

以 FPGA 為基礎之 RGB LED 調光控制

Design and Implementation of FPGA-Based RGB LED Dimming Control

朱慶隆

孫仲元

Ching-Lung Chu

Zhong-Yuan Sun

南台科技大學 電機工程學系

台灣 台南縣

Department of Electrical Engineering

Southern Taiwan University

Tainan, TAIWAN.

clchu@mail.stut.edu.tw

摘要

本文提出一種用於液晶顯示器之 RGB LED 陣列調光電路，使用 FPGA-EPM1270T144 來實現三色 RGB LED 陣列之數位調光回授控制。使用數位電路設計出 RGB LED 多段調光回授系統以及 RS-232 遠端控制，使用數位導通週期調光方式來達到 RGB 光源混色的效果，並提出三種架構來做 RGB LED 調光電路。本文提出利用色彩感測器作光學回授，利用色彩感測器產生的回授電壓，研究比較三種調光電路之優缺點。

關鍵詞：RGB LED、FPGA、數位調光。

Abstract

This thesis presents the implement and design of FPGA based RGB LED digital control, including dimming control, feedback control and RS-232 baseband control. By using the digital PWM duty cycle to dim the illumination, we can achieve the RGB mixing light source with unique features such as instant color variability, and proposing three kind of RGB LED dimming control circuit. The proposed article makes optics feedback on using the photo sensor element, fuzzy controller stabilizing the color of RGB LED backlight color drift phenomenon which under a long usage, produces the feedback voltage of photo sensor element, The research compares the advantage and defect of three dimming circuit.

Keywords: RGB LED, photo sensor element, fuzzy controller

I. 前言

由於液晶顯示器的應用已從筆記型電腦，擴展到行動電話、汽車導航、家用電視等領域。在如此大量需求的情況下，液晶顯示器的自然色再現性成為各界關注的焦點，某些特殊領域甚至要求液晶顯示器的顏色展現範圍超過 100%NTSC[1]的色彩規格。

因為冷陰極燈管(CCFL)的先夭特性導致無法突破某些色彩障礙，使得在色彩表現方面，無法令消費者享受到類似大自然豐富艷麗的影像。另外，歐盟為了推動環保措施預期 2006 年 7 月 1 日起，所實施之電子電機設備中危害物質禁用令(RoHS)。液晶顯示器之背光模組內的冷陰極燈管之汞含量及電漿電視面板之材料內含鉛量皆高出危害物質禁用令規定，面對

占全球薄型電視市場 30%以上之歐洲市場，該項規定勢將影響整個電視產業之發展。

II. 主電路拓模架構介紹

本文使用 FPGA-EPM1270T144 當數位控制器，本文使用三個調光電路分別是 PWM 電壓控制電路、電感器與快速二極體電路及定電流控制電路。FPGA 經由 RS-232 傳輸介面接收來自 VB 所發送之命令，經過調光機制送出 PWM 訊號至隔離電路（定電流架構無隔離電路），再由隔離電路控制調光電路上之功率晶體來調整輸出端之電壓已達到控制 LED 亮度之效果。

PWM 電壓控制架構如圖一所示，由 FPGA 的調光控制產生 PWM 訊號控制 LED 的亮度。在 HIGH 的時候 LED 發亮，在 LOW 的時候 LED 熄滅，如此可以讓 LED 減低發熱，利用 RGB 三色 LED 快速點滅，產生白光[2]。

電感器與快速二極體之架構，如圖 2 所示，電感將流經 LED 的電流濾成較平穩的直流。利用二極體的路徑使電感電流再次流經 LED 達到電流控制的效果。

定電流控制架構，使用一個差動放大器與電晶體所構成之調光電路，如圖 3 所示。RC 濾波器將 FPGA 所傳送的 PWM 訊號過濾成直流準位，因為 FPGA 所輸出之電壓最高為 3.3V，範圍在 0~3.3V 之間變化，利用此電壓與電阻相除即是 LED 的電流。

