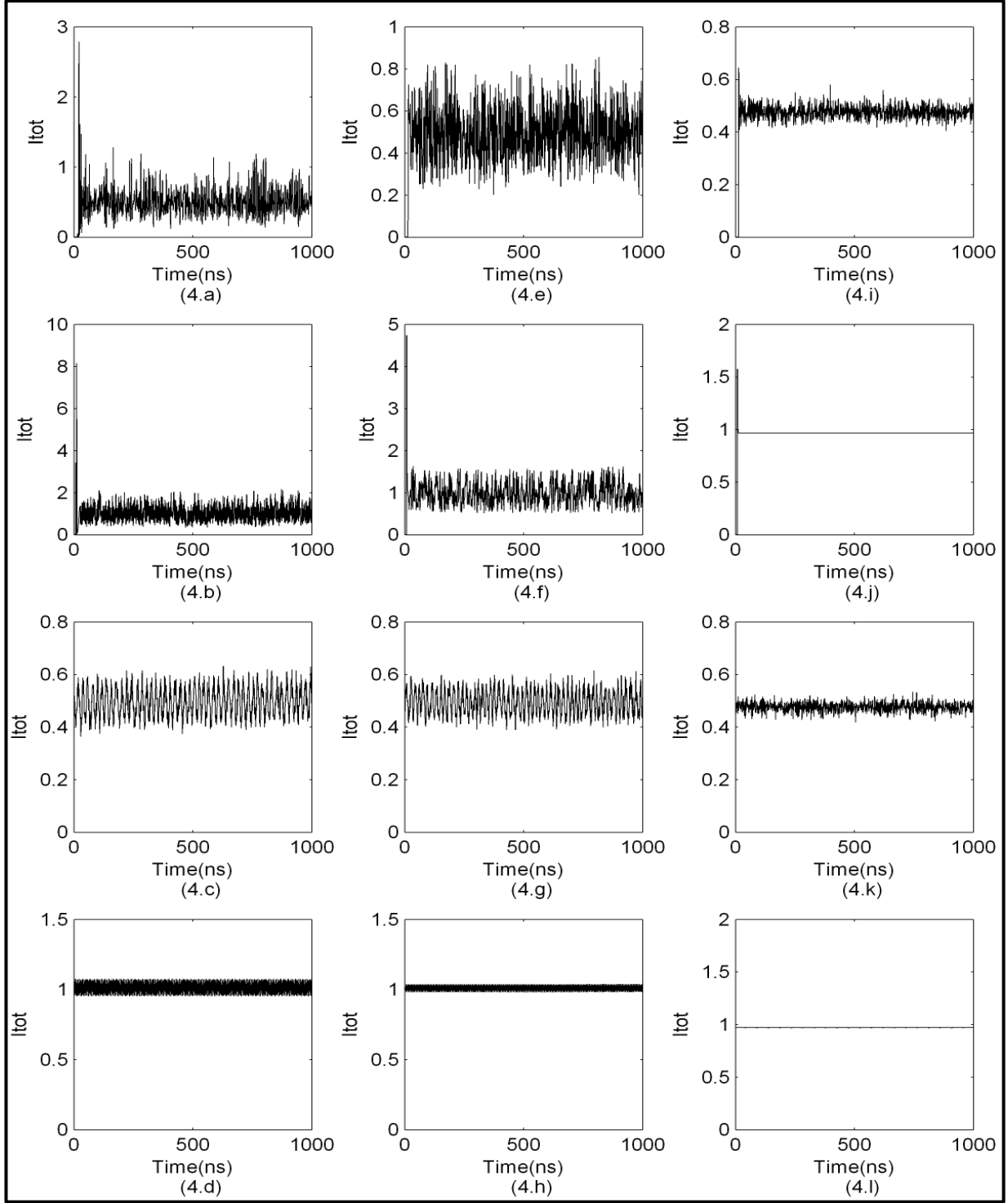
عندما $f = 100GHz$, $\beta_{sp} = 0$ فان: (c) $\epsilon = 0.001$ (g) $\epsilon = 0.01$ (k) $\epsilon = 0.1$

عندما $f = 100GHz$ وبوجود الضوضاء فان: (d) $\epsilon = 0.001$ (h) $\epsilon = 0.01$ (l) $\epsilon = 0.1$



