

تطوير مخطط لتعريض مجال المرور الضوئي لمضخم SOA عريض المجال مؤسس على مرشح انعكاسي انتقائي طيفياً

أحمد رمضان الشيخ ديب النميلي¹، تمام علي مطاوع²

¹ طالب ماجستير، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته في جامعة دمشق
ahmad2.alnomaily@damascusuniversity.edu.sy

² استاذ مساعد في المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته في جامعة دمشق

الملخص:

تم في هذا العمل اقتراح مخطط مطور لتعريض مجال المرور الضوئي لمضخم ضوئي من أنصاف أنصاف النواقل (Semiconductor Optical Amplifier (SOA)) عريض مجال المرور الضوئي . دُرس المخطط المقترح الذي يعتمد على استخدام مرشح انعكاسي انتقائي طيفياً من خلال المحاكاة. تمت دراسة كفاءة هذا المخطط وفعاليتيه في تعريض مجال المرور الضوئي وتحسين وتحسين الخواص الساكنة لهذه المنظومة. أظهرنا من خلال النمذجة أنه يمكن الحصول على عرض عرض مجال مرور ضوئي قيمته 141.42 مع تضخيم 8 قنوات من نمط C-WDM (Coarse-Wavelength Division Multiplexing) بريح أعظمي يعادل 14.7dB وبمعامل ضجيج (Noise Figure) يتغير بين القيمتين 8.42-11.53 dB. وأخيراً تمت دراسة تأثير ضياعات العناصر الضوئية المستخدمة لبناء المخطط المقترح من جهة و دراسة تأثير استطاعة الدخل للإشارات المراد تضخيمها من جهة أخرى على كفاءة المخطط المقترح لتعريض مجال المرور الضوئي للمضخم SOA عريض المجال .

الكلمات المفتاحية: مجال المرور الضوئي، المضخم الضوئي من أنصاف النواقل SOA، معامل الضجيج ، تعريض مجال المرور الضوئي.

تاريخ الإيداع 2023/3/23

تاريخ القبول 2023/6/25



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب CC BY-NC-SA

Development of scheme for optical bandwidth broadening of SOA broadband based on a spectrally selective reflective filter

Ahmad Ramadan Alshikh Deeb Alnomaily¹, Tammam Ali Motaweh²

¹Master student, Higher Institute for Laser Research and Applications, Damascus University. ahmad2.alnomaily@damascusuniversity.edu.sy

²Assistant Professor, Higher Institute for Laser Research and Applications, Damascus University

Abstrast

In this work, a developed scheme for optical bandwidth broadening of Semiconductor Optical Amplifier (SOA) broadband is suggested. The proposed scheme based on using a spectrally selective reflective filter is studied by simulation. The performance of the suggested scheme and its effectiveness in optical bandwidth broadening and improvement of its steady state are investigated. An optical bandwidth of 141.42 nm is attained allowing the amplification of 8 C-WDM channels (Coarse Wavelength Division Multiplexing) with gain equals to 14.7 dB and Noise Figure variation between 8.42-11.53 dB. The impact of losses, caused by optical elements used in the suggested scheme, and the input optical power of signals needed to be amplified on the performance of the suggested scheme are studied.

Keywords: Optical bandwidth, Semiconductor Optical Amplifier (SOA), Noise figure, Optical bandwidth broadening

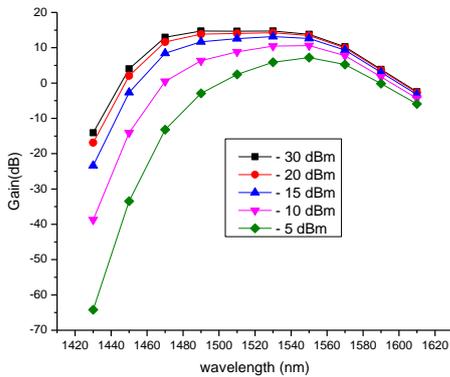
Received:23/3/2023
Accepted: 25/6/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

- 1 1 . المقدمة:
- 2 تعتمد أنظمة الاتصالات الحديثة التي تستخدم الألياف الضوئية
- 3 بشكل رئيسي على المضخمات الضوئية لتضخيم الإشارة
- 4 الضوئية التي تحمل المعلومات، مما يساهم في التغلب على
- 5 مشكلة الضياعات ضمن الألياف الضوئية الواصلة بين المرسل
- 6 والمستقبل (Agrawal, 2012). تمتلك تلك المضخمات مجال
- 7 مرور ضوئي محدود الأمر الذي يحد من عدد الإشارات
- 8 الضوئية المختلفة التي يمكن تضخيمها في نفس الوقت وذلك في
- 9 حال استخدام هذه المضخمات الضوئية في أنظمة الاتصالات
- 10 التي تعتمد على الإرسال المضاعف بتقسيم الطول الموجي
- 11 ((WDM) Wavelength Division Multiplexing)
- 12 (Grobe & Eiselt, 2013). في الوقت الحالي يعتبر التضخيم
- 13 الضوئي عريض المجال كأحد أهم الحلول المقترحة لزيادة سعة
- 14 أنظمة الاتصالات الضوئية (Rapp, 2022) ، تستخدم الأنظمة
- 15 الحالية بشكل رئيسي المضخم الليفي المشوب بالإربيوم
- 16 ((EDFA) Erbium Doped Fiber Amplifier)
- 17 (Emmanuel & Zervas, 1994)، ولكن العديد من الدراسات
- 18 أظهرت إمكانية استخدام مضخم رامان الليفي (Raman fiber)
- 19 (amplifier). (Headley & Agrawal, 2005)، بينما استخدم
- 20 بشكل محدود المضخم الضوئي من أنصاف
- 21 النواقل (Semiconductor Optical Amplifier) SOA
- 22 ولكن في الفترة الأخيرة زاد (Kuindersma, et al., 1996). ولكن في الفترة الأخيرة زاد
- 23 الإهتمام بالمضخم SOA بسبب كبر عرض مجال المرور
- 24 الضوئي الذي قد يتجاوز في بعض الأحيان أكثر من ضعفي
- 25 تلك التي للمضخم EDFA (Morito, Renaudier, 2019;
- 26 et al., 2005;
- 27 بالإضافة إلى ذلك تم تطوير العديد من التقنيات التي سمحت
- 28 بالحصول على تضخيم عريض المجال الضوئي
- 29 (Ogoshi, et al., 2000؛ Morel, et al., 2010a؛
- 30 Morel, et al., 2010b؛ Huri, et al., 2011؛
- 31 Iannone and Reichmann, 2008) بعض هذه التقنيات
- 32 تعتمد على استخدام مرشحات انتقائية طيفياً (Ogoshi, et
- 33 al., 2000
- 34 Morel, et al., 2010a, Morel, et al., 2010b) و
- 35 تقنيات أخرى تعتمد على وصل عدة مضخمات ضوئية على
- 36 التسلسل أو على التفرع. هذه المضخمات تمتلك أطيايف ربح
- 37 منزاحة طيفياً بحيث تسمح عند مخرج المنظومة بالحصول على
- 38 طيف ربح مسوي وعريض المجال الضوئي (Huri, et
- 39 Iannone and Reichmann, 2008؛ al., 2011؛
- 40 مرشح تسوية للربح (gain equalizing filter) لتسوية ربح
- 41 المضخم الليفي المشوب بالإربيوم EDFA عن طريقة وصله
- 42 على التسلسل مع المضخم EDFA (Ogoshi, et al.,

