

## LED 實驗系統之設計

黃新賢

正修科技大學電子工程系

林宜賢

正修科技大學電子工程系

### 摘 要

本系統主要是提供一個 LED 教學實驗系統，訓練學生具有 LED 照明系統的設計及整合能力。實驗系統依學習進度，分成基礎、進階與專題製作三個階段：(i) 基礎階段：包括 LED 參數與特性量測、電壓與顏色之關係、電壓源與電流源與 LED 驅動器測試等實驗單元。一步一步的教導學生了解 LED 的特性與量測。(ii) 進階階段：包括降壓型 LED 驅動電路、升壓型 LED 轉換電路、升降壓兩用型 LED 轉換電路、具有功率因素校正的 LED 驅動電路及返馳型轉換電路等實驗單元。由淺入深，按部就班，層層引導的介紹 LED 照明驅動電路設計原理及應用。(iii) 專題製作：是結合基礎和進階單元所介紹的理論與實驗，及嵌入式系統，引導學生製作專題，包括 (a) 紅綠燈號誌控制 (b) 小綠人交通號誌控制、(c) 結合 b、c 之紅綠燈暨小綠人交通號誌控制、(d) 智慧型 LED 照明燈具。

關鍵詞：LED 實驗系統，嵌入式系統



## Design of an LED experimental system

Sin-San Huang

Department of Electronic Engineering, Cheng-Shih University

*Yi-Hsien Lin*

Department of Electronic Engineering, Cheng-Shih University

*Kaohsiung, Taiwan 833, R.O.C.*

### ABSTRACT

This system is mainly to provide a LED teaching experimental system, training students to have the ability to design and integrate an LED lighting system. Experimental system according to the learning progress divided into foundation, advanced and special topic in three stages: (i) Foundation Stage: Includes LED parameters and characteristics of measurement, the relationship between voltage and color, the voltage source and current source LED driver testing experimental unit. Step by step to teach students to understand the characteristics and measurement of the LED. (ii) Advanced stage: Including Buck-Based LED Drivers, Boost Converters, Boost-Buck Converters, LED Drivers with Power Factor Correction and Fly-Back Converters. Step by step to introduce the design principle and application of LED lightning drive circuit. (iii) Special topic stage: Combining the theory and experiment introduced in the foundation sheet and advanced sheet and embedding system to guide the students to make special topics, which includes: (a) semaphore traffic light control; (b) little green men traffic signal control; (c) the integrated traffic light transportation control system combining with b and c; (d) intelligent LED lighting.

**Keyword:** LED experimental system, embedding system



## 一、前言

發光二極體 (Light Emitting Diode; LED) 主要是由 P 型 (+) 與 N 型 (-) 半導體接合而成製成的元件，是一種微小的固態光源，可將電能轉換為光。與傳統燈泡比較不但體積小，且壽命長、驅動電壓低、反應速率快、耐震性特佳，顏色多樣化，點燈速度快，不會產生影像殘留等優點，而且壽命較燈泡長 50~100 倍，能配合各種應用設備的輕、薄、短、小之需求。

照明燈泡是現代生活所不可或缺的民生用品，全球花在照明的總平均用電量，約為全球總用電量的百分之四十是非常可觀的。在全球節能減碳趨勢中，低耗能照明為其重要推動項目之一，LED 照明就擁有節能的優點，所以行政院於「國家節能減碳總計畫」[1]及六大新興產業中均將『綠色能源產業旭升方案』[2] (如圖 1 所示)，將 LED 照明產業發展列為主要推動項目。

目前國內培育 LED 科技人才，還是集中材料科學等系所，都著重於 LED 製程技術的研發，在 LED 照明的應用電路設計著力甚少。由於 LED 照明應用非常廣，業界對 LED 驅動電路設計人才的需求出現人材短缺的現象，所以有需要在電子、電機等系開設 LED 應用設計課程，但國內對於 LED 驅動電路及應用設計的教學實驗系統及教材還處於短缺階段，所以與業界合作開發了 LED 實驗系統及教材編著，實驗系統依學習進度，分成基礎、進階與專題製作三個階段：(i) 基礎階段：包括 LED 參數與特性量測、電壓與顏色之關係、電壓源與電流源與 LED 驅動器測試，有系統的教導學生了解 LED 的特性與量測。(ii) 進階階段：包括降壓型 LED 驅動電路、升壓型 LED 轉換電路、升降壓兩用型 LED 轉換電路、具有功率因素校正的 LED 驅動電路及返馳型轉換電路等，由淺入深，按部就班，層層引導的介紹 LED 照明驅動電路設計原理及應用。(iii) 專題製作：是使用基礎篇和進階篇所介紹的理論與實驗，結合了嵌入式系統，由簡入深，引導學生製作專題，包括 (a) 紅綠燈號誌控制、(b) 紅綠燈小綠人燈號誌控制、(c) 結合 b、c 之紅綠燈暨小綠人交通號誌控制、(d) 智慧型 LED 照明燈具。