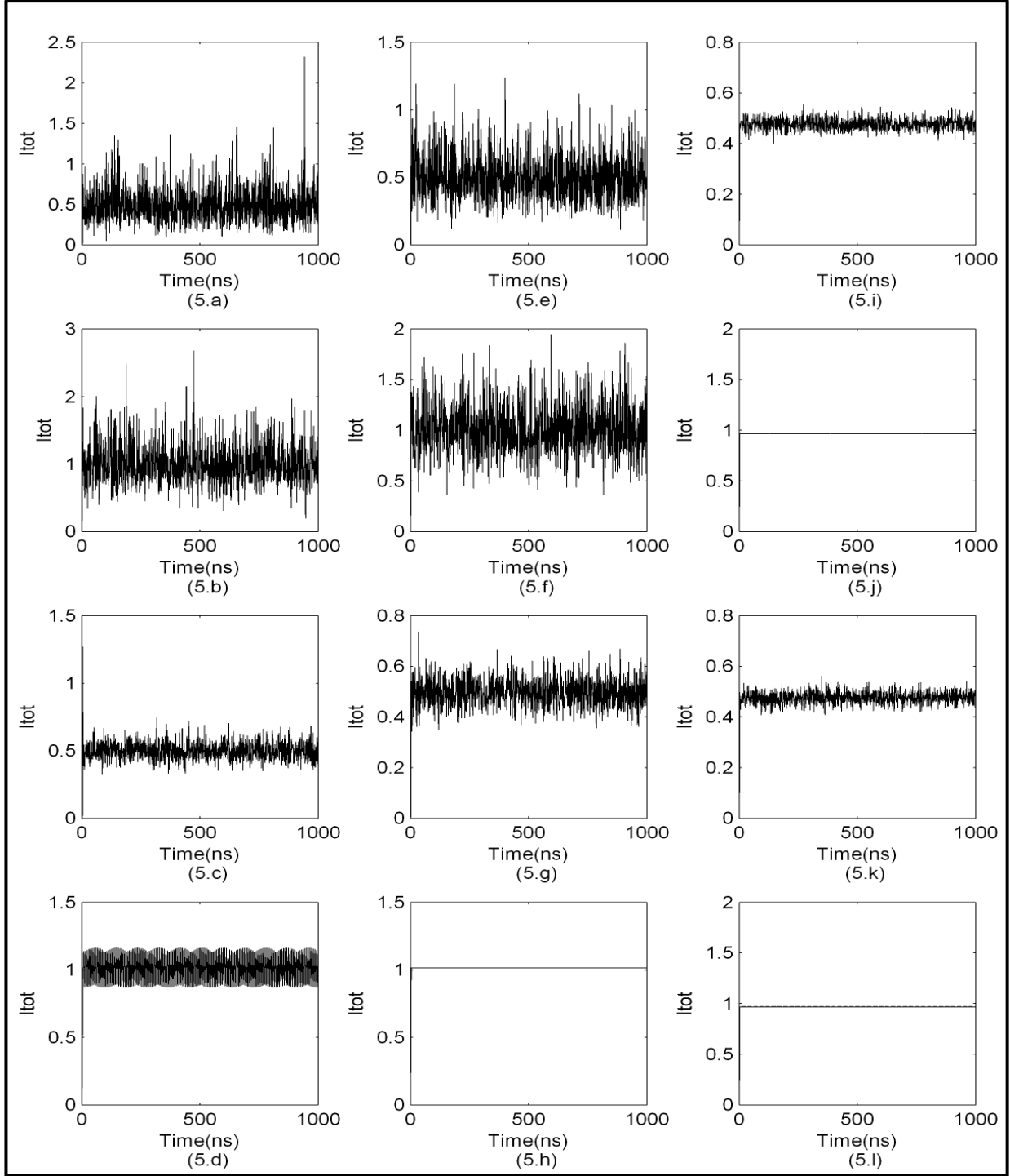
الشكل (3) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة k وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8] وكما يلي:

- | | | | |
|----------------------|-----------------------|------------------------|--|
| $\epsilon = 0.1$ (i) | $\epsilon = 0.01$ (e) | $\epsilon = 0.001$ (a) | عندما $k = 200ns^{-1}$, $\beta_{sp} = 0$ فان: |
| $\epsilon = 0.1$ (j) | $\epsilon = 0.01$ (f) | $\epsilon = 0.001$ (b) | عندما $k = 200ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان: |
| $\epsilon = 0.1$ (k) | $\epsilon = 0.01$ (g) | $\epsilon = 0.001$ (c) | عندما $k = 400ns^{-1}$, $\beta_{sp} = 0$ فان: |
| $\epsilon = 0.1$ (l) | $\epsilon = 0.01$ (h) | $\epsilon = 0.001$ (d) | عندما $k = 400ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان: |