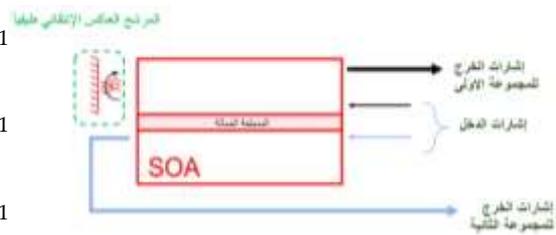
يعتمد المخطط المطور في هذا العمل على استخدام المضخمات الضوئية من أنصاف النواقل عريضة المجال الضوئي (Broadband-SOA). تتميز هذا المضخمات بامتلاكها طيف ربح مسوى على مجال واسع من الأطوال الموجية، يبين الشكل 1 طيف الربح الذي تم الحصول عليه من خلال النمذجة للمضخم SOA عريض المجال المستخدم في هذا العمل وذلك من أجل تيار تغذية للمضخم 260mA ومن أجل عدة استطاعات دخل لكل إشارة محقونة ضمن المضخم. سنتوسع بالحديث عن هذا النموذج للمضخم في فقرة نمذجة المخطط المقترح. نشير إلى أنه تم استخدام نموذج المضخم عريض المجال الضوئي المطور ضمن أطروحة الدكتوراه المنجزة في مختبر (UMR CNRS 6285) Lab-STICC (Motaweh, 2014; Motaweh, et al., 2017) نلاحظ أن شكل طيف الربح في حال كانت استطاعة الدخل لكل إشارة تعادل -30 dBm مسوى ومجال المرور الضوئي تعادل 71.5 nm وقمة الربح تعادل 14.75dB. نلاحظ أن الإشارات الممتدة على مجال طول الموجة من 1490 nm إلى 1530 nm تمتلك قيمةً متساوية للربح تقريباً. كما يظهر الشكل 1 تأثير طيف الربح لهذا المضخم عند رفع قيم الاستطاعة للإشارات المدخلة لقيم أعلى من -20dBm حيث يبتعد طيف الربح عن التسوية بسبب ظاهرة الإشباع.



الشكل 1: طيف الربح الحاصل بالمحاكاة من أجل عدة استطاعات لكل إشارة مدخلة ضمن المضخم

43 (2000). وأيضاً استخدم مرشح انعكاسي انتقائي طيفياً لتسوية
44 ربح المضخم الضوئي من أنصاف النواقل SOA ، حيث تم
45 وصل هذا المرشح الانعكاسي الانتقائي طيفياً عند أحد مخارج
46 المضخم SOA واستخدم المخرج الثاني كمدخل ومخرج
47 للإشارات الضوئية المراد تضخيمها
48 (Morel, et al., 2010a; Morel, et al., 2010b)
49 وتم الحصول على طيف ربح مسوى ضمن عصابة الإرسال
50 C عن طريق وصل مضخم (Zirconia based Erbium
51 Zr-EDF (doped fibre مع المضخم SOA على التسلسل
52 (Huri, et al., 2011) وأيضاً تم الحصول على تضخيم
53 عريض المجال عن طريق الوصل على التسلسل لمضخم
54 رامان مع المضخم SOA (Emmanuel & Zervas, 1994).
55 سنقدم في القسم الأول المخطط المقترح ومبدأ عمله لتسوية
56 طيف ربح المضخم SOA عريض المجال الضوئي والذي يعتمد
57 على مبدأ الترشيح الانعكاسي الانتقائي طيفياً، كما سيتم تقديم
58 النموذج المطور لمحاكاة المخطط المقترح و نموذج المضخم
59 SOA عريض المجال الضوئي المستخدم لإنجاز هذا العمل،
60 بعد ذلك سيتم عرض النتائج ومناقشتها.
61
62 2 . المخطط المقترح لتعريض مجال المرور الضوئي
63 لمضخم SOA:

- 89 يبين الشكل (2) مبدأ عمل التقنية المقترحة في هذا العمل106 تقوم فكرة هذا المخطط على تطوير تقنية تعريض مجال المرور
- 90 لتعريض مجال المرور الضوئي لمضخم ضوئي SOA عريض107 الضوئي لمضخم SOA معروفة بـSOA-Equalized
- 91 المجال الضوئي. حيث يتم تقسيم إشارة الدخل إلى مجموعتين108 (ESOA) Morel, et al., 2010a؛
- 92 بحسب طول الموجة و الريح :109 Morel, et al; 2010b يتم في هذه التقنية استخدام أحد
- 93 • مجموعة أولى تعبر المضخم SOA عبوراً مضاعفاً عبر110 مخارج المضخم كمدخل ومخرج للإشارات الضوئية المراد
- 94 المرشح العاكس الانتقائي طيفياً وهي الإشارات التي111 تضخيمها وعند المخرج الثاني للمضخم يتم وضع مرشح
- 95 تمتلك ربحاً متغيراً مع طول الموجة (في العبور البسيط)112 انعكاسي انتقائي طيفياً. يتم ضبط الانعكاسية الطيفية للمرشح
- 96 ، يتم ضبط طيف الانعكاسية للمرشح بحيث يتم الحصول113 عند كل طول موجي بشكل يسمح بالحصول على أكبر عرض
- 97 على ربح ثابت ومناسب بعد انعكاسها وعبورها مرة اخرى114 ممكن لمجال المرور الضوئي. لكن ضمن هذا المخطط يتم
- 98 للمضخم SOA عريض المجال115 إعادة حقن جميع الاشارات حتى تلك التي تمتلك ربحاً مناسباً
- 99 • مجموعة ثانية تعبر المضخم SOA عريض المجال116 ضمن المضخم SOA مما يساهم في تقليل نسبة الاشارة
- 100 مرة واحدة وهي التي تمتلك قيمة للريح قريبة جداً من117 للضخيج لهذه الإشارات نتيجة إعادة حقن الإصدار التلقائي
- 101 بعضها البعض118 للمضخم عند المخرج الموافق للمرشح العاكس الانتقائي طيفياً
- 102 ضمن المضخم SOA. في مخططنا المقترح و المطور في هذا119
- 103 العمل قمنا بتجنب إعادة حقن أكبر عدد ممكن من الإشارات1 (والتي تمتلك ربحاً مناسباً ومتقارباً) بعد عبورها المضخم
- 104 لأول مرة و بالتالي تجنب إعادة حقن الإصدار1 SOA
- 105 الشكل 2: مبدأ عمل المخطط المقترح لتعريض مجال المرور الضوئي123
- 106 والذي يعتمد على استخدام مرشح عاكس انتقائي طيفياً124
- 107 إعادة حقن هذه الإشارات ضمن المضخم عريض المجال125
- 108 يساهم في تقليل ظاهرة الإشباع بالمضخم. يظهر الشكل 3126