## 二、研究流程與方法

### 2.1、研究流程

首先以文獻探討方式了解 LED 基本特性、LED 驅動電路設計之理論、技術及學科內涵，然後探討 LED 驅動電路設計的學習目標及實驗相關學習背景，據以擬定 LED 實驗系統和實驗教材。並蒐集所需 LED 驅動電路設計之教學背景、教材內涵及教學設備之資料，規劃實驗單元及教學大綱，作為實驗系統電路設計及教材編寫之依據。其的研究流程如圖 2、圖 3 所示。

### 2.2、研究方法

為達成建構 LED 實驗系統及教材編寫，除以文獻探討法了解 LED 照明實驗教材內涵外，並以產官學專家訪談調查方式，蒐集實驗所需之學習背景、教材內容及單元項目，再依據所蒐集的資料研擬實驗單元和教學大綱。



LED 實驗系統及所規劃的課程，其教學大綱、實驗單元的教材編寫，依據以下六項內容進行詳細規劃：

1. 實驗課程應包含的技術項目。
2. 實驗教材的編著內容。
3. 實驗教學設備的內容。
4. 實驗的應用實例。
5. 實驗教材各單元應包含那些項目。
6. 必須先修的科目及背景知識。

### 三、LED 實驗系統設計

LED 實驗系統是以教學訓練為目的，系統內的每一個實驗都安排一個學習主題和關鍵技術。循序漸進的培養硬體電路設計及嵌入式系統程式的撰寫能力。LED 照明實驗系統分成基礎、進階與專題製作等三階段，(i) 基礎實驗 (ii) 進階實驗 (iii) 專題製作。

#### 3.1、基礎實驗

基礎實驗主要是針對 LED 參數與特性量測、LED 顏色與電壓降電流之關係測試等實驗單元 [3]。底下說明各單元的功能、內容及關鍵技術。

(a) LED 的主要參數與特性量測，包括：

- ①I-V 特性：I-V（電流-電壓）特性是表示 LED 的 PN 接面主要參數，具有非線性和單向導電性，其特性曲線如圖 4 所示，共分為正向工作區、正向截止區、反向截止區及擊穿區。
- ②C-V 特性：各類 LED 的 PN 接面面積大小不一，使其接面電容對電路設計是一個很重要的參數之一，其特性曲線如圖 5 所示呈現二次函數關係。
- ③最大功率消耗  $P_m$ ： $P_1 = I_F * V_F$ ，其中  $P_1$  為消耗功率； $I_F$  為流過 LED 之電流； $V_F$  為 LED 之 PN 接面之電壓降。如果使用的是高功率 LED 就必須考慮散熱問題，否則會有安全性的疑慮，其散發的功率為  $P_2 = K_T(T_J - T_a)$ ，其中  $K_T$  為熱導係數， $T_J$  為 LED 溫度， $T_a$  為外部環境溫度， $P_m = P_1 + P_2$ 。
- ④反應時間：LED 的反應時間是標誌反應速度的重要參數，尤其是在脈衝驅動或電壓調製時顯得非常重要。圖 6 為反應時間特性圖。

(b) LED 等效電路：因為半導體材料並非完美導體，其等效電路如圖 7 所示，這也表示 LED 的電壓降會隨著電流增加。低功率 20mA LED 的等效串聯電阻（Equivalent Series Resistance；ESR）約為 20 歐姆，高功率 1 瓦 350mA LED 的等效串聯電阻約為 1~2 歐姆。所以等效串聯電阻大致上與 LED 的額定電流成反比。對於驅動電路的初步測試而言，可用 5W/3.9V 的稽納二極體代替白光 LED 作測試，其優點是稽納二極體不發光，所以測試時不會被照得目眩眼花。



