وتحسين أداء مسوق ثنائي الليزر عند (1Gb/s) في منظومة الاتصالات الضوئية

تُعدّ دائرة مُسرَوق تنائي الليزر (LDD للمحراد إرسالها والمصدر الضوئي (الليزر)، وان تصميم هذه الدائرة حيث تمثل حلقة الوصل بين مصدر البيانات المُراد إرسالها والمصدر الضوئي (الليزر)، وان تصميم هذه الدائرة باستخدام تقنية (CMOS) التي تمتاز بتوصيلية (g_m) أقل من التي تمتلكها تقنية (Bipolar) يعدّ من التحديات التي تواجه مصممي الدوائر الالكترونية التي تعمل عند سرعة نقل عالية للبيانات (1Gb/s) يعدّ من التحديات التي الليزر يجب أن تُوفر تياراً عالياً للحصول على قدرة إخراج ضوئية عالية. وفي هذا البحث تمت دراسة أداء (LDD) من تقنية (2008) تعمل عند معدل نقل للبيانات في هذا البحث تمت دراسة أداء (LDD) من تقنية (2008) تعمل عند معدل نقل للبيانات في هذا البحث تمت دراسة أداء (DD) من تقنية (2008) معمل عند معدل نقل للبيانات (1Gb/s) (1Gb/s) مقدار التغير في تيار الليزر حيث أصبح أقصى تغير هو (5mA) فقط عند تغير درجة مقدار التغير في تيار الليزر حيث أصبح أقصى تغير هو (5mA) فقط عند تغير درجة وتم تحسين استقرارية دائرة فولتية المرجع المُستخدمة في دائرة السيطرة، إذ تم الحصول على فولتية مستقرة مقدار ها

الكلمات الدالة: مُسدَوق ثنائي الليزر،

Studying and improvement of Laser Diode Driver performance at 1Gb/s in optical communication system

D. Luqman Sufer Ali

Marwan Abdulkhaliq Thannon

(819mV) عند تغير فولتية المصدر من (6V-2.15).

ABSTRACT

The Laser Diode Driver (LDD) is an important part in optical communication system; it acts as an interface between the data source and the optical source (Laser). The design of this circuit using CMOS technology which has low conductivity (g_m), (less than from bipolar technology), is a challenge for designers especially at high data rate (>1 GB/s) because LDD must provide high current swing to obtain large optical output power.

In this research a simulation software using Personal Simulation Program with IC Emphasis PSPICE (2006) is used to study the performance of the LDD circuit using (0.18 μ mCMOS technology) at (1 GB/s), the peak to peak jitter is (110ps). In addition analyzing an automatic power control circuit, so that when changing the temperature from (0 – 80°C) the Laser current changing is (5mA), and an improvement of reference voltage circuit has been added, since a constant voltage (319mV) achieved when the power supply voltage changes from (2.15-6V).

Keywords: Laser Diode Driver, pre-driver, Extinction Ratio.

2010 4 4 :