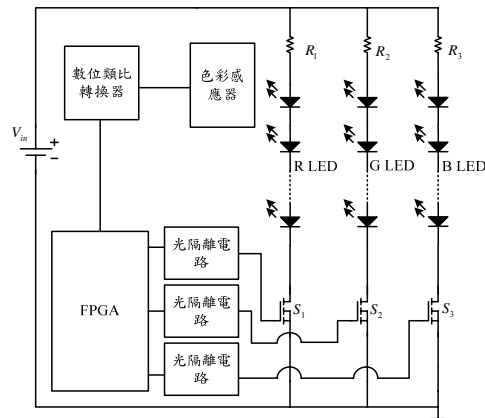


圖 1： PWM 電壓控制電路

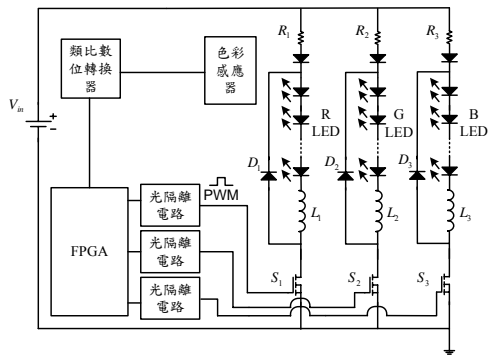


圖2：電感器與快速二極體控制電路

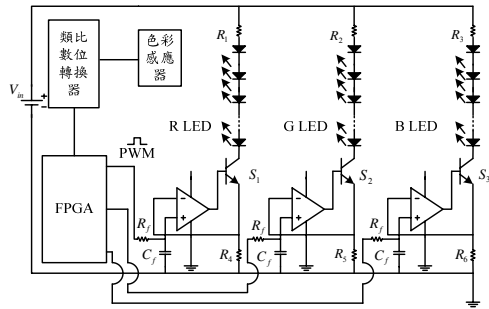
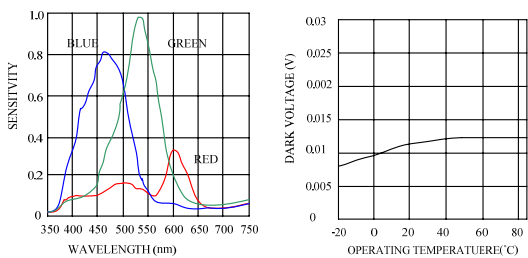


圖3：定電流控制電路

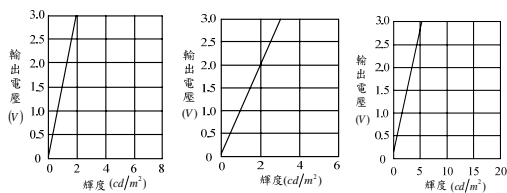
III. 色彩感測器介紹

本文使用之色彩感測器為安捷倫公司所生產之 Agilent HDJD-S831-QT333 Color Sensor Module。感測器轉換 RGB 光源成類比電壓輸出，分別由 V_{RED} 、 V_{GREEN} 和 V_{BLUE} 表示，其光譜響應圖及電壓衰減與工作溫度關係圖，如圖 4 所示，電壓與輝度之特性如圖 5 所示。



