

低功率雷射二極體驅動電路之設計

洪進華 陳盟坤 林雅慧 莊煒琦

大葉大學電機工程學系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

摘要

本文提出一個低功率消耗的雷射二極體驅動電路，並討論直流耦合 (DC coupling) 與交流耦合 (AC coupling) 兩種介面電路來連接驅動電路與雷射二極體。我們使用台灣積體電路 (TSMC) 0.35 μm 的 CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor, 互補式金屬氧化物半導體) 製程參數來做模擬，其資料傳輸速率 (data rates) 是在 1.25Gb/s 的環境下執行。該驅動電路包含三個主要模組區塊：PECL (positive-referenced emitter-coupled logic) to CMOS 邏輯電路、調變電流產生電路 (modulation current generation circuit)、以及偏壓電流產生電路 (bias current generation circuit)。在討論有關使用直流耦合 (DC coupling) 介面時，因為 Headroom 不足的問題而導致無法工作在 1.25Gb/s 的要求。所以我們加以討論使用交流耦合 (AC coupling) 介面電路來解決 Headroom 的問題 (“headroom” 指的是單個線路路徑的總和個別元件的壓降與供應電壓 V_{cc} 之間的比較)。

關鍵詞：雷射二極體驅動電路，低功率，直流耦合，交流耦合

Low Power Laser Diode Driver Circuit Design

JIN-HUA HONG, MENG-KUN CHEN, YA-HUI LIN and WEI-CHI ZUANG

Department of Electrical Engineering, Da-Yeh University

112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Changhua, Taiwan

ABSTRACT

In this paper, we present a low-power laser diode driver, using a DC (direct current) or AC (alternating current) coupling interface circuit to connect it with laser diode. The TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) 0.35 μm 1P4M CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) technology parameters are used to simulate the circuit. The data rate of simulation is 1.25Gb/s. The proposed laser driver includes three blocks: PECL (positive-referenced emitter-coupled logic) to CMOS logic circuit, modulation current generation circuit and bias current generation circuit. Using a DC coupling interface circuit will result in the “headroom” problem, so that the data rate 1.25Gb/s cannot be achieved. Therefore, we adopt the AC coupling interface circuit to solve the “Headroom” problem.

Key Words: laser diode driver, low power, DC coupling, AC coupling



一、緒論

由於電訊技術的迅速發展，爲了提供社會大眾更廣泛的資訊服務，電訊的傳輸容量必須大幅度的增加，其載波的頻率亦必須大幅提升，故以光波替代電波成爲主要載波爲必然之趨勢，因而帶動了光纖通訊的發展。

以光纖通訊作爲資訊傳遞的媒介具有傳輸損耗低、頻帶寬廣、體積輕巧及不受電磁干擾等優點，而應用在光纖通訊系統中的雷射二極體 (laser diode, LD) 必須能提供適當波長的光能，還要能作高速調制，爲今日光纖通訊系統的核心。

圖 1 所示爲雷射二極體輸入電流和光輸出功率的特性曲線圖，從圖中可知當輸入雷射二極體的電流小於 I_{th} 時，雷射元件發出的光以自發性輻射爲主，爲發光二極體 (light-emitting diode, LED) 模式，此時發光的強度很弱。當輸入電流大於 I_{th} 時，雷射開始震盪，激發輻射強度隨著輸入電流增加而急遽增加。爲了避免上述情形導致雷射二極體發光的明和暗之時間延遲，以及因應 I_{th} 會隨著二極體的溫度上升而增加的特性，我們需要提供一個固定偏壓電流 (I_{bias}) 來當作雷射二極體的“0”訊號電流，且此 I_{bias} 恆大於 I_{th} 。又爲了使雷射二極體能夠輸出邏輯“0”和邏輯“1”，除了偏壓電流 (I_{bias}) 之外，還需提供一個調變電流 (I_{mod})。如圖 2 所示，調變電流 (I_{mod}) 能隨輸入電壓訊號作切換而使雷射二極體導通或截止動作，並提供一個固定電流值使雷射二極體輸出一個穩定的光功率。