أستلم: 17 10 2009



أصبحت الشبكات الضوئية (Optical networks) هي الدوائر الأساسية في اتصالات البيانات ذات المسافات البعيدة، وذلك لتفوقها من ناحية الفقد والتداخل القليلين ولأن أداءها الفعال يكون في عرض حزمة واسع. إن الدوائر التناظر يـــة فـــى نهايـــات المر ســـلات الضـــو ئية التقليديــة تَنَفَّــذ باســتخدام تقنيــات مكلفــة مثــل (GaAs) أو (Bipolar). وقد تم استخدام تقنية CMOS لما تمتلكه من ميز ات، مثل كلفة تصنيعها تكون قليلة واستهلاكها القليل عالية وذات أحجام صغيرة [3-1]. . وبمكن بناء دو ائر متكاملة ICs تستخدم نظم الاتصالات الضوئية مصادر للضوء من أشباه الموصلات، مثل الليزر (Laser) والثنائي الباعث للضـــوء (LED)، وكلاهمــــا يمتلـــك الميـــزة الجيــدة حيـــث يمكـــن تطبيـــقُ التضــُــمين الرّقمــ (Digital modulation) مباشرةً على تيار الانحياز الذي يؤدي إلى تغير قدرة إخراجهما [4]. يبين الشكل (1) المعمارية التطبيقية لمرسلة ضوئية وكيفية الربط بين مراحل دائرة الإرسال حيث يقوم (PISO) بتحويل البتَّات الداخلة المتوازية إلى سيل من البتَّات المتوالية لغرض الإرسال المتتابع إن سيل البتَّات المتتابع____ و ألتـــــــي تكــــون ذات ســـــرعة عاليـــــة وبمســـــتوي الفولتيــ Positive Emitter Couple Logic (PECL) وتساوي (300mVp-p)، تتحول إلى نبضات ضوئية خلال عملية التضمين للمصدر الضوئي مثل الليزر, ثم بعد ذلك ترسل إلى ألليف الضوئى عن طريق إقران الليف الضوئى مع الليزر.ويتم التمييز بين المستويين "1" و "0" عن طريق نسبة الانطفاء (Extinction Ratio (ER لليزر التي تكون ذات علاقة مع تيار التضمين (I_{mod}) في دائرة مسوق الليزر, ولتقليل زمن تأخير الاشتغال(Turn-On Delay (TOD لليزلليزر فان دائرة المُسَوق يجب أن تُزَوَّد بتيار انحياز مستمر إضافي (IB) ،الذي تكون قيمته اكبر من تيار العتبة (Ith) لليزر. إن تيار العتبة لليزر يتغير بتقدم عمر الليزر وأيضاءً بزيادة درجة الحرارة, ولهذا السبب يُرفِّق مع الليزر ثنائي للضوء لكي يتحسس بالقدرة الضوئية المنبعثة من الليزر، وينتج تياراً يمر في الثنائي الكاشف للضوء (IPD). ،يستخدم للسيطرة على قدرة الإخراج عن طريق دائرة (APC) Automatic Power Control [7].



2 تمثيل الليزر بدائرة كهربائية مكافئة [6]:

إن الغرض من تمثيل الليزر بدائرة كهربائية مكافئة هو لأثبات أنه يمتلك خطاً طيفياً حادًاً (sharp spectral line) أي أن طاقة الضوء الخارجة تكون متمركزة حول تردد (طول موجي) واحد. يوضح الشكل (a-2) الدائرة المكافئة لليزر.

تَمَثَل عناصر الدائرة كما في المعادلات (1) (2) (3) (4) إن تردد الرنين للشكل (a-2) يُعطى (5) (5) وبحسب هذه المعادلة يمكن زيادة تردد الرنين عن طريق تقليل (L_i L_i). يوضح الشكل (b-2) حزمة الليزر (b-2). حزمة الليزر (b-2).



-

$$R_{i} = R_{d} / (n_{ph} + 1) \qquad \dots \dots (1)$$

$$L_{i} \approx R_{d} \tau_{p} / n_{ph} \qquad \dots \dots (2)$$

$$C_{i} = \tau_{n} / R_{d} \qquad \dots (3)$$



40



$$f_{r} = \frac{1}{2 \pi} \sqrt{\frac{n_{ph}}{\tau_{n} \tau_{p}}}$$

(1)				
Parameter	Description			
R _d	مقاومة الليزر التفاضلية			
n_{ph}	S(t)			
n _e	N(t)			
R _{se}	تمثيل الاضمحلال الناتج من الانبعاث التلقائي			
R _i	تتضمن مقاومة الليزر التفاضلية			
C_i				
L_i	تظهر من تحليل الإشارة الصغيرة للمعادلات النسبية وتمثل ظاهرة الرنين مع C _i			

Vol.19

دائرة فولتية المرجع لدائرة السيطرة (APC) [7]: 3

إن تغير فولتية المرجع (V_{ref}) لدائرة السيطرة يؤثر تأثيراً كبيراً في استقرارية عمل دائرة السيطرة (APC) على قدرة إخراج الليزر الضوئية، وهذه الدائرة موضحة في (a-3).