(a) 光譜響應圖 (b) 工作溫度與電壓衰退圖

圖 4：特性曲線。(a)光譜響應圖 (b)工作溫度與電壓衰退圖。



(a) 藍色 (b) 綠色 (c) 紅色

圖 5：輝度與電壓轉換比。(a)藍色、(b)綠色、(c)紅色。

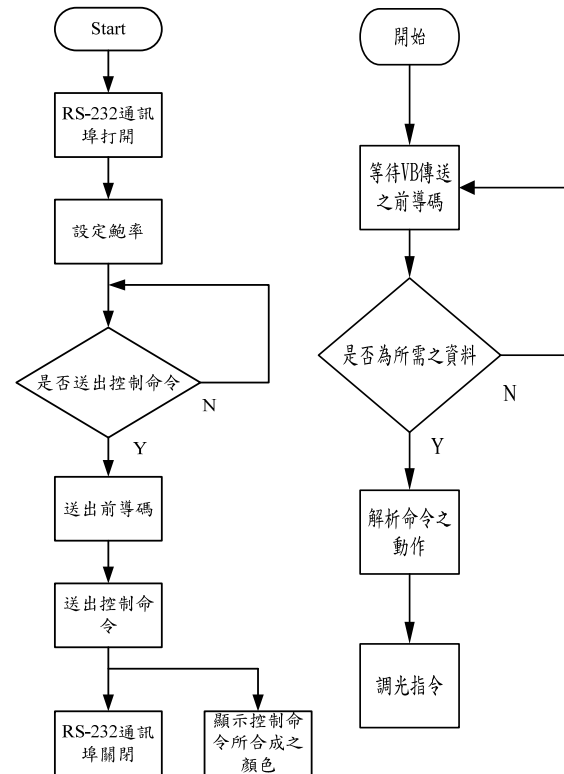
IV. 程式控制流程

本文軟體控制的部份分為 VB 與 FPGA，使用 VB 設計控制介面，透過控制介面經由 RS-232 傳輸到 FPGA，VB 程式流程圖如圖 6(a)所示。

在本文中 VB 與 RS-232 所使用的資料傳送步驟如下：

1. 電腦 VB 介面會先傳送一個前導碼，藉此前導碼辨認是否應該讀取此字串。
2. FPGA 收到前導碼後，接收來自 VB 介面所發出的命令，經過 FPGA 解析之後做出相對命令相對應的動作。RS-232 傳送流程圖如圖 6(b)所示。

本文使用導通週期調光方式來調整 LED 的亮度，VB 介面上每個按鍵都有設定的二進制之控制碼，當 FPGA 收到 RS-232 傳送之調光指令後，訊號會先經過一個狀態機運算[4]，此狀態機一共有 14 個狀態，做出 14 種不同的設定。狀態機程式流程圖如圖 7 所示，數位控制器流程圖如圖 8 所示。



(a) (b)

圖 6：(a)VB 程式流程圖、(b)RS-232 傳送流程圖。

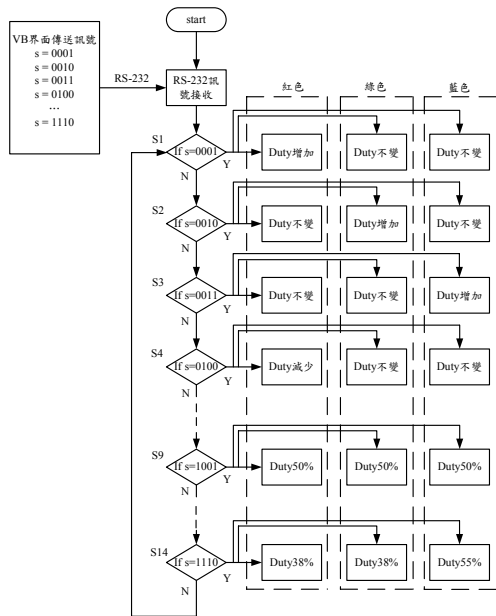


圖 7：狀態機控制流程圖

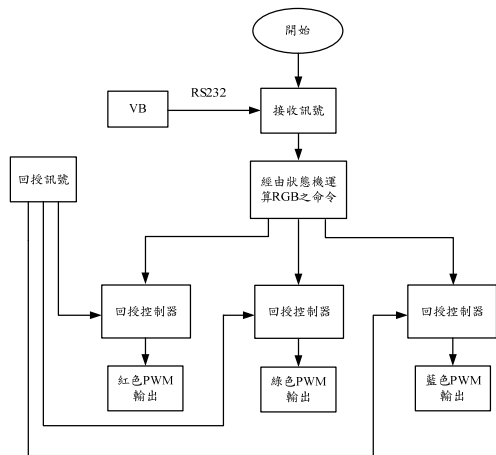


圖 8：數位控制器流程圖

IV. 實驗結果

PWM 電壓控制電路規格與參數

輸入電壓 V_{in} : $60V_{dc}$

限流電阻 R_1 : 126Ω

限流電阻 R_2 : 102Ω

限流電阻 R_3 : 102Ω

功率晶體 S_1 、 S_2 、 S_3 : IRF3415

圖 9(a)至圖 9(d)所示都為 S_1 之 V_{ds1} 電壓與 S_2 之 V_{ds2} 電壓與 S_3 之 V_{ds3} 電壓及回授電壓 V_{RED} ，開關 S_1 、 S_2 、 S_3 分別為紅色(R)、綠色(G)、藍色(B)LED 調光電路之功率晶體，在回授的部份取的是紅色的回授電壓 V_{RED} ，導通週期由 FPGA 控制，透過分析回授波形來決定此架構適合的控制方法。在圖 9(a)中，導通週期的控制分別是 R : 50%、G : 50%、B : 50%，而回授波形也跟著開關的導通時間提高到 50%。圖 10(b)中，R : 50%、G : 5%、B : 5%。雖然看的出來波形還是與 V_{ds1} 的週期相等，但由於導通週期不一致，感測器會因為其他顏色亮度影響，導致回授電壓出現不規則的波形。