- 127 المخطط الممكن تحقيقه مع جميع العناصر الضوئية الذي 14
- 128 يسمح بتعريض مجال المرور الضوئي لمضخم ضوئي SOA 14
- 129 عريض المجال . 147
- 14 جميعها من المخرج 2 للدوار الضوئي، وبعد خروجها من المضخم يتم فصلها بفضل مفك التجميع الضوئي DM_1 ، وهنا يتم تقسيم الإشارات الضوئية حسب الطول الموجي والريح الضوئي إلى مجموعتين. بالنسبة للمجموعة الأولى التي تمتلك ربحاً متغيراً مع طول الموجة يتم وصل مخارج مفك التجميع الموافقة لهذه الأطوال الموجية بالعاكس القابلة للتوليف (المكونة من مخدم ضوئي قابل للتوليف ومرآة موصولة معه على التسلسل). تسمح هذه الآلية بإعادة حقن إشارات المجموعة الأولى في المضخم الضوئي بعد عبورها المجمع الضوئي M_1 .
- 154 نشير أن مفك التجميع DM_1 هو نفسه المجمع M_1 لكنه يعمل في حال الحقن بالإتجاه المباشر كمفك تجميع ومجمع ضوئي في حال الحقن بالإتجاه المعاكس. بعد العبور المضاعف لإشارات هذه المجموعة للمضخم الضوئي SOA وخروجها من الدوار الضوئي من المخرج 3 فإنها تصل إلى مفك التجميع DM_2 الذي يقوم بدوره بفك تجميع قنوات هذه المجموعة ليعاد تجميعها بفضل المجمع الثاني الرئيسي M_2 .
- 161 بالنسبة للمجموعة الثانية والتي تمتلك ربحاً ثابتاً تقريباً بالنسبة للطول الموجي فتتابع طريقها بعد عبورها مفك التجميع DM_1 إلى المجمع الضوئي الرئيسي M_2 حيث يتم وصل المخارج المتوافقة مع بعضها البعض باستخدام ألياف ضوئية. نشير أن مخرج المجمع M_2 يمثل مخرج المخطط المقترح. نشير أنه تم
- 148 الشكل 3: رسم توضيحي للمكونات المستخدمة في المخطط المقترح وطريقة التوصيل الضوئية، A: مخدم قابل للتوليف، DM: مفك تجميع ضوئي، M : مجمع ضوئي
- 130
- 131
- 132
- 133
- 134 ويتألف المخطط المعروض في الشكل 3 من ثلاثة مجموعات
- 135 من العناصر الضوئية المتصلة بالألياف الضوئية:
- 136 • دوار ضوئي (circulator) يستخدم لحقن الإشارات ضمن
- 137 مدخل المضخم الضوئي SOA واستعادة الإشارات
- 138 المنعكسة بعد عبورها المضخم SOA
- 139 • مجمعات ضوئية و مفككات تجميع ضوئية (Multiplexer and Demultiplexer)
- 140
- 141 • عاكس قابل للتوليف يتكون من مرآة و مخدم ضوئي قابل
- 142 للتوليف (Tunable Attenuator)
- 143 في البداية تعبر جميع الإشارات الضوئية المضخم SOA. هذه
- 144 الإشارات تم حقنها من المدخل 1 للدوار الضوئي وتخرج

- 166 اختيار الأطوال الموجية ضمن الأطوال الموجية لنظم CWDM¹⁸⁸
- 167 و التي توافق مجال التضخيم للمضخم SOA عريض المجال¹⁸⁸
¹⁸⁹
- 168 المستخدم، لتجميع هذه القنوات نستخدم مجموعات ضوئية خاصة¹⁹⁰
- 169 من نمط CWDM و التي تسمح بحقن جميع القنوات ضمن¹⁹¹
- 170 ليف ضوئي واحد، و لفك تجميع القنوات نستخدم مفككات¹⁹²
- 171 تجميع من نفس النمط CWDM، يعتمد مبدأ المرشح الانعكاسي¹⁹³
- 172 الانتقائي طيفياً على فك تجميع القنوات المحقونة عند مدخل¹⁹⁴
- 173 المرشح الانعكاسي و عند مخرج كل قناة من قنوات المجموعة¹⁹⁵
- 174 الأولى (المنعكسة) يتم إضافة مخمد ضوئي قابل للتوليف و مرآة¹⁹⁶
- 175 عاكسة لكل قناة ، تمر الحزمة الضوئية الموافقة لكل قناة قبل¹⁹⁷
- 176 وصولها للمرآة بموهن ثم تنعكس الحزمة بعد وصولها للمرآة ثم¹⁹⁸
- 177 تعبر مرة ثانية الموهن القابل للتوليف، تمتلك المرآة المستخدمة¹⁹⁹
- 178 انعكاسية عالية وثابتة (تعادل تقريباً 0.95) وهي تمثل القيم²⁰⁰
- 179 العظمى للانعكاسية التي يمكن الحصول عليها، يتم ضبط²⁰¹
- 180 الانعكاسية عن طريق تغيير قيم ضياعات المخمد الذي يعمل²⁰²
- 181 على تقليل قيمة الاستطاعة الضوئية للقناة بعد عبورها الثاني²⁰³
- 182 للمخمد عند مخرج المرشح الانعكاسي ، في حال كانت قيم²⁰⁴
- 183 التخمد للمخمد معدومة في هذه الحالة تكون قيم الانعكاسية²⁰⁵
- 184 للعاكس موافقة لقيم انعكاسية المرآة (0.95) وعند رفع قيم
- 185 التخمد للمخمد تقل قيم الانعكاسية نتيجة التخمد المضاعف
- 186 لدى عبورها المخمد مرتين