إن مبدأ عمل هذه الدائرة يكون بـ التياري $(I_{I} I_{R})$ في الشكل ثابتين، ومن ثم فإن الفولتية (V_{ref}) يمكن إيجادها حسب المعادلة $(V_{GS1} + V_{GS2})$ ، وعندما تزداد الفولتية (V_{dd}) يزداد التيار (I_{I}) (7) (7) (7) وعندما تزداد الفولتية (V_{dd}) يزداد التيار (I_{I}) (7) (7) (7) (7) وعندما تزداد الفولتية (V_{dd}) يزداد التيار (I_{I}) (7) (7) (7) (7) وعندما تزداد الفولتية (V_{GS1}) وعن ثم انخفاض التيار (V_{GS1}) وعن ثم انخفاض التيار (V_{GS1}) وعن ثم الخفاض التيار (V_{GS1}) وعن ثم انخفاض التيار (V_{GS1})

وبهذا يـ التياران (I_R) (I_L) ثابتين والفولتية (V_{ref}) ثابتة وهذا واضح في .(b-3)



.....(6)

4- دائرة مسوق الليزر [8]

:Laser Driver Circuit

تتكون دائرة مُسوق الليزر من دائرة المُسَوِّق الابتدائي (pre-driver) كما في الشكل (4) يكون ن عمل دائرة المُسَوِّق الابتدائي (CHHA) زيادة مقدار تأرجح فولتية الإدخال لزيادة تأرجح تيار الليزر، ومن ثم الحصول على نسبة انطفاء عالية (ER)، وعملها كما يأتي:

التيار الذيلي (Tail current) وهو تيار الباعث المشترك لـ (Q3, Q4) وهو (I_{EE2}) يحدد تأرجح فولتية الإخراج إنّ اختيار المقاومات (R1) سيحدد الكسب وعرض الحزمة. وقد تم اختيار المقاومة (R1) أولاً للحصول على التأرجح المطلوب للفولتية، ومن ثم يتم تغيير كل من (Rf R2))

يكون (I_{EE1} < I_{EE2}).

الترانزستوران (Q5, Q6) الموصولان بهيئة تابع الباعث يعملان على تجنب حدوث هبوط في الكسب، وذلك عن طريق زيادة مقاومة إخراج المرحلة الأولى وهي مقاومة الإدخال (Rin) التي تكون كبيرةً في حالة ربط تابع الباعث، كما هي موضحة في الشكل(4).



(Bipolar) باستخدام تقنية (pre-driver) : (4)

أمًا دائرة المُسوق فتتكون من مصدرين للتيار من نوع (Cascode current source) (5).ويتكون المصدر الأول من (M3 , M4 , M5 , M6) والثاني يتكون من (Inod)، ويكون التحكم به عن طريق (Inod)، ويكون التحكم به عن طريق (R5)، أما بالنسبة للتيار (Isting)، فيكون تجهيزه من مصدر التيار الثاني، ويكون التحكم به عن طريق المقاومة (R8).



(M1, M2) موصولة بهيئة المنبع المشترك، ويعملان مفتاحاً

نتكون الدائرة أيضاً من زو للتيار (current switch).

الليزر هو (M2) في حالة توصيل و (M2) في حالة توصيل و (M2) في حالة قطع، وبذلك يكون التيار المار في $I_{L,on} = I_B + I_{mod}$ الليزر هو (IL_{L,on} = I_B + I_{mod})، أما عند إرسال البت "0" فإن (M2) يكون في حالة توصيل، أما (M1) فيكون في حالة قطع ويكون تيار الليزر (IL_{L,on} = I_B) وقدرة إخراج الليزر هي (P_o).



(5) إائرة مُسَوِّق الليزر

-5

(a-6) يوضح الطريقة المستخدمة لرسم مخطط العين لتيار الليزر عند إشارة تضمين (1Gb/s) بزمن تقطيع (a-6). بزمن تقطيع (sample time = 0.01ns). (b-6) هو مخطط العين الناتج، وقد تم استخدام (eye diagram scope (a-6)). (eye diagram scope) .

تم توظيف تقنية التحويل (single-ended to differential technique) في دائرة مُسَوِّق الليزر، وذلك باستخدام مرشح الترددات الواطئة (R1 وC1) كما موضح في الشكل (a-7)، حيث يعمل على استخراج المستوى المستمر (dc level) من إشارة الإدخال ويقوم بتسليط الناتج على بوابة (M68)، وبذلك يكون إخراج الزوج التفاضلي(M68, M69) متناظراً. والشكل (b-7) يوضح إشارة الإدخال وتيار الليزر، ونلاحظ أن مقدار التأرج لتيار الليزر هو (5.5mA) وهو قليل نسبياً، وذلك بسبب عدم استخدام (pre-driver). تخدام دائرة مسوق ابتدائي فيكون لتأرجح في تيار الليزر هو (40mA).









