

國立交通大學

電機學院 電機與控制學程

碩士論文

以 FPGA 為基礎實現 RGB-LED 背光源色度偏移控制

FPGA-Based Implementation of Chromaticity Shift
Control for RGB-LED Backlight

研究生：陳鴻儀

指導教授：陳鴻祺 博士

中華民國九十九年十一月

以 FPGA 為基礎實現 RGB-LED 背光源色度偏移控制

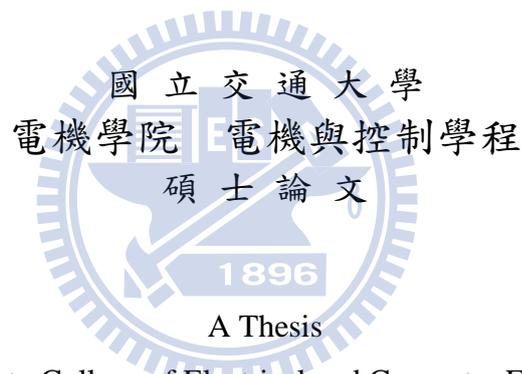
FPGA-Based Implementation of Chromaticity Shift
Control for RGB-LED Backlight

研究生：陳鴻儀

Student : Hung-Yi Chen

指導教授：陳鴻祺 博士

Advisor : Dr. Hung-Chi Chen



Submitted to College of Electrical and Computer Engineering

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

In

Electrical and Control Engineering

November 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年 十一月

以 FPGA 為基礎實現 RGB-LED 背光源色度偏移控制

學生：陳鴻儀

指導教授：陳鴻祺 博士

國立交通大學 電機學院 電機與控制學程碩士班

摘 要

RGB LED 混光方式使用於背光源具有可提高色彩飽和度及色溫點可調的優點，但於使用中 RGB LED 會隨溫度變化而影響亮度穩定性及紅、綠、藍發光二極體亮度變化比例不同造成色度偏移，當色度偏移量(Δuv)大於 0.0035 人眼可感覺顏色偏移的缺點。

因此本文主要使用色彩分析儀 BM7 量測探討 RGB LED 亮度與溫度變化特性，以及使用亮度回授補償控制方式克服此問題。其中硬體及軟體實現架構以色彩亮度檢知器檢測三原色亮度變化，現場可規劃邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array, FPGA)實現亮度補償控制器、使用脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)方式控制發光二極體電流的方式，進而達到補償發光二極體亮度及減少色度偏移量。

FPGA-Based Implementation of Chromaticity Shift Control for RGB-LED Backlight

Student : Hung-Yi Chen

Advisors : Dr. Hung-Chi Chen

Degree Program of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

In applications such as LCD backlighting, a light source based on red, green, and blue (RGB) LEDs has the advantage of high color saturation and adjustable color temperature. However, the output brightness stability of RGB LEDs may change with temperature, and different variations in each red, green, and blue LEDs could result in changes in color point. When there is a color variation of $\Delta uv > 0.0035$, it could be detected by human eyes, and becomes an unacceptable disadvantage in some applications.

In this article, we discuss the characteristics in brightness vs. temperature of RGB LEDs according to the measurement by a color analyzer BM7, and show with a suitable brightness feedback control system, the issue of significant color point changing with temperature can be overcome. The implementation of the feedback control system is based on the photo sensors to obtain color variations in red, green, and blue lights, the field programmable gate array (FPGA) to construct the compensator, and the pulse width modulation (PWM) method to control the LED currents, so that the LED brightness change can be compensated and the color variation can be minimized.

誌 謝

本論文能順利完成，首先感謝指導老師陳鴻祺博士這段時間來對作者研究方法及文章論文寫法上的指導並讓我將過往實作的經驗導入控制理論基礎上，讓作者在研究方法及撰寫能力上有顯著的進步，謹向老師致上最高的謝意；最後，感謝口試委員廖益弘老師和陳科宏老師，提供寶貴意見，使得論文能臻於完整。

另外，感謝實驗室的學弟們對作者協助與幫忙，讓作者雖無法常到實驗室也能得到學弟的協助完成論文；還要感謝公司長官及同仁的協助與諒解，讓我能同時兼顧工作、學業與家庭。最後，感謝家人在精神上的支持，特別是父、母親及太太乃文在我求學的這三年來，給予的體諒、包容與支持並幫忙照顧入學時才出生不久的兒子恩澤讓我能專心完成學業。

最後並給予自己一個掌聲勉勵自己，經過工作多年後能在完成碩士學位，並同時期許自己能在下一階段人生目標上能更精進。



目錄

中文摘要	-----	I
英文摘要	-----	II
誌謝	-----	III
目錄	-----	IV
圖目錄	-----	VI
表目錄	-----	VIII
第一章	緒論 -----	1
1.1	研究動機與目的 -----	1
1.2	相關背景知識與回顧 -----	4
1.3	研究系統架構描述 -----	8
第二章	RGB LED 背光源模組及驅動控制方式 -----	10
2.1	RGB LED 原件特性 -----	10
2.2	色彩檢知器元件特性 -----	13
2.3	背光源分類 -----	15
2.4	RGB LED Light Bar 線路圖 -----	17
2.5	背光源驅動電源模組架構 -----	18
2.6	RGB-LED 均流和驅動方式及其線路 -----	21
第三章	RGB LED 參考資料建立與量測 -----	24
3.1	量測方式與建立 -----	24
3.2	RGB LED 溫度變化特性量測 -----	25
3.3	PWM 驅動方式與 LED 亮度及色彩檢知器輸出變化 ---	27
3.4	參考色溫點資料量測 -----	29

第四章	色度偏移控制器實現-----	30
4.1	紅、綠、藍混光控制模組規劃-----	30
4.2	色度偏移控制器設計-----	31
第五章	實作結果與分析-----	35
5.1	實做電路-----	35
5.2	無亮度回授補償測-----	38
5.3	亮度偏移控制器參數設定實驗-----	39
	5.3.1 固定藍光 LED 電流控制命-----	39
	5.3.2 固定綠光 LED 電流控制命令-----	41
	5.3.3 固定藍光和綠光 LED 電流控制命令-----	43
5.4	設定於 $\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$ 補償綠光與藍光亮度-----	45
5.5	實驗結果比較-----	48
第六章	結論-----	51
6.1	結論-----	51
參考文獻	-----	52

圖目錄

圖 1.1	可見光 LED 半導體能隙(E_g)及人眼相對響應曲線	4
圖 1.2	RGB-LED 與 CCFL 色域範圍表示於 CIE 1931 xy 色度圖	4
圖 1.3	(a)低溫與(b)高溫狀態下載子能量分佈圖	5
圖 1.4	紅、綠、藍發光二極體發光強度與溫度關係	5
圖 1.5	MacAdam 橢圓表示於：(a) CIE 1931 xy 色度圖； (b) CIE 1976 $u'v'$ 色度圖	7
圖 1.6	RGB LED 背光模組驅動架構方塊圖	9
圖 2.1	61-23/R6GHBHC-B01/ET(HFX)尺寸圖	10
圖 2.2	色彩檢知器 CM3302 外部線路圖	13
圖 2.3	(a)紅、綠、藍色彩檢知器光譜檢測範圍； (b)色彩檢知器內部功能方塊圖	14
圖 2.4	背光源配置方式示意圖(a)直下式；(b)側光式	16
圖 2.5	RGB LED Light Bar 線路圖	17
圖 2.6	背光源電源模組架構	20
圖 2.7	順向電壓與順向電流曲線圖	21
圖 2.8	相對亮度與順向電流曲線圖	22
圖 2.9	電流驅動平衡線路方式：(a)電流鏡；(b)轉導負回授放大器	23
圖 3.1	量測方式與架設	24
圖 3.2	分別驅動顯示紅、綠、藍發光二極體顯示圖	25
圖 3.3	(a)溫度變化與亮度關係；(b)溫度變化與 Δuv 關係	26
圖 3.4	溫度變化與色域變化關係	26
圖 3.5	(a) PWM 電流驅動信號；(b)色彩檢知器取樣信號	27
圖 3.6	PWM 信號與：(a)LED 亮度；(b)色彩檢知器輸出關係	28
圖 3.7	色溫 9500K 所對應亮度變化之色彩檢知器脈衝信號輸出	29
圖 4.1	三原色混光控制晶片系統架構	30
圖 4.2	CSC 控制器回路	31
圖 4.3	脈波寬度調變信號定義	33

圖 4.4	CSC 控制器程式流程圖	34
圖 5.1	電源模組	35
圖 5.2	UBD-Spartan3E-ST3E 發展板	36
圖 5.3	電流驅動平衡線路模組	36
圖 5.4	(a) 背光模組;(b) RGB-LED 背光源	37
圖 5.5	無亮度回授溫度變化色度座標量測圖	38
圖 5.6	固定藍光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖	39
圖 5.7	固定綠光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖	41
圖 5.8	固定藍、綠光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖	43
圖 5.9	於 $\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$ 補償綠光與藍光二極體控制命令測試值	45
圖 5.10	紅光 LED 溫度變化信號波形(a)25 $^{\circ}\text{C}$; (b)65 $^{\circ}\text{C}$	47
圖 5.11	綠光 LED 溫度變化信號波形(a)25 $^{\circ}\text{C}$; (b)65 $^{\circ}\text{C}$	47
圖 5.12	藍光 LED 溫度變化信號波形(a)25 $^{\circ}\text{C}$; (b)65 $^{\circ}\text{C}$	47
圖 5.13	閉迴路電流控制命令變化曲線圖	48
圖 5.14	亮度補償控制量測結果比較	49
圖 5.14	背光源亮度補償比較顯示圖：(a)無色度偏移回授補償	50
	(b)加入色度偏移回授補償	50

表目錄

表 1.1	CCFL 與 LED 特性比較	1
表 1.2	CCFL 與 LED 背光模組功率消耗比較	2
表 1.3	產生白光方式比較	3
表 1.4	系統架構及各功能模組參考論文分類	8
表 2.1	最大額定操作範圍規格 ($T_a = 25^\circ C$)	11
表 2.2	電-光特性規格 ($T_a = 25^\circ C$)	12
表 2.3	電源模組設計規格	19
表 4.1	三原色混光控制晶片外部信號定義	31
表 4.2	CSC 控制器信號定義	32
表 4.3	補償器參數定義	32
表 5.1	無亮度回授測試值	38
表 5.2	固定藍光二極體控制命令測試值	40
表 5.3	固定綠光二極體控制命令測試值	42
表 5.4	固定藍、綠光二極體控制命令測試值	44
表 5.5	於 $\Delta T > 30^\circ C$ 補償綠光與藍光二極體控制命令測試值	46

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

目前電子產品已漸漸朝“輕、薄、短、小”的方向開發，傳統顯示器—陰極射線管(Cathode Ray Tube, CRT)由於體積大，耗電量高，已不能滿足需求，逐漸被平面顯示器取代。液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)是一種本身不會發光的顯示器，因此需要其他光源作為其背光源，目前 LCD 顯示器背光源採用冷陰極管(Cold Cathode Florescent Lamp, CCFL)做為背光源，但因 CCFL 具有毒物質汞，於歐盟環保規定(RoHS)含汞相關電子產品將被禁止在歐洲地區國家販售無法使用，且 CCFL 發光方式為使用螢光粉發光色純度低導致色域小通常只有美國國家標準委員會(National Television System Committee, NTSC)色域範圍的 70% 及其驅動方式為高壓交流電源驅動，有較不易設計及產生危險特性，再加上背光源為整個系統中耗電量最大部分，所以在消耗功率限制日趨嚴苛情況下，目前已經因節能需求漸漸轉向新世代光源“發光二極體(Light Emitting Diode, LED)”做為背光源。LED 具有無汞、高壽命、低電壓驅動、可提高色域等特性漸漸取代成為新世代光源並且廣泛應用於背光源及照明系統中。表 1.1 CCFL 與發光二極體特性比較[1][2]。

表 1.1 CCFL 與 LED 特性比較

	CCFL	LED
驅動電源	需交流轉換器產生交流電壓 $1KV_{rms}$ 以上，大尺寸 TV 需 $2KV_{rms}$ 以上	需直流轉換器產生直流電壓，電壓依 LED 串接顆數決定，目前大尺寸 TV 約需 $200V_{rms}$ 以下
光源特性	線光源	點光源
優點	熱量少	無汞、壽命高、反應速度快
缺點	易碎、含汞、低溫難啟動、高壓易電磁干擾及因雜散電容效應產生漏電流	光效率差需注意晶體散熱

LED 背光源採用最主要原因之一為具備節能效果，依據美能源之星 (Energy Star) 計畫 EPA 4.0 標章內容要求大尺寸液晶電視於 2010 年 5 月前需減少耗電量約 40%，符合標準才能拿到能源之星標章。甚至於 2012 年 5 月前需比目前市面減少 65%，且於尺寸大於 50”功率消耗需小於 108W 才能符合能源之星 EPA 5.0 標章。依目前背光源技術只有 LED 背光源透過控制技術以及製程改善才能達到此規範，甚至於 EPA 5.0 規範以現階段 LED 技術仍難達到，由其在尺寸大於 50”更難達成，因此需再對背光源技術更進一步提升。表 1.2 為目前 CCFL 與白光 LED 31.5”~46”背光模組耗電量比較列表，可了解 LED 背光模組大約可減少 30%~40% 功率消耗。

表 1.2 CCFL 與 LED 背光模組功率消耗比較

背光源方式		31.5”	42”	46”
CCFL	Power consumption (W)	55	130	155
	Luminance (cd/ m ²)	450	450	450
白光 LED	Power consumption (W)	40.4	100	108
	Luminance (cd/ m ²)	400	450	450
EPA 4.0 (W_{max})		76	115	133
EPA 5.0 (W_{max})		54	81	94

對於一般照明及背光源中，需要的是白色光源而目前白光 LED 有許多種發光方式其中最受矚目的是單晶型發光方式，為使用 III-V 族氮化物半導體材料製作藍光 LED 再搭配黃光螢光粉產生白光，此種產生白光方式推出引起全球矚目同時也開創了 LED 於照明及各式光源的應用上。但此種方式發光效率差、演色性不佳，因此另有利用紫外光激發紅、綠、藍螢光粉方式提高效率，以及利用多晶型 LED 利用加法混光原理產生白色光源以提高演色性，表 1.3 為目前產生白光方式比較[3-5]。

表 1.3 產生白光方式比較

方式	激發方式	演色性	發光元素與螢光材料	發光原理	優點	缺點
單晶型	藍光 LED	低	InGaN/YAG 黃色螢光粉	以藍色光激發螢光粉	成本低， 電子回路設計簡單	發光效率低、光譜分佈不均勻、演色性不佳
	紫外光 LED	中	InGaN/RGB 三波長螢光粉	以紫外光激發(同螢光燈原理)	發光效率有提高空間，演色性較佳	封裝材料被紫外光照射易產生老化、易造成光衰、受限螢光粉塗佈使白光不均勻
多晶型	藍光 LED 黃綠光 LED 藍綠光 LED 橙光 LED	低	InGaN GaP AlInGap	把互補二色混光成白光	成本低	演色性低
	藍光 LED 綠光 LED 紅光 LED	高	InGaN AlInGap AlGaAs	把三原色混光成白光	演色性佳、色溫可動態調整	電子回路設計復雜、近距離混光不佳

1.2 相關背景知識與回顧

發光二極體為一種 $P-N$ 接面，它能產生在紫外線、可見光以及紅外線區域內的輻射光。圖 1.1 為人眼響應與波長相對關係圖，人眼可感受之可見光波長大約為 $380nm \sim 700nm$ ，於波長 $\lambda_m = 555nm$ 的綠色波長有最大響應，由於人眼只對於能隙大於 $1.8 eV$ 的光線較為敏感，所以選擇之半導體能隙能量必須大於此，並可了解紅光 LED 波長 $629nm \sim 720nm$ 電位能隙最低，綠光 LED 波長 $515nm \sim 570nm$ 電位能隙介於紅光與藍光材質，藍光 LED 波長 $455nm \sim 490nm$ 電位能隙最高[6]。

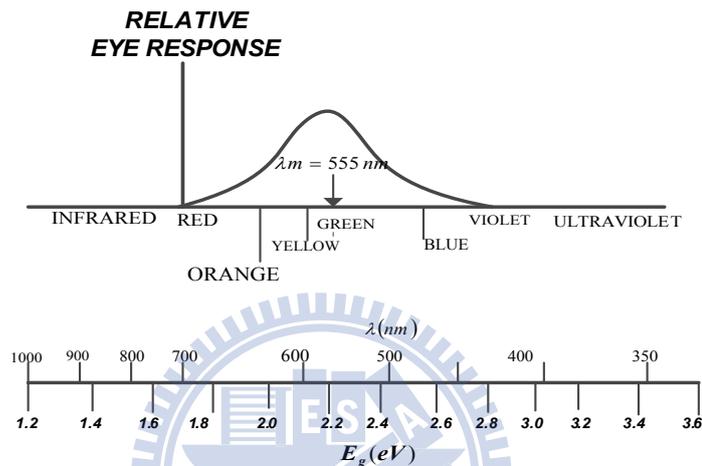


圖 1.1 可見光 LED 半導體能隙 (E_g) 及人眼相對響應曲線

產生白光方式如前述可以使用單晶或多晶方式產生，其中多晶方式使用二個以上互補顏色 LED 既可產生白光，但用二色互補方式演色性差，使用三色以上演色性佳但混光控制困難且發光效率差。如圖 1.2 所示使用紅、綠、藍三原色產生白光可將色域提高至 NTSC 色域範圍的 105% 以上。可有效提高 LCD 畫面色彩飽和度，使畫面更為逼真，並可動態調整色溫點[7]。

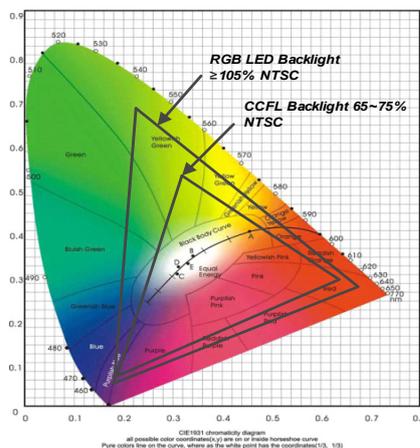


圖 1.2 RGB-LED 與 CCFL 色域範圍表示於 CIE 1931 xy 色度圖

三原色 RGB-LED 應用於背光源上最主要的問題為(1)發光效率差及、(2)紅、綠、藍發光二極材料特性不同導致溫度上升時光輸出變化比例不同，因而造成色溫點偏移 [9][10]。問題(1)除了元件的研發與製程改善外，可利用 LED 具有反應速度快可快速亮滅特性使用區域亮暗(Local Dimming) 控制方式，讓畫面為黑色部分將 LED 截止，以減少系統背光源功率消耗，並可提高液晶電視對比度(Contrast Ratio)[8]。問題(2)可由零件色彩檢知器(Color Sensor)及利用線路控制光回授方式改善此缺點。

圖 1.3 為溫度和載子復合機率關係圖 $E(K)$ ，圖中顯示當溫度增加， dk 區間載子數目減少，使溫度上升時二極體載子復合機率下降而使輸出亮度下降。並由式(1.1) LED 發光強度經驗公式及圖 1.4 可說明溫度上升與不同材質發光亮變化關係。

$$I = I|_{300K} \exp\left(-\frac{T - 300K}{T_1}\right) \quad (1.1)$$

其 T_1 為發光二極體材質特性溫度，較高特性溫度表示該 LED 對溫度變化較不受影響，圖 1.4 反應出 III-V 氮化物藍光二極體具有較深的電位能障，所以對溫度變化載子侷限能力比 III-V 磷化物紅光 LED 結構好 [9-12]。

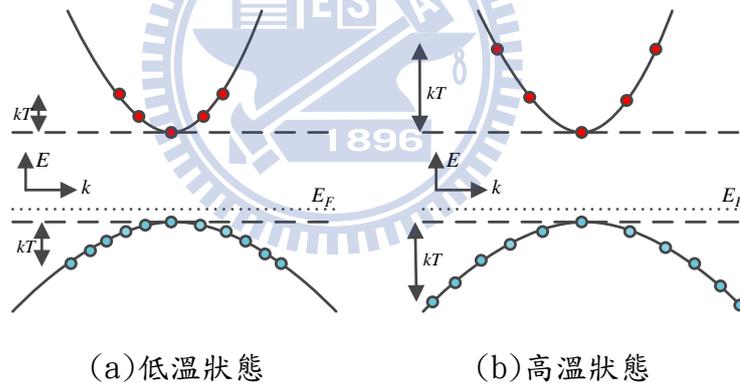


圖 1.3(a)低溫與(b)高溫狀態下載子能量分佈圖

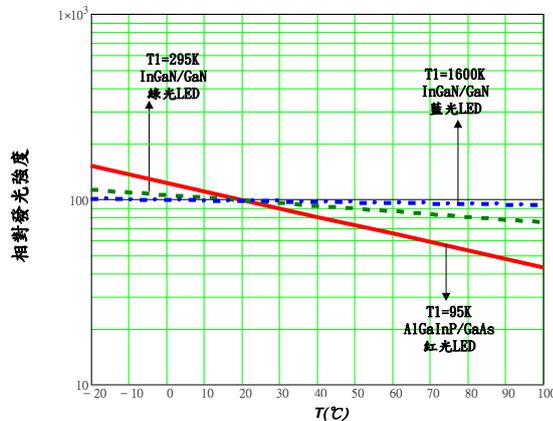


圖 1.4 紅、綠、藍發光二極體發光強度與溫度關係

因此使用亮度回授補償方式可克服發光二極體因溫度造成的色度偏移問題，由上述於此補償器設計時需考慮下列二點：

- (1) 所選用之紅、綠、藍發光二極體亮度與溫度變化曲線如圖 1.4，此與各 LED 廠商材料技術相關，每一廠家之零件特性會有些許不同，但以紅光 LED 受溫度影響變化最大，藍光 LED 幾乎不受溫度影響，因此設定之補償比例 $R > G > B$ 。
- (2) 光通量單位為流明 (lm)，表示一光源被人眼所感知的光功率，其定義為一發光功率 1/683 瓦特之綠光波長 555nm 的單色發光源所有的發光通量既為 1 流明，考慮人眼於三原色之刺激值如圖 1.1 人眼對於綠光有較高敏感係數，所以對不同光波長的輻射功率相等時其光通量並不相等，因此綠光 LED 驅動電流補償變化需小於紅光及藍光，避免當亮度補償時色度座標往 v 軸增加及光源亮度增加幅度太多 [13]。