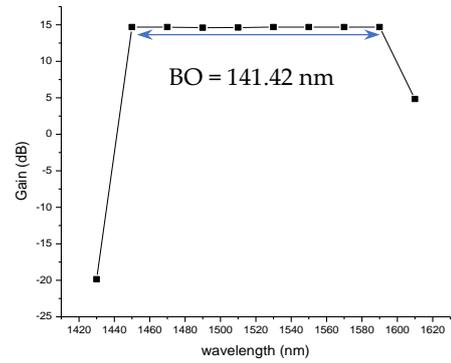
$$NF = \frac{2 P_{ASE}}{hvG\Delta\nu} + \frac{1}{G} \quad (1)$$

- 206 حيث G يمثل ربح المضخم عند التواتر ν ، P_{ASE} : تمثل 222 أن طيف الربح عند تيار تغذية 260mA يكون مسوى على
- 207 استطاعة الإصدار التلقائي المضخم ضمن المجال $\Delta\nu$ حول 223 مجال واسع من الأطوال الموجية يمتد تقريبا من 1480 nm
- 208 التواتر ν باستقطاب يوافق استقطاب الربح G ، h : ثابتة 224 إلى 1540 nm ، بربح يعادل 14.7 dB تقريباً . بالاعتماد
- 209 بلانك 225 على هذا النموذج للمضخم SOA عريض المجال تم تطوير
- 210 نموذج يحاكي المخطط المقترح في هذا العمل (الشكل 3) مع 226
- 227 الأخذ بعين الاعتبار أنه يسمح بمحاكاة الحالة الموافقة لحقن
- 228 جميع القنوات المراد تضخيمها معاً في نفس الوقت، و تم تطويره
- 229 بحيث يأخذ بعين الإعتبار ضياعات مختلف العناصر التي
- 230 تدخل في تركيب المخطط المقترح، نشير أنه تم تقسيم الإشارات
- 231 إلى مجموعتين عن طريق تحديد طول الموجة الأعظمي λ_{up}
- 232 وطول الموجة الأصغري λ_{down} اللذين يمثلان حدود
- 233 المجموعتين (الأولى والثانية)، بالإضافة إلى ذلك قمنا بتطوير
- 234 الخوارزمية التي مخططها التدفقي موضح في الشكل 5 والتي
- 235 تسمح بتسوية ربح إشارات المجموعة الأولى عن طريق تحديد
- 236 الطيف الأمثل لانعكاسية المرشح العاكس الانتقائي طيفياً بحيث
- 237 نحصل على طيف ربح مسوى عند مخرج المخطط . تعتمد هذه
- 238 الخوارزمية على استخدام تابع الماتلاب Patternsearch
- 239 وتتطلب استخدام العلاقة (2) والتي تسمح باتباع عملية البحث
- 240 الأمثل:
- 241 حيث: G_i : ربح الإشارة i
- 242 النمذجة لكل من طيف الربح و طيف معامل الضجيج من أجل
- 243 التجريبياً (منقط) والحاصل بالمحاكاة (خط مستمر) من أجل عدة تيارات تغذية
- 244 للمضخم SOA عريض المجال . الشكل مأخوذ من المرجع (Motaweh, et al., 2017)
- 245 الشكل 4 : (a) طيف الربح صغير السعة (b) معامل الضجيج المقاس
- 246 (a) Gain [dB] vs λ [nm] (b) NF [dB] vs λ [nm]
- 247 يبين الشكل 4 مدى كفاءة النمذجة التي اعتمدنا عليها لمحاكاة
- 248 المضخم الضوئي SOA عريض المجال الضوئي، حيث يوجد
- 249 تطابق بين القيم التجريبية والقيم التي نحصل عليها من خلال
- 250 النمذجة لكل من طيف الربح و طيف معامل الضجيج من أجل
- 251 عدة تيارات تغذية للمضخم SOA عريض المجال كما تظهر

$$out = |G_{max} - G_{min}| + \sum |G_{max} - G_i| \quad (2)$$

274 الاطوال الموجية المحصورة بين λ_{up} و λ_{down} وهي الإشارات C-WDM التي تم تضخيمها ضمن مجال المرور الضوئي
 275 التي أطوالها الموجية 1490 nm، 1510، 1530. بدايةً تم معرف على 1dB- و التي عددها 8 قنوات و أن التطوير
 276 إهمال الضياعات للعناصر الضوئية المستخدمة في المخطط الذي قمنا به لتقنية ESOA لم يؤثر سلباً على فعالية هذا النوع
 277 المقترح. يظهر الشكل 6 طيف الريح صغير السعة عند مخرج من التضخيم. نشير أننا حصلنا على ربح أعظمي يعادل
 278 المخطط المطور المدروس في هذا العمل. 14.7dB بينما في تقنية ESOA المعروضة في المرجع

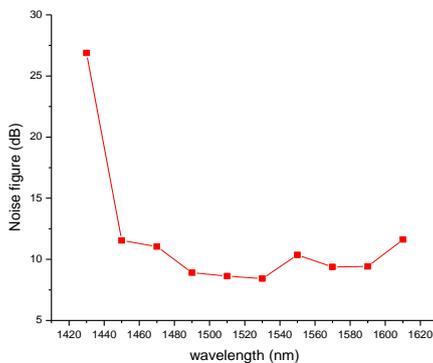
296 (Moel, et al., 2010a) قيم الريح تعادل تقريباً 8dB، وأننا في
 297 حال المخطط المقترح في هذا العمل تم تجنب إعادة حقن أي
 298 إشارة ضمن المجال من 1480nm حتى 1540nm بعد
 299 مرورها لأول مرة عبر SOA. لإظهار أهمية هذه التقنية قمنا



300 بدراسة معامل الضجيج في حالة الريح المسوى و الحالة المثلى
 301 لمجال المرور الضوئي. يبين الشكل 7 طيف معامل الضجيج
 302 لجميع القنوات عند مخرج المخطط المقترح من أجل تيار تغذية
 303 للمضخم 260mA و الموافق للحالة المثلى للريح المعروض في

279 الشكل 6: طيف الريح عند مخرج المخطط المقترح من أجل الحالة المثلى
 280 الموافقة لأعرض مجال مرور ضوئي (تيار التغذية 260mA).