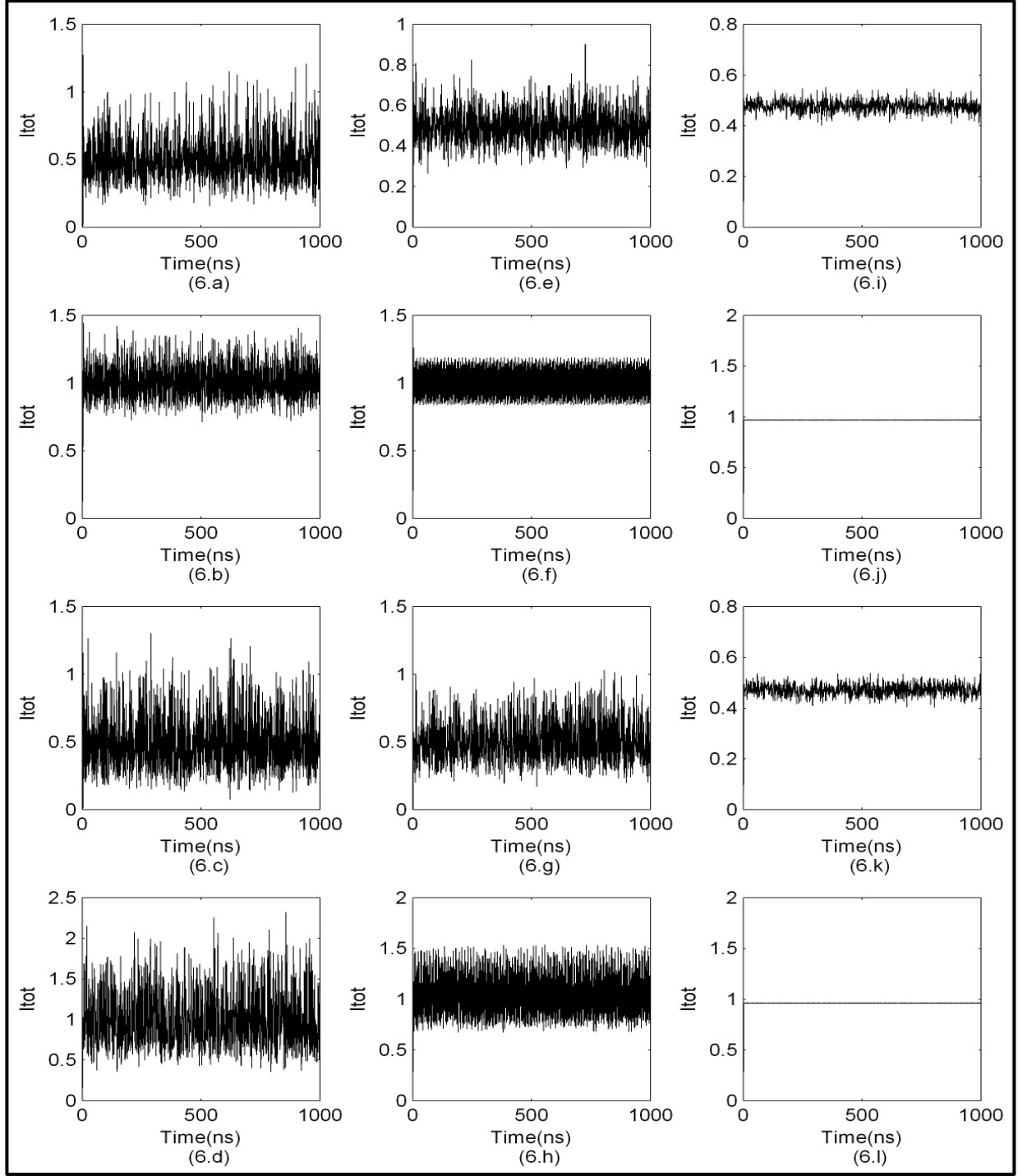
الشكل (4) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير γ وبقاء جميع المعاملات الأخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8] وكما يأتي:

$\epsilon = 0.1$ (i)	$\epsilon = 0.01$ (e)	$\epsilon = 0.001$ (a)	عندما $\gamma = 0.1ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (j)	$\epsilon = 0.01$ (f)	$\epsilon = 0.001$ (b)	عندما $\gamma = 0.1ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1$ (k)	$\epsilon = 0.01$ (g)	$\epsilon = 0.001$ (c)	عندما $\gamma = 10ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (l)	$\epsilon = 0.01$ (h)	$\epsilon = 0.001$ (d)	عندما $\gamma = 10ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:



الشكل (5) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير γ_s وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8]وكما يأتي :

$\epsilon = 0.1(i)$	$\epsilon = 0.01(e)$	$\epsilon = 0.001 (a)$	عندما $\gamma_s = 1ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1(j)$	$\epsilon = 0.01 (f)$	$\epsilon = 0.001 (b)$	عندما $\gamma_s = 1ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1(k)$	$\epsilon = 0.01(g)$	$\epsilon = 0.001 (c)$	عندما $\gamma_s = 100ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1 (l)$	$\epsilon = 0.01 (h)$	$\epsilon = 0.001 (d)$	عندما $\gamma_s = 100ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:



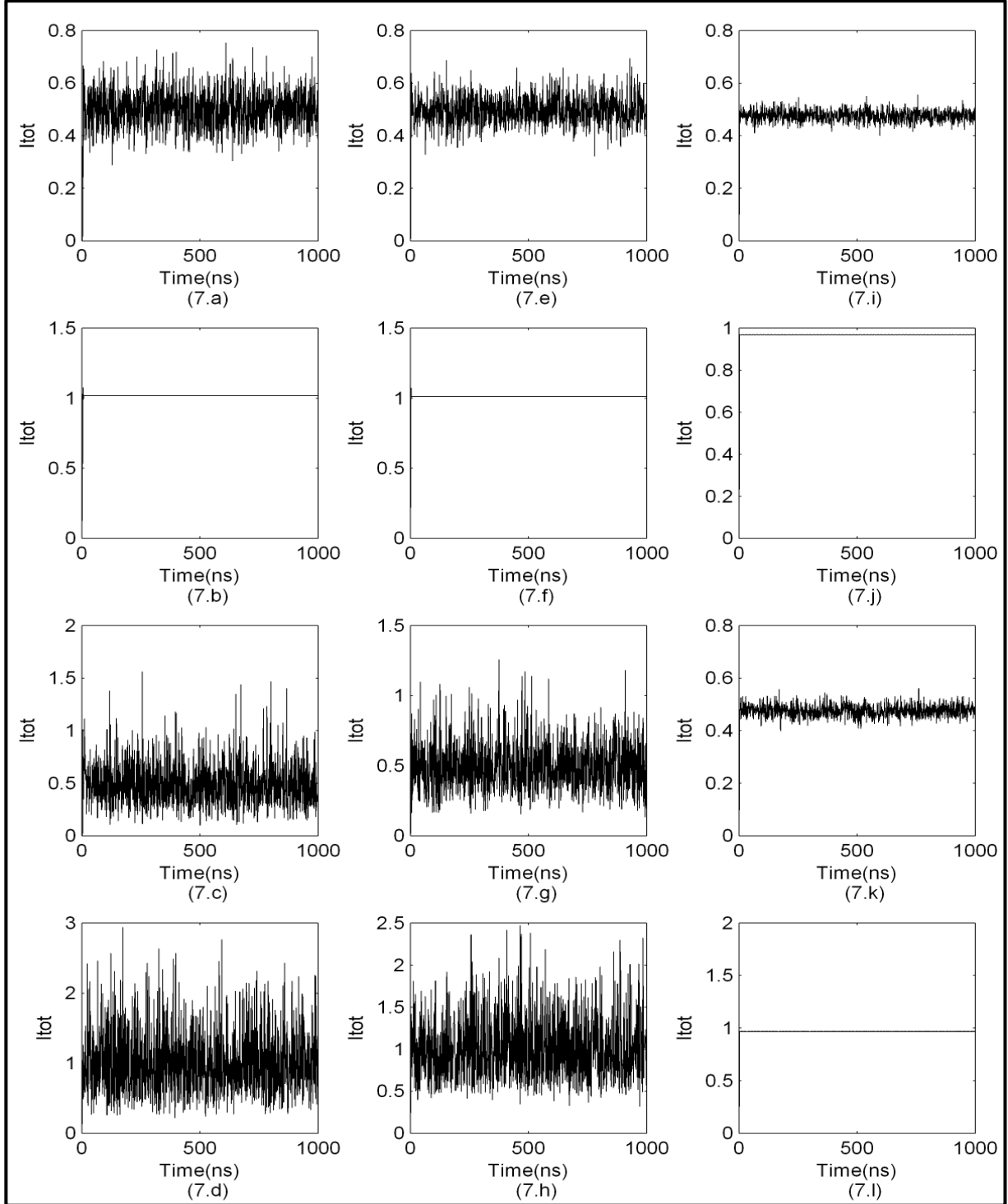
الشكل (6) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة γ_a وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8]وكما يأتي:

عندما $\gamma_a = -0.01ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان: $\epsilon = 0.1$ (i) $\epsilon = 0.01$ (e) $\epsilon = 0.001$ (a)

عندما $\gamma_a = -0.01ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان: $\epsilon = 0.1$ (j) $\epsilon = 0.01$ (f) $\epsilon = 0.001$ (b)

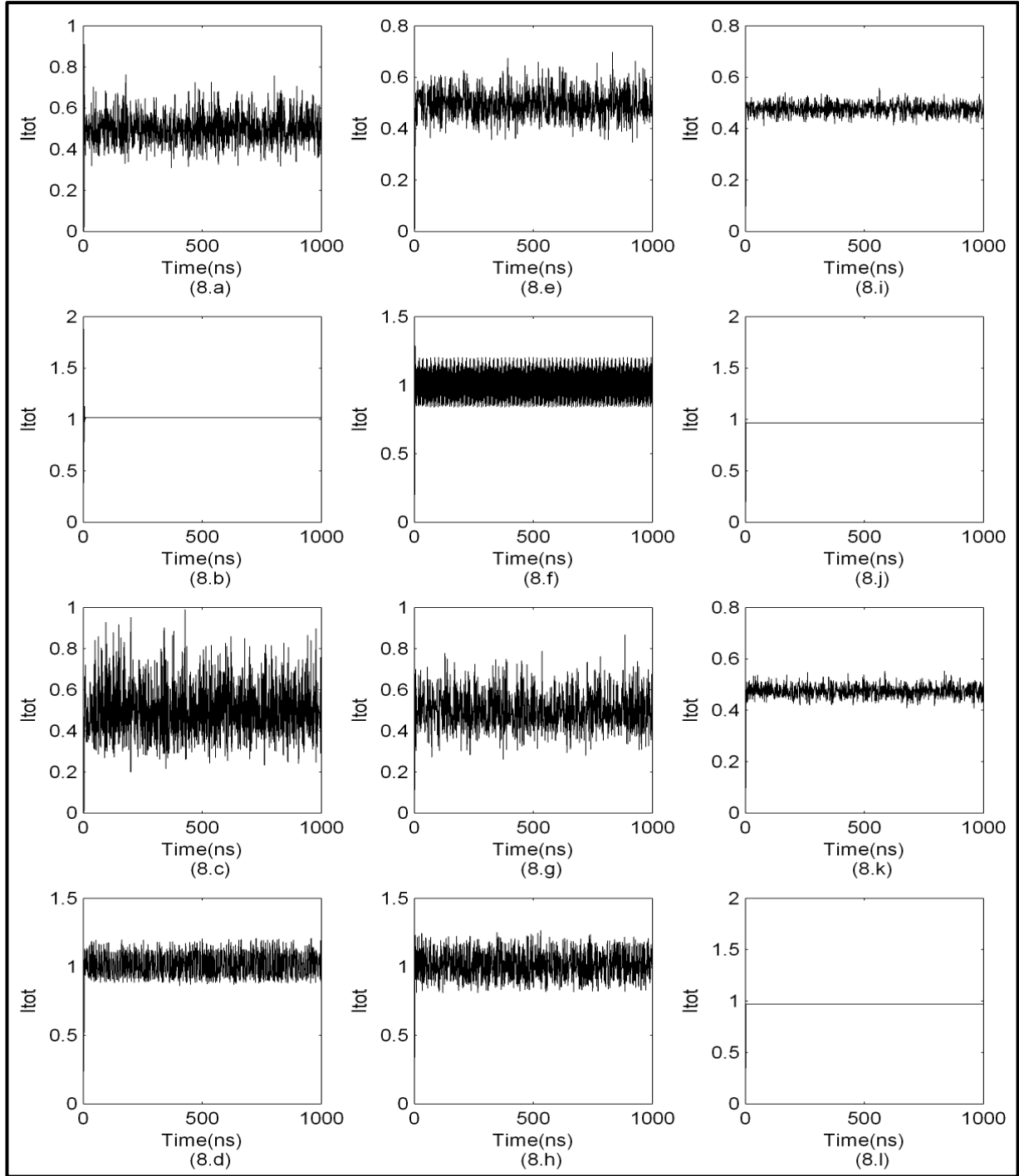
عندما $\gamma_a = -1ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان: $\epsilon = 0.1$ (k) $\epsilon = 0.01$ (g) $\epsilon = 0.001$ (c)

عندما $\gamma_a = -1ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان: $\epsilon = 0.1$ (l) $\epsilon = 0.01$ (h) $\epsilon = 0.001$ (d)



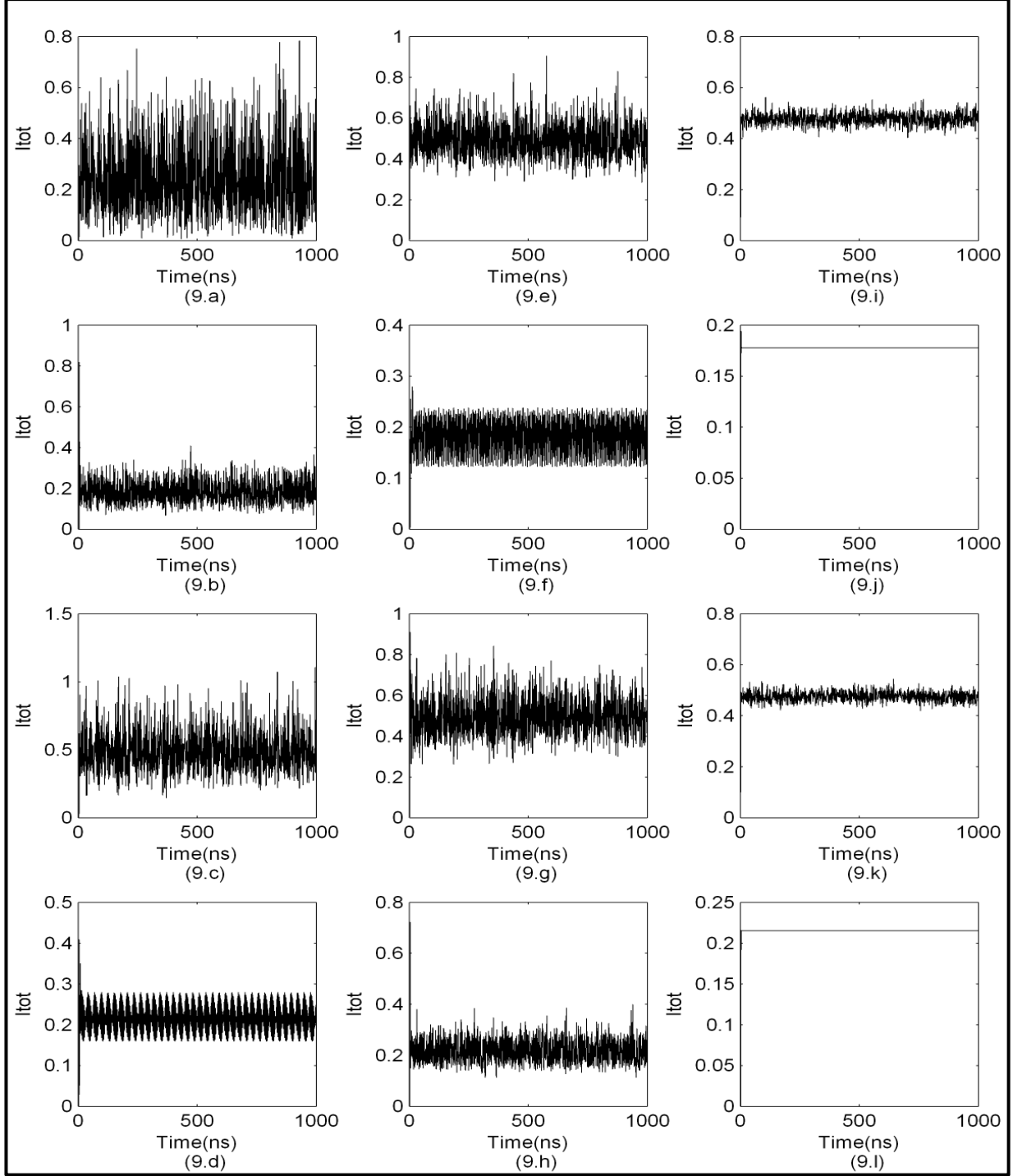
الشكل (7) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة γ_p وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8]وكما يأتي:

$\epsilon = 0.1(i)$	$\epsilon = 0.01(e)$	$\epsilon = 0.001 (a)$	عندما $\gamma_p = 1ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1 (j)$	$\epsilon = 0.01 (f)$	$\epsilon = 0.001 (b)$	عندما $\gamma_p = 1ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1(k)$	$\epsilon = 0.01(g)$	$\epsilon = 0.001 (c)$	عندما $\gamma_p = 10ns^{-1}, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1 (l)$	$\epsilon = 0.01 (h)$	$\epsilon = 0.001 (d)$	عندما $\gamma_p = 10ns^{-1}$ وبوجود الضوضاء فان:



الشكل (8) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة α وبقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها المبينة في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8] وكما يأتي:

$\epsilon = 0.1$ (i)	$\epsilon = 0.01$ (e)	$\epsilon = 0.001$ (a)	عندما $\alpha = 1, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (j)	$\epsilon = 0.01$ (f)	$\epsilon = 0.001$ (b)	عندما $\alpha = 1$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1$ (k)	$\epsilon = 0.01$ (g)	$\epsilon = 0.001$ (c)	عندما $\alpha = 5, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (l)	$\epsilon = 0.01$ (h)	$\epsilon = 0.001$ (d)	عندما $\alpha = 5$ وبوجود الضوضاء فان:



الشكل (9) يمثل: التصرف الزمني لشدة الخرج الكلية I_{tot} في ليزر (VCSE) بتأثير تغير قيمة $\omega_0\tau$ و بقاء جميع المعاملات الاخرى على قيمها الاصلية في الجدول (1) والمأخوذة من المصدر [8]وكما يأتي:

$\epsilon = 0.1$ (i)	$\epsilon = 0.01$ (e)	$\epsilon = 0.001$ (a)	عندما $\omega_0\tau = 3, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (j)	$\epsilon = 0.01$ (f)	$\epsilon = 0.001$ (b)	عندما $\omega_0\tau = 3$ وبوجود الضوضاء فان:
$\epsilon = 0.1$ (k)	$\epsilon = 0.01$ (g)	$\epsilon = 0.001$ (c)	عندما $\omega_0\tau = 10, \beta_{sp} = 0$ فان:
$\epsilon = 0.1$ (l)	$\epsilon = 0.01$ (h)	$\epsilon = 0.001$ (d)	عندما $\omega_0\tau = 10$ وبوجود الضوضاء فان:

4- المناقشة Discussion

كما تقدم في الجدول (1) ذكرنا المعاملات التي درسنا تأثيرها في حركيات (VCSELS) وكانت:

μ, f, k, γ

من المعروف ان هنالك نوعين من العتبة عند التحدث عن حركيات الليزر عموماً وهما العتبة الاولى وتسمى عتبة انبعاث خرج الليزر حيث يكون دونها الخرج عشوائياً اي ان الفوتونات الناتجة جُلها ذات طابع انبعاث تلقائي وعند العتبة وما بعدها تكون فوتونات الخرج متشاكهة ويكون عرض خط الانبعاث صغيراً مقارنة بحالة دون العتبة وفي هذه الحالة يمكن ان نتوقع ما يحصل لخرج الليزر مع تغير العوامل المشار اليها في اعلاه. مع زيادة تيار الحقن فأن الليزر سيصل الى عتبة اخرى وهي عتبة عدم الاستقرار حيث لا يمكن توقع ما سيحصل لخرج الليزر بتغير اي من عوامل السيطرة المذكورة. حتى عند العتبة ($\mu=1$) وتغير قيم المعاملات الاخرى ضمن حدود قد تجعل النظام مستقراً او قد تؤدي به الى حالة من عدم الاستقرارية تبدأ بالدوريات وتعدد الدوريات والفوضى الدورية والفوضى التامة واخيراً الفوضى المتقدمة لذلك عموماً لا يمكن توقع ما سيحصل بتغير اي من عوامل السيطرة التي ذكرت انفاً. فيما يلي التأثيرات الناتجة عن تغير قيم معاملات (VCSEL):

1- تأثير تيار الحقن المعايير (μ) فعندما تكون قيمته (1) فالجهاز يعمل عند العتبة وزيادته تؤدي الى قصر المدى الزمني للحوادث اللحظية وارتفاع في سعة المدى المستقر من خرج الليزر وعندما تكون الزيادة كبيرة في تيار الحقن فأن الخرج قد ينشط او يتحول او ان تُركب عليه حالة من الترددات الجيبية او ما يُطلق عليه التذبذب بدورة واحدة التي قد تنشط الى دورتين ثم الى اربعة دورات (Period doubling) ... الخ [9]. اذا كان نظام الليزر يسلك مسلك مضاعفة الدورة في الوصول الى الحالة الفوضوية او قد يُظهر حالات من عدم الاستقرارية الشديدة ضمن مديات ضيقة على طول امتداد خرج الليزر المستقر والتي تبدأ بالظهور بفترات زمنية قصيرة

مع زيادة تيار الحقن مثلاً الى ان تصبح الصفة الغالبة لخرج الليزر فوضوية ، وقد لاحظنا شيئاً من هذا القبيل في النتائج التي حصلنا عليها ، وهذا السلوك يدعى الانفجارية (Intermittency) [10]. قد يظهر تردد او ترددين على امتداد الخرج المستقر ثم يتحول النظام بعد ذلك الى حالة من الفوضى وهذا المسلك يطلق عليه مسلك الترددات (Two frequency) او مسلك شبه الدوري [11].

2- تأثير المعدل الزمني للتغذية العكسية (f): من المعلوم ان الليزر يمكن ان يعمل بأكثر من طريقة: اما بدون تدخل خارجي او ما يسمى العمل الحر (Free-runing) ، او بتدخل خارجي كما في عملية تثبيت النمط (Mode-locking) او في حالة ضبط

معامل النوعية (switching Quality factor). احياناً كثيرة كاستعمال ليزر شبه الموصل ليقراً او ليحرق الاقراص المدمجة يحدث ان يعود جزء من خرج الليزر مرة اخرى الى تجويف الليزر. بالاعتماد على طول رحلة الذهاب والاياب بين خروج حزمة الليزر وعودتها يمكن ان يتغير طور الحزمة المرتردة وسعتها وتردها وبذلك سيحصل تفاعل بين هذه الحزمة والحزمة التي ماتزال تتولد بداخل تجويف الليزر مما يؤدي الى حصول تداخل بناء او اتلافي قد يؤدي الى انبعاث خرج الليزر وقد تدفع باتجاه عدم استقرارية خرج الليزر كما وان تردد انبعاث الليزر سيتأثر، هذه العملية التي يُطلق عليها التغذية العكسية من المؤكد انها سنؤثر في طبيعة خرج الليزر وقد تدفعه نحو عدم الاستقرار. عند زيادة معدل ما سيعود من فوتونات في وحدة الزمن او ما يطلق عليه المعدل الزمني للتغذية العكسية سيؤثر في خرج الليزر وهذا ما لاحظناه في نتائجنا وقد يتوقف انبعاث خرج الليزر نتيجةً للتغذية العكسية.

3- تأثير تغير زاوية طور التغذية العكسية ($\omega_0 \tau$) سيؤدي الى تعزيز او توهين تأثير الفوتونات العائدة الى تجويف

الليزر بطريقة ما الامر الذي سيؤثر في طبيعة خرج الليزر .

4- تأثير معدل استرخاء المجال الكهرومغناطيسي (k) هنالك علاقة وطيدة بين كل من المجال الكهرومغناطيسي واستقطاب وسط الليزر وفرق التعداد عن طريق المعدلات الزمنية لاسترخاء هذه الكميات الثلاثة ، ان زيادة المعدل الزمني لاسترخاء المجال الكهربائي k وفرق التعداد γ والاستقطاب γ_{\perp} قد تؤدي الى خرق المترابحة $k, \gamma \ll \gamma_{\perp}$.

5- تأثير (γ و γ_a و γ_p) والتي تمثل على التوالي معدلات اضمحلال الحاملات ومجموع المعدل الزمني لاضمحلال الحاملات والمعدل الزمني لاقتزان قناتي الشعاع المستقطب والتي تأخذ بنظر الاعتبار اليات الاسترخاء المختلفة على المستوى المجهرى والتي توازن برم الحاملات وثنائية اللون وثنائية معامل الانكسار . من حيث المبدأ فإن (γ) تؤدي الى اضمحلال الحاملات اي المعدل الزمني لاسترخاء فرق التعداد وكما بينا سابقاً انها لوحدها لا يظهر لها تأثير مميز على اساس انها مرتبطة مع ثابت انحلال المجال الكهربائي (k) وثابت اضمحلال استقطاب الوسط (γ_{\perp}) على الرغم من انها كما يبدو تخفض من فرق التعداد مما يقود الى خفض قدرة خرج الجهاز كلما زادت قيمتها.

اما المعاملات الثلاثة الاخرى فتؤثر في محتوى الضوء من حالة استقطاب لان (γ_s) لها علاقة بالانتقالات البرمية فقد تكون مسؤولة عن انبعاث الضوء الى اليمين او اليسار ، اما (γ_p و γ_a) فيعززان احتمالية الانبعاث بضوء مستقطب خطياً او ضوء مستقطب اهليجياً وذلك يعتمد على الزاوية بين متجهي المركبتين المستقطبتين وسعة كل واحدة منهما لأنه من المعلوم ان كثافة ثنائية اللون تلغي احد مركبتي الاستقطاب وتبقي على الاخرى اما كثافة معامل الانكسار فتعمل على شطر الضوء غير

المستقطب الى مركبتين مستقطبتين خطياً فقد يتصارعان او يتفقان على اختيار حالة استقطاب معينة.

6- تأثير (β_{sp}) والتي تمثل المعدل الزمني للانبعاثات التلقائية والتي تقود الى خفض تشاكة الضوء الناتج في هذا النوع من الليزر لان مستواها عالي لا يمكن اغفاله وتعود الى عدم استقراريات في الطور وعدم استقراريات في الأنماط الطولية والمستعرضة وهذا سيؤثر ايضاً في محتوى خرج الليزر ولقد وجدنا بما لا يقبل الشك في حالة (VCSELS) ان هذا العامل يساعد بطريقة او بأخرى على خفض مستوى عدم الاستقرار في خرج الليزر ونعتقد ان هذا مرتبط بترددات الاسترخاء وخصوصاً في منطقة الحوادث اللحظية فأن تساوى تردد الضوء مع تردد الشدة في منطقة الحوادث اللحظية يمكن ان تعزز حالة عدم الاستقرار اما عندما تكون اعلى بكثير او اقل بكثير فيمكن ان يكون تأثيرها معكوساً.

7- تأثير (ϵ) : ان زيادة معامل التحصيل المشبع ذاتياً تؤثر في حدي اشباع التحصيل لكل قناة والمقصود بالقناة المجال الكهربائي المستقطب دائرياً الى اليمين (E_+) والى اليسار (E_-) فكلما زادت قيمة (ϵ) تضاعلت قيمة (F_{\pm}) اي تناقصت عملية الاشباع مما يقلل احتمالية حدوث خرج معقد وهذا ما تؤشره النتائج التي حصلنا عليها عموماً وخاصة في قيم (μ و f و k) حيث لاحظنا عند وجود حد الضوضاء وتضاعف قيم (ϵ) تحول الخرج الى مستقر تماماً.

8- تأثير تغير معامل تعزيز عرض الخط (α) ويمتلك قيمة موجبة في ليزرات اشباه الموصلات تتراوح بين (3 و 7) وهو مسؤول عن الحركيات المعقدة فيها [12] بالحقيقة ان عرض خط تنذب الليزر في حالة شبه الموصل يكون اكبر منه في حالة الليزر الاخرى بمقدار ($1 + \alpha^2$) فكلما زادت قيمته عن (3) تعقدت حركيات خرج الليزر [13].

5-الاستنتاجات Conclusions

...الخ. فقد تغير خرج النظام من الاعتيادي مروراً بالدوري واللا دوري الى الفوضوي مما يجعل هذا النظام غاية في الاهمية في تطبيقات كثيرة مثل نظرية الفوضى والاتصالات.

افضت الدراسة الحالية الى ان خرج ليزر شبه الموصل ذا التجويف الشاقولي والباعث للضوء سطحياً (VCSEL) يتأثر كثيراً بتغير قيم معاملات النظام او معاملات السيطرة مثل كثافة تيار الحقن والمعدل الزمني للتغذية العكسية وثنائية اللون وثنائية معامل الانكسار

References

- 1-C.Chen,P.O.Leisher,D.M.Kucha and K.D.Choquette, "High-speed modulation of index-guided implant-confined vertical cavity surface-emitting laser" IEEE J.Quan.Elect. 15,673 (2009).
- 2-A.Mutiy,G.Fiol, "Temperature-dependent small-signal analysis of high-speed high temperature stable 980-nm VCSELs",ibid,15,679 (2009).
- 3-T.Chang Lu, I.Rong Chen, et al , "Development of GaN-based vertical cavity surface-emitting lasers",ibid,15,850 (2009).
- 4-D.F.Siriani,M.P.Tan ,A. M. Kasten, A. C. L.nHarren and others "Mode control in photonic crystal vertical-cavity surface-emitting lasers and coherent arrays", ibid,15,909 (2009).
- 5-M.San Miguel,Q.Fing and J.V.Moloney,"Light-Polarization in surface-emitting semiconductor lasers",Phys.Rev.A,52,1728(1995).
- 6- J. Martin-Regalado, F. Prati, M. San Miguel, and N. B. Abraham, " Polarization properties of vertical-cavity surface-emitting lasers", IEEE, J.Quan.Elect.33,765(1997).
- 7- J. Mulet, " Semiconductor laser dynamics:compound-cavity, polarization and transverse modes",Ph.D. thesis, University of Les illesBalears (2002).
- 8- M. Sciamanna, C. Masoller, F. Rogister, P. Megret, N. B. Abraham and M. Blondel," Fast pulsing dynamics of a vertical-cavity surface-emitting laser operating in the low-frequency fluctuation regime", Phys.Rev.A, 68, 015805 (2003)
- 9-M.Feigenbaum ,"Universal behavior in nonlinear systems" ,J.Stat.Physics,19,25(1987).
- 10-Y.Pomeau and P.Manneville,"Intermittent transition to turbulence in dissipation dynamical systems", Comm.Math. Phys. ,74,189(1980).
- 11-D.Ruelle and F.Takens"On the nature of turbulence", Comm. Math.Phys.20,167(1971).
- 12-D.D.Cook, F.R. Nash," Gain-induced guiding and astigmatic output beam of GaAs lasers", J. Appl. Phys. 46,1660(1975).
- 13-Henry CH. ,"Theory of the line width of semiconductor lasers", IEEE,J. Q. E. 18,259(1982).

Study the stability and chaos of vertical cavity surface-emitting semiconductor laser (VCSEL)

Ali M. Chekheim and C.A. Emsary
Physics Department, Education College, Basrah University, Basrah, Iraq

Abstract

We have studied the vertical cavity surface emitting semiconductor laser chaos with and without noise under the effect of many parameters that appeared in the (Sciamanna *et al*) model, viz. injection current, rate of feedback, relaxation rates of electric field and carriers, coupling between amplitude and phase, Dichroism and Birefringence. This system shows rich and varieties in dynamics such as stable, periodic, multiperiodic, aperiodic and different types of chaos. These results make this system so important in the study of instabilities in laser devices.