電感器與快速二極體電路規格與參數

輸入電壓 V_{in} : $60V_{dc}$

限流電阻 R_1 : 100Ω

限流電阻 R_2 : 516Ω

限流電阻 R_3 : 161Ω

功率晶體 S_1 、 S_2 、 S_3 : IRF3415

電感器 L_1 、 L_2 、 L_3 : $15mH$

快速二極體 : FR152

圖 10(a)中，使用了一個 $15mH$ 的電感，切換頻率為 $63kHz$ ，導通週期為 16%， I_{L1} 的電流為三角波的形狀。圖 10(b)中，導通週期提高到 34%， I_{L1} 的電流為三角波的形狀已經比圖 10(a)來的平緩，回授電壓的波形也會隨著 I_{L1} 提高。圖 10(c)中，導通週期已經提高至 57%， I_{L1} 電流已經開始趨於平穩，而回授電壓的波形隨著導通週期的提高準位也跟著提高，但還是會跟著 I_{L1} 的波形擺盪。圖 10(d)與(c)的導通週期分別為 73%與 95%。

定電流控制電路規格與參數

輸入電壓 V_{in} : $60V_{dc}$

限流電阻 R_1 、 R_2 、 R_3 : 100Ω

限流電阻 R_4 : 101Ω

限流電阻 R_5 : 670Ω

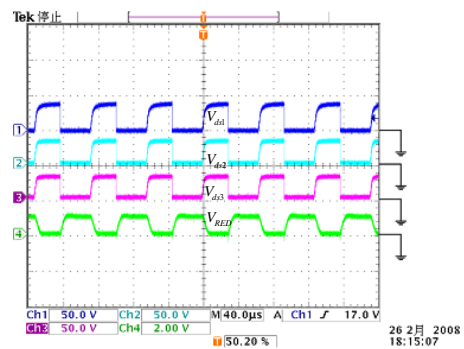
限流電阻 R_6 : 101Ω

功率晶體 S_1 、 S_2 、 S_3 : IRF3415

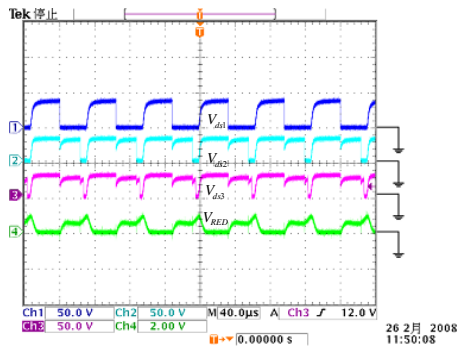
快速二極體 : FR152

差動放大器 : HA17324

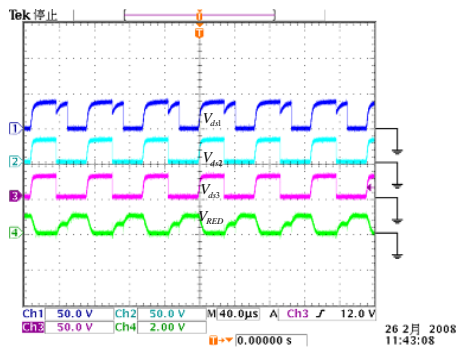
圖 11(a)至(d)所示都為紅色 LED 調光電路之 R_4 電流 I_{R4} 與回授電壓 V_{RED} 及 V_{gs1} 電壓，圖 11(a)所示為導通週期 21%，由於此架構直接使用電流控制，所以流經 LED 的電流為一平穩直流，所得到的回授電壓波形也是直流。圖 11(b)至(d)，導通週期分別為 45%、63%、80%，隨著導通週期提高，流經 LED 的電流都為平穩直流，回授電壓波形都為平穩的直流且線性的隨著電流提高而提高。