282 من الشكل 6 نلاحظ انه تم تضخيم 8 قنوات من النمط
 283 C-WDM بربح تقريباً 14.7 dB على عرض لمجال المرور
 284 الضوئي بلغ 141.42 nm عند قيمة التيار 260 mA



285 واستطاعة إشارات الدخل -30 dBm و ضياعات مهمة
 286 للعناصر الضوئية المستخدمة. بالمقارنة مع الدراسة التجريبية
 287 المعروضة في المرجع (Moel, et al., 2010a) التي تدرس تقنية

288 ESOA والتي تعتمد على وضع مرشح انتقائي طيفياً على أحد
 289 مخارج المضخم SOA عريض المجال الضوئي نجد أننا
 290 حصلنا على نتائج متطابقة من حيث عدد القنوات من نمط
 291 للمضخم 260mA

- 308 يظهر الشكل 7 أن قيم معامل الضجيج NF للمجموعة الأولى (329 et al., 2020) بالإضافة لذلك فإن المخطط المقترح يمكن
- 309 يتراوح من 9.37 dB حتى 11.53 dB أما معامل الضجيج (330 استخدامه مع أي نوع من المضخمات الضوئية عريضة المجال
- 310 للمجموعة الثانية فهو يتغير بين $8.91\text{ dB} - 8.42\text{ dB}$ (331 الضوئي وبالتالي يمكن من تحسين الأنظمة الحديثة المطورة
- 311 بالمقارنة بين قيم معامل للضجيج للمجموعتين نجد أن العبور (332 مؤخراً، بعد الأخذ بعين الاعتبار لمجال التضخيم و نوع منظومة
- 312 المضاعف للإشارات عبر المضخم SOA سبب ارتفاعاً (333 WDM المرسله، نشير أن بعض الدراسات الحديثة النظرية
- 313 واضحاً في قيم معامل الضجيج و أن قيم معامل الضجيج (334 التي تعتمد على النمذجة تظهر إمكانية تطوير مضخمات
- 314 لإشارات المجموعة الثانية هي قريبة جداً من تلك التي يمتلكها (335 ضوئية عريضة المجال الضوئي وذلك باستخدام بنى متقدمة من
- 315 المضخم SOA في حال العبور البسيط. و بالتالي لم يحصل أي (336 نقاط كمومية، والتي تظهر إمكانية الوصول لقيم مجالات ضوئية
- 316 تدهور في قيم معامل الضجيج للقنوات الموافقة للمجموعة (337 قريبة من $1\mu\text{m}$ (Nahaei, et al., 2023) والتي يمكن
- 317 الثانية. بالمقارنة هذه الدراسة مع الدراسات المعروضة في (338 باستخدامها في مخططنا المقترح تحسين إضافي لكفاءة هذه
- 318 المرجع، (Renaudier & Ghazisaeidi, 2019) التي تستخدم (339 المضخمات عريضة العصابة من حيث مجال المرور
- 319 المضخم SOA عريض المجال لتعريض مجال المرور الضوئي (340 الضوئي .
- 320 لنظام إرسال بطول 100 km بعرض يزيد على 100 nm (341
- 321 والدراسة المعروضة في المرجع (Arnould, et al., 2020) التي (342
- 322 تستخدم مضخم SOA عريض المجال موصول على التسلسل (343
- 323 مع مضخم Raman الليفي وفق الضخ العكسي لتعريض مجال (344 يظهر الشكل 8 طيف الانعكاسية الذي تم الحصول عليه
- 324 المرور الضوئي لنظام إرسال بطول 300 km 100×3 (345 بمساعدة خوارزمية البحث الأمثل والذي سمح بالحصول على
- 325 km) حتى مجال مرور ضوئي يعادل 103 nm نجد أن (346 أفضل مجال مرور ضوئي.
- 326 المخطط المقترح لدينا سمح بتعريض مجال المرور الضوئي
- 327 حتى قيم 141.42 nm بزيادة أكثر من 35 nm عن هاتين
- 328 الدراستين (Renaudier & Ghazisaeidi, 2019; (Arnould,

364 قيمة الضياعات و هذه القيمة مستقلة عن الطول الموجي. أما

365 بالنسبة لضياعات الدوار الضوئي فقد تم تثبيت قيمته عند

366 $0.5dB$. تعاني جميع الإشارات المحقونة في المخطط

367 المطور قبل حقنها ضمن المضخم SOA من ضياعات الدوار

368 الضوئي. وبعد عبورها للمضخم الضوئي تعاني الإشارة التي

369 تتبع المجموعة الثانية (التي تعبر المضخم عبوراً واحداً) من

370 ضياعات كل من مفك التجميع الضوئي DM_1 والمجمع

371 الضوئي M_2 أما إشارات المجموعة الأولى فتعاني بعد عبورها

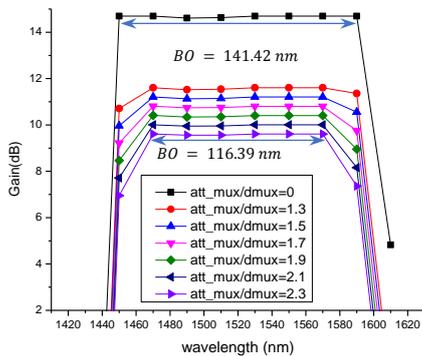
372 المضاعف للمضخم من ضياعات كل من مفك التجميع

373 الضوئي DM_2 والمجمع الضوئي M_2 . ويجب الإشارة أنه تم

374 أخذ أيضاً ضياعات المجمع الضوئي ومفك التجميع الضوئي

375 عند عبور إشارات المجموعة الأولى للمرشح

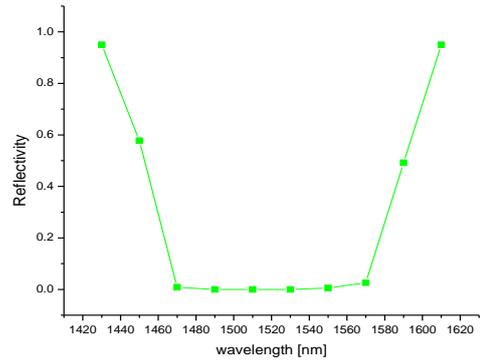
376 الانتقائي العاكس طيفياً.