- (c) 電壓與顏色之關係單元：LED 有紅光、黃光、綠光及藍光等顏色，在開始導通點之順相電壓亦不同，紅光  $V_f$  約為 2V、藍光  $V_f$  約為 3V。

### 3.2、進階實驗

LED 是一個電流驅動的低電壓單向導電元件，其驅動電路應具有直流控制、高效率、PWM 調光、過壓保護、負載斷開、小尺寸及簡便易用等特點。進階實驗單元是針對 LED 驅動電路進行電路原理分析及實驗。

- (a) 降壓型 LED 驅動電路：本單元使用兩個實際電路來介紹，①直流輸入的降壓型電路，如圖 8 所示，②交流輸入的降壓型電路，如圖 9 所示。[4]
- (b) 升壓型 LED 轉換電路：電路如圖 10 所示。[5]
- (c) 升降壓兩用型 LED 轉換電路：升降壓兩用型轉換電路是一種僅包含單一個切換電路開關的轉換電路，由升壓轉換電路串接降壓轉換電路所組成，電路如圖 11 示。[6]
- (d) 具有功率因素校正的 LED 驅動電路：功率因素校正 (PFC) 是用在以交流電源供電的電路中，功率因素大代表交流電流與交流電壓的相位差小。純電阻性負載的功率因素等於 1，如果為電感性或電容性負載的功率因素約為 0.5，除非用特定方法校正過。本單元要學習的關鍵技術與升降壓型轉換電路非常相似，電路如圖 12 所示。[7]
- (e) 返馳型轉換電路：返馳型轉換電路應用的場合很廣，圖 13 是基本返馳型電路，一般有兩個繞組線圈，一個初級繞組，一端接電源而另一端透過 Switch S 接地，另一個繞組，接到負載。本單元要學習關鍵技術有三種返馳型轉換電路：①雙繞組返馳型轉換電路，②三繞組返馳型轉換電路，③單繞組返馳型轉換電路。圖 14 為雙繞組返馳型轉換的應用電路。

本階段強調驅動電路的設計，所以以上各實驗單元的教材都會以設計規格，控制的 IC 選用和電路設計(各零件值之計算)，三方向呈現，公式推導、設計及計算方法都在教材詳細討論，以 HV9910B 資料手冊提供的電路為例(圖 9)：

- i. 預定設計規格：例如①輸入電壓範圍=10-30V，②LED 串路電壓範圍=4-8V，③LED 電流=350mA，④預期效率=90%。
- ii. 選用的控制 IC 和電路設計：選用控制 IC *Supertex inc* HV9910B。
- iii. 計算各零件之值：① 選擇切換頻率及計算電阻 ( $R_1$ ) 值，② 選擇輸入電容 ( $C_1$ ) 之值，③ 選擇電感 ( $L_1$ ) 之值，④ 選擇 MOS 電晶體 ( $Q_1$ ) 及二及體 ( $D_2$ )，⑤ 選擇檢測電阻 ( $R_2$ )。



### 3.3、專題製作

專題製作是結合基礎篇和進階篇的理論與實驗，引導學生作一個完整的 LED 系統設計觀念訓練，專題包括 (a) 紅綠燈交通號誌控制、(b) 小綠人交通號誌控制、(c) 結合 b、c 之紅綠燈暨小綠人交通號誌控制、(d) 智慧型 LED 照明燈具。

- (a) 紅綠燈交通號誌控制：本專題是以道路上紅綠燈交通號誌控制為例，系統架構如圖 15。主要是以同學每天都會遇到且熟悉其控制流程的綠燈交通控制為例，可提高同學學習的興趣。
- (b) 小綠人交通號誌控制：本專題實驗是以的小綠人交通號誌為例，系統架構如圖 16，了解小綠人動作的控制。
- (c) 紅綠燈暨小綠人交通號誌控制：本專題實驗是在訓練學生的系統整合及加強程式撰寫的能力。
- (d) 智慧型 LED 燈具：圖 17 為智慧型 LED 燈具架構圖，功能要求有自動照度調整及開關。本專題要學習 LED 模組、LED 驅動電路、嵌入式系統介面、嵌入式系統、感測器模組硬體電路設計及嵌入式系統程式設計等技術。