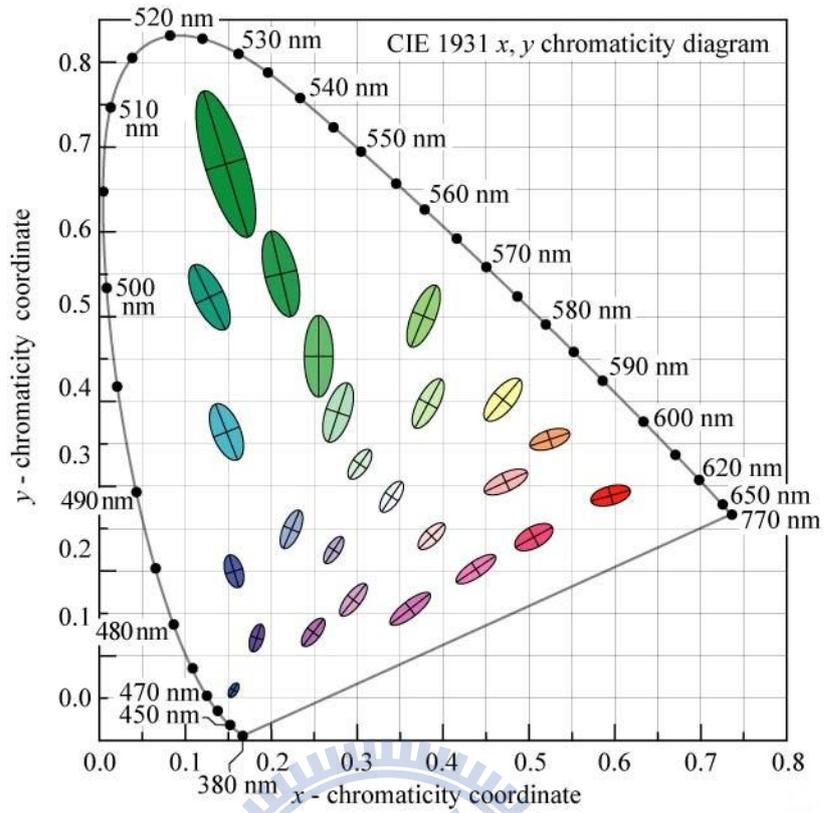
於目前色彩表示系統常用為 $CIE-xy$ 色度系統，其色彩資訊包含如圖 1.2 所示，有單色光源主波長、色彩飽和度及色溫線，但對於一個理想色度圖需具有均勻性以利計算二色點間的偏移，以方便控制，如圖 1.5(a) 顯示 MacAdam 橢圓長軸與短軸距離不相同，也就是說 $CIE-xy$ 色度圖中兩點之間色差在空間上是不均勻的，表示顏色會迅速在某一軸上改變。為了解決此問題 CIE 在 1976 年提出均勻色度圖，可由原本 x 、 y 色度座標經一次線性轉換求得如式 (1.2) 與 (1.3)，圖 1.5(b) 為 $CIE-u'v'$ 色度圖，其白光區域 MacAdam 橢圓長軸與短軸接近，形狀與面積較均勻，所以此均勻色度圖表示方式適合於色度偏移計算 [14]。

$$u' = \frac{4x}{-2x+12y+3} \quad (1.2)$$

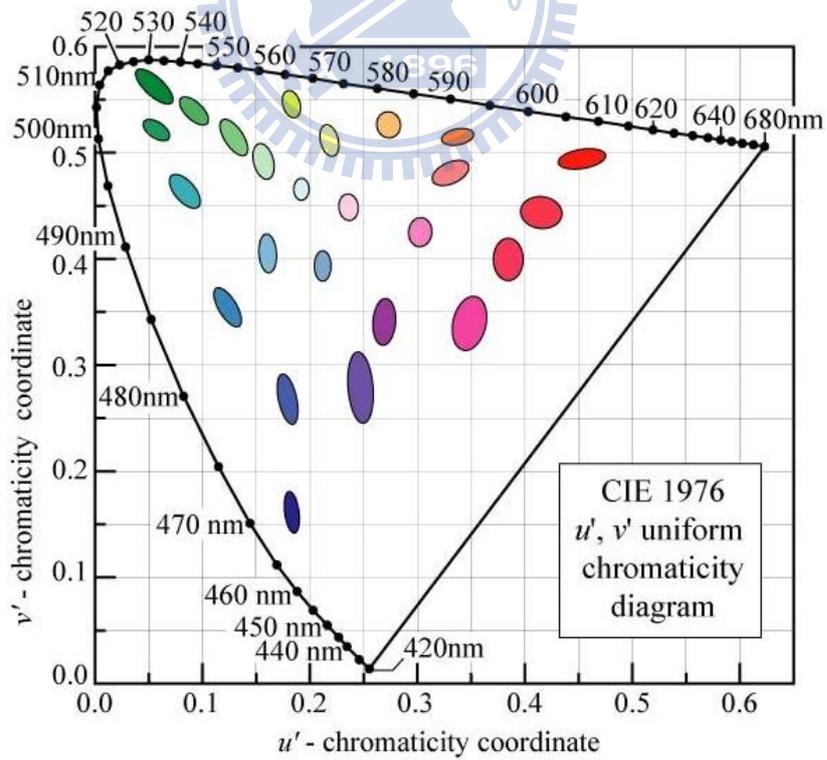
$$v' = \frac{9y}{-2x+12y+3} \quad (1.3)$$

本文為量化 RGB-LED 因溫度變化造成的色度偏移量，使用此 $CIE-u'v'$ 色度圖計算兩色度座標間距離，既為色度偏移量 Δuv ，如式 (1.4) 所示。其中 u_r, v_r 為初始量測參考值， u, v 為溫度變化量測值，當 Δuv 偏移量大於 0.0035 人眼可感覺色差偏移 [18][19]。

$$\Delta uv = \sqrt{(u' - u_r')^2 - (v' - v_r')^2} \quad (1.4)$$



(a)



(b)

圖 1.5 MacAdam 橢圓表示於：(a) CIE 1931 xy 色度圖；(b) CIE 1976 $u'v'$ 色度圖

1.3 研究系統架構描述

圖 1.6 為 RGB-LED 背光源驅動系統架構方塊圖，整個系統包含 RGB-LED 組成之背光源、置於背光源中央之色彩檢知器(Color Sensor)、驅動發光二極體電流驅動及平衡線路(Current Driving and Balance Circuit)、由現場可規劃邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array, FPGA)控制模組實現，產生混光色度偏移控制命令之色度偏移控制器(Chromaticity Shift Control, CSC)及由串聯諧振電感(L_r)、諧振電容(C_r)和激磁電感(L_m)組成諧振式 LLC 雙組輸出電源模組。系統架構及各功能模組參考論文分類如表 1.4 所示，其中電流驅動及平衡方式論文[28]使用同相位脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)方式同時驅動每一串發光二極體電流，其適合於發光二極多串並聯方式使用，但是其具有會造成電源輸出端電容漣波電流大，需使用較多輸出電容缺點，論文[29]、[30]、[31]、[32]、[33]和[34]為使用相位控制方式將每串發光二極體於不同時間導通。

控制方式為當系統環境溫度變化造成三原色亮度變化不同或發光二極體經長時間使用，產生光衰程度不同的現象時造成混光色度偏移，本文既利用色彩檢知器將三原色亮度變化回授輸入到控制器，再經由控制器計算亮度變化並與參考色度座標控制命令比較產生電流控制命令信號，再分別輸入至紅、綠、藍發光二極體電流驅動平衡線路分別調整三原色發光二極體亮度，以減少三原色混光之色度座標 Δuv 偏移及亮度變化。

表 1.4 系統架構及各功能模組參考論文分類

	參考論文	
背光源驅動系統控制架構	[15]、[16]、[17]、[18]、[19]、[20]、[21]、[22]、[23]、[24]	
電源模組	[25]、[26]、[27]	
色度偏移控制方式	[34]、[35]、[36]、[37]、[38]	
驅動發光二極體電流驅動及平衡線路	同相位方式	相位移方式
	[28]	[29]、[30]、[31]、[32]、[33]

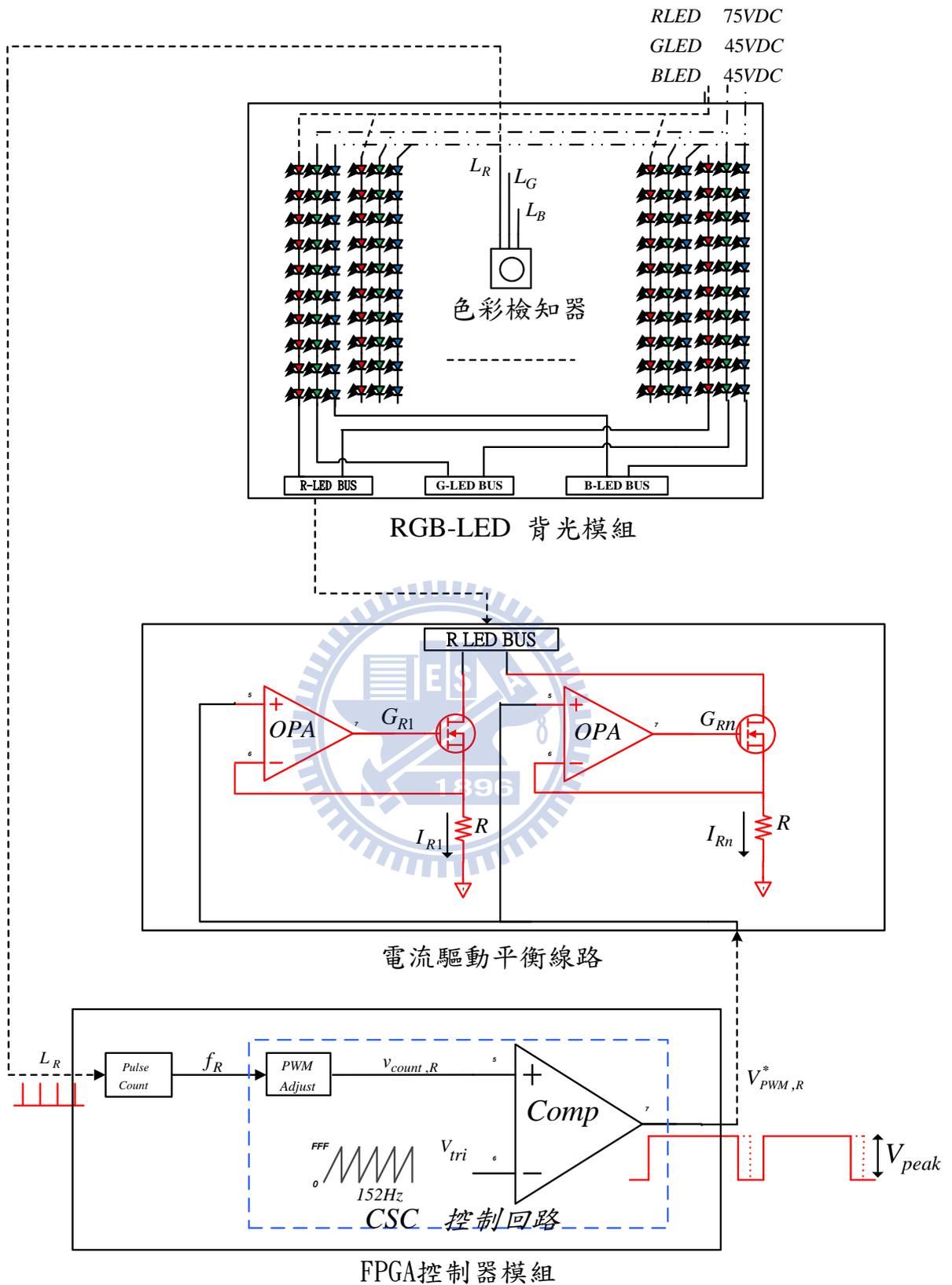


圖 1.6 RGB-LED 背光模組驅動架構方塊圖

第二章 RGB LED 背光源模組及驅動控制方式

2.1 RGB LED 元件特性

本文背光源選用之 RGB-LED 為 EVERLIGHT 所生產之型號 61-23/R6GHBHC-B01/ET(HFX)，此為 SMD type 將紅、綠、藍發光二極體同時封裝於同一包裝，此種封裝方式可得到最佳混光效果，結構如圖 2.1 所示腳位共有 6 Pin，可個別驅動紅、綠、藍發光二極體。其中紅光 LED 使用材料是 AlGaInP、綠光及藍光 LED 使用材料是 InGaN。

表 2.1 表示此 LED 最大額定操作範圍，其中藍光與綠光 LED 順向電壓操作範圍為 3.0(typ)~4.0(max)，順向平均電流 25mA(max)，紅光 LED 順向電壓操作範圍為 2.0(typ)~2.4(max)，順向平均電流 50mA(max)。表 2.2 為表示此零件電-光特性規格綠光 LED 於順向電流 20mA 測試條件下主波長範圍為 520nm~530nm，藍光 LED 於順向電流 20mA 測試條件下主波長範圍為 465nm~470nm。其中 λ_p 為量測儀器所量測之讀值，為 λ_d 為乘上人眼敏感係數，當 $\lambda_p < 555nm$ 則 λ_p 小於 λ_d ，當 $\lambda_p > 555nm$ 則 λ_p 大於 λ_d 。

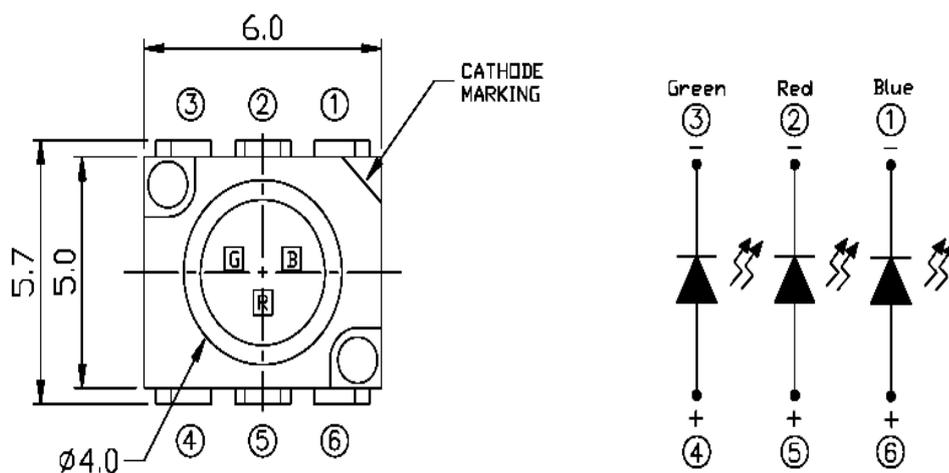


圖 2.1 61-23/R6GHBHC-B01/ET(HFX) 尺寸圖

表 2.1 最大額定操作範圍規格 ($T_a = 25^\circ C$)

Parameter	Symbol	Rating		Unit
Reverse Voltage	V_R	5		V
Forward Current	I_F	R6	50	mA
		GH	25	
		BH	25	
Peak Forward Current (Duty1/10 @1K Hz)	I_{FP}	R6	100	mA
		GH	100	
		BH	100	
Power Dissipation	P_d	R6	120	mW
		GH	110	
		BH	110	
Electrostatic Discharge	ESD	R6	2000	V
		GH	150	
		BH	150	
Operating Temperature	T_{opr}	-40~+85		°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40~+90		°C
Soldering Temperature	T_{sol}	Reflow Soldering : 260°C fo 10sec Hand Soldering : 350°C for 3 sec		

表 2.2 電-光特性規格 ($T_a = 25^\circ C$)

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Condition	
Luminous Intensity	I_v	R6	112	--	450	<i>mcd</i>	$I_F=20mA$
		GH	285	--	1120		
		BH	112	--	450		
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$	--	120	--		$I_F=20mA$	
Peak Wavelength	λ_p	R6	--	632	--	<i>nm</i>	$I_F=20mA$
		GH	--	518	--		
		BH	--	468	--		
Dominant Wavelength	λ_d	R6	621	--	631	<i>nm</i>	$I_F=20mA$
		GH	520	--	530		
		BH	465	--	470		
Spectrum radiation Bandwidth	$\Delta\lambda$	R6	--	20	--	<i>nm</i>	$I_F=20mA$
		GH	--	35	--		
		BH	--	35	--		
Forward Voltage	V_F	R6	--	2.0	2.4	<i>V</i>	$I_F=20mA$
		GH	--	3.5	4.0		
		BH	--	3.5	4.0		
Reverse Current	I_R	R6	--	--	10	<i>uA</i>	$I_F=20mA$
		GH	--	--	50		
		BH	--	--	50		

2.2 色彩檢知器元件特性

感光二極體基本上是操作於反向偏壓 $P-N$ 接面，當在 $P-N$ 接面的空乏區施加電場，此時光信號施加於感光二極體，空乏區會將由光產生的電子-電洞對予以分離，進而產生電流，因此就有電流流至外部電路。

本文所選用之色彩檢知器為由 CAPPELLA 所生產之 CM3302 內含三個感光二極體，採用 CMOS 製程可分別對紅光波長 (630nm)、綠光波長 (530nm)、藍光波長 (467nm) 檢測三原色發光二極體亮度變化，如圖 2.3(a) 為此感光原件對於三原色波長所對應範圍，此零件並可濾除紅外光波長。內部組成包含操作於反相偏壓區的光二極體，電流載子增益放大器，電流與外部電路相互作用之輸出信號產生線路 [6]。CM3302 為內含 A/D 轉換器，設計只需使用一取樣週期信號既可計數偵測光源變化，並可由控制取樣信號週期調整檢測信號增益 (Gain) 值，無需調整硬體線路零件如圖 2.3(b)。

圖 2.2 為本文色彩檢知器週邊應用線路，其所需之電源為 2.7V~5.5V，本文使用 TL431 線性降壓方式提供 3.3V 給予使用，Pin11、13、15 為脈波輸出信號。