378 الشكل 9: طيف الريح الأمثل من أجل عدة قيم لضياعات المجمعات

379 ومفككات التجميع التي يمكن استخدامها في بناء نموذج المخطط المقترح

380 من أجل تيار 260 mA



349 مرور ضوئي

350 نلاحظ أن قيم الانعكاسية عند الأطوال الموجية التي توافق

351 الأطوال الموجية لقنوات المجموعة الثانية (التي تعبر المضخم

352 عبوراً واحداً فقط) تعادل 10^{-5} وهي تمثل قيم الانعكاسية

353 المتبقية على السطوح الجانبية لشريحة SOA . أما بالنسبة لقيم

354 الانعكاسية عند الأطوال الموجية التي توافق الأطوال الموجية

355 لقنوات المجموعة الأولى فهي تمثل قيم الانعكاسية التي تم

356 الحصول عليها من خلال خوارزمية البحث الأمثل التي قمنا

357 بتطويرها والتي تسمح بالحصول على طيف ربح مسوى عند

358 مخرج المخطط المقترح.

359 نظراً للدور الهام الذي تلعبه ضياعات العناصر الضوئية

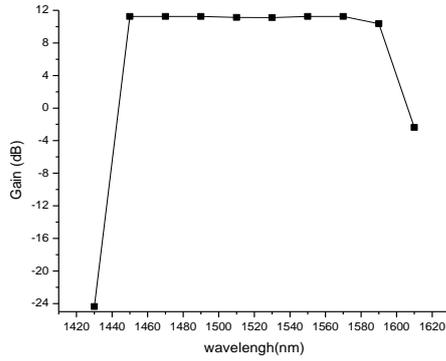
360 المستخدمة في بناء المخطط المطور فقد قمنا بدراسة تأثير

361 ضياعات كل من المجمعات الضوئية ومفككات التجميع

362 الضوئية المستخدمة في المخطط المقترح للمجمع الضوئي

363 (M_1/DM_1) و M_2 و DM_2 مع اعتبار أن جميعها تمتلك نفس

	383	381
		382
يظهر الشكل 9 طيف الريح من أجل عدة قيم لضياعات40	C-WDM . نشير أنه يمكن استخدام مجمعات ومفككات	384
المجمعات ومفككات التجميع التي يمكن استخدامها في بناء40	تجميع بضياعات أكبر من 1.3dB والحصول على تضخيم	385
نموذج المخطط المقترح. من أجل كل حالة تم إعادة عملية40	ل8 قنوات من النمط C-WDM لكن في هذه الحالة يتوجب	386
البحث الأمثل عن أفضل طيف للمرشح العاكس الانتقائي طيفياً40	تغيير شروط التشغيل للمضخم SOA. يظهر الشكل 10 طيف	387
بهدف الحصول على أفضل طيف ربح مسوى. نلاحظ أنه مع40	الريح الأمثل الذي تم الحصول عليه من أجل ضياعات	388
زيادة قيمة الضياعات للمجمعات الضوئية يقل الريح الأعظمي40	للمجمعات ومفككات التجميع الضوئية تعادل 1.6dB . تم في	389
ويقل عرض مجال المرور الضوئي. بالاستفادة من الشكل 9 تم41	هذه الحالة رفع قيمة تيار التغذية للمضخم SOA إلى	390
استخلاص كل من الريح الاعظمي وعرض مجال المرور41	268mA مع الحفاظ على استطاعة الدخل لكل إشارة على	391
الضوئي المعرفة على 1dB- وعدد قنوات C-WDM التي تم41	30dBm- و تم تحديد القيمة العظمى للإنعكاسية الذي يسمح	392
تضخيمها من أجل مختلف قيم الضياعات للمجمعات الضوئية41	لخوارزمية البحث الأمثل باستخدامها عند 0.99 بدلاً من	393
المستخدمة و تم تنظيم النتائج في الجدول 1 . نلاحظ أن قيمة41	0.95 . نجد من الشكل 10 أنه تم تضخيم 8 قنوات عند	394
عرض عُصابة المرور البالغة 141.42 nm في حال الغياب41	ضياعات 1.6dB بمجال مرور ضوئي 140.7nm و ربح	395
الكلي للضياعات نقل لتصل إلى قيمة 116nm عند تحديده41	أعظمي يعادل 11.25dB.	396
ضياعات المجمعات أو مفككات التجميع الضوئية عند41		397
2.3dB. وحتى في هذه الحالة الأخيرة فيمكن تسوية ستة قنوات41		398
من نمط C-WDM ضمن مجال المرور الضوئي المعرفة على41		399
-1 dB . كما نستنتج أنه في حال تطبيق تيار تغذية للمضخم42		400
يعادل 260mA واستطاعة دخل لكل إشارة تعادل 30dBm-42		401
يتوجب استخدام مجمعات ضوئية ومفككات تجميع بضياعات42		402
أقل أو تعادل 1.3dB حتى يتم تضخيم 8 قنوات من النمط42		403



424

الجدول 1: تأثير ضياعات المجمعات الضوئية ومفككات التجميع الضوئية

425

 A_{mux}/A_{demux} على قيم الريح الاعظمي G_{max} وعرض مجال

426

المرور الضوئي المعرف على $-1dB$ ($BO @ -1dB$) وعدد قنوات

427

المضخمة $C-WDM$ ($M_{CWD M}$) من أجل تيار تغذية للمضخم يعادل

431

428

الشكل 10: طيف الريح الأمثل من أجل : ضياعات المجمعات ومفككات

260 mA ، استطاعة الدخل $-30 dBm$ لكل إشارة ضوئية محقونة

429

التجميع $1.6dB$ وتيار التغذية للمضخم $268mA$ SOA.

433

ضمن المخطط المطور .

430

قمنا أيضاً بدراسة تأثير زيادة قيم الضياعات للمجمعات الضوئية

434

أو مفككات التجميع على طيف معامل الضجيج NF . يظهر

435

الشكل 11 أن طيف معامل الضجيج بوجود الضياعات ينزاح

436

قليلاً عن الحالة الموافقة لغياب الضياعات ثم تتطابق تقريباً كافة

437

الأطياف من أجل مختلف الضياعات للمجمعات أو مفككات

438

التجميع الضوئية. يمكن أن يعود الإنزياح في أطيايف معامل

439

الضجيج إلى تأثير وجود ضياعات الدوار الضوئي بشكل رئيسي

440

أما تأثير ضياعات المجمعات الضوئية ومفككات التجميع فكان

441

تأثيرها أقل على معامل الضجيج ويمكن أن يعزى إلى توضعها

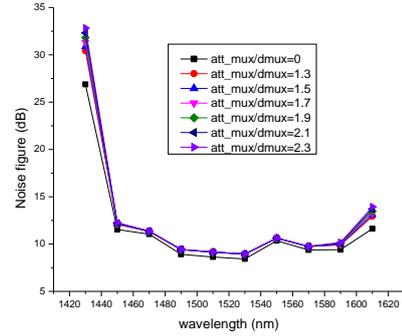
442

بعد المضخم SOA .