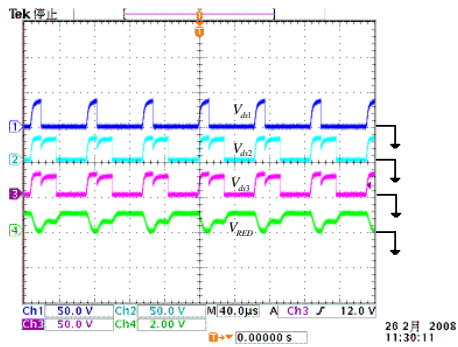
(a) 導通週期 R : 50%、G : 50%、B : 50%



(b) 導通週期 R : 50%、G : 5%、B : 5%



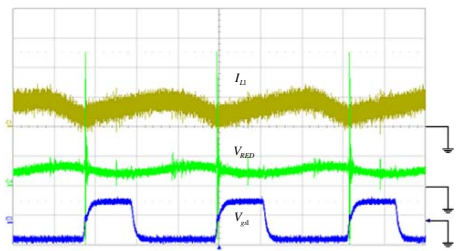
(c) 導通週期 R : 25%、G : 50%、B : 50%



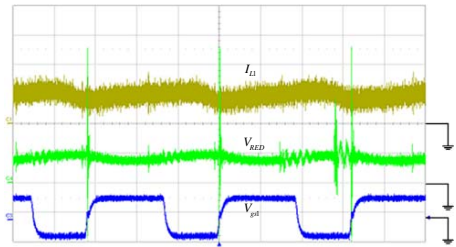
(d) 導通週期 R : 75%、G : 50%、B : 50%

$V_{ds1} : (50V/div; 40\mu S/div)$ $V_{ds2} : (50V/div; 40\mu S/div)$
 $V_{ds3} : (50V/div; 40\mu S/div)$ $V_{RED} : (2V/div; 40\mu S/div)$

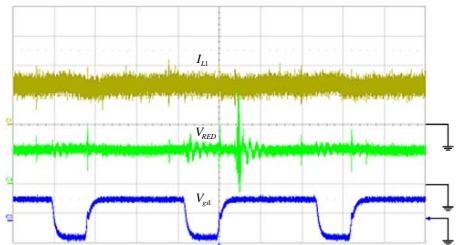
圖 9 : V_{ds} 與 V_{RED} 電壓。(a) 導通週期 R : 50%、G : 50%、B : 50%、(b) 導通週期 R : 50%、G : 5%、B : 5%、(c) 導通週期 R : 25%、G : 50%、B : 50%、(d) 導通週期 R : 75%、G : 50%、B : 50%。



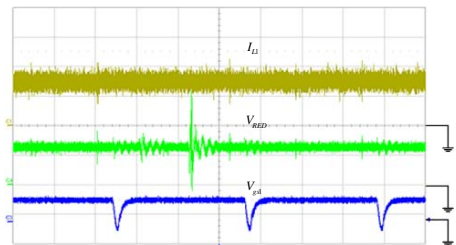
(b) 導通週期 34%



(c) 導通週期 57%



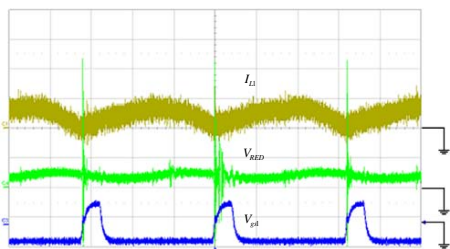
(d) 導通週期 73%



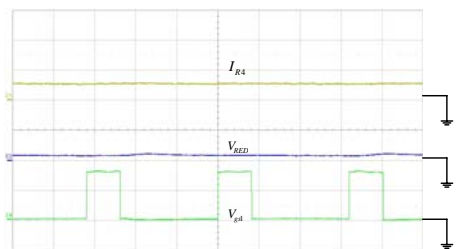
(e) 導通週期 95%

$I_{L1} : (10mA/div; 5\mu S/div)$ $V_{RED} : (2V/div; 5\mu S/div)$ $V_{gs1} : (20V/div; 5\mu S/div)$