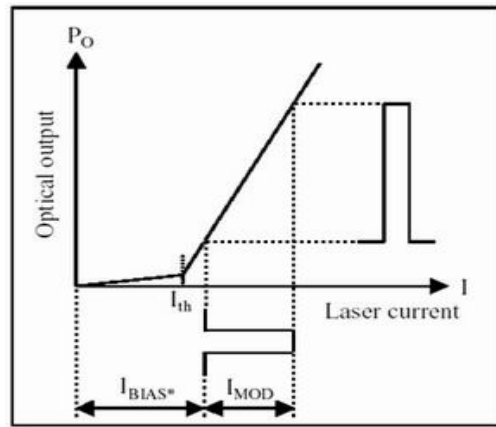


圖 2. 雷射二極體的調變及偏壓電流

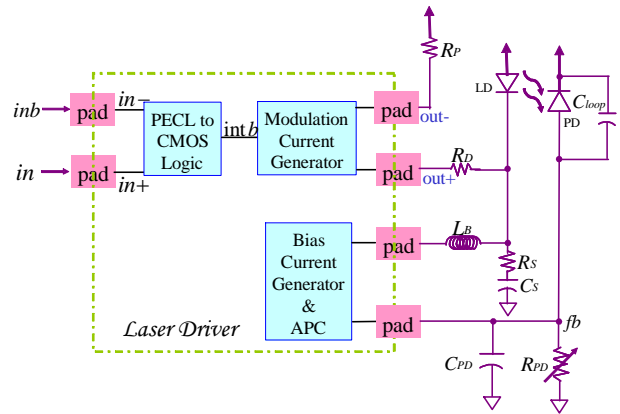


圖 3. 電路架構 (直流耦合)

二、電路設計

如圖 3 所示，雷射二極體是從外部接收一對差動的 PECL (positive-referenced emitter-coupled logic) 輸入訊號，

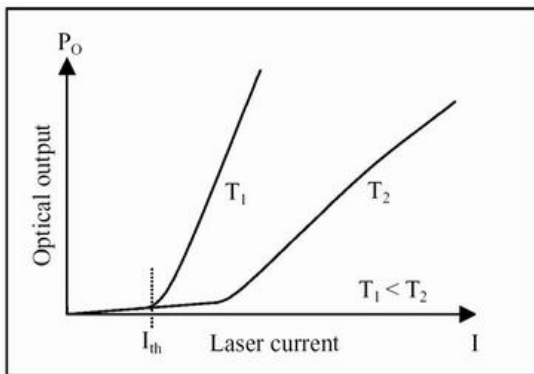


圖 1. 雷射二極體輸入電流、電壓及光輸出功率的特性曲線圖

訊號經由 PECL-to-CMOS 邏輯電路處理後，再傳送到緩衝器去使訊號放大至電壓振幅 (voltage swing) 爲全幅 (full swing) (0 ~ 3.3V)，然後訊號會傳送至調變及偏壓電流產生電路，最後調變電流產生電路的正輸出端接到雷射二極體，而負輸出端則接到一個固定負載當匹配阻抗，這對一個輸出電路工作在高頻時的穩定性是非常重要的。

(一) PECL-to-CMOS 邏輯電路

雷射二極體驅動電路從 IC 外部接收到一對電壓振幅 (voltage swing) 很小且恆爲正值之差動的 PECL 訊號。經由 PECL-to-CMOS 邏輯電路後，PECL 訊號會轉換成 CMOS 邏輯訊號，由於輸出之訊號尚無法驅動調變電流產生電路，故需使用由反相器 (inverter) 所組成的緩衝器電路，將 CMOS 邏輯訊號的電壓振幅放大至全幅 [1-4]。



(二) 調變電流產生電路

PECL 訊號經由 PECL-to-CMOS 邏輯電路及緩衝器 (buffer) 後，轉換成全幅的 CMOS 邏輯訊號，其輸出的電壓訊號會傳送至調變電流產生器 (modulation current generation circuit)，當傳送至此子電路的輸入訊號為 High 時，調變電流產生器產生的調變電流會提供給雷射二極體做調變用，此時雷射二極體的光輸出功率為 High level；反之，當傳送至此子電路的輸入訊號為 Low 時，調變電流產生器產生的調變電流則不會提供給雷射二極體使用，因此，雷射二極體的光輸出功率為 Lower level。

(三) 偏壓電流產生電路

為了避免導致雷射二極體發光的明暗之間的時間延遲，必須提供雷射二極體一個大於 I_{th} 之穩定的偏壓電流 (I_{bias})，來當作雷射二極體發光強度為「0」level 訊號之電流，使得雷射二極體能夠在 High、Low level 之間做快速的切換。

因為雷射二極體的臨限電流 I_{th} 會隨著溫度上升而增加，此時偏壓電流也 I_{bias} 必須跟著變動，所以較完整的雷射二極體驅動電路會加上一個自動功率控制 (automatic power control, APC) 電路，以對溫度效應及雷射二極體壽命等影響加以補償。其原理是將雷射二極體的光輸出功率藉由一個光偵測二極體 (photo diode, PD) 接收下來，再將所接收到光訊號轉變為電流或電壓訊號，然後經由基座 (pad) 傳送至 APC 電路，透過 APC 電路會去產生一個回授電流去增加或減少偏壓電流，使雷射二極體能夠維持穩定的光輸出功率，而不會因溫度影響其壽命 [5]。

三、直流耦合的雷射驅動電路

基於低功率消耗的設計考量，我們針對傳統 PECL-to-CMOS 邏輯電路內部反相器所構成的緩衝器電路會消耗大量的短路電流，以及雙輸出端的調變電流產生器 (modulation current generator)，當 out+ 端點為 Low，而 out- 端點為 High 時，調變電流會由負載電阻 R_p 所消耗，導致功率浪費的問題。本論文設計了這個電路針對傳統電路還沒有考量到的緩衝器電路及調變電流產生器功率消耗的部分，為本文所設計的重點。

其電路架構為圖 3 所示，圖 4 為完整的電路架構，其結果發現使用直流耦合介面電路是有限制的，當電路的供應電壓為 3.3V 時，對於某些具有較大順向偏壓的雷射二極體而

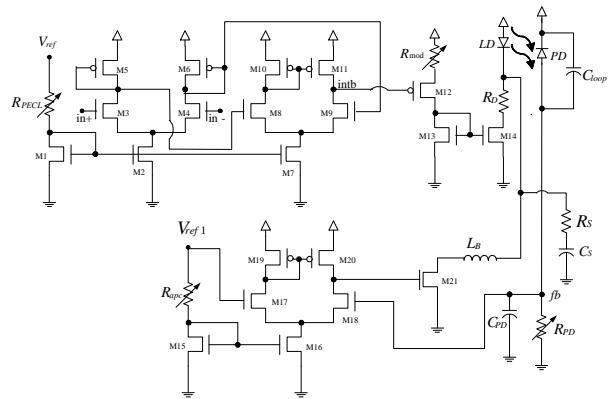


圖 4. 雷射二極體驅動電路圖 (直流耦合)

言，會因其“Headroom”不足的問題，而導致輸出訊號失真的現象，電路無法作快速切換的動作，使得無法達到我們預期的速度，其由模擬結果圖 5 可知。因而有 AC coupling 介面電路被提出來解決 Headroom 不足的問題 [6-7]。

四、交流耦合的雷射驅動電路

交流耦合介面電路如圖 6 所示與直流耦合介面電路的不同之處，在於交流耦合介面電路比直流耦合介面電路多了兩個電感 L_p 及一個電容 C_D ，其他元件則與直流耦合介面電路一樣。由圖 7 可看出直流與交流耦合原理之差異，左邊直流耦合的 I_{LD} 電流波形是以 I_{bias} 為 0 level， $I_{bias}+I_{mod}$ 為 1 level；而右邊 AC coupling 是以 $I_{bias}-1/2(I_{mod})$ 為 0 level， $I_{bias}+1/2(I_{mod})$ 為 1 level。為了能維持光輸出功率的一致性，