## 四、結果與討論

### 4.1、LED 實驗系統

本實驗系統是以教學為目的，所以實驗系統在設計上以易學、易懂及易操作為考量，圖 18 所示為 LED 實驗系統成品，本系統將依照以下三部分進行測試：

基礎實驗：I-V 曲線量測、定電壓驅動、定電流驅動。

進階實驗：直流降壓型 LED 驅動電路、交流降壓型 LED 驅動電路、升壓型 LED 驅動電路、升降壓兩用型 LED 驅動電路。

專題製作：紅綠燈暨小綠人交通控制功能、智慧型 LED 燈具測試。

#### 基礎實驗測試：

- I-V 曲線量測測試

I-V 曲線量測的測試方式為使用電壓表與電流表分別置於面板上預留的插槽，將電流表正端接至 A+、負端接至 A-、電壓表正端接至 V+、負端接至接地，將 LED 與電壓表並聯，並調整 10K 精密可變電阻，配合實驗教材進行 I-V 曲線的繪製。圖 19 為 I-V 曲線量測電路圖(可以 10K 改為 3k 精密可變電阻，因 3K~10K 間電流變化很小，不影響特性測試)。

- 定電壓驅動測試

使用穩壓 IC LM317 做為定電壓源，於 ADJ 腳接上 10K 之精密可變電阻後接地，並將輸出腳連接至面板上，測試方式為將使用電壓表與 1W LED，將電壓表正端接至定電壓驅動實驗之 V+ 接腳，接地腳接地後並聯 1W LED，量測其電壓並調整可變電阻讀取數據，圖 20 為定電壓驅動電路。



- 定電流壓驅動測試

使用穩壓 IC LM317 的定電流應用，將 OUT 腳與 ADJ 腳間加入 10k 精密可變電阻，並將 ADJ 腳接至面板上，測試方式為使用電流表與 1W LED，將電流表正端接至面板上保留的 A+ 腳位，負端接至 LED 的正電端，LED 負電端直接接地，並調整可變電阻讀取電流表數值，圖 21 為定電流驅動實驗電路。

**進階實驗測試：**

利用直流降壓型 LED 驅動電路，交流降壓型 LED 驅動電路，升壓型 LED 驅動電路，升降壓兩用型 LED 驅動電路等 4 種方式，調整可變電阻改變輸入電壓與透過 IC 555 改變 PWM 輸出，配合實驗教材進行實驗。[8,9]

**專題製作測試：**

各專題模組實驗都以 AT89S52 CPU 為控制核心，為方便擴充模組與實驗，電路板設計是將 AT89S52 各 I/O 腳做排針拉出。並放置實驗系統的右上方，電路設計板如圖 22 所示。

- 紅綠燈交通號誌控制測試

紅綠燈交通號誌是模擬路口之紅黃綠燈號、左轉燈號，及秒數倒數。硬體使用了 LED 顯示模組、編碼 IC 74LS47、多位數七段顯示器模組，與 AT89S52 控制板連接，圖 23 為紅綠燈交通號誌控制電路圖。

- 小綠人交通號誌控制測試

小綠人交通號誌控制是利用小綠人與小紅人圖像，及其動畫，提醒行人通行，硬體電路包括 16x16 雙色點陣模組、串列輸出 IC 74HC595、4 對 16 解碼 IC 74HC154、PNP 電晶體 cs9012、LED 顯示模組。

- 紅綠燈暨小綠人交通號誌整合控制測試

將紅綠燈與小綠人整合為一個完整的交通號誌控制專題，電路如圖 24 所示，圖 25 為紅綠燈，小綠人及時間倒數測試，圖 26 為紅綠燈，小紅人及時間倒數測試。

- 智慧型 LED 燈具

智慧型 LED 燈具的功能有：定時開啟/關閉 LED 功能、接近自動開啟 LED、自動調整 LED 亮度、觸控調整亮度等，其架構包含：DS1302 計時模組、紅外線反射器 CNY70、比較器 IC LM393、紅外線人體感測器 RE200B、訊號處理 IC BISS0001、A/D 轉換 IC ADC0804、光敏電阻，並連接至 AT89S52 控制板。圖 27 所示為智慧型 LED 燈具電路圖。

## 4.2、實驗教材

實驗教材的內容分基礎實驗、進階實驗和專題製作編撰，共分為 11 個章，各章節的名稱如圖 28 所示。各章摘要如下：



- 第 1 章  
介紹 LED 發光元件之歷史與其發光原理、製作材料、等效電路、I-V 特性曲線、LED 應用場合與趨勢，使學生對 LED 發光二極體有初步的認識。
- 第 2 章  
介紹 HV9910 作為降壓型 LED 驅動電路 IC，包含其內部結構與工作原理、其典型工作電路、直流降壓型驅動電路與交流降壓型驅動電路之週邊元件試算公式與常見錯誤。
- 第 3 章  
介紹 HV9912 作為升壓型 LED 驅動電路 IC，包含其內部結構與工作原理、其典型工作電路、連續導通應用模式驅動電路與不連續導通應用模式之週邊元件試算公式與常見錯誤。
- 第 4 章  
介紹 HV9930 作為升降壓型 LED 驅動電路 IC，包含其內部結構與工作原理、其典型工作電路、週邊元件試算公式與常見錯誤。
- 第 5 章  
介紹功率因素校正之 LED 驅動電路，包含何謂功率因素校正、何謂 BI-Bred 轉換電路、何謂升降壓型轉換電路、其電路工作原理與常見錯誤。
- 第 6 章  
本單元主要介紹 AT89S52 之輸出輸入埠的使用與控制方式，其中包含 LED 顯示控制實驗、單位數七段顯示器控制實驗、多位數七段顯示器控制實驗、16x16 雙色點矩陣控制實驗、外部中斷控制實驗及其內部結構與暫存器設定方式，使學生對往後的專題應用基礎。
- 第 7 章  
介紹 AT89S52 的三個計時中斷的使用與控制方式，其中包含計時中斷的說明、暫存器的控制方式、PWM 之工作原理以及如何使用 AT89S52 之計時中斷產生 PWM 信號的控制實驗。
- 第 8 章  
本單元介紹專題紅綠燈交通控制的製作，其中包含分析現有紅綠燈的動作情形、將動作與延遲時間製表方便以更人性化的方式更改數值、各個單元模組的實驗、將全部整合在一起製作程式流程圖，模擬現有紅綠燈的動作情形，藉此使學生練習分析現有產品與將程式數值表格人性化。
- 第 9 章  
本單元介紹專題紅綠燈小綠人交通控制的製作，其中包含分析現有小綠人與小紅人交通號誌的點陣狀態、點矩陣的掃描顯示原理、16x16 雙色點矩陣的控制實驗、並思考其顯示之改進方式與將動畫顯示的程式表格化以利後續維護及修正，藉此使學生擁有點陣動畫的初步製作能力。



- 第 10 章

本單元介紹專題紅綠燈暨小綠人交通控制的製作，本章包含了第十章與第十一章內容的整合：紅綠燈與小綠人動畫功能的整合、各式硬體的功能與顯示分配，程式的執行流程與整合，藉此使學生奠下整合專題功能的基礎與經驗。

- 第 11 章

本單元介紹專題智慧型 LED 燈具的製作，其中循序漸進從功能的設定要求、IC 模組的選擇與實驗、韌體的設計與統整以及最後的整合與測試偵錯，結合了紅外線人體感測與紅外線觸控調光與 LCM 資訊面板等特殊功能，完成一個可以用多種控制方式並可調光的智慧型 LED 燈具專題。

## 五、結 論

LED 實驗系統是產學合作計畫的成品，以教學為主的實驗設備，課程的規劃為一學年，第一學期安排基礎和進階實驗，讓學生習得 LED 基礎知識、LED 應用 IC 工作原理與選用、模組的測試與實驗的核心能力。第二學期安排專題製作，讓學生學到完整 LED 系統的設計及程式的編寫的技能等核心能力。課程內容包含基礎、進階及專題等三部分。由淺入深，按部就班，層層引導的介紹 LED 照明驅動電路設計原理及應用，內容包括 LED 參數量測原理，各式 LED 驅動 IC 的實驗，及結合嵌入式 CPU 的專題製作，將 LED 與週邊的應用電路模組作整合，使學生習得完整的 LED 應用系統設計觀念。本系統包括 LED 顯示模組、多位數七段顯示器、16x16 雙色點陣顯示器、PWM 輸出控制、A/D 轉換模組、紅外線人體感測模組、紅外線觸控模組、計時模組、LCM 模組等。

## 六、誌 謝

本論文承蒙國科會（NSC 100-2631-S-230-001-CC3）與聯正科技有限公司之經費補助及黃麟傑同學的硬體電路製作及軟體撰寫，使研究與實驗得以順利完成，特此致謝。



## 七、參考文獻

1. 行政院節能減碳推動會秘書處，“節能減碳國家總計畫－核定本”，中華民國 99 年 5 月。
2. 經濟部，“「綠色能源產業旭升方案」行動計畫(核定本)”，中華民國 98 年 10 月。
3. 周志敏，周紀海，紀愛華，“LED 驅動電路設計與應用”，五南圖書，2009 年 9 月。
4. HV9910B Datasheet, Supertex inc. [www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9910B.pdf](http://www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9910B.pdf).
5. HV9912B Datasheet, Supertex inc. [www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9912.pdf](http://www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9912.pdf).
6. HV9930B Datasheet, Supertex inc. [www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9930.pdf](http://www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9930.pdf).
7. HV9930B Datasheet, Supertex inc. [www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9931.pdf](http://www.supertex.com/pdf/datasheets/HV9931.pdf).
8. Y.H. Chang, and S.H. Yang, “ Design and realization of digital PWM generator IC for white LED,” 2004 Workshops on Consumer Electronics and Signal Processing, pp. 6-7, Aug. 2004
9. Michael Day, “ LED-driver considerations ” Applications Manager, Portable Power Products , Analog Applications Journal , SLYT084 , Texas Instruments Incorporated , 2005



圖 1、綠色能源產業旭升方案



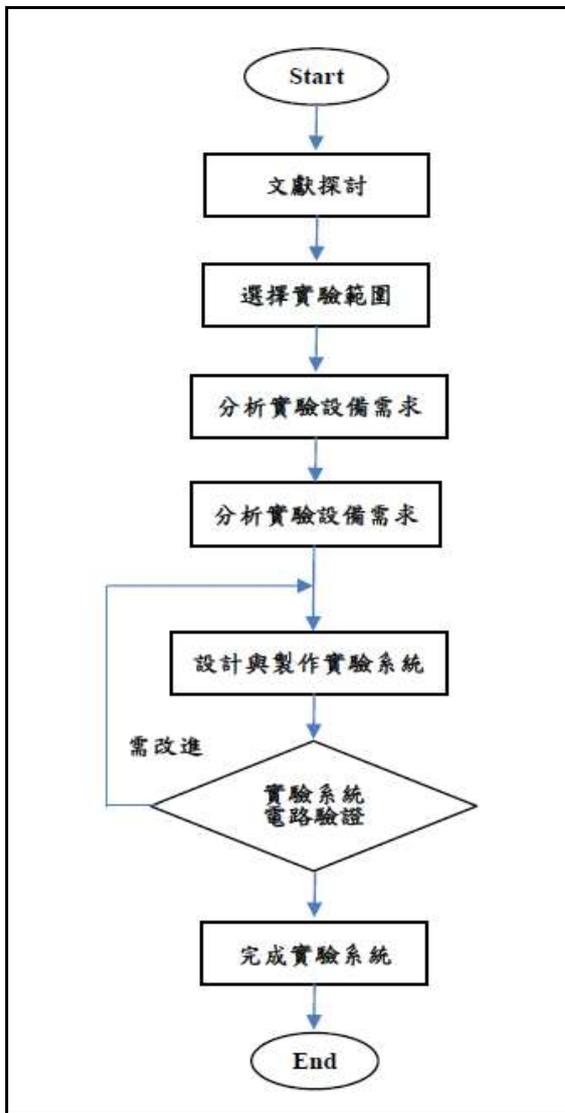


圖 2、LED 實驗系統電路設計研究流程

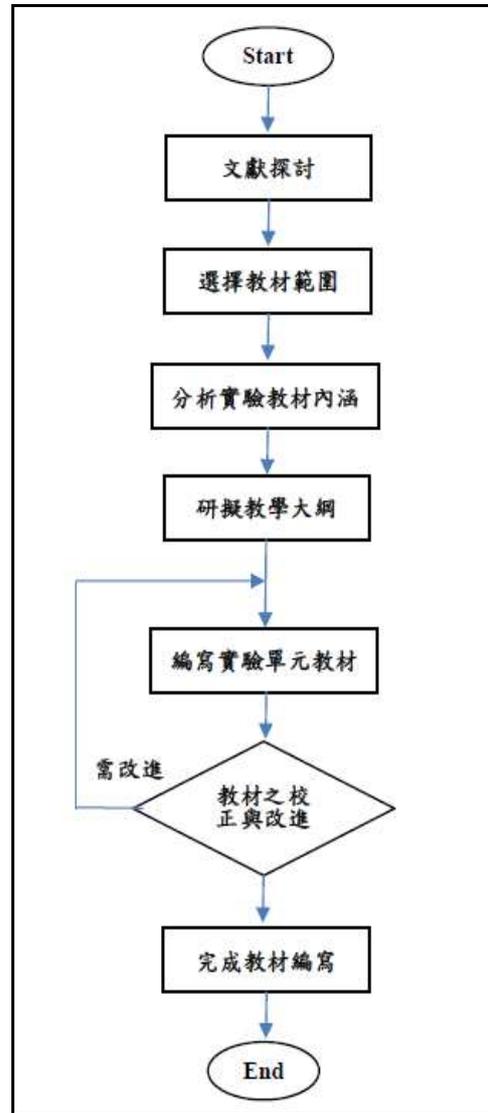


圖 3、LED 實驗教材編寫研究流程



圖 4、LED 的 I-V 特性曲線  
(資料來源：參考文獻[3])

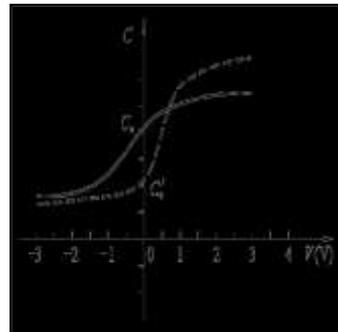


圖 6、LED 的 C-V 特性曲線  
(資料來源：參考文獻[3])



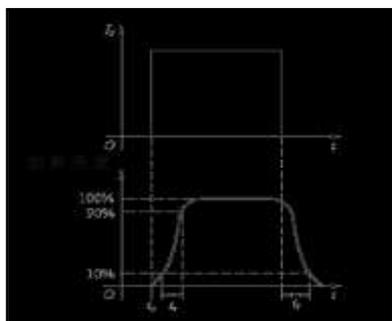


圖 6、LED 反應時間特性圖[5]

(資料來源：參考文獻[3])

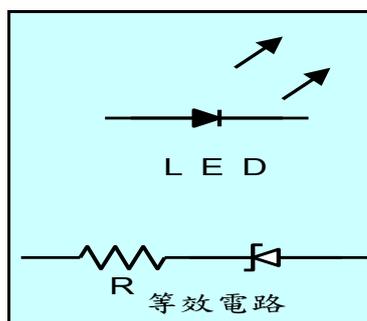


圖 7、LED 的等效電路圖

(資料來源：參考文獻[3])

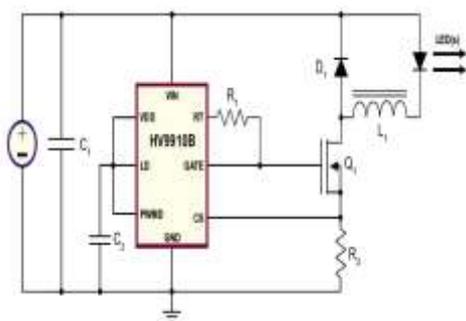


圖 8.直流輸入的降壓型電路

(資料來源：HV9910B datasheet)

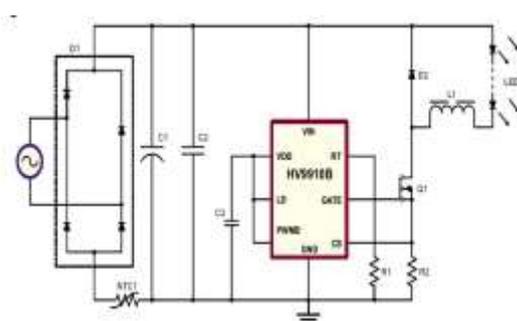


圖 9、交流輸入的降壓型電路

(資料來源：HV9910B datasheet)

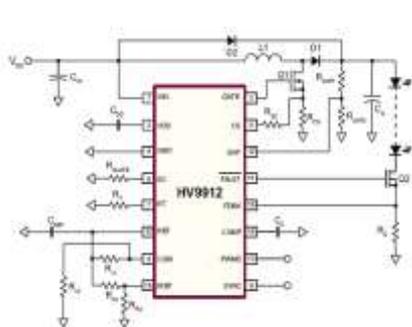


圖 10、升壓型 LED 轉換電路

(資料來源：HV9912 datasheet)