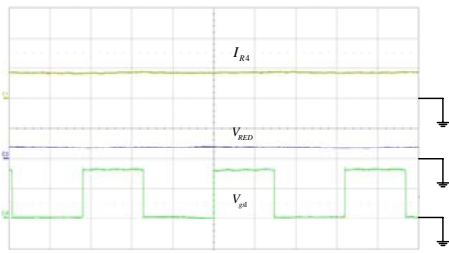
圖 10 : I_{R4} 與 V_{RED} 及 V_{gs1} 電壓。(a) 導通週期 16%、(b) 導通週期 34%、(c) 導通週期 57%、(d) 導通週期 73%、(e) 導通週期 95%。



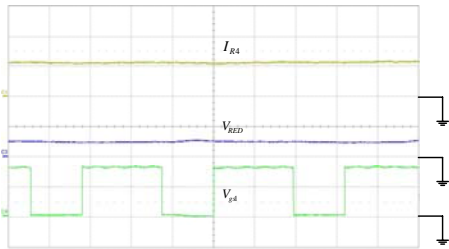
(a) 導通週期 16%



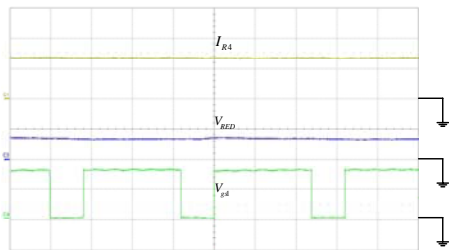
(a) 導通週期 21%



(b) 導通週期 45%



(c) 導通週期 63%



(d) 導通週期 80%

$I_{R4} : (20\text{mA}/\text{div}; 20\mu\text{S}/\text{div})$ $V_{RED} : (2\text{V}/\text{div}; 20\mu\text{S}/\text{div})$ $V_{gs1} : (2\text{V}/\text{div}; 20\mu\text{S}/\text{div})$

圖 11： I_{R4} 與 V_{RED} 及 V_{gs1} 電壓。(a) 導通週期 21%、(b) 導通週期 45%、(c) 導通週期 63%、(d) 導通週期 80%。



圖 13 RGB LED 白色光混色

本文所使用是以 15 顆串聯後再以 10 排並聯之串並聯排列 LED 陣列，每顆 LED 內都包含 R、G、B 之顏色晶片，利用三原色原理，利用紅綠藍相同的亮度產生白光。圖 13 所示為 LED 白色混色圖。

V. 結論

PWM 電壓控制架構優點為動態響應快速，色彩的切換迅速、穩定，效率高，適合用於顏色快速變化的場合，但是回授電壓波形會受開關影響而產生不規則的變化，故不適合使用於閉迴路控制。

電感器與快速二極體之架構雖然在導通週期超過 50% 時，電感器將方波過濾成接近直流的平穩波形，但是動態響應非常緩慢，在實驗過程中切換一次導通週期都比 PWM 電壓控制架構花上更多的時間，故此架構使用開迴路控制。

定電流控制的架構，以定電流的方式控制 RGB LED，由於 RGB LED 電流為平穩直流，所得到的回授電壓波形也為平穩直流，缺點效率差，而且容易產生顏色漂移，所以須另作閉迴路控制。

因為本文使用的色彩感測器，在 PWM 電壓控制架構及電感器與快速二極體之架構色彩感測器之回授電壓都為較不規則狀，所以使用開迴路控制。定電流控制架構因為回授電壓穩定且容易產生色飄移現象，因此架構上使用閉迴路控制，達到穩定 RGB LED 混色之效果。

參考文獻

- [1] 劉如熹，王健源，白光發光二極體製作技術，全華科技圖書股份有限公司出版，民國九十年。
- [2] G. Harbers and C. Hoelen, "High performance LCD backlighting using high intensity red, green and blue light emitting diodes", *SID Intl Symp Digest Tech Papers*, pp. 702-706, 2001.
- [3] 吳明哲，黃世陽，*VISUAL BASIC 6.0 中文版學習範本*，松崗電腦圖書資料有限公司出版，民國八十八年。
- [4] 范逸之，*VISUAL BASIC 與 RS232 串列通訊控制*，文魁資訊股份有限公司出版，民國八十八年。
- [5] 陳慶逸，林柏辰，*VHDL 數位電路學習與專題設計*，文魁資訊股份有限公司，民國九十四年。