45

6- دائرة السيطرة على القدرة ذاتياً Automatic Power Control Circuit :

تم استخدام دائرة مكبر التوصيلية المنقولة (Trans-conductance Amplifier) في دائرة السيطرة [10] حة في الشكل (8)، حيث إنها تعمل على تحويل الفولتية المتكونة على مرشح الترددات الواطئة (LPF) المن من (C₁ ، R₉) إلى تيار يسري في الفرع المضاف لليزر (I_{con})، لغرض السيطرة على القدرة الضوئية لليزر الدائرة من ترانزستورين (PMOS) في الإدخال (M11, M12) موصولين بهيئة تابع المنبع SF (source)، ومن زوج من الترانزستورات (M13, M14) الموصولة بهيئة المنبع المنبع المترك ، وتتكون الدائرة من (follower) (M17,M18,M19)



(8): دائرة السيطرة على القدرة ذاتياً

(4) يوضح أبعاد تر انزستورات دائرة السيطرة إذ إن التقنية المستخدمة هي (0.18µm).

(4)

PN	MOS	NMOS	
Parameter	value	Parameter	value
W/L ₁₁₋₁₂	1000µm/0.18µm	W/L ₁₅₋₁₆	50µm/0.18µm
W/L ₁₃₋₁₄₋₁₇₋₁₈₋₁₉	100µm/0.18µm	W/L ₂₀	100µm/0.18µm
		W/L ₂₁	5µm/0.18µm
		W/L ₂₂	138.5µm/0.18µm



$I_L = I_B + I_{mod} + I_{cont}$

ويجب أن يعمل الترانزستور (M22) في منطقة الـ (Triode region) دائماً، وهي المنطقة التي تكون فيها الفولتية (يجب أن يعمل الترانزستور (M22) في منطقة ($V_{DS} < (V_{CS}-V_{TH})$) الذي هو ($V_{DS} < (V_{CS}-V_{TH})$) الذي هو (I_{cont}).

تم فحص دائرة السيطرة عن طريق معرفة قيمة الفولتيات المتكونة على مرشح الترددات الواطئة المتكون من $(C_1 R_9)$)، الناتجة من تغير تيار الكاشف الضوئي بسبب تغير قدرة الإخراج الضوئية المنبعثة من الليزر، فكانت قيمة الفولتيات تتراوح بين ($V_{GS(M12)}=500-800mV$) عند تغير درجة الحرارة بين ($0^{\circ}0^{\circ}-0)$)، بعدها تم فصل دائرة السيطرة عن الكاشف الضوئي المرفق مع الليزر (الفرع المشار إليه بـ I_{pd} من الي (V_{1} مصدر فولتية متغير الكاشف الضوئية المتكون من ($V_{GS(M12)}=500-800mV$) بعدها تم فصل دائرة السيطرة عن الكاشف الضوئي المرفق مع الليزر (الفرع المشار إليه بـ I_{pd} من الي بوابة ترانز متور (M12) بدلاً من المرشح (V_{1} من الي بوابة ترانز من المرفق مع الليزر (الفرع المشار اليه بـ I_{pd}) ، وتم ربط مصدر فولتية متغير (V_{test}) (V_{test}) عند تغير ما فولتية على بوابة ترانز ستورين (M12) معرفة مقدار تغير الفولتية على بوابة كل من الترانز ستورين (V_{2} من (V_{2})) ، وتم ربط مصدر (V_{2}) (V_{cs})



 (9): الرسم الأول يوضح تيار الفرع الإضافي (I_{cont}) لليزر، الرسم الثاني هو فولنية البوابة لترانزستورات (M22,M20) على الترتيب.

تم تغيير فولتية المرجع (V_{refl}) وذلك للحصول على تغير خطي بشكل تقريبي على بوابة كل من الترانزستورين (M22,M20) وكما موضح في الشكل (9)، ومن ثمّ يتم الحصول على تغير خطي في التيار (I_{cont}) (R10) وهو الفرع المضاف إلى الليزر للسيطرة على القدرة الضوئية الخارجة، وكما موضح في (8) .



April 2011

Vol.19



-7

من البحث يمكن تلخيص أهم الاستنتاجات:

لحدُّ دائرة مُسَوِّق اللَّيزر أكثر استهلاكاً للقدرة لأن تشغيل الليزر يحتاج إلى تيار عال ، حيث إن مقدار القدرة المستهلكة فيها هو (345mW) في حين مقدار القدرة المستهلكة في دائرة المُسرَوق الابتَدائي هي (240mW).