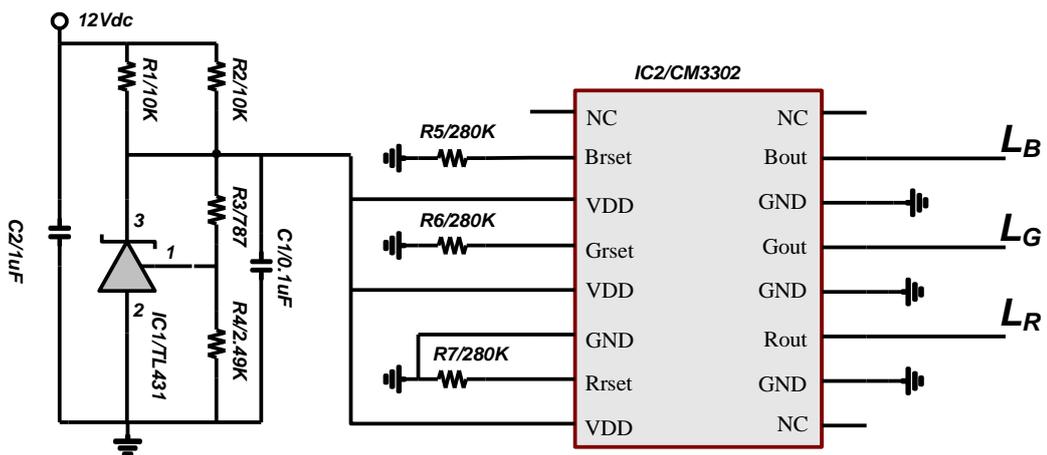
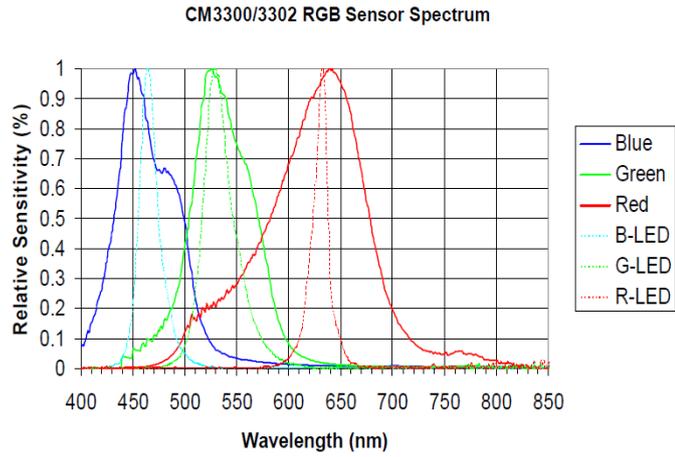
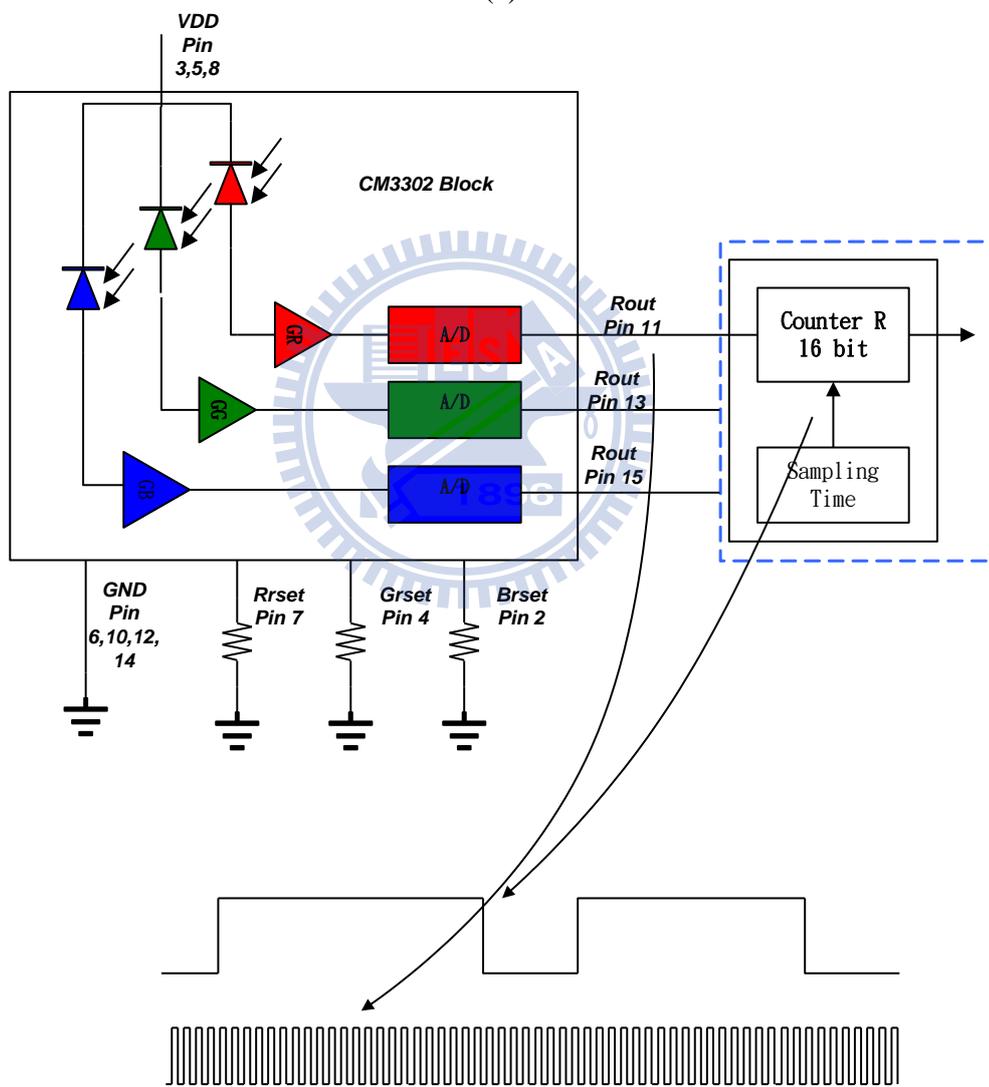


圖 2.2 色彩檢知器 CM3302 外部線路圖



(a)



(b)

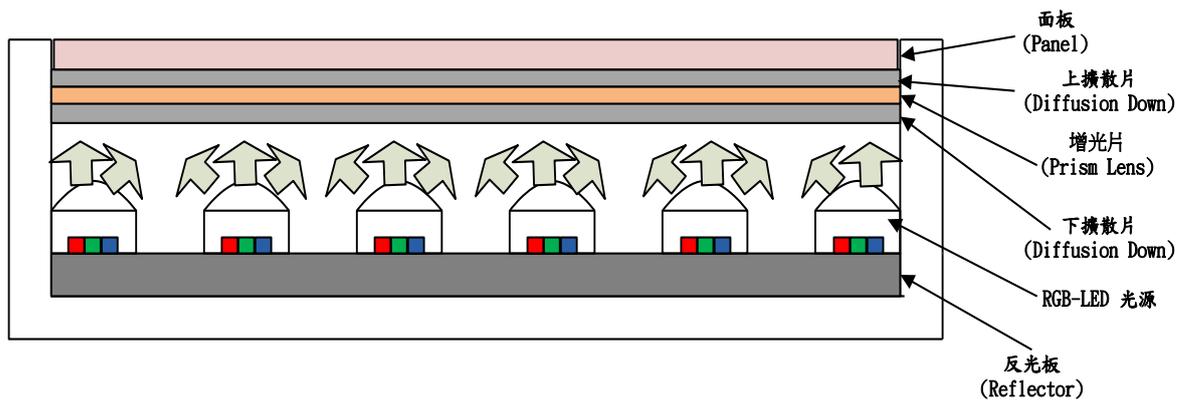
圖 2.3 (a) 紅、綠、藍色彩檢知器光譜檢測範圍；
(b) 色彩檢知器內部功能方塊圖

2.3 背光源分類

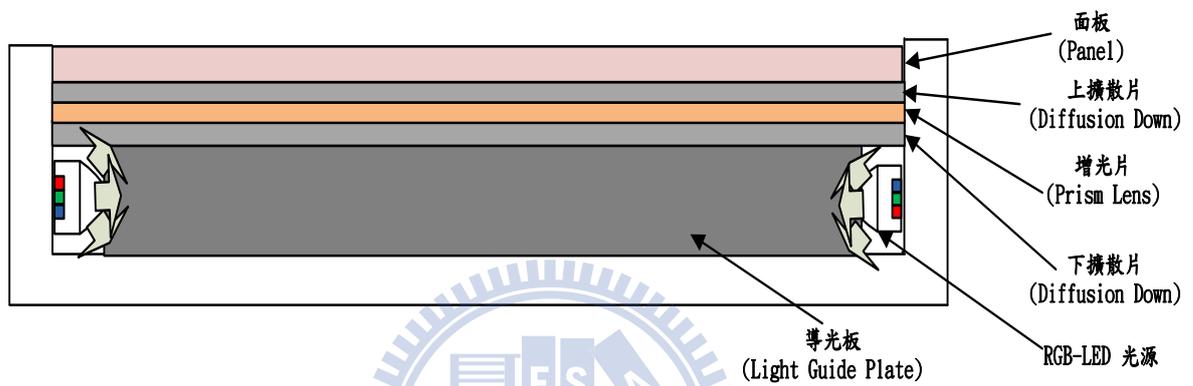
LED 背光模組(Backlight Unit)主要構成元件為背光源(Backlight)、導光板(Light Guide Plate)、擴散模(Diffuser Sheet)、反光模(Reflect Sheet)、增光片(Prism Lens)。背光源需求為均勻面光源形式但於目前的發光源 CCFL 為線光源及 LED 為點光源，因此目前應用上需使用光學結構光擴散片方式使其轉成面光源，特別在 LED 為點光源在此問題解決上比 CCFL 困難許多，尤其加上過多的擴散模會減少面板亮度，增加功率損耗。目前依照光源配置方式如圖 2.4 可分為直下式(Direct Side)與側光式(Edge Side)二大類，如下所述[3]。

- (1) 側光式背光模組將 LED 配置在液晶面板四週邊緣，再搭配導光板，讓 LED 背光源發光時，把光源傳導到面板中央區域，其缺點為光均勻不佳，優點為使用 LED 顆數少成本低、可打造薄型化(Slim Type)液晶電視。
- (2) 直下式背光模組將 LED 排列於液晶面板下方，其缺點為需使用較多小功率的 LED 組成，具有成本較高、無法薄型化的缺點，但可使用區域亮暗(Local Dimming)驅動控制方式增加對比度，使畫面更細膩，並可降低系統功率消耗。

目前市面上薄型化液晶電視大都使用側光式而對於高對比度及大尺寸液晶電視為使用直下式背光源。本文為使用直下式 21” RGB-LED 配置方式做為測試光源。



(a)



(b)

圖 2.4 背光源配置方式示意圖：(a)直下式；(b)側光式

2.4 RGB LED Light Bar 線路圖

本文背光源採用直下式背光源，共有三片 Light Bar 子板組成 21” 直下式 RGB-LED 背光源，其每一片子板由圖 2.5 線路組成，共有 6 串 RGB-LED Light Bar，每一串 20 顆 RGB-LED 串接組成。

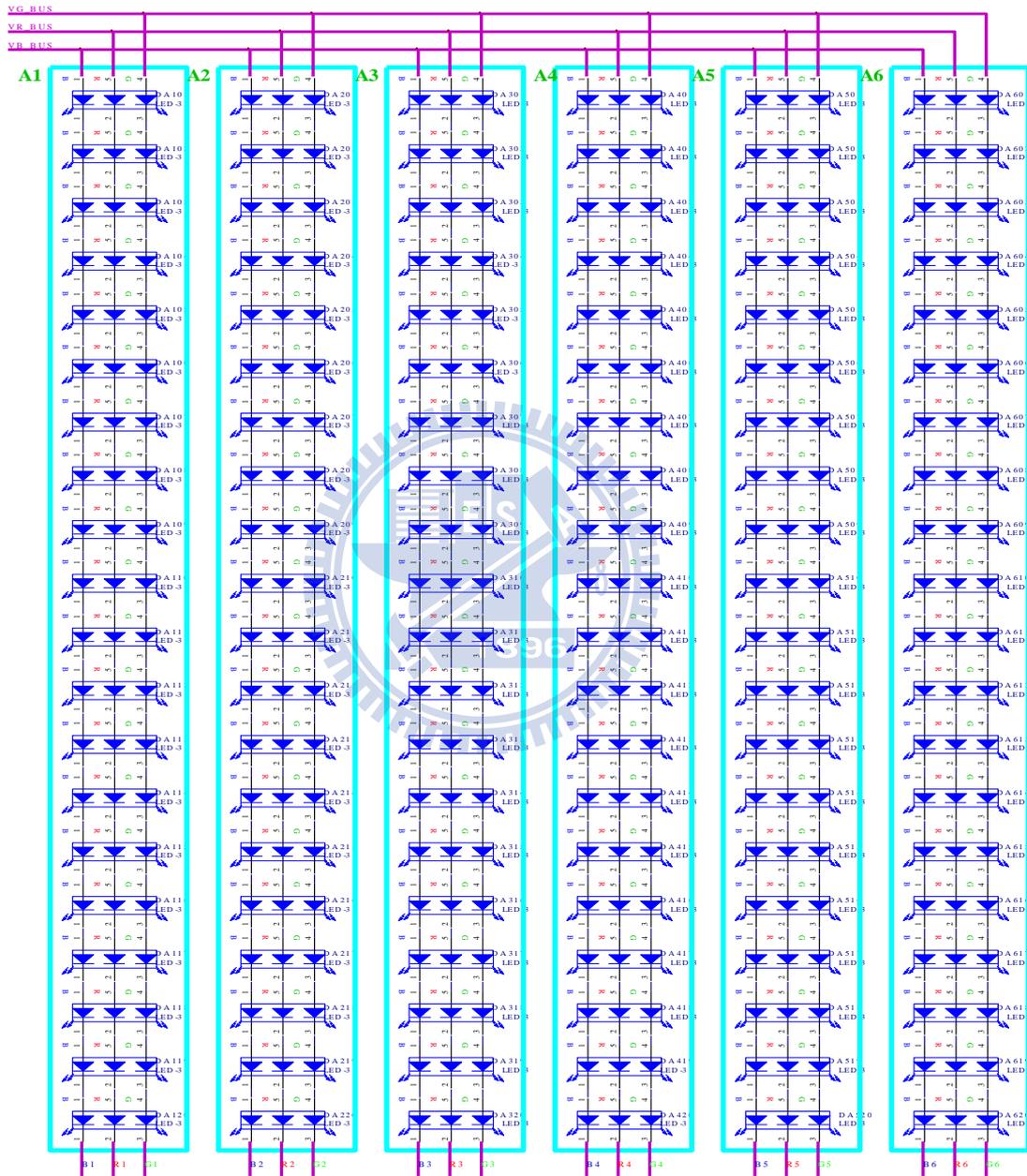


圖 2.5 RGB-LED Light Bar 線路圖

2.5 背光源驅動電源模組架構

本文實驗之背光源採用 360 顆 RGB-LED 組成 21” 直下式背光源，使用 18 串 RGB-LED Light Bar 並聯，每一串有 20 顆 RGB-LED 串接。由規格書得知於順向電流 20mA 條件下，紅光 LED 順向電壓為 2V、綠光 LED 順向電壓為 3.5V、藍光 LED 順向電壓為 3.5V，因此於每一串 RGB-LED 上所需之直流驅動電壓如下。

$$V_{DC} = \text{每一串發光二極體數目} \times V_F$$

$$V_R = 20 \times 2.0 = 40V_{DC}$$

$$V_G = 20 \times 3.5 = 70V_{DC}$$

$$V_B = 20 \times 3.5 = 70V_{DC}$$

於設計 LED 驅動電壓需選擇 R-LED DC 40V 以上，G、B-LED DC70V 以上確保發光二極體於電流驅動線路開關導通時均能操作在設定之額定電流 20mA，本文分別選用紅光 45V 及綠、藍光 75V，表 2.3 為電源模組基本電路規格。

圖 2.6 為電源模組架構組成，共有三個電源功率級：

- (1) 功率因數修正器(Power Factor Correction, PFC)由操作於邊界模式(Boundary Conduction Mode, BCM)之升壓架構(Boost Converter)組成，以提高功率因數及降低總諧波失真並提供穩定電壓源給後級之 DC/DC 轉換器，BCM PFC 具有可減少儲能電感量以降低 Choke 尺寸、具有零電壓切換，適用於提高切換頻率降低 Choke 尺寸及易於設計的優點。於此功率級使用之 IC 為 TI UCC28051。
- (2) 待機模式電源(Standby Power)：返馳式轉換器(Flyback Converter)架構具有使用零件數少、功率切換開關少、架構簡單及適合於小功率電源設計優點，特別於目前家電產品對於待機損耗要求愈來愈嚴謹，因此通常需設計一待機電源給予系統使用所以目前設計上待機模式之功率級多為選擇返馳式架構。於

此功率級選用之 IC 為 Sanken A6069，此 IC 於待機模式時可動作在突衝模式(Burst-mode)減少功率元件切換損及磁性元件之磁滯損。另以此架構提供 12VDC 給二次側 IC 使用和一次側 PFC 與串聯諧振架構(LLC)IC 輔助電源使用。

- (3) 主功率級(Main Power)：由串聯諧振電感 L_r 、諧振電容 C_r 和激磁電感 L_m 組成半橋串聯諧振 LLC 架構提供大功率高效率電源給背光源使用，其具有一次零電壓切換二次側零電流切換以減少切換損失、變壓器操作於 1、3 象限磁心利用率高，及工作週期接近 50%輸出使用全波整流可有效減少輸出電容使用同時降低漣波的優點。於此功率級選擇之 IC 為 Sanken SSC9512 驅動此架構並提供二組直流電壓源給予背光源使用。

於 LED TV 背光電源模組趨勢為薄型化(Slim type)及高效率，應用上會有高度限制，目前於高度限制上為 12mm 以下且於目前主流尺寸 46"以下之最大輸入功率為 250W 以下，因此在薄型化需求下提高切換頻率(Switching Frequency)降低零件尺寸是必要的方式，而提高切換頻率切換損則增加，因此具有零電壓切換之邊界模式 PFC 及串聯諧振式 LLC 被廣泛使用於 TV 背光源系統使用。

表 2.3 電源模組設計規格

1	Item	Symbol	Min	typ	Max	Unit
2	Input voltage	Vac	90	—	264	V_{rms}
3	Input Frequency	Freq	57	—	63	H_z
4	Output voltage	12VDC	—	12	—	V_{rms}
		45VDC	45	—	—	
		75VDC	75	—	—	
5	Output current	12V	—	1	—	A_{rms}
		45V	—	0.25	—	
		75V	—	0.72	—	

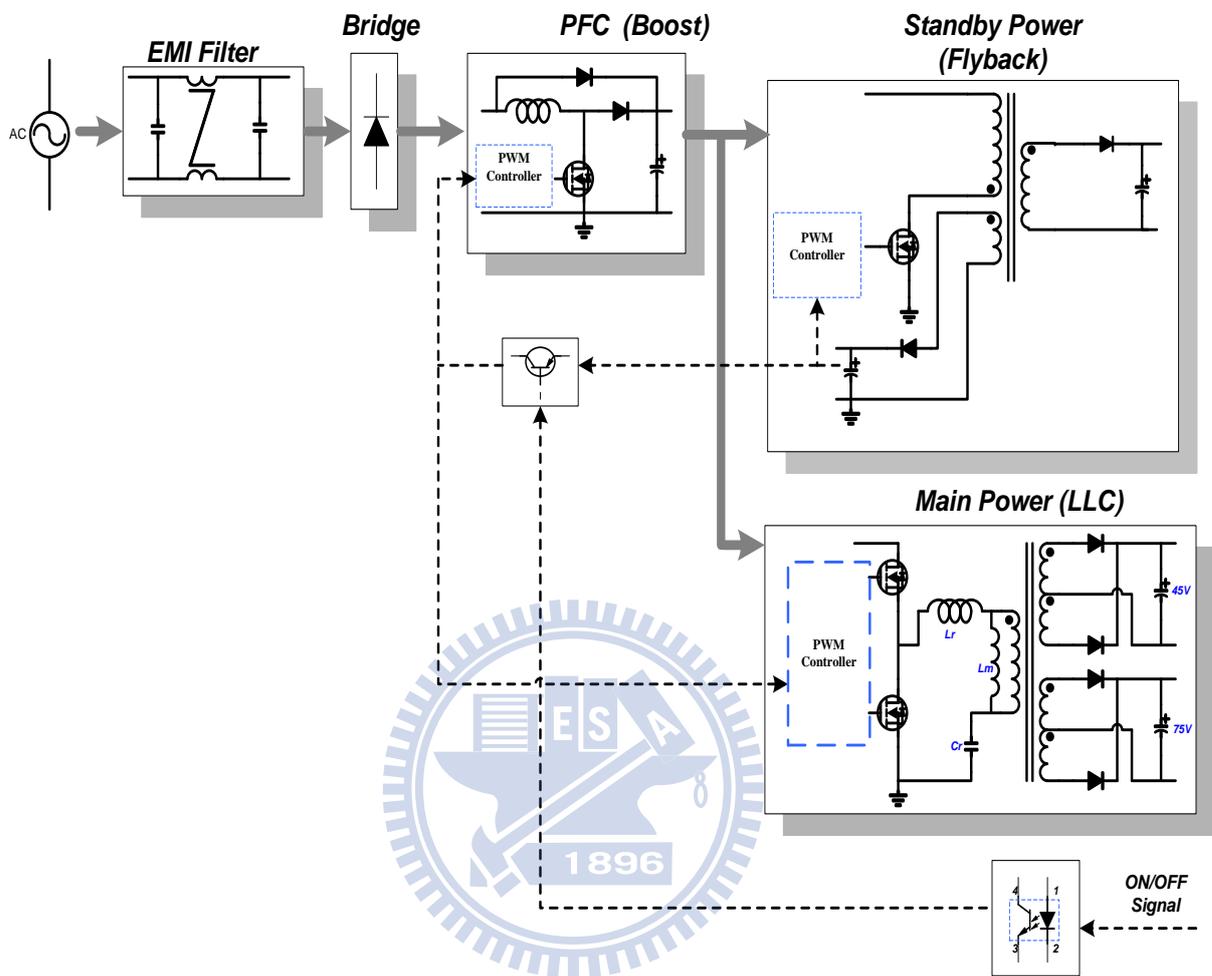


圖 2.6 背光源電源模組架構

2.6 RGB-LED 均流和驅動方式及其線路

LED 為電流驅動元件，其發光亮度與正向電流成正比關係，依電流驅動方式可分為二種。

(一)採用直流方式調光(Amplitude Modulation, AM)，此方式為以線性直流方式驅動發光二極體電流調整亮度，其優點為有較佳發光效率，但由圖 2.7(a)、(b)與(c)分別為紅、綠、藍發光二極體順向電壓與順向電流關係曲線，當改變順向電流時 V_F 也會隨著順向電流改變，因此其主波長會發生偏移。再由圖 2.8(a)、(b)與(c)順向電流與發光強度關係曲線，可了解以 AM 直流調光方式之直流電流與發光二極體輸出亮度非線性關係，並因本文之實驗主要目的為使用三原色混光控制驅動方式，因此以 AM 補償亮度方式會造成混光比例不容易控制及調光時產生色偏。

另由於背光源系統會有要求最小調光需至 5%以內，而 LED 臨界電壓導通處並非理想陡峭改變，而是有一段較為緩和變化的臨界驅動，因此直流調光方式於此種模式下較難滿足系統要求。

(二)利用 LED 具有快速亮滅特性採用脈波寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM)調光，此方式為利用改變 PWM 驅動信號責任週期控制 LED 亮度，既電流峰值不變，改變平均電流方式，此方式具有色度座標變動量小，因此適合於混光控制。至於 PWM 驅動控制信號頻率於實際設計上需選擇超過 $70H_z$ ，以避免 PWM 驅動時人眼感覺閃爍，考慮此問題本文選用 $152H_z$ 分別控制 RGB-LED Duty [39][40]。

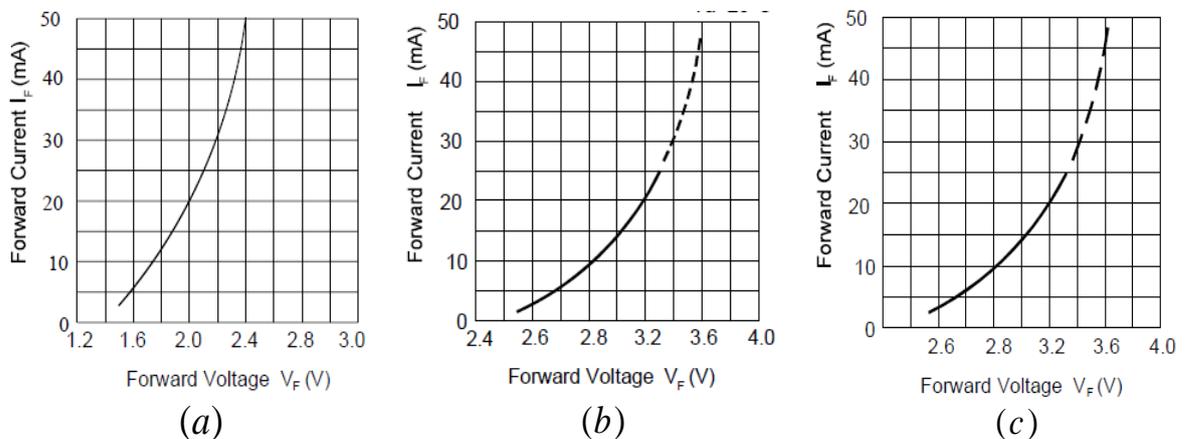


圖 2.7 順向電壓與順向電流曲線圖：(a) R-LED；(b) G-LED；(c) B-LED

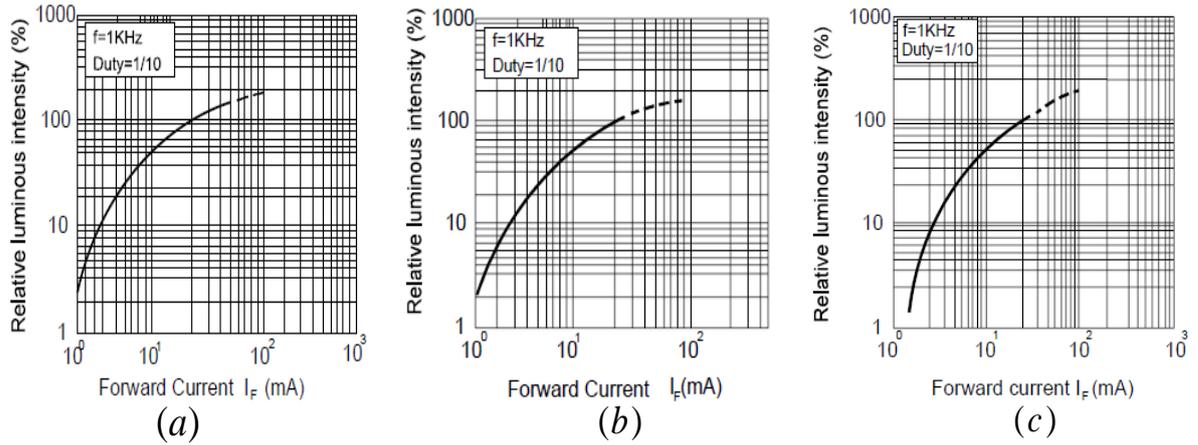


圖 2.8 相對亮度與順向電流曲線圖：(a) R-LED；(b) G-LED；(c) B-LED

至於本文背光源為採用直下式方式，排列方式使用串並聯回路，為使面板各區域亮度能夠均勻，所以需加上均流驅動線路使每一串 LED 電流能夠相等，均流驅動線路如圖 2.9(a)與(b)。

其中圖 2.9(a)為使用電流鏡 (Current Mirror, CM) 方式，其 LED 電流可由式(2-1)說明與可由電流設定電阻 R 決定驅動電流，此電路方式優點為架構簡單、零件少及成本低，但電流平衡性與晶體參數 (β 、 V_{BE}) 相關，所以電流平衡性不佳。

$$I_{LED} = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_{Rn} = \frac{1}{1+\beta} \times I_R \approx I_R = \frac{V_{peak} - V_{BE}}{R} \quad (2-1)$$

圖 2.9(b)為使用轉導負回授放大器 (Transconductance Amplifier, TA)，由於大器 (OP Amplifier)，電流感測電阻，MOSFET 電晶體所組成之電流負回授線路，由於理想 OP 輸入端具有虛接地特性，既 OP 反相輸入端電壓會追隨非反相輸入端電壓，當電流控制命令 $V_{PWM,R}^*$ 為低電位時，則 OP 輸出為低電位，開關晶體操作於截止區，流經 LED 上電流為零。當電流控制命令 $V_{PWM,R}^*$ 為高電位時，則 OP 輸出為高電位，開關晶體操作於三極體區，流經 LED 上電流可由式(2-2)表示。此種方式平衡性佳，LED 驅動電流由感測電阻決定。

$$I_{LED} = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_{Rn} \approx \frac{V_{peak}}{R} \quad (2-2)$$

本文之實驗為應用於背光源，因此為使有較佳亮度均勻性所以選用圖 2.9(b)方式驅動 RGB-LED 電流。其驅動電流峰值由表 2-1 最大額定操作範圍選擇 0.8 倍順向電流 (I_F) 為 20 mA， V_{peak} 由控制器產生之 3.3V 驅動信號，將其代入式(2-2)可求得電流設定電阻 R 。

$$R = \frac{V_{peak}}{I_{LED}} = \frac{3.3(V)}{20(mA)} = 165(ohm)$$

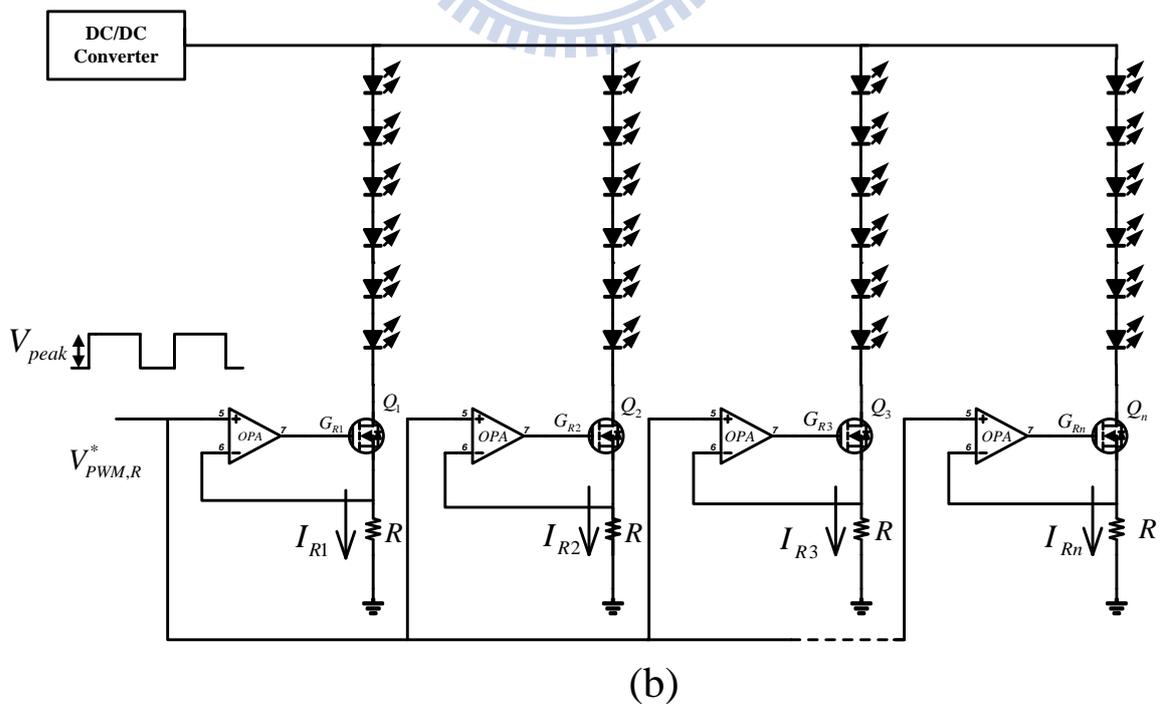
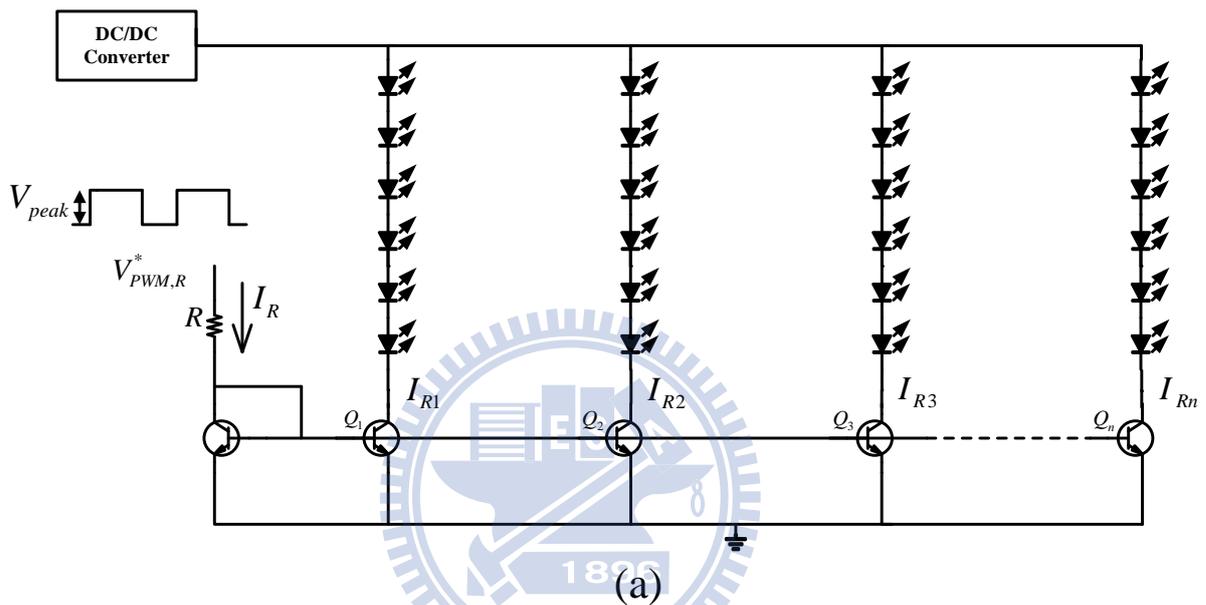


圖 2.9 電流驅動平衡線路方式：(a) 電流鏡；(b) 轉導負回授放大器

第三章 RGB LED 參考資料量測與建立

3.1 量測方式與架設

圖 3.1 為本文實驗量測架設方式，將 RGB-LED 背光源模組、LED 電流控制驅動模組、LED 電源模組置於環溫控制 Chamber 內，並將 Topcon BM7 色彩分析儀置於背光模組中央區域距離面板 10mm 量測 $CIE-u'v'$ 座標值及亮度，紅、綠、藍三原色亮度信號 (L_R 、 L_G 、 L_B) 由背光源接至 *UBD-Spartan3E-ST3E* 發展板並產生脈波寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 電流控制命令 ($V_{PWM,R}^*$ 、 $V_{PWM,G}^*$ 、 $V_{PWM,B}^*$) 亮度控制信號輸出到 LED 電流控制驅動模組，驅動 LED 電流控制三原色亮度。

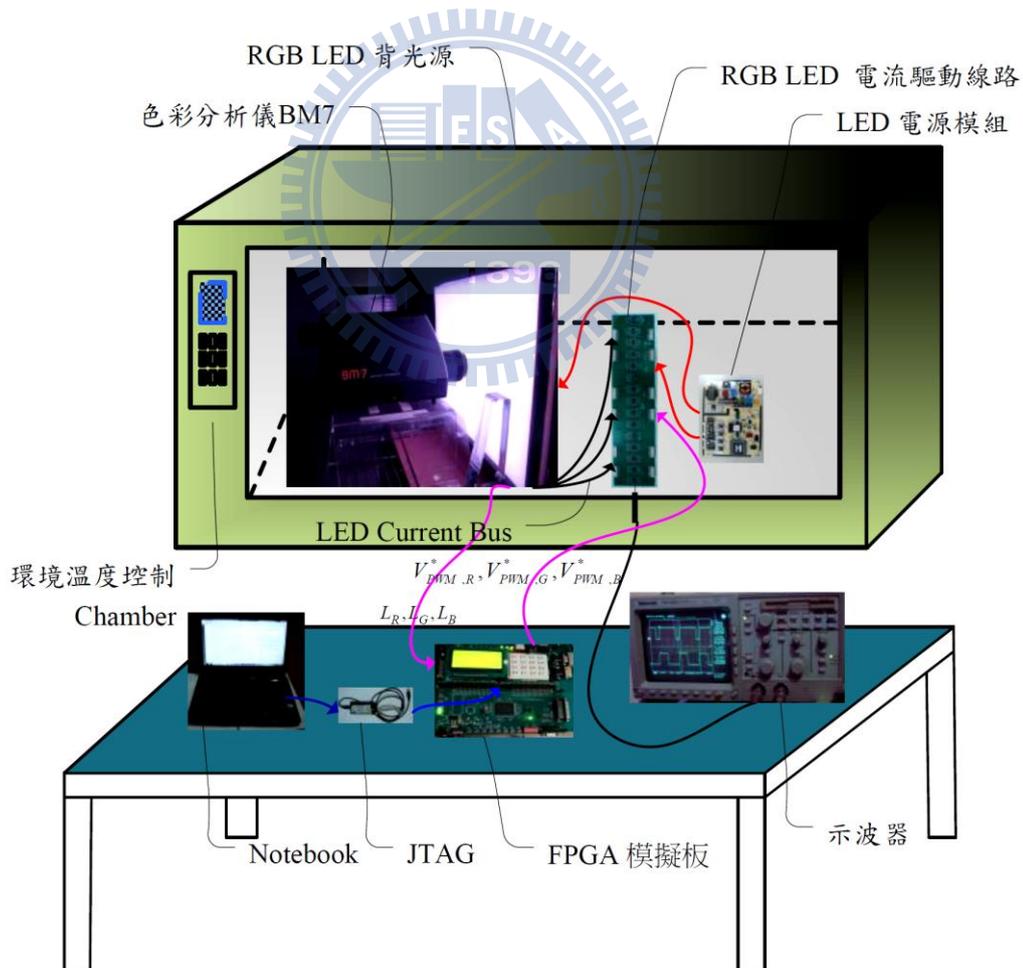


圖 3.1 量測方式與架設

3.2 RGB-LED 溫度變化特性量測

圖 3.2(a)、(b)與(c)為分別將紅光、綠光、藍光 LED 設定於產生圖 3.7 參考光源所需電流控制命令週期 80.0%、46.0%、43.3%之三原色各顯示畫面，並用色彩分析儀分別量測三原色發光二極體溫度變化時亮度 (Luminance)及色度偏移量(Δuv)變化情形如圖 3.3。其中圖 3.3(a)為亮度變化情形，其中紅光 LED 受溫度上升而亮度下降最為明顯，藍光 LED 因電位能障較深因此對溫度具有較高侷限能力亮度較不受溫度影響，綠光 LED 於波長 555nm 人眼具有較高敏感系數，因此綠光亮度的變化對於儀器量測及人眼感覺較明顯。圖 3.3(b)為溫度變化時紅、綠、藍發光二極體色度座標偏移結果，藍光、紅光 LED 偏移較多，並將量測之色度座標繪製於 $CIE-u'v'$ 座標上如圖 3.4。可了解溫度上升時三原色之色度座標為往內移，其表示溫度上升時三原色發光二極體背光原色域範圍縮小。

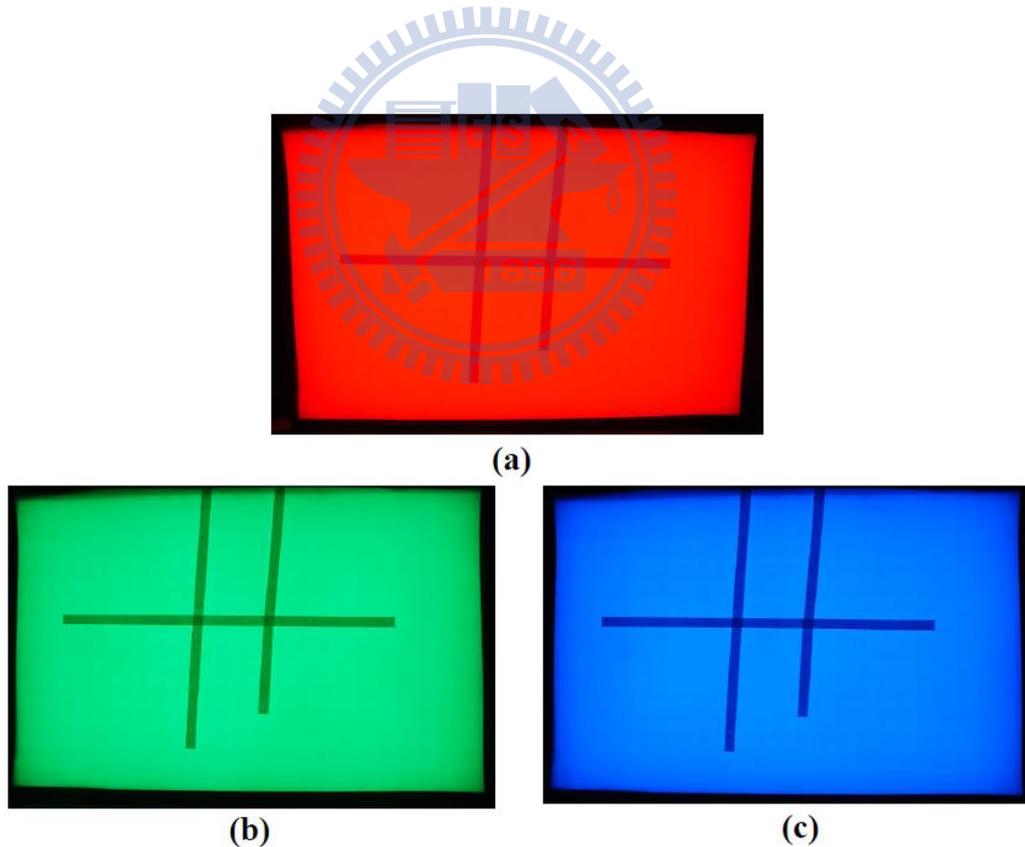


圖 3.2 分別驅動顯示紅、綠、藍發光二極體顯示圖：
(a)R-LED Duty=80.0%；(b)G-LED Duty=46.0%；(c) B-LED Duty=43.3%

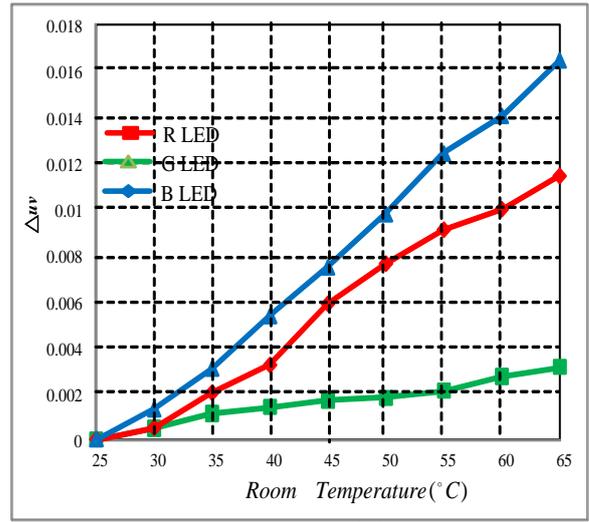
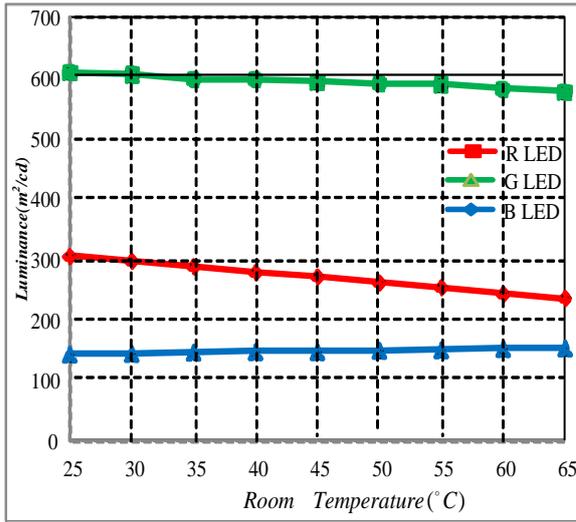


圖 3.3 (a)溫度變化與亮度關係；(b)溫度變化與 Δuv 關係

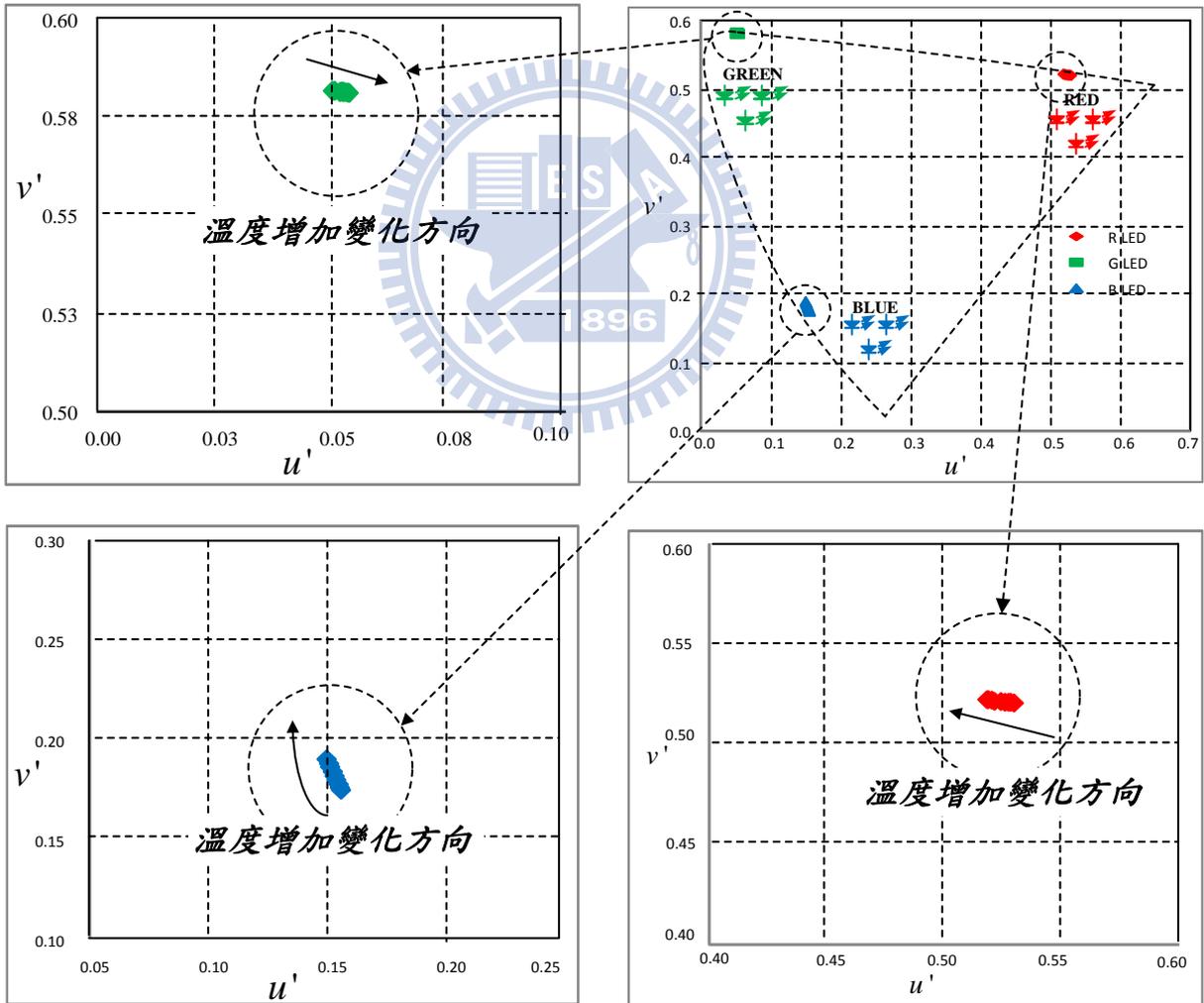


圖 3.4 溫度變化與色域變化關係

3.3 PWM 驅動方式與 LED 亮度及色彩檢知器輸出變化

圖 3.6 為開回路狀態下使用 PWM 信號輸入至電流驅動平衡線路控制 LED 亮度，改變紅、綠、藍發光二極體驅動信號週期，量測 PWM 信號工作週期從 10% 變化到 100% 及頻率設定為 152Hz 時與 LED 亮度及色彩檢知器輸出關係。其中脈波信號與 LED 電流關係以及色彩檢知器取樣信號設定如圖 3.5 所示，電流峰值 (I_{Peak}) 由表 2.1 發光二極體最大額定電流設定於 20mA，取樣信號頻率設定為 9.5 Hz，取樣時間大小為 94.7ms。

圖 3.6(a) 紅、綠、藍發光二極體亮度與 PWM 信號週期關係，其測試結果為 PWM 驅動方式與發光二極體亮度呈現線性關係，LED 平均驅動電流、發光亮度與 PWM 信號關係可用式 (3.1) 和 (3.2) 表示。圖 3.6(b) 為使用 PWM 信號驅動發光二極體與色彩檢知器 (CM3302) 之輸出關係，並由 UBD-Spartan3E-ST3E 發展板讀出計數信號結果並繪製於圖可顯示此零件檢測三原色亮度之輸出信號與驅動信號週期及亮度為線性關係。

$$LED \text{ 平均電流} = I_{peak} (mA) \times PWM \text{ Duty}(\%) \quad (3.1)$$

$$LED \text{ 亮度} = 100\% \text{ 亮度} (cd/m^2) \times Duty(\%) \quad (3.2)$$

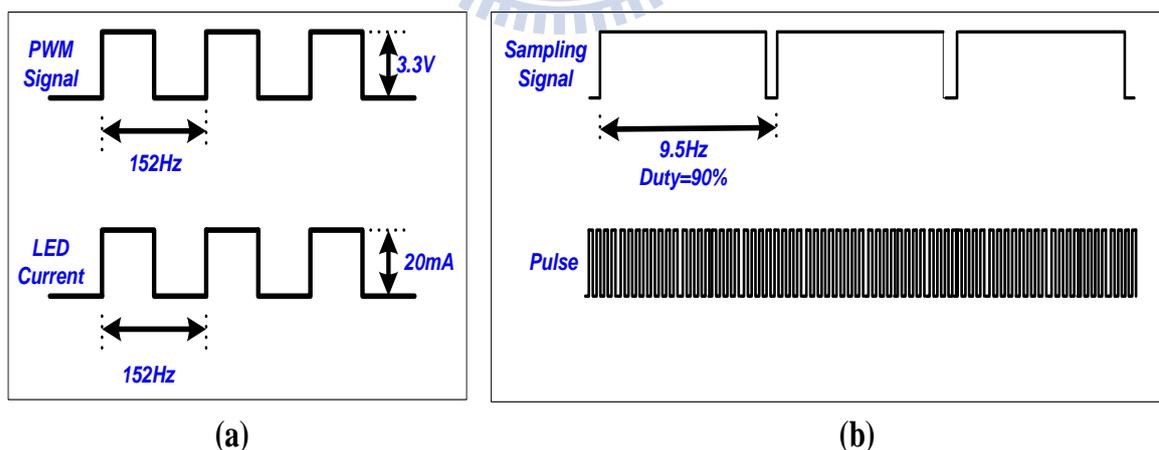
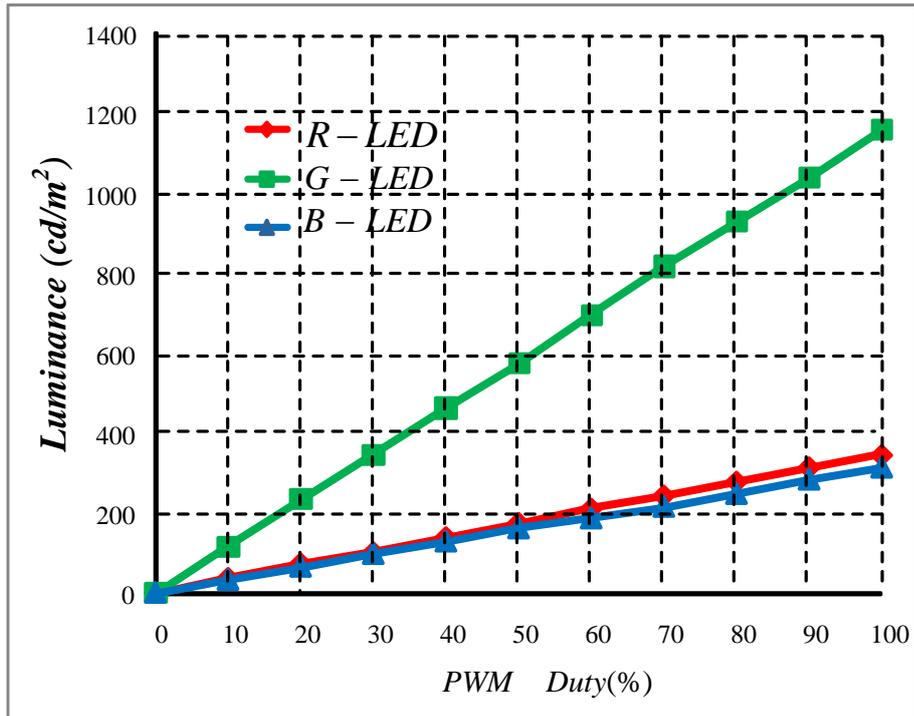
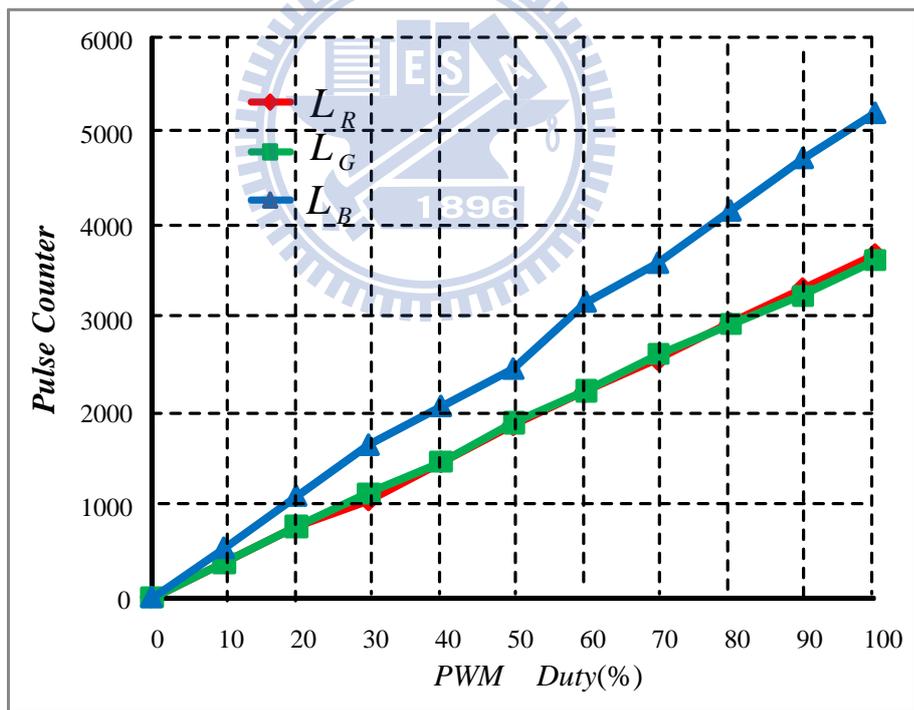


圖 3.5 (a) PWM 電流驅動信號；(b) 色彩檢知器取樣信號



(a)



(b)

圖 3.6 PWM 信號與：(a)LED 亮度；(b)色彩檢知器 輸出關係

3.4 參考色溫點資料量測

紅、綠、藍發光二極體可用色彩加法混光方式產生於色度坐標上的任一顏色，而於 TV 背光源中使用的白光大致選用色溫曲線 9000K 以上之色溫度點。本文選用色溫 9500K 為參考色溫，因此利用圖 3.1 方式將環境溫度設定於室溫(Ambient Temperature)25°C，利用 PWM 驅動信號控制電流調整三原色亮度並使用色彩分析儀(BM7)量測使三原色混光後色溫值接近色溫 9500K 的色度座標，並用 *UBD-Spartan3E-ST3E* 發展板將色彩檢知器脈衝信號使用圖 3.3(b)方式讀出並顯示於其七段顯示器單元上，如圖 3.7 為分別將紅、綠、藍發光二極體設定於色溫 9500K 光源回授參考命令且依亮度變化量測色彩檢知器輸出。

因需考慮環境溫度從 25°C 變化至 65°C 時，紅光發光二極體需有足夠責任週期變化範圍，因此由圖 3.3(a)紅光亮度輸出減少 70(m^2/cd)並由式(3.2)亮度與週期關係式，紅光 LED 最大亮度為 346(m^2/cd)可得環境溫度從 25°C 變化至 65°C 紅光二極體需有 20%週期變化量，因此本文選用圖 3.7 亮度(Luminance) 80%為參考色溫點最大亮度輸出，其所對應參考光源控制命令分別為 $f_R^* = 720_H$ 、 $f_G^* = 580_H$ 、 $f_B^* = 540_H$ 。

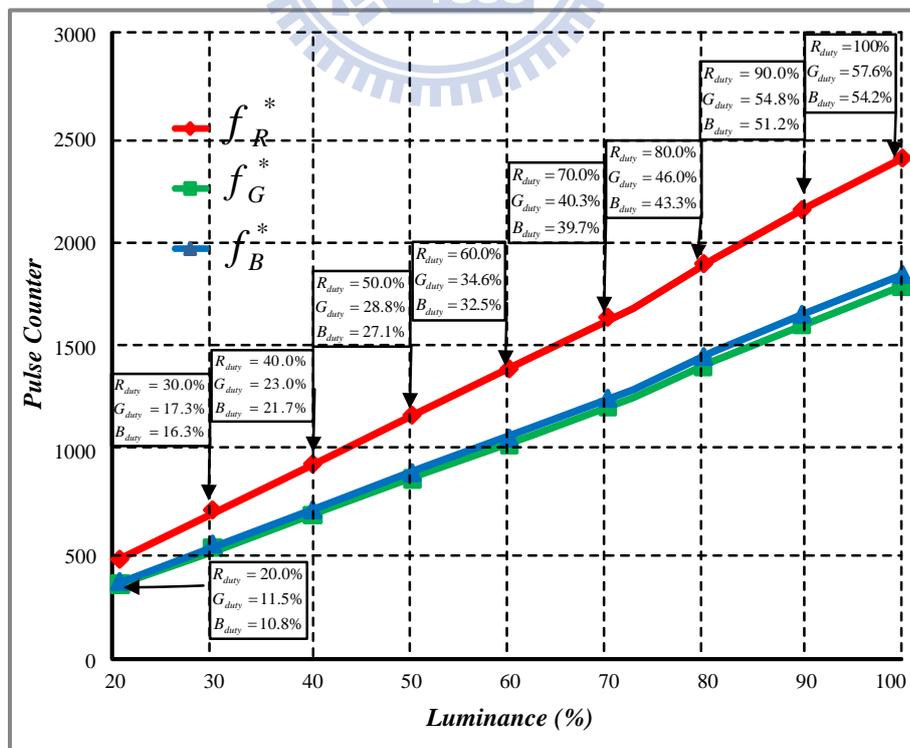


圖 3.7 色溫 9500K 所對應亮度變化之色彩檢知器脈衝信號輸出

第四章 色度偏移控制器實現

本章節描述利用現場可規劃邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array, FPGA)實現圖 1.6 之紅、綠、藍發光二極體混光色度偏移控制器設計及電流控制命令脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)信號產生方式。

4.1 紅、綠、藍混光控制模組規劃

圖 4.1 表示紅、綠、藍三原色混光色度偏移補償控制器實現之 FPGA 晶片內部系統架構方塊圖，利用 VHDL 完成各區塊模組功能，大致包含了除頻模組(Frequency Divider)、取樣信號週期控制模組(Sampling Time)、三原色亮度回授信號顯示模組(Display Unit)、色度偏移控制器計算模組(Chromaticity Shift Control, CSC)，表 4.1 表示控制模組外部信號定義，接著使用 Xilinx ISE 9.1 整合所有功能模組並燒錄於 *UBD-Spartan3E-ST3E* 發展板上，搭配如圖 1.6 外部硬體線路架構，即可完成一套 RGB-LED 背光源控制系統，以下將說明主要之色度偏移控制器模組功能性及程式控制架構。

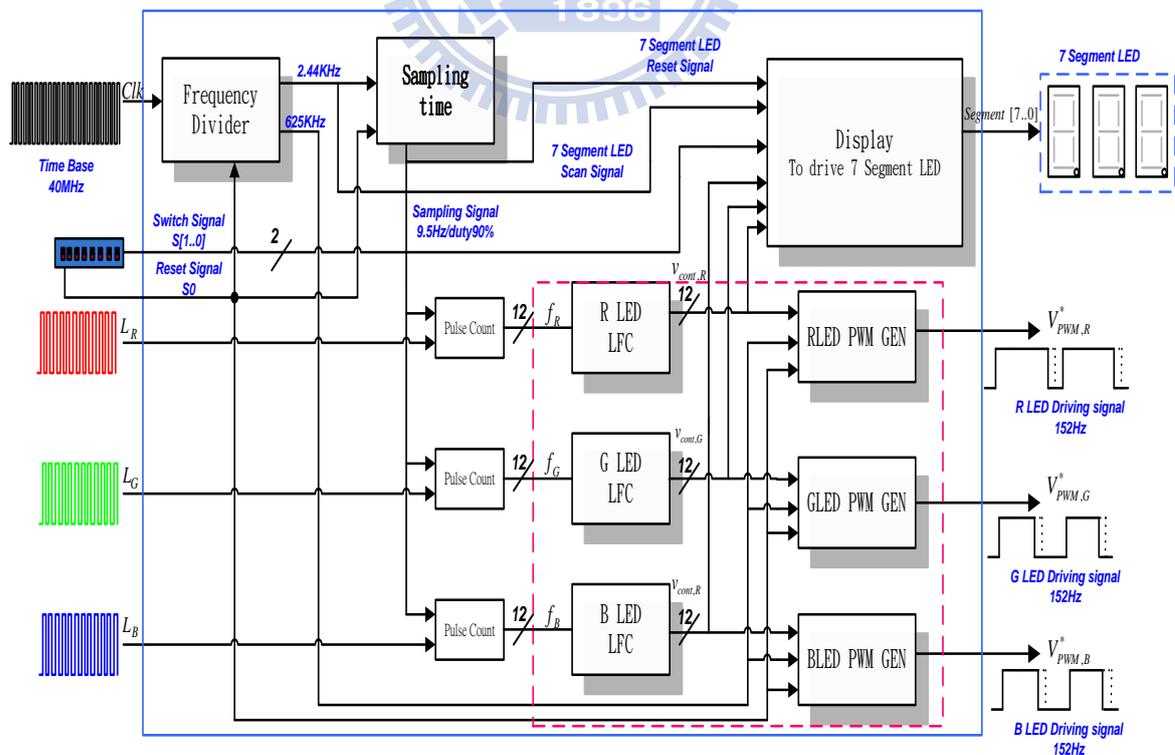


圖 4.1 三原色混光控制晶片系統架構

表 4.1 三原色混光控制晶片外部信號定義

腳位名稱	屬性	訊號定義
Clk	Input	模組時脈(40MHz)
$S[1..0]$	Input	解碼顯示選擇信號
$Reset$	Input	重設暫存器訊號
$L_R \quad L_G \quad L_B$	Input	三原色亮度回授信號
$V_{PWM,R}^* \quad V_{PWM,G}^* \quad V_{PWM,B}^*$	Output	LED 電流驅動信號($V_{peak-peak} : 3.3V$)
$Segment[7..0]$	Output	七段 LED 顯示器驅動信號

4.2 色度偏移控制模組設計

控制器實現如圖 4.2 及信號定義如表 4.2 所示，其中 f_R^* 、 f_G^* 、 f_B^* 為設定參考光源之設定值，既改變光源座標可由此設定，誤差信號 $e_{f,R}$ 、 $e_{f,G}$ 、 $e_{f,B}$ 大小表示紅、綠、藍三原色亮度與參考值設定之亮度變化誤差大小，將此誤差信號輸入至亮度控制器 (Luminance controller) 中分別計算紅、綠、藍電流控制信號週期補償係數，此亮度補償器參數權重設計考慮如 1.2 節所述。