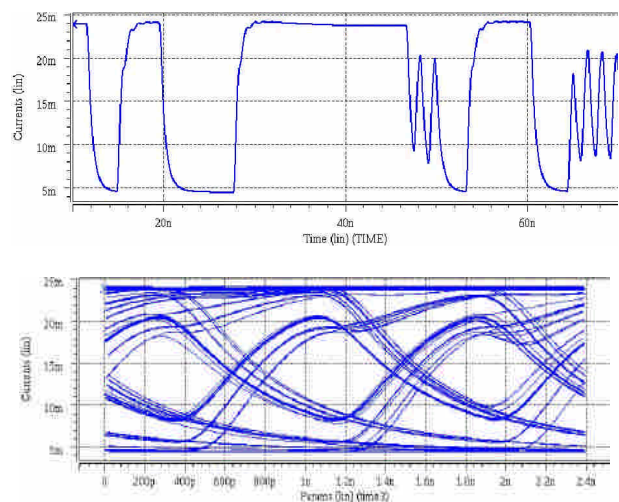


圖 5. 1.25Gb/s Laser Driver 電路之輸出電流 I_{LD}



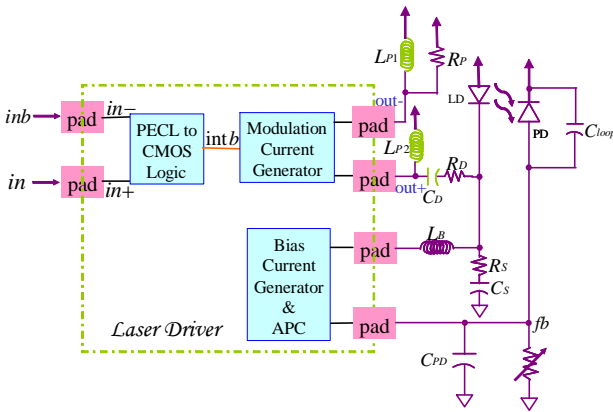


圖 6. 電路架構 (交流耦合)

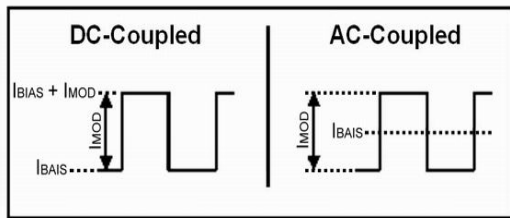


圖 7. 比較 DC 與 AC coupling 介面電路之 I_{LD} 位準

使直流與交流耦合的 0 or 1 level 為相同的 level，故 $I_{mod(AC)} = I_{mod(DC)}$ ，而 $I_{bias(AC)}$ 與 $I_{bias(DC)}$ 則為不同的電流值 [1]。

所以交流耦合介面電路被提出來解決 Headroom 不足的問題，使驅動電路能操作在低於 3.3V 的供應電壓下以達到低功率的目的，而且不用降低 Data rate 或變更其他電路規格，便能作快速切換的動作，以便達到高速的需求 [6-7]。

圖 8 為完整的使用交流耦合介面的電路，圖 9 為其模擬結果。由結果可知使用交流耦合可達到要求的速度並且沒有輸出訊號失真的現象。本文使用單輸出端的調變電流產生電路 (modulation current generator) 去實行以達到低功率的目的。因此我們使用 HSPICE 模擬結果發現本文電路功率消耗是 69.470mW 比傳統的功率消耗還要低。

五、結論

本文應用低功率設計技術，提出了一個 Data rate 為 1.25Gbps，且使用 TSMC 0.35 μ m 1P4M CMOS 製程技術之低功率雷射二極體驅動電路，並使用兩種不同的介面電路技術 (DC coupling, AC coupling) 其規格分別如表 1、表 2 所示，以對驅動電路與雷射二極體之間作良好的連接。由於

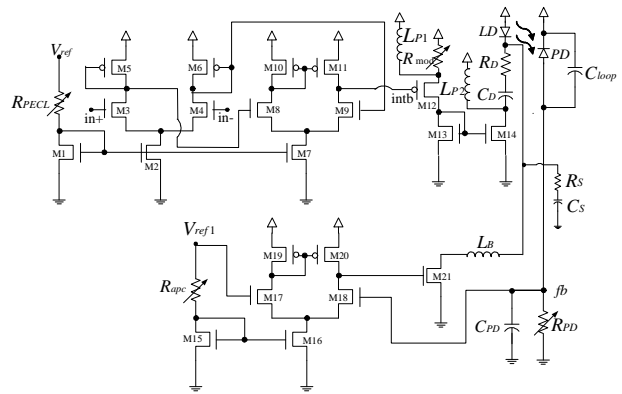


圖 8. 雷射二極體驅動電路圖 (交流耦合)