- ي تكون التيارات المارة في الليزر ثلاثة تيارات $(I_{B} = I_{mod} = I_{mod})$ ، ويُستخدم (I_{B}) لتقليل (TOD), ويُستخدم (I_{cont}) ويُستخدم (I_{cont}) ومو تيار التضمين لتغيير قدرة إخراج الليزر بين المستويين "1" و"0" ، في حين يُستخدم التيار (I_{cont}) لزيادة تيار الانحياز لكي يعوض عن الزيادة في (I_{th}) بسبب زيادة الحرارة.
- 3 (pre-driver) عالية يجب أن يسبق مرحلة مُسَوق الليزر مرحلة مُسَوق ابتدائية (pre-driver) وذلك لزيادة قيمة تأرجح الفولتية عند إدخال مرحلة المُسَوق ومن ثم زيادة مقدار تأرجح التيار في الإخراج مما يجعل عملية كشف الإشارة أسهل ومن خلال نتائج المحاكاة كان مقدار التأرجح في تيار الليزر بدون مرحلة المُسَوق عملية كشف (5.5mA)
- 4 يمكن لدائرة السيطرة على قدرة إخراج الليزر الضوئية أن تَدْبَع السرعة العالية للتضمين، لذلك يتم اخذ معدل التغير للإشارة الناتج من تغير درجة الحرارة عن طريق توصيل الثنائي الباعث للضوء بمرشح للترددات الواطئة.
- 5 إن خصائص الليزر تتغير مع الحرارة لذلك يُرفق مع معظم الليزرات ثنائي ضوئي وذلك لغرض السيطرة على قدرة الليزر عن طريق (APC) .

[1] : Sungyong Jung (2004)" Parasitic Modeling and Analysis for a 1-Gb/s CMOS Laser Driver" IEEE. Volume 51, Issue 10, Oct. 2004 Page(s):517 - 522

[2] : Jafar Savoj ,Behzad Razavi (2000) "A 10-Gb/s CMOS Clock and Data Recovery Circuit" IEEE .VLSI Circuit Digest of Technical Papers. 15-17 June 2000 Page(s):136 - 139

[3] :Cheng-Ta Chan (2001) "A 2.5Gb/s Low-Power CMOS Optoelectronic Transceiver for Optical Communication" IEEE Volume 1, 14-17 Aug. 2001 Page(s):381 - 384 vol.1
[4] :Joe Ciancio, (2005) "1Gb/s Fiber Optic Transmitter design using Intersil Digitally Controlled Potentiometer (XDCP) ICs" <u>www.intersil.com</u> /data /an /an 140.pdf

[5] :Guo-Cheng Chen (2002) "A 2.5 Gbps CMOS Laser Diode Driver with Preamphasis Technique" IEEE. 6-8 Aug. 2002 Page(s):65 - 68

[6]:: M. S. Ozyazici* (2004) " THE COMPLETE ELECTRICAL EQUIVALENT CIRCUIT OF A DOUBLE HETEROJUNCTION LASER DIODE USING



SCATTERRING PARAMETERS" Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 6, No. 4, December 2004, p. 1243 – 1253

[7]: AMIR M. SODAGAR1,2 AND KHALIL NAJAFI2 (2006) " Extremely-Wide-Range Supply-Independent CMOS Voltage References for Telemetry-Powering

Applications" Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 46, 253–261,

deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/44083/1/10470_2006_Article_1644.pdf

[8] :Chris D. Holdenried (2003) " Modified CMOS Cherry-Hooper Amplifiers with Source Follower Feedback in 0.35 μm Technology" IEEE 16-18 Sept. 2003 Page(s):553 - 556

[9]: M.Dehghan (2008) "A Novel Dynamic Analysis and Simulation for Quantum-Well Distributed Feedback Laser (QW-DFB)" .Progress in Electromagnetic Research B, vol.3, 105 114. ceta.mit.edu/PIERB/pierb03 /08.07120704.pdf

[10]: P. Zivojinovic, M. Lescure, and H. Tap-Béteille (2004) " Design and Stability Analysis of a CMOS Feedback Laser Driver" IEEE transactions on instrumentation and measurement, vol. 53, no. 1, February 2004

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل