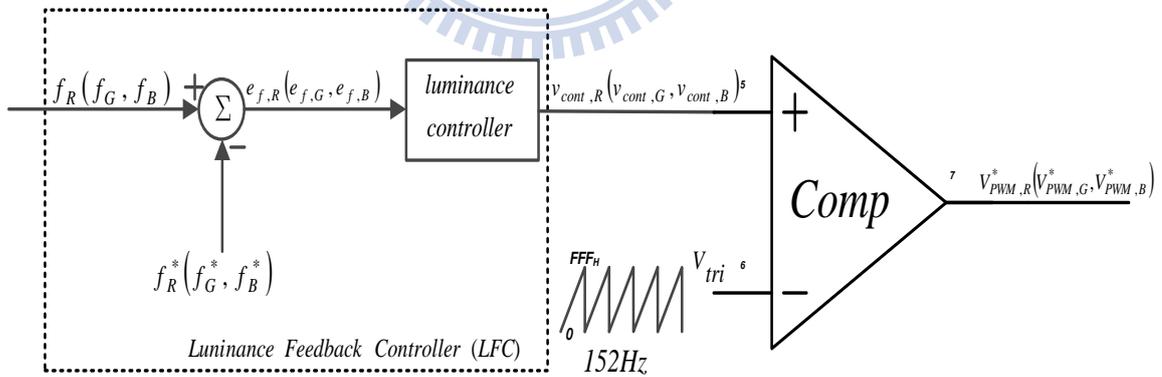


圖 4.2 CSC 控制器回路

表 4.2 CSC 控制器信號定義

訊號名稱	位元數 (bit)	訊號定義
$f_R \ f_G \ f_B$	12	亮度回授信號計數值
$f_R^* \ f_G^* \ f_B^*$	12	參考光源設定值
$e_{f,R} \ e_{f,G} \ e_{f,B}$	12	誤差信號
$v_{cont,R} \ v_{cont,G} \ v_{cont,B}$	12	工作週期命令資料信號
$V_{PWM,R}^* \ V_{PWM,G}^* \ V_{PWM,B}^*$	1	LED 電流驅動信號命令

將誤差信號計算關係式(4.1)結果輸入式(4.2)、(4.3)和(4.4)依據紅、綠、藍三原色刺激值設定補償比重以決定電流驅動命令信號之週期變化量，其中參數定義顯示於表 4.3。

表 4.3 補償器參數定義

參數名稱	參數定義
[k]	下一週期補償信號係數
[k-1]	目前週期係數
x、y、z	設定每一次計算之工作週期變化大小
l、m、n	設定誤差信號範圍與光源參考值可允許之變化範圍

$$\begin{bmatrix} e_{f,R} \\ e_{f,G} \\ e_{f,B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_R \\ f_G \\ f_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} f_R^* \\ f_G^* \\ f_B^* \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$v_{cont,R}[k] = \begin{cases} v_{cont,R}[k-1] - x & e_{f,R} > l \\ v_{cont,R}[k-1] & -l \leq e_{f,R} \leq l \\ v_{cont,R}[k-1] + x & e_{f,R} < -l \end{cases} \quad (4.2)$$

$$v_{cont,G}[k] = \begin{cases} v_{cont,G}[k-1] - y & e_{f,G} > m \\ v_{cont,G}[k-1] & -m \leq e_{f,G} \leq m \\ v_{cont,G}[k-1] + y & e_{f,G} < -m \end{cases} \quad (4.3)$$

$$v_{cont,B}[k] = \begin{cases} v_{cont,B}[k-1] - z & e_{f,B} > n \\ v_{cont,B}[k-1] & -n \leq e_{f,B} \leq n \\ v_{cont,B}[k-1] + z & e_{f,B} < -n \end{cases} \quad (4.4)$$

紅、綠、藍發光二極體電流控制命令關係如式(4.5)，其中電流控制命令為將(4.2)、(4.3)與(4.4)代入(4.8)以決定導通時間，由此產生 PWM 信號控制紅、綠、藍發光二極體平均電流以控制亮度且穩定色度座標。

$$\begin{bmatrix} V_{PWM,R}^*[k] \\ V_{PWM,G}^*[k] \\ V_{PWM,B}^*[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{cont,R}[k] \\ v_{cont,G}[k] \\ v_{cont,B}[k] \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

PWM 關係式如(4.6)(4.7)和(4.8)為使用 12 位元(n)上數/下數比較方式產生 PWM，信號定義如圖 4.3。

信號責任週期(Duty Cycle)

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (4.6)$$

其中週期信號 T_s 為

$$T_s = T_{clk} * 2^n \quad (4.7)$$

高位準輸出時間

$$t_{on} = T_{clk} * v_{cont}[k] \quad (4.8)$$

其中於色度偏移控制器模組中 T_{clk} 設定為 $625 kHz$

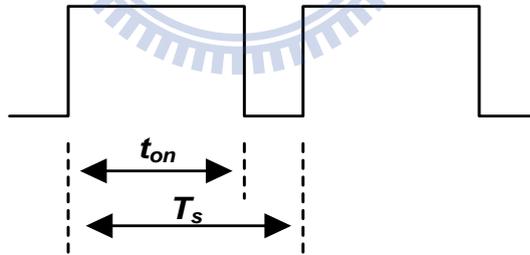


圖 4.3 脈波寬度調變信號定義

圖 4.4 表示 CSC 控制器程式撰寫流程圖，首先由圖 3.7 參考色溫點量測資料值設定於光源控制命令 $f_R^* = 720_H$ 、 $f_G^* = 580_H$ 、 $f_B^* = 5A0_H$ ，設定於色溫 9500K 光源。並由於一般背光源調光信號最小亮度為 5%~10%的最大亮度，因此本文以最小亮度 2%為判斷式($f_R = 030_H$ 、 $f_G = 023_H$ 、 $f_B = 024_H$)做為初始亮度值設定，由式(4.6)、(4.7)與(4.8)計算 $v_{cont,R} = CCE_H$ 、 $v_{cont,G} = 75E_H$ 、 $v_{cont,B} = 6ED_H$ 可得電流控制命令責任週期分別為 $V_{PWM,R}^* = 80\%$ 、 $V_{PWM,G}^* = 46.0\%$ 、 $V_{PWM,B}^* = 43.3\%$ 。

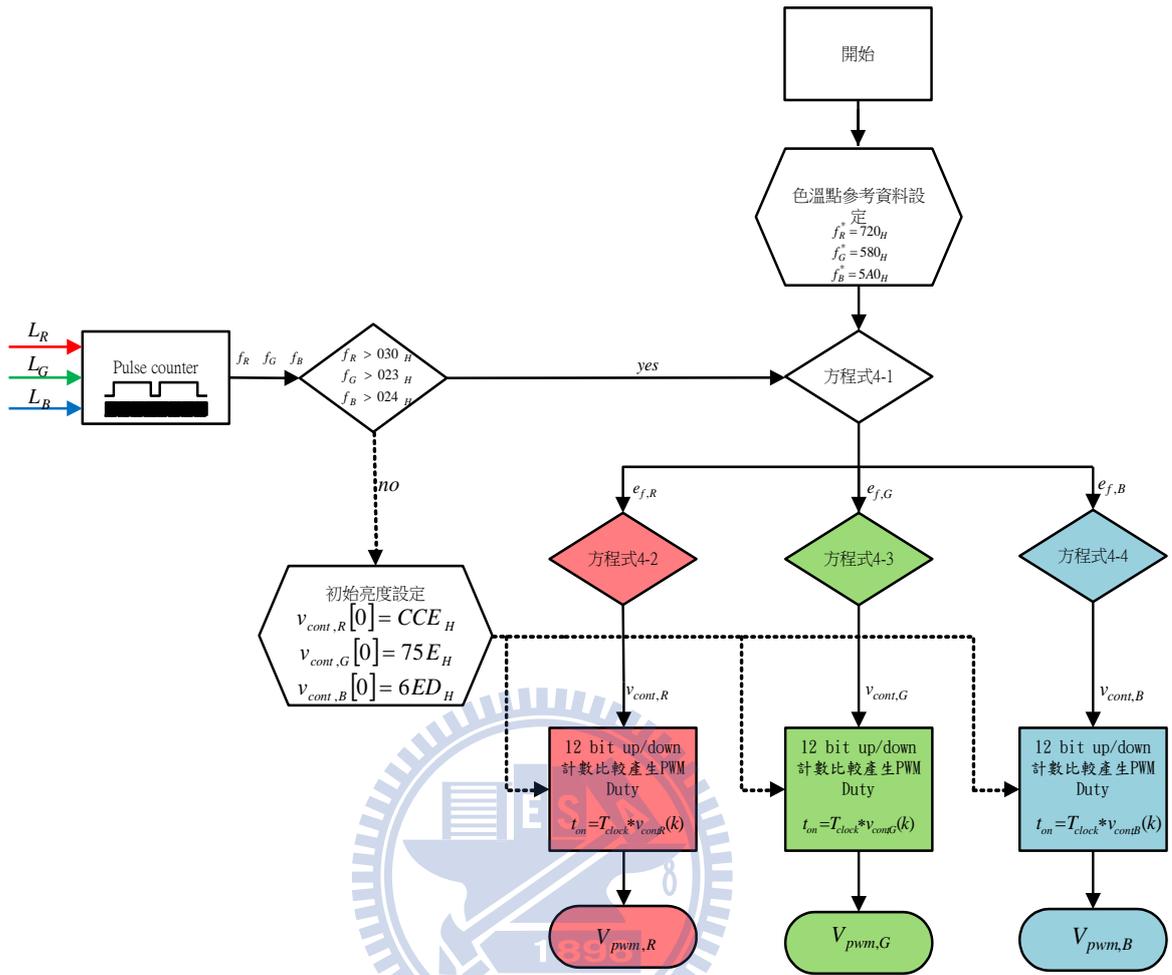


圖 4.4 CSC 控制器程式流程圖

第五章 實作結果與分析

本章節以 Xilinx 之 Spartan 系列中 XC3S250E 的晶片為實現 RGB-LED 背光源混光色度偏移控制平台，並由色彩分析儀 BM7 量測紅、綠、藍發光二極體隨溫度變化特性曲線及人眼對三原色光功率所感受刺激值大小以決定色度偏控制器(CSC)參數關係並分析。

5.1 實做電路

圖 1.6 RGB-LED 背光模組驅動架構方塊圖之硬體實現電路照片，如圖 5.1 電源模組、圖 5.2 實現色度偏移控制器之 *UBD-Spartan3E-ST3E* 發展板、圖 5.3 電流驅動平衡線路模組和圖 5.4 RGB-LED 直下式背光模組。

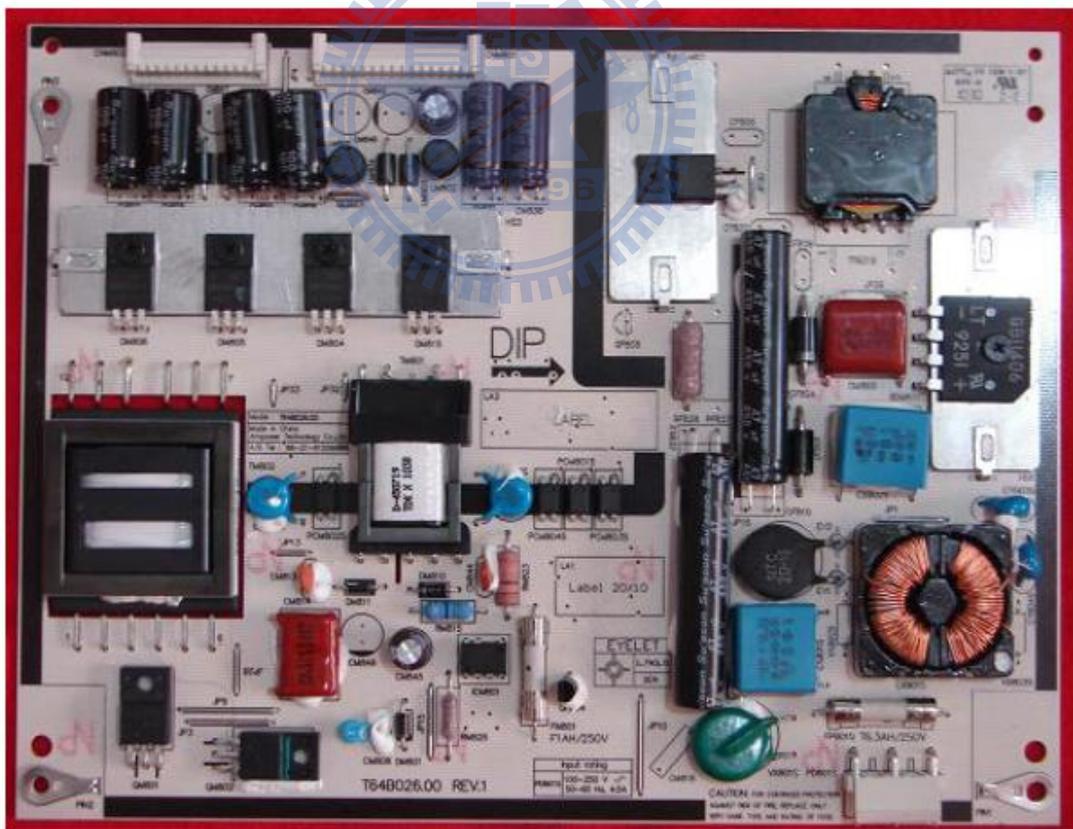


圖 5.1 電源模組



圖 5.2 UBD-Spartan3E-ST3E 發展板

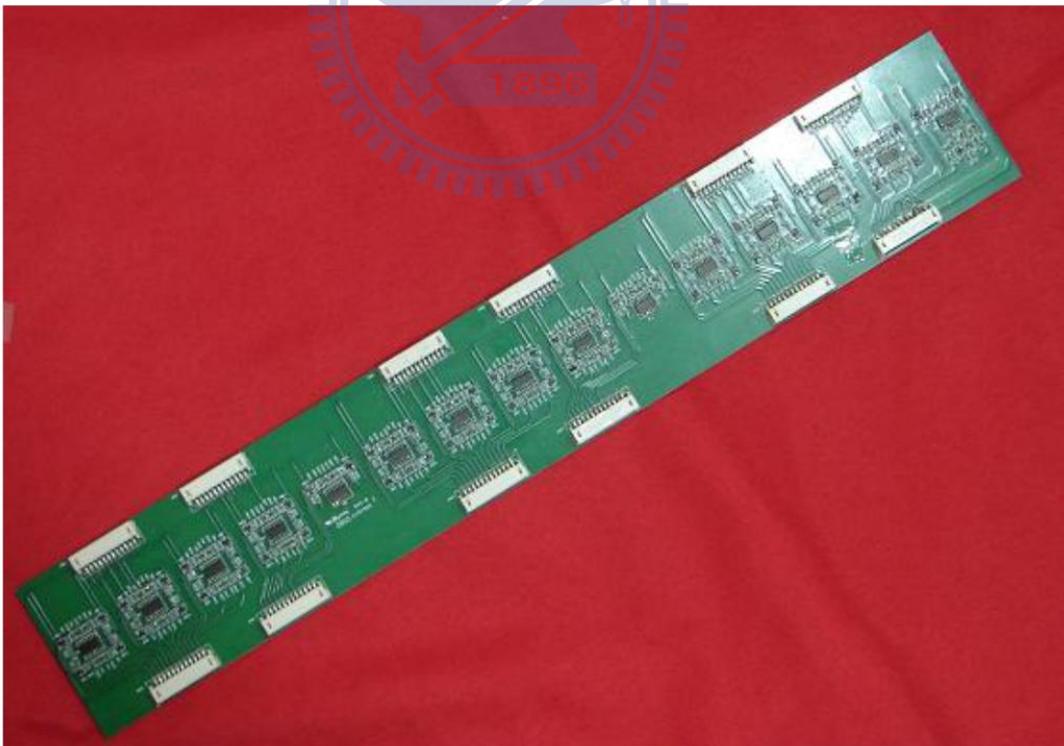
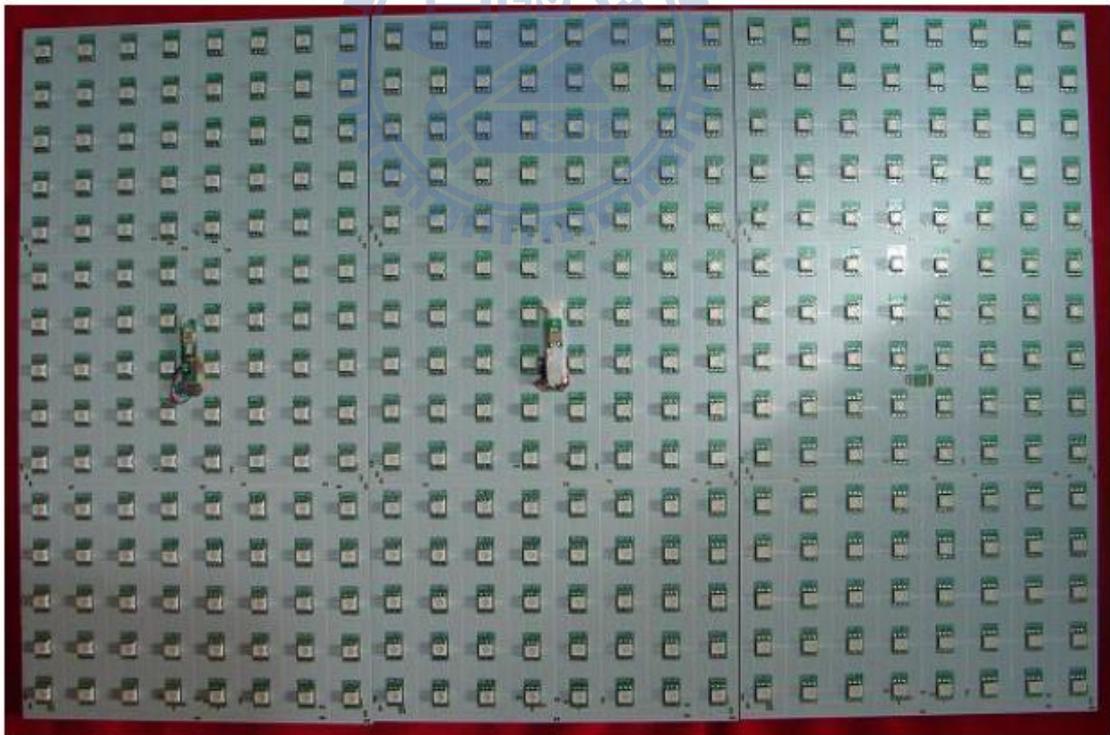


圖 5.3 電流驅動平衡線路模組



(a)



(b)

圖 5.4 (a) 背光模組;(b) RGB-LED 背光源

5.2 無亮度回授補償測試

首先量測無加入色度偏移亮度回授控制方程式，將紅、綠、藍發光二極體電流控制命令設定如式(5.1)所對應電流控制命令工作責任週期分別為80.0%、46.0%、43.3%，既設定如圖 3.7 參考色溫所需之責任週期，表 5.1 為量測數據，無控制方程式時色度偏移量為0.01454，亮度變化量為8.1%。將表中之色度座標 (u, v) 繪製於圖 5.5，當環境溫度上升時色度座標 u 量測值減少， v 量測值幾乎不變，因此其主要變化為紅光發光二極體亮度減少。

$$\begin{bmatrix} V_{PWM,R}^*[k] \\ V_{PWM,G}^*[k] \\ V_{PWM,B}^*[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{cont,R}[k] \\ v_{cont,G}[k] \\ v_{cont,B}[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CCE_H \\ 75E_H \\ 6ED_H \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

表 5.1 無亮度回授測試值

環境溫度 °C	亮度檢知器輸出(16 進制)			色度座標		亮度 cd/m ²	色度偏移量 Δuv
	$f_{R,O}$	$f_{G,O}$	$f_{B,O}$	u	v		
25	720	580	5A0	0.1975	0.4337	1014	0.00000
30	700	560	580	0.1966	0.4329	1004	0.00123
35	6D0	550	560	0.1946	0.4331	992	0.00294
40	6A0	530	540	0.1932	0.4311	984	0.00503
45	680	510	520	0.1908	0.4330	976	0.00671
50	650	4F0	500	0.1894	0.4330	966	0.00813
55	620	4D0	4E0	0.1871	0.4310	954	0.01078
60	5F0	4C0	4D0	0.1850	0.4302	948	0.01299
65	5D0	4A0	4B0	0.1831	0.4320	938	0.01454

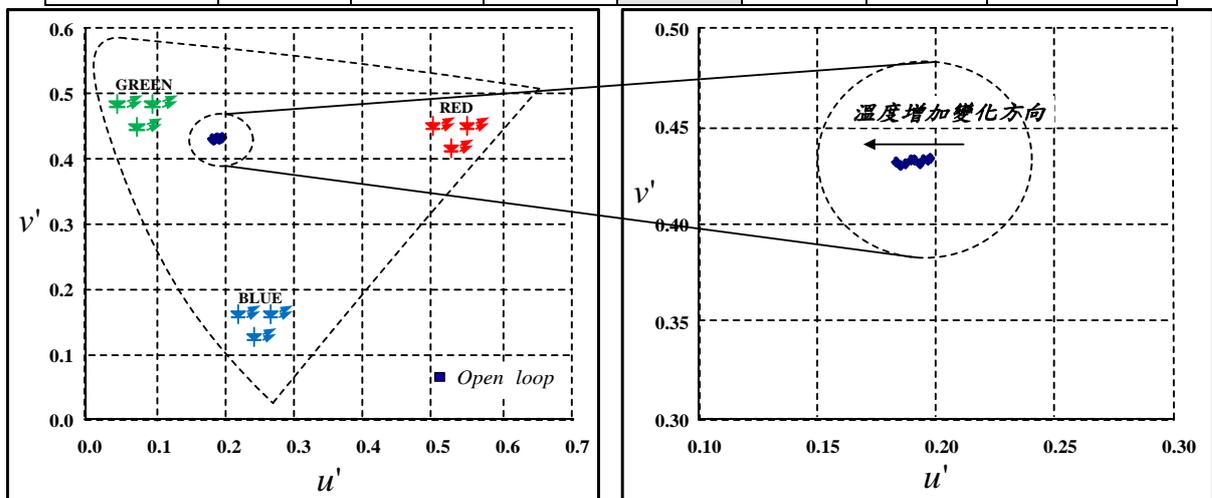


圖 5.5 無亮度回授溫度變化色度座標量測圖

5.3 亮度偏移控制器參數設定實驗

亮度補償器參數權重設計考慮如 1.2 節所述，其中三原色混光亮度變化主要由紅光亮度減少，因此誤差信號範圍 l 需小於 m 及 n ，每一次計算補償係數 x 、 y 、 z 可由三原色發光二極體亮度對溫度變化比例取一參考值，如圖 3.3(a) 選擇 $x : y : z = 5 : 1 : 1$ 。

5.3.1 固定藍光 LED 電流控制命令

設定 l 、 m 、 n 及 x 、 y 、 z 參數如式 (5.2) 和 (5.3)，其中 m 選擇 $f_{G,0.25^{\circ}C} - f_{G,0.35^{\circ}C}$ ， n 選擇需大於 $f_{B,0.25^{\circ}C} - f_{B,0.65^{\circ}C}$ ，使藍光二極體導通週期固定於 43.3%。表 5.2 為此設定狀態下量測數據，於此時色度偏移量為 0.01966，亮度變化量為 6.74%。將表中之色度座標 (u, v) 繪製於圖 5.6，當環境溫度上升時綠光二極體於 $T_A = 35^{\circ}C$ 增加亮度而導致色度座標量測往綠光偏移，而人眼於綠光波長 (555nm) 刺激值最敏銳，所以亮度量測值會因綠光二極體發光量增加而使亮度上升，並且因綠光亮度過度補償而使色度座標偏移量增加。

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 30_H \\ 3FF_H \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 2_H \\ 2_H \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

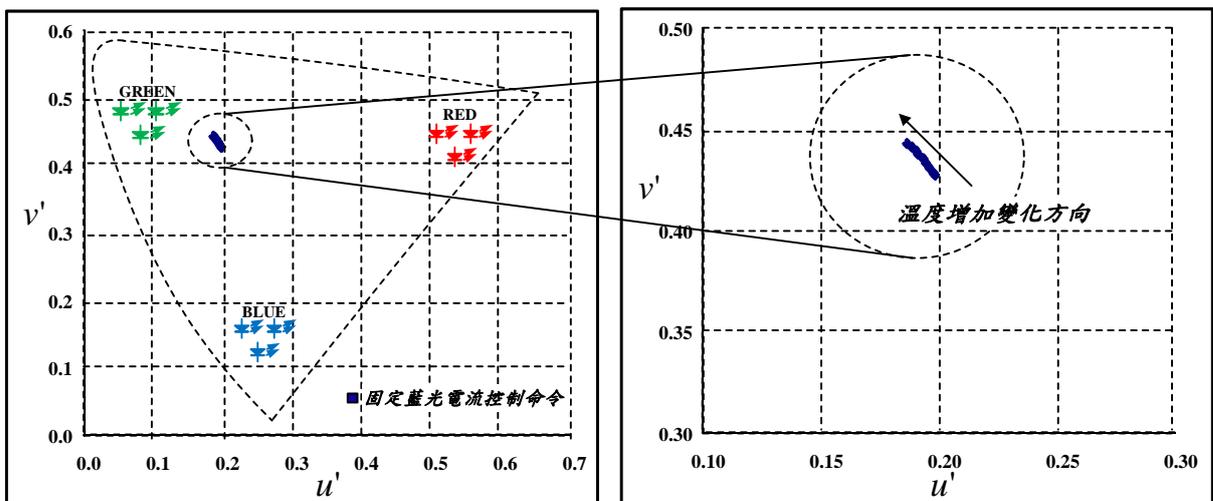


圖 5.6 固定藍光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖

表 5.2 固定藍光二極體控制命令測試值

環境溫度	亮度檢知器輸出(16 進制)			電流控制命令週期信號(Duty %)		
	°C	f_R	f_G	f_B	$V_{PWM,R}^*$	$V_{PWM,G}^*$
25	720	580	5A0	80.00	46.00	43.30
30	720	580	590	81.30	46.05	43.30
35	720	580	570	83.87	47.97	43.30
40	720	570	550	85.82	49.01	43.30
45	720	570	530	88.50	50.99	43.30
50	720	570	520	91.40	51.94	43.30
55	720	570	510	93.84	53.37	43.30
60	720	570	500	96.80	54.92	43.30
65	720	570	4E0	98.75	55.73	43.30

環境溫度	色度座標		亮度	色度偏移量
	°C	u		
25	0.1983	0.4274	1024	0.00000
30	0.1974	0.4285	1025	0.00133
35	0.1957	0.4311	1035	0.00445
40	0.1942	0.4334	1048	0.00723
45	0.1932	0.4355	1058	0.00948
50	0.1909	0.4378	1072	0.01274
55	0.1902	0.4393	1079	0.01432
60	0.1883	0.4412	1096	0.01704
65	0.1862	0.4429	1098	0.01966

5.3.2 固定綠光 LED 電流控制命令

設定 l 、 m 、 n 及 x 、 y 、 z 參數如式 (5.4) 和 (5.5)，其中 m 選擇需大於 $f_{G,0,25^{\circ}C} - f_{G,0,65^{\circ}C}$ 亮度檢知器輸出變化量，使綠光二極體導通週期固定於 46.0%， n 選擇 $f_{B,0,25^{\circ}C} - f_{B,0,35^{\circ}C}$ 。表 5.3 為量測數據，於此參數時色度偏移量為 0.00889，亮度變化量為 0.49%，當環境溫度上升時因綠光電流驅動信號工作週期固定，因此亮度變化範圍減小。將表中之色度座標 (u, v) 繪製於圖 5.7，色度座標偏藍光方向移動。

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 3FF_H \\ 40_H \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 2_H \\ 2_H \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

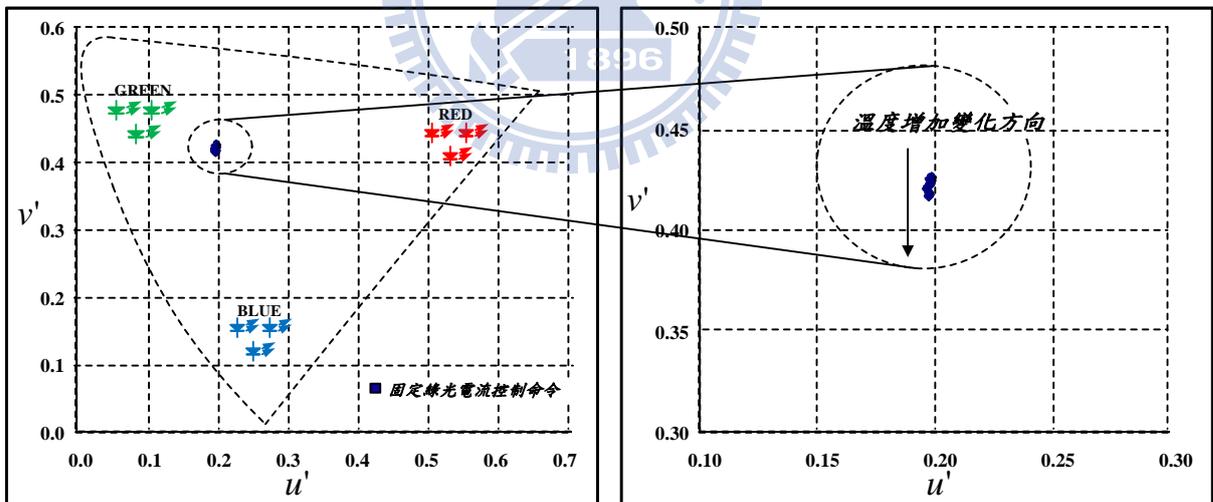


圖 5.7 固定綠光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖

表 5.3 固定綠光二極體控制命令測試值

環境溫度	亮度檢知器輸出(16 進制)			電流控制命令週期信號(Duty %)		
	°C	f_R	f_G	f_B	$V_{PWM,R}^*$	$V_{PWM,G}^*$
25	720	580	5A0	80.00	46.00	44.25
30	720	560	5A0	82.65	46.00	44.53
35	720	550	590	84.32	46.00	45.41
40	720	540	580	86.52	46.00	46.42
45	720	530	580	88.72	46.00	47.39
50	720	520	580	90.92	46.00	48.16
55	720	520	580	93.50	46.00	49.34
60	720	510	580	96.55	46.00	49.92
65	720	510	580	98.92	46.00	50.50

環境溫度	色度座標		亮度	色度偏移量
	u	v		
°C			cd/m^2	Δuv
25	0.1984	0.4259	1018	0.00000
30	0.1975	0.4254	1016	0.00106
35	0.1982	0.4243	1023	0.00165
40	0.1979	0.4228	1014	0.00318
45	0.1969	0.4216	1020	0.00458
50	0.1965	0.4206	1020	0.00567
55	0.1974	0.4185	1010	0.00744
60	0.1975	0.4175	1009	0.00845
65	0.1972	0.4171	1013	0.00889

5.3.3 固定藍光和綠光 LED 電流控制命令

設定 l 、 m 、 n 及 x 、 y 、 z 參數如式 (5.6) 和 (5.7)，其中 n 選擇需大於 $f_{B,0,25^{\circ}C} - f_{B,0,65^{\circ}C}$ 及 m 選擇需大於 $f_{G,0,25^{\circ}C} - f_{G,0,65^{\circ}C}$ 亮度檢知器輸出變化量，使綠光及藍光二極體導通週期分別固定於 46.0% 及 43.3%。表 5.4 為量測數據，於此參數時色度偏移量為 0.00331，亮度變化量為 2.51%。

將表中之色度座標 (u, v) 繪製於圖 5.8，其環境溫度上升時色度座標會往紅色光源偏移，並由亮度量測值雖然紅光亮度補償增加但混光亮度仍減少 2.51%，因此可依綠光發光二極體溫度與亮度變化特性量測值於適當溫度變化範圍增加綠光亮度以減少混光亮度變化。

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 3FF_H \\ 3FF_H \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 2_H \\ 2_H \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

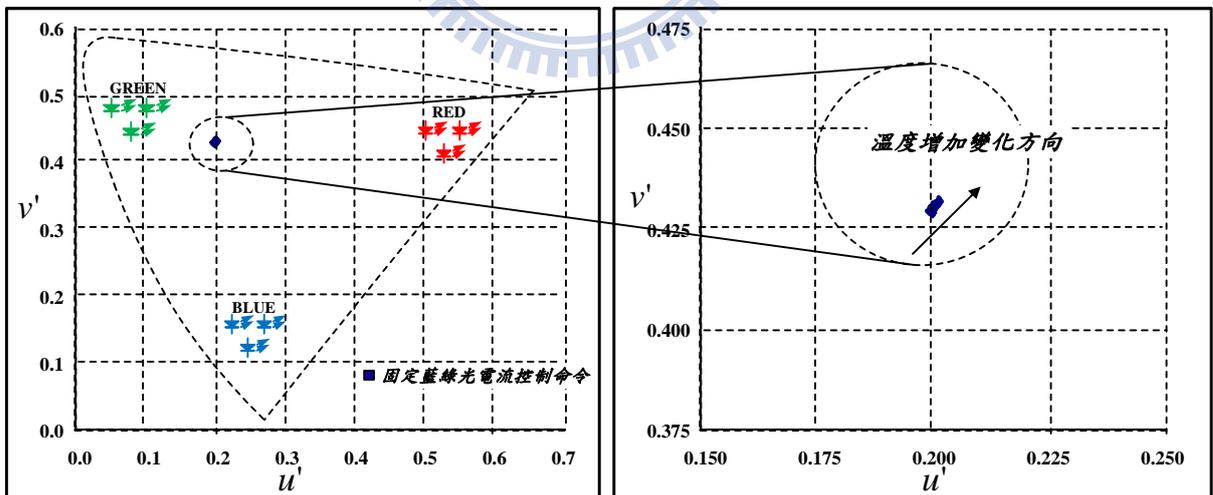


圖 5.8 固定藍、綠光二極體控制命令溫度變化色度座標量測圖

表 5.4 固定藍、綠光二極體控制命令測試值

環境溫度	亮度檢知器輸出(16 進制)			電流控制命令週期信號(Duty %)		
	°C	f_R	f_G	f_B	$V_{PWM,R}^*$	$V_{PWM,G}^*$
25	720	580	5A0	80.00	46.00	43.30
30	720	560	580	82.37	46.00	43.30
35	720	540	560	84.81	46.00	43.30
40	720	530	540	87.25	46.00	43.30
45	720	530	530	89.48	46.00	43.30
50	720	510	510	92.00	46.00	43.30
55	720	4F0	4F0	94.72	46.00	43.30
60	720	4E0	4E0	96.73	46.00	43.30
65	720	4D0	4D0	99.50	46.00	43.30

環境溫度	色度座標		亮度 cd/m^2	色度偏移量 Δuv
	u	v		
25	0.1999	0.4292	1020	0.00000
30	0.1998	0.4296	1019	0.00041
35	0.1992	0.4297	1017	0.00087
40	0.1995	0.4299	1018	0.00085
45	0.2003	0.4304	1011	0.00126
50	0.2000	0.4309	1006	0.00174
55	0.2009	0.4313	1002	0.00234
60	0.2013	0.4318	998	0.00300
65	0.2013	0.4322	995	0.00331

5.4 設定於 $\Delta T > 30^\circ\text{C}$ 補償綠光與藍光亮度

由固定藍光及綠光驅動信號色度偏移及亮度量測值，三原色發光二極體溫度變化時主要於紅光二極體加入補償控制器既可改善，但混光亮度仍會因綠光二極體隨溫度上升而下降，因此此節於溫度變化大於 30°C ($\Delta T > 30^\circ\text{C}$) 始加入綠光及藍光補償亮度及改善色度偏移量。

設定 l 、 m 、 n 及 x 、 y 、 z 參數如式 (5.8) 和 (5.9)，其中 n 選擇需大於 $f_{B,0,25^\circ\text{C}} - f_{B,0,55^\circ\text{C}}$ 及 m 選擇需大於 $f_{G,0,25^\circ\text{C}} - f_{G,0,55^\circ\text{C}}$ 亮度檢知器輸出變化量。表 5.4 為量測數據，於此參數時色度偏移量為 0.00290，亮度變化量為 1.47%。

將表中之色度座標 (u, v) 繪製於圖 5.9，其環境溫度上升時於 $\Delta T < 30^\circ\text{C}$ 色度座標會往紅色光源偏移， $\Delta T > 30^\circ\text{C}$ 則綠光及藍光開始補償則不再往紅色光源偏移，並由亮度量測值亮度變化減少至 1.47%，因此適當增加綠光及藍光可減少亮度及 Δuv 變化。

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 090_H \\ 0C0_H \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H \\ 2_H \\ 2_H \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

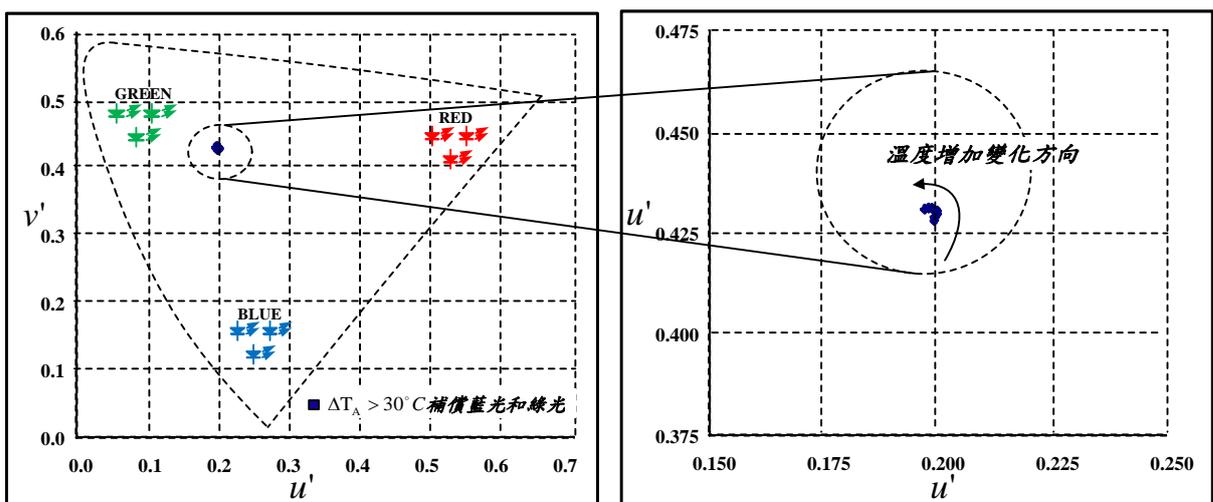
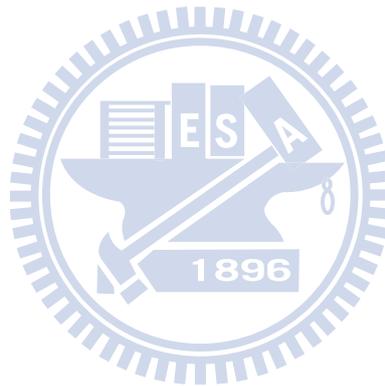


圖 5.9 於 $\Delta T > 30^\circ\text{C}$ 補償綠光與藍光二極體控制命令測試值

表 5.5 於 $\Delta T > 30^\circ\text{C}$ 補償綠光與藍光二極體控制命令測試值

環境溫度	亮度檢知器輸出(16 進制)			電流控制命令週期信號(Duty %)		
	f_R	f_G	f_B	$V_{PWM,R}^*$	$V_{PWM,G}^*$	$V_{PWM,B}^*$
25	720	580	5A0	80.42	46.08	43.30
30	720	570	590	82.38	46.08	43.30
35	720	540	570	84.81	46.08	43.30
40	720	530	550	87.26	46.08	43.30
45	720	520	530	89.94	46.08	43.30
50	720	510	510	92.13	46.08	43.30
55	720	510	510	94.10	46.81	43.49
60	720	510	510	96.57	47.71	44.21
65	720	510	510	99.10	48.13	44.69

環境溫度	色度座標		亮度 cd/m^2	色度偏移量 Δuv
	u	v		
25	0.1992	0.4291	1023	0.00000
30	0.1992	0.4281	1021	0.00097
35	0.1994	0.4289	1016	0.00021
40	0.1999	0.4297	1010	0.00092
45	0.1997	0.4300	1010	0.00103
50	0.1999	0.4305	1008	0.00160
55	0.1987	0.4312	1014	0.00223
60	0.1980	0.4313	1018	0.00257
65	0.1971	0.4310	1024	0.00290

圖 5.10、圖 5.11 與圖 5.12 為表 5.5，於環境溫度設定於 25°C 及 65°C 紅、綠、藍發光二極體電流控制命令 ($V_{PWM,R}^*$ 、 $V_{PWM,G}^*$ 、 $V_{PWM,B}^*$)、MOSFET 晶體閘極 (G_R 、 G_G 、 G_B) 和發光二極體電流 ($I_{LED,R}$ 、 $I_{LED,G}$ 、 $I_{LED,B}$) 量測波形。