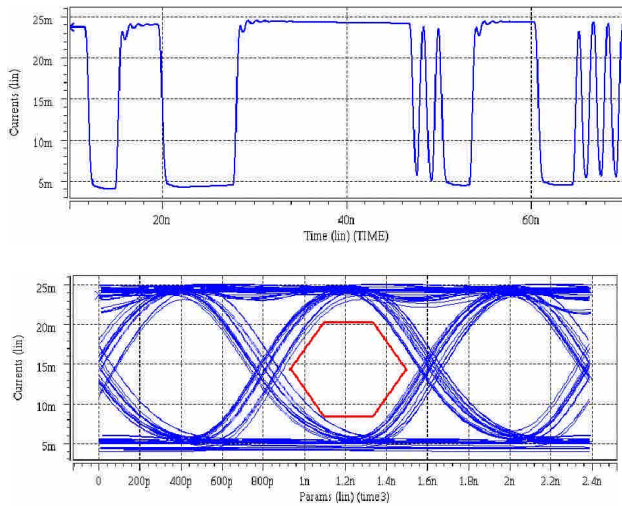


圖 9. 1.25Gb/s Laser Driver 電路之輸出電流 I_{LD}

表 1. 使用 DC coupling 介面之驅動電路規格

項目 \ 介面	DC coupling
Data rate	1.25Gbps
Supply voltage	3.3V
Differential PECL input voltage	$V_{in+} : 2.1V \sim 1.8V$ $V_{in-} : 1.8V \sim 2.1V$
I _{mod}	20mA
I _{bias}	4mA
ILD	4mA~24mA

調變電流產生電路一般都是以差動對的形式去實現，本文使用單輸出端的調變電流產生電路去實行以達到低功率的目的。

由於低功率的要求，供應電壓會越來越低。因此，為了能正確地將所傳送的訊號輸出，以及提升雷射二極體驅動電路的工作頻率，使用交流耦合介面將成為未來的趨勢。除非



表 2. 使用 AC coupling 介面之驅動電路規格

項目 \ 介面	AC coupling
Data rate	1.25Gbps
Supply voltage	3.3V
Differential PECL input voltage	$V_{in+} : 1.8V \sim 2.1V$ $V_{in-} : 2.1V \sim 1.8V$
I _{mod}	20mA
I _{bias}	14mA
ILD	4mA~24mA

有更好的技術能解決 Headroom 的問題，又能同時提升驅動電路的頻率，否則只好以少量的功率消耗來換取訊號輸出的正確性與操作速率。有鑑於此，故本文所提出的電路亦使用 AC coupling 介面技術來做分析與探討。

參考文獻

1. Maxim Integrated Products Inc. (2000) +3.3V, 622Mbps SDH/SONET laser driver with automatic power control. 1-12. Maxim Integrated Products, MAX3667.
2. Maxim Integrated Products Inc. (2000)

High-Frequency/Fiber communications group, introduction to LVDS, PECL, and CML. 1-14. Maxim Integrated Products, Application note: HFAN-1.0.

3. Maxim Integrated Products Inc. (1998) +3.3V, 2.5Gbps SDH/SONET laser driver with automatic power control. 1-12. Maxim Integrated Products, MAX3867.
4. Maxim Integrated Products Inc. (2000) +3.3V, 2.5Gbps SDH/SONET laser driver with current monitors and automatic power control. 1-14. Maxim Integrated Products, MAX3869.
5. Yang, S. S. (2001) *Laser Driver for 1.25Gbps*. National Tsing-Hua University, Hsinchu, Taiwan.
6. Yao, I. C., C. C. Kuo, W. Z. Chen and S. J. Jou (2001) 1.25 Gb/s laser diode driver. *Proceedings of 12th VLSI Design/CAD Symposium*, B1-11. Hsinchu, Taiwan.
7. Yao, I. C. (2001) *Laser Diode Driver*. National Central University, Master Thesis, Taiwan.

收件：91.07.10 修正：92.01.14 接受：92.02.18