443

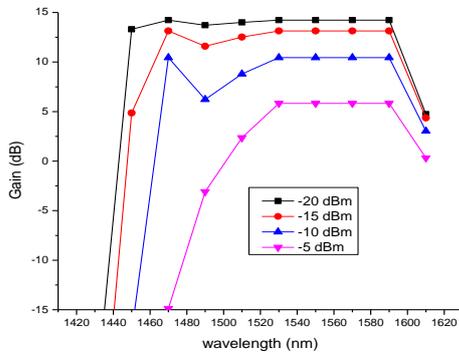
$M_{CWD M}$	$BO @ -1dB$ (nm)	G_{max} (dB)	A_{mux}/A_{demux} (dB)
8	141.42	14.7 @1530 nm	0
8	141.22	11.6 @ 1570 nm	1.3
7	136.66	11.2 @1550 nm	1.5
7	131.62	10.8 @1530 nm	1.7
6	124.08	10.4 @1550 nm	1.9
6	119.49	10 @ 1550 nm	2.1
6	116.39	9.61 @ 1550 nm	2.3

461 أما عند القيمة الإستطاعة -5 dBm كان عرض مجال
 462 المرور 69.38 nm وكان لدينا 4 قنوات ضوئية من نمط
 463 C-WDM مضخمة ضمن مجال المرور الضوئي المعرف
 464 على -1 dB بينما توجد قناة إضافية مضخمة و لكن خارج هذا
 465 المجال التي قيمتها 69.38 nm



444

445 الشكل 11: طيف معامل الضجيج من أجل عدة قيم لضياعات المجمعات



466 الشكل 12: طيف الريح الأمثل عند تيار تغذية للمضخم 260 mA ومن

467 أجل عدة استطاعات توافق استطاعة دخل كل قناة من القنوات العشرة

468 المحقونة عند مدخل المخطط المقترح

469 يبين الجدول 2 قيم مجال المرور الضوئي و قمة الريح و عدد

470 القنوات التي يتم تضخيمها ضمن عصابة يبين الجدول 2 قيم

471 مجال المرور الضوئي وقمة الريح وعدد القنوات من نمط

472 C-WDM التي يتم تضخيمها ضمن مجال المرور الضوئي

473 المعرفة على -1 dB و المستخلصة من الشكل 12. يظهر

474 الجدول 2 أنه عند زيادة قيم استطاعة الإشارات المحقونة تقل

475 قيمة الريح الأعظمي وتقل كذلك قيمة عرض مجال المرور

446 ومفككات التجميع التي يمكن استخدامها في بناء نموذج المخطط المقترح

447 قمنا أيضاً برفع قيمة الإستطاعة للإشارات المحقونة ضمن

448 المخطط المقترح . يبين الشكل 12 طيف الريح الحاصل من

449 استخدام المخطط المطور عند تيار تغذية للمضخم 260 mA

467

450 ومن أجل عدة استطاعات توافق استطاعة دخل كل قناة من

451 القنوات العشرة المحقونة عند مدخل المضخم. نشير أنه من أجل

452 كل حالة تم إعادة عملية البحث الأمثل والتي تسمح بالحصول

453 على أفضل طيف للمرشح الانعكاسي الانتقائي طيفياً وبالتالي

454 أفضل مجال مرور ضوئي عند مخرج المخطط. في هذه الدراسة

455 تم إهمال ضياعات العناصر المستخدمة من مجمعات ومفككات

456 تجميع ضوئية بالإضافة لضياعات الدوار الضوئي. لاحظنا أنه

457 مع زيادة استطاعة الإشارات يقل الريح ويقل عرض مجال

458 المرور الضوئي. عند استطاعة الإشارات البالغة -20 dBm

459 كان عرض مجال المرور 142.13 nm وكان لدينا 8 قنوات

460 ضوئية مضخمة من نمط C-WDM كما يوضح الشكل 12

478	الضوئي وبالتالي عدد القنوات من نمط C-WDM الممكن	499
479	تضخيمها ، كما يبين الشكل 12 والجدول 2 أنه من أجل	500
480	استطاعة دخل لكل إشارة توافق -15 dBm نلاحظ وجود فجوة	500
481	في طيف الريح بسبب هبوط الريح للقناة التي طول موجتها	502
482	1490nm و هي تتبع للمجموعة الثانية التي تعبر المضخم	503
483	عبراً بسيطاً، لذلك يتم تضخيم 5 قنوات ضمن المجال	504
484	المحسوب من 1592.27nm إلى 1501.81nm، وقناة	504
485	إضافية طول موجتها 1470nm تقع خارج هذا المجال. هذه	505
486	القناة هي من قنوات المجموعة الأولى التي يمكن التحكم في	506
487	ريحها برفع الانعكاسية الموافقة عن طريق المرشح العاكس	507
488	الانتقائي طيفياً ضمن الحدود التي يفرضها المستخدم وفي حالتنا	508
489	تم تحديد الانعكاسية العظمى عند 0.95، وبالتالي يكون	509
490	إجمالي القنوات التي تم تضخيمها 6 قنوات. و في حال كانت	510
491	استطاعة الدخل لكل إشارة -10 dBm يكون إجمالي عدد	511
492	القنوات المضخمة 5 مع وجود فجوة في طيف الريح عند	512
493	1510nm و 1490nm، بينما إجمالي القنوات التي تم	513
494	تضخيمها من أجل استطاعة دخل لكل إشارة -5dBm هو 4	514
495	قنوات .	515
496	8 قنوات C-WDM ضمن مجال مرور ضوئي يوافق	516
497	141.42nm معرف على -1dB وريح أعظمي	517
498	يعادل 14.7dB و بمعامل ضجيج يتغير بين القيمتين	518

5 . الاستنتاجات:

عرضنا مخطط مطور لتعريض مجال المرور الضوئي لمضخم

SOA عريض المجال الضوئية يعتمد على استخدام مرشح

انعكاسي انتقائي طيفياً. أظهرنا كفاءة هذا المخطط في تضخيم

8 قنوات C-WDM ضمن مجال مرور ضوئي يوافق

141.42nm معرف على -1dB وريح أعظمي

يعادل 14.7dB و بمعامل ضجيج يتغير بين القيمتين

- 513 8.42-11.53 dB وذلك بغياب ضياعات العناصر الضوئية⁵²³ وتضخيم 8 قنوات C-WDM. درسنا تأثير استطاعة الدخل
- 514 المستخدمة. أظهرنا كفاءة المخطط المقترح في تقليل معامل⁵²⁴ للإشارات المراد تضخيمها على كفاءة المخطط المقترح لتعريض
- 515 الضجيج ضمن مجال يمتد من 1480nm حتى 1540nm عن⁵²⁵ مجال المرور الضوئي للمضخم SOA عريض المجال
- 516 طريق تجنب إعادة حقن الإشارات على كامل هذا المجال ضمن⁵²⁶ ولاحظنا أنه مع زيادة استطاعة الإشارات يقل الريح ويقل عرض
- 517 المضخم SOA عريض المجال الضوئي. درسنا تأثير ضياعات⁵²⁷ مجال المرور الضوئي لكن يمكن تضخيم 8 قنوات C-WDM
- 518 العناصر الضوئية من مجمعات ومفككات تجميع ضوئية⁵²⁸ من أجل استطاعة دخل أصغر أو تساوي -20dBm لكل إشارة
- 519 مستخدمة في بناء المخطط المقترح على طيف الريح وطيف⁵²⁹ من أجل الحفاظ على كفاءة المخطط .
- 520 معامل الضجيج، وأظهرنا أنه يمكن استخدام مجمعات ومفككات⁵³⁰
- 521 تجميع بضياعات تعادل 1.6dB أو أقل مع الحفاظ على⁵³¹
- 522 عرض مجال ضوئي أكبر من 140nm معرف على⁵³² -1dB
- 533

534	
535	6 - قائمة المراجع (References):
536	

- 1- Agrawal, G. P. *Fiber-optic communication systems.*, John Wiley & Sons., 2012.
- 2- Anjana, M. D, Usha Rani K., R., Aski, A., "A Review on Importance of DWDM Technology in Optical Networking.," Anjana, UshaRaniK., R., Aski, A.P., & Tejas Networks Limited, B.I. (2021). A Review on Importance of DWDM Technology in Optical Networking. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology.*, 2021..
- 3- Arnould, A., Ghazisaeidi, A., Le Gac, D., Brindel, P., Makhsiyani, M., Mekhazni, K., ... & Renaudier, J., "103 nm ultra-wideband hybrid Raman/SOA transmission over 3× 100 km SSMF.," *Journal of Lightwave Technology*, 38(2), 504-508, 2020.
- 4- Baney, D. M., Gallion, P., & Tucker, R. S., *Theory and measurement techniques for the noise figure of optical amplifiers.*, *optical fiber technology*, 6(2), 122-154, 2000..
- 5- Emmanuel, D., & Zervas, M., *Erbium-doped fiber amplifiers: principles and applications.*, 1994..
- 6- Grobe, K., & Eiselt, M., "Wavelength division multiplexing: a practical engineering guide.," John Wiley & Sons., 2013.
- 7-Headley, C. & G. P. Agrawal., *Raman amplification in fiber optical communication systems.*, Academic press., 2005..
- 8-Huri, N. A. D., Hamzah, A., Arof, H., Ahmad. H. & Harun, S. W. " Hybrid flat gain C-band optical amplifier with Zr-based erbium-doped fiber and semiconductor optical amplifier.," *Laser Physics*,, Vols. 202-204., 2011..
- 9- Iannone P. P. and K. C. Reichmann, " "Hybrid SOA-Raman Amplifiers for Fiber-to-the-Home and Metro Networks.," " OFC/NFOEC 2008 - 2008 Conference on Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference, San Diego,, 2008..
- 10-Kuindersma, P. I., Cuijpers, G. P. J. M., Jennen, J. G. L., Reid, I. J. E., Tiemeijer, L. F., de Waardt, H., & Boot, A. J., "10 Gbit/s RZ transmission at 1309 nm over 420 km using a chain of multiple quantum well semiconductor optical amplifier modules at 38 km intervals.," In *Proceedings of European Conference on Optical Communication* ,, 1996..
- 11- Morel, P., Chanclou, P., Brenot, R., Motaweh, T., Guégan, M., & Sharaiha, A., "Experimental demonstration of SOAs optical bandwidth widening based on selective filtering.," 2010a.
- 12- Morel, P., Guégan, M., Sharaiha, A., & Chanclou, P., "Simulation of SOAs optical bandwidth widening based on selective filtering.," In *Numerical Simulation of Optoelectronic Devices* ., Vols. (pp. 39-40)., 2010b..
- 13- Morito, K., Tanaka, S., Tomabechei, S., & Kuramata, A., "A broad-band MQW semiconductor optical amplifier with high saturation output power and low noise figure.," *IEEE photonics technology letters*,, 2005..
- 14- Motaweh, T. *Modélisation et validation expérimentale de nouvelles structures SOA large bande et de techniques d'élargissement de la bande passante optique*, (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest)., 2014.,
- 15- Motaweh, T., Morel, P., Sharaiha, A., Brenot, R., Verdier, A., & Guegan, M., "Wideband gain MQW-SOA modeling and saturation power improvement in a tri-electrode configuration.," *Journal of Lightwave Technology*,, 2017..
- 16- Nahaei, F. S., Rostami, A., Mirtagioglu, H., Maghoul, A., & Simonsen, I, "Switchable Ultra-Wideband All-Optical Quantum Dot Reflective Semiconductor Optical Amplifier," *Nanomaterials*, 13(4), 685, 2023.
- 17- Ogoshi., H. Ichino. S. & Kurotori, K., "Broadband optical amplifiers for DWDM systems.," *FURUKAWA ELECTRIC REVIEW*,, Vols. 9-12., 2000.
- 18-Rapp, L. "Increasing Capacity of Installed Fiber Links by Wideband Optical Amplification," *In Photonic*

Networks and Devices (pp. NeTh1C-2).Optica Publishing Group, 2022.

19- Renaudier, J. "Recent advances in ultra-wideband WDM transmission based on semiconductor optical amplifiers.," In Optical Fiber Communication Conference, 2019..

20- Renaudier, J., & Ghazisaeidi, A., "Scaling capacity growth of fiber-optic transmission systems using 100+ nm ultra-wideband semiconductor optical amplifiers," Journal of Lightwave Technology,37(8), 1831-1838, 2019..

537

538

539

540