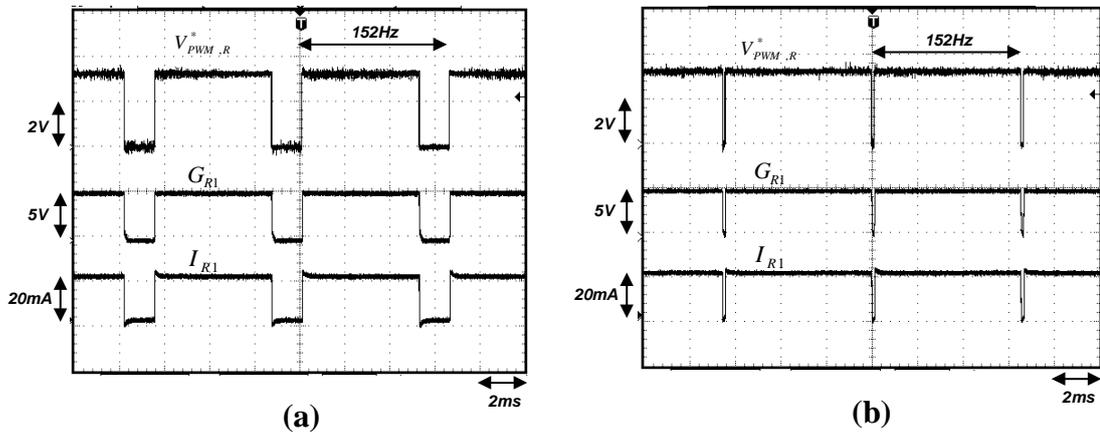


圖 5.10 紅光 LED 溫度變化信號波形：(a) 25°C ；(b) 65°C

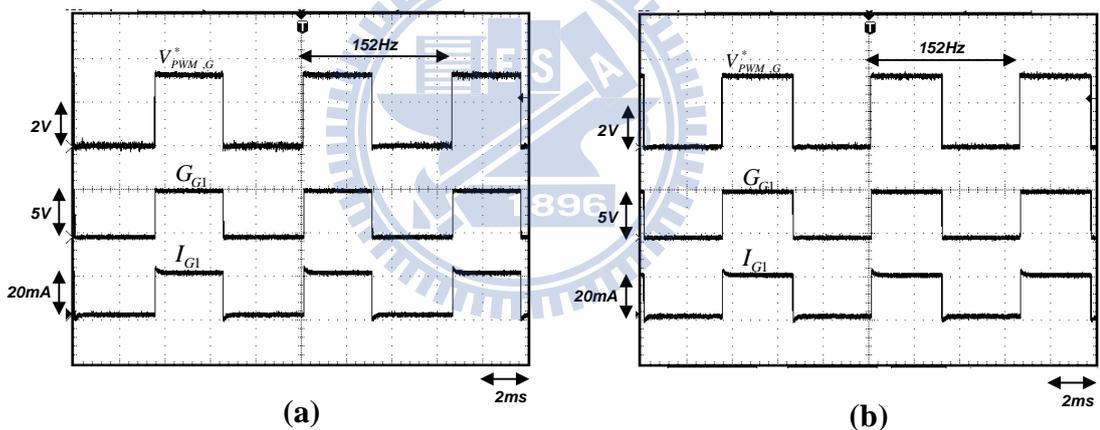


圖 5.11 綠光 LED 溫度變化信號波形：(a) 25°C ；(b) 65°C

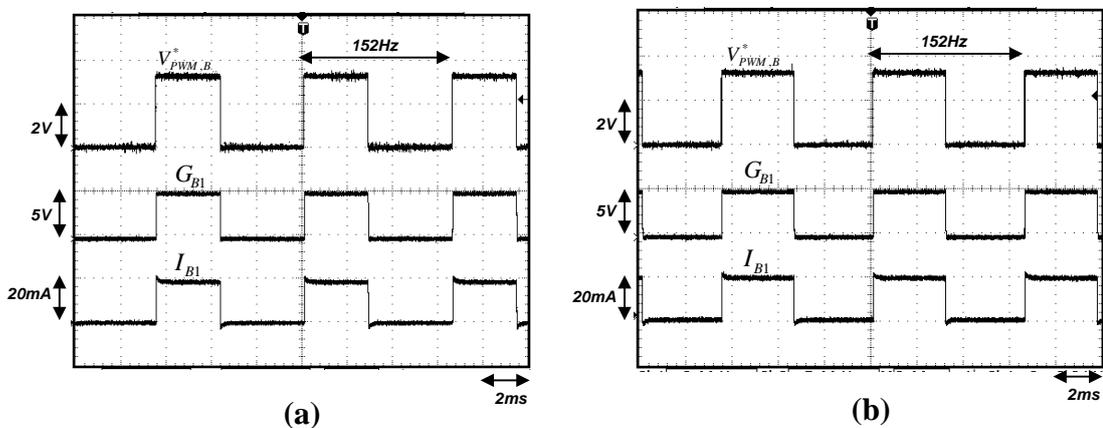


圖 5.12 藍光 LED 溫度變化信號波形：(a) 25°C ；(b) 65°C

圖 5.13 表示三原色電流控命令週期變化關係，因考量一般家用電視系統環境操作溫度最大範圍為 $40^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ ，系統內溫升為 $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，因此本文設定之紅光 LED 電流控制命令 ($V_{PWM,R}^*$) 可允許工作週期變化補償範圍至系統內最大溫度 65°C 。綠光 LED 及藍光 LED 電流控制命令 ($V_{PWM,G}^*$ 、 $V_{PWM,B}^*$) 於 55°C 開始補償亮度變化穩定色度座標偏移及混光亮度變化。

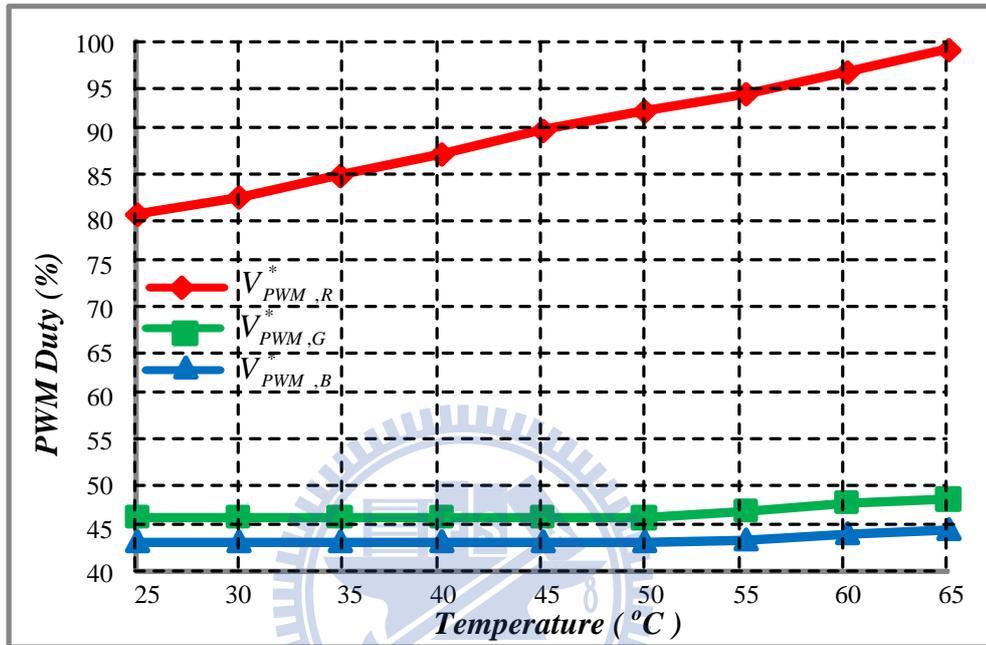
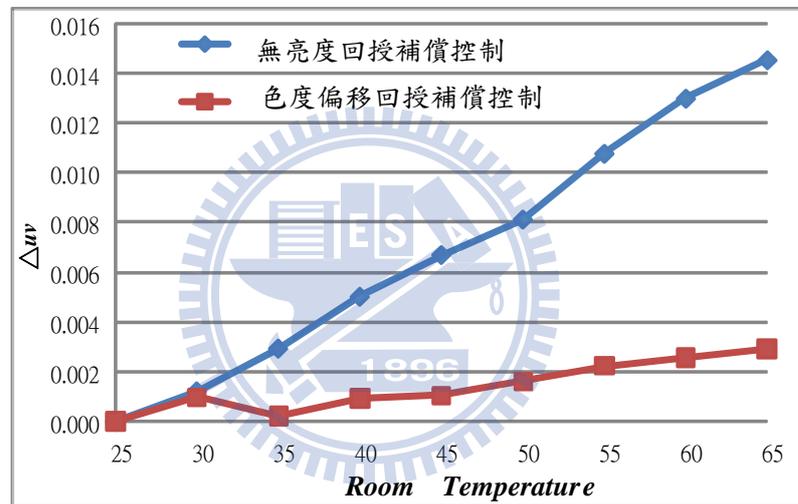


圖 5.13 閉迴路電流控制命令變化曲線圖

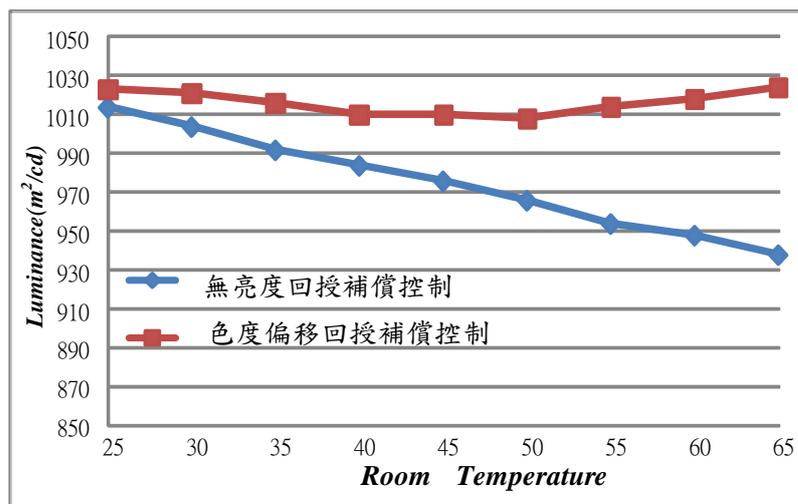
5.5 實驗結果比較

圖 5.13 為顯示三原色混光無色度偏移控制與加入控制器之色度偏移量測與亮度量測比較曲線圖，當加入補償控制器可顯著改善色度偏移量，如圖 5.13(a)及亮度變化圖 5.13(b)，並於適當溫度變化範圍控制 m 、 n 可改善亮度的變化，圖 5.13(b)為於 $\Delta T > 30^\circ\text{C}$ 藍光及綠光補償器動作亮度變化量則減少。

圖 5.14(a)為無色度偏移補償控制背光源顯示照片，其中左圖為環境溫度 25°C 、右圖為環境溫度 65°C 狀態光源顯示照片，兩畫面具有色差且溫度上升會偏向藍光。圖 5.14(b)為加入色度偏移補償控制背光源顯示照片，其中左圖為環境溫度 25°C 、右圖為 65°C 狀態光源顯示照片，經加入亮度補償控制器兩畫面色差無明顯變化。



(a)



(b)

圖 5.13 亮度補償控制量測結果比較：(a) Δuv ，(b) 亮度

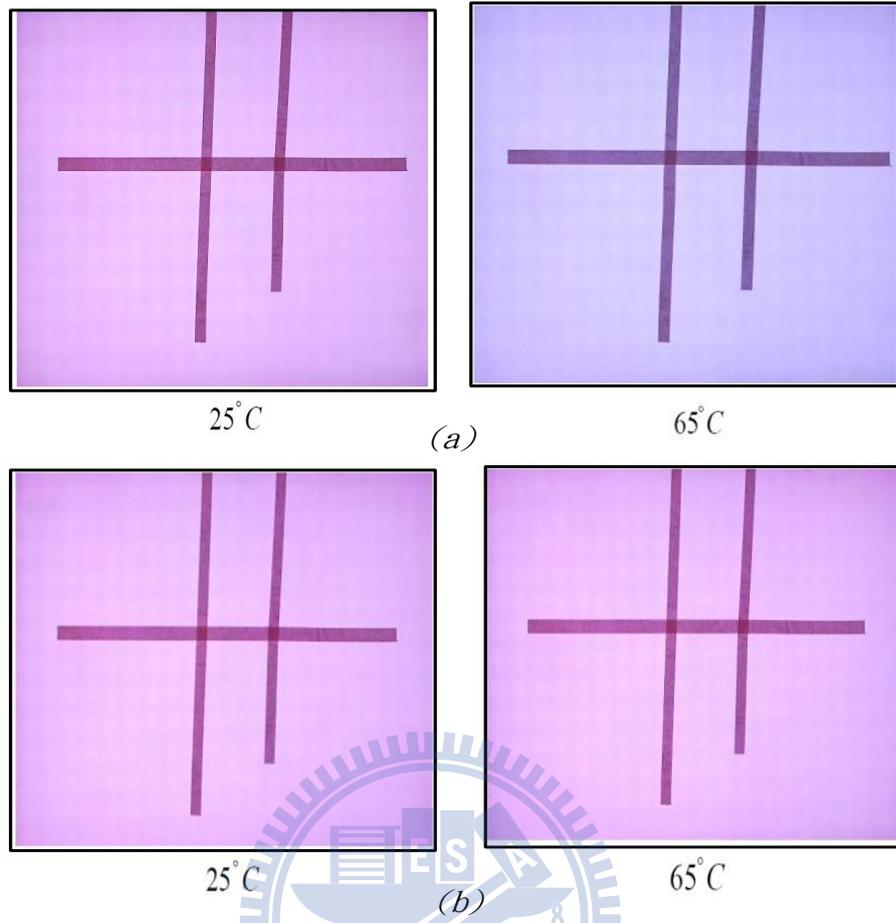


圖 5.14 背光源亮度補償比較顯示圖：

(a)無色度偏移回授補償，(b)加入色度偏移回授補償

第六章 結論

本論文使用紅，綠，藍三原色發光二極體製作直下式背光源產生白光，將此光源置於可程式恆溫控制箱及使用色彩分析儀量測光源對於溫度變化特性，並以色彩檢知器偵測紅、綠、藍三原色發光二極體亮度變化。最後以 FPGA 實際設計一色度偏移控制器以 PWM 方式控制發光二極體亮度。

基於實驗架構本文完成一 22 寸紅，綠，藍發光二極體背光源、高效率諧振式雙組輸出電源轉換器模組、色彩檢測器偵測模組、發光二極體電流驅動平衡線路模組及以 FPGA 實現色度偏移控制器並設計此一色度偏移控制器以 PWM 調光方式控制色度偏移量小於 0.0035 ($\Delta uv < 0.0035$) 達到穩定光源色度座標及穩定光亮度變化之目的。

本文所提出的方法尚有未臻完善之處，首先於綠光及藍光二極體為使用同一組電壓可加入時序控制以減少電源模組輸出電容連波電流(Ripple Current)，以及可利用發光二極體混光亮度與 PWM 為線性關係加入調光功能，另因本文為使用量測方式以 ΔT 對應檢知器變化值設定綠光及藍光補償器，此方式可加入溫度檢測模組以直接檢測溫度變化可更準確補償亮度及控制色度偏移量。

參考文獻

- [1] 溫竣貴, “LED 背光整合系統設計之色溫管理,” 國立交通大學電機資訊學院碩士論文, pp. 1-6, 2006.
- [2] 吳宗樺, “三原色發光二極體背光源之驅動電路,” 國立中山大學電機工程學系碩士論文, pp. 2-3, 2007.
- [3] 郭浩中, 賴芳儀, 郭守義著, “LED 原理與應用,” 五南圖書, 第六章 LED 的應用, pp. 279-294, 2009.
- [4] 史國光, “半導體發光二極體及固體照明,” 全華圖書, 第六章 白光發光二極體, pp. 6. 70-6. 71, 2006.
- [5] C.H. Chen, S.J. Chang, Y.K. Su, J.K. Sheu, J.F. Chen, C.H. Kuo, and Y.C. Lin, “Nitride-Based Cascade Near White Light-Emitting Diodes,” *IEEE Journal of Photonics Technology Letters*, vol.14, Issue.7, pp.908-910, 2002.
- [6] 施敏原著, 張俊彥 譯著 “半導體元件物理與製作技術,” 高立圖書有限公司, 第七章 光電元件, pp. 311-312, pp. 338-343, 2000.
- [7] F. Bernitz, O. Schallmoser and W. Sowa, “Advanced Electronic Driver for Power LEDs with Integrated Color Management,” *Conference Record of the Industry Applications Conference 41 st IAS Annual Meeting*, vol.5, pp.2604-2607, 2006.
- [8] T.W. Lee, J.H. Lee, C.G. Kim and S.H. Kang, “An optical feedback system for local dimming backlight with RGB LEDs,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.55, Issue 4, pp.2178-2183, 2009.
- [9] X. Qu, S.C. Wong and C.K. Tse, “Temperature Measurement Technique for Stabilizing the Light Output of RGB LED Lamps,” *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol.59, Issue.3, pp.661- 670, 2010.
- [10] S. Muthu, F.J Schuurmans, and M.D. Pashley, “Red, green, and blue LED based white light generation: issues and control,” *Conference Record of the Industry Applications Conference 37th IAS Annual Meeting*, vol.1, pp.327-333, 2002.
- [11] I. Ashdown, “Neural Networks for LED Color Control,” *SPIE Proc*, vol.5187, pp.215-226, 2004.
- [12] 郭浩中, 賴芳儀, 郭守義著, “LED 原理與應用,” 五南圖書, 第二章 發光二極體原理, pp.62-97, 2009.

- [13] 郭浩中, 賴芳儀, 郭守義著, “LED 原理與應用,” 五南圖書, 第五章 色彩學與色度學, pp.230-231, 2009.
- [14] 大田登原著, 陳鴻興, 陳君彥編譯, “基礎色彩再現工程,” 全華圖書, 第二章, 色彩表示方法, pp.2-16, 2009.
- [15] 張永農, 洪崇智, 童世欽, 謝宗城, “RGB LED 背光模組自動混光調校設計,” 第二十九屆 電力工程研討會, pp.218~222, 2008.
- [16] 鄭世仁, 羅有綱, 邱煌仁, 陳東彥, “以 DSP 為基礎之 LED 背光電路設計與實現,” 第六屆 台灣電力電子研討會, pp.507~508, 2007.
- [17] 林伯仁, 林育德, 黃鈺翔, “AC/DC 整合式 RGB LED 背光模組驅動電源,” 第七屆 台灣電力電子研討會, pp.545-550, 2008.
- [18] 李嘉猷, 李鴻基, 沈紘宇, “具光學回授補償數位式調光之三原色 LED 混光驅動控制電路,” 第九屆 台灣電力電子研討會, pp.237-242, 2010.
- [19] 陳鴻祺, 陳鴻儀, “以 FPGA 為基礎實現 RGB-LED 背光源色度偏移控制,” 第九屆 台灣電力電子研討會, pp.314-319, 2010.
- [20] S. Muthu, F.J.P. Schuurmans, M.D. Pashley, “Red, green, and blue LEDs for white light illumination,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol.8, Issue 2, pp 333- 338, 2002.
- [21] S. Muthu, J. Gaines, “Red , Green and Blue LED-Base White Light Source : Implementation Challenges and Control Design,” *Conference Record of the Industry Applications Conference 38th IAS Annual Meeting*, vol.1, pp.515-522, 2003.
- [22] K. Lim, J.C. Lee, G. Panotopoulos and R. Helbing, “Illumination and Color Management in Solid State Lighting,” *Conference Record of the Industry Applications Conference 41 st IAS Annual Meeting*. vol. 5, pp.2016-2620, 2006.
- [23] S.Y. Lee, J.W. Kwon, H.S. Kim, M.S. Choi and K.S. Byun, “New Design and Application of High Efficiency LED Driving System for RGB-LED Backlight in LCD Display,” *IEEE Proc. Of the PESC’06*, pp.1-5, 2006.
- [24] S. Muthu, J. Gaines, “Red , Green and Blue LED-Base White Light Source : Implementation Challenges and Control Design,” *Conference Record of the Industry Application Conference 38th IAS Annual Meeting*, vol.1, pp.515-522, 2003.
- [25] 黃誌宇, 白凱仁, 羅有綱, “高效能 LED 背光電源研製,” 第六屆 台灣電力電子研討會, pp.495-500, 2007.

- [26] 駱契成, 吳冠宏, 林成泰, 羅有綱, 邱煌仁, “高效能 RGB LED 背光模組驅動電源研製,” 第七屆 台灣電力電子研討會, pp.1361-1366, 2008.
- [27] B. Lu, W. Liu, Y. Liang, F.C. Lee and J.D. van Wyk, “Optimal Design Methodology for LLC Resonant Converter,” *IEEE APEC'06*, pp.533-538, 2006.
- [28] S.J. Cheng, H.J. Chiu, C.J. Yao, T.H. Wang, Y.K. Lo and S.C. Mou, “Current and white-balance control of an RGB LED backlight power supply system,” *SICE Annual Conference*, pp.233-236, 2008.
- [29] C.C. Chen, C.Y. Wu, and T.F. Wu, “LED Back-Light Driving System for LCD Panels,” *IEEE APEC'06*, pp.381-385, 2006.
- [30] M. Doshi and R.Zane, “Digital Architecture for Driving Large LED Arrays with Dynamic Bus Voltage Regulation and Phase Shifted PWM,” *IEEE APEC'07*, pp.287-293, 2007.
- [31] M.. Doshi and R.Zane, “Control of Solid-State Lamps Using a Multiphase Pulsewidth Modulation Technique,” *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 25, no.7, pp.1894-1904, 2010.
- [32] S.Y. Tseng, S.C. Lin and H.C. Lin, “LED backlight power system with auto-tuning regulation voltage for LCD panels,” *IEEE APEC*, pp.551-557, 2008.
- [33] S.J. Cheng, H.J. Chiu, C.J. Yao, T.H. Wang and Y.K. Lo, “Current and white balance control of an RGB LED backlight power supply system,” *SICE Annual Conference*, pp.233-236, 2008.
- [34] B. Ackermann, V. Schulz, C. Martiny, A. Hilgers and X. Zhu, “Control of LEDs,” *Conference Record of the Industry Applications Conference 41st*, vol.5, pp.2608-2615, 2006.
- [35] M. Selvan, Y.P. Boay and H.C. Kang, “Light source having more than three LEDs in which the color points are maintained using a three channel color sensor,” *US patent 7,315,139B1* Jan.2008, Avago Technologies.
- [36] K.L. Lim, J.C. Lee and R.B. Jaffar, “Luminary control system,” *US patent 6,894,442 B1*, May.2005, Agilent Technologies, Inc.
- [37] S. Muthu, F.J. Schuurmans, C. Chang and J.Gaines, “LED-Based white light backlighting for electronic display,” *US patent 6,753,661 B2*, Jun.2004, Philips Electronics.
- [38] 黃瑞峯, 盧俊德, “照明亮度色彩控制系統及其方法,” *TW patent I293543*, 2008, 財團法人工業技術研究院.

- [39] W.K. Lun, K.H. Loo, S.C. Tan, Y.M. Lai and C.K. Tse, "Bilevel Current Driving Technique for LEDs," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol.24, no.12, pp.2920-2932, 2009.
- [40] 廖啟男, 林憲男, 莫清賢, 張永農, "三原色發光二極體操作特性研究," 第六屆台灣電力電子研討會, pp.519-524, 2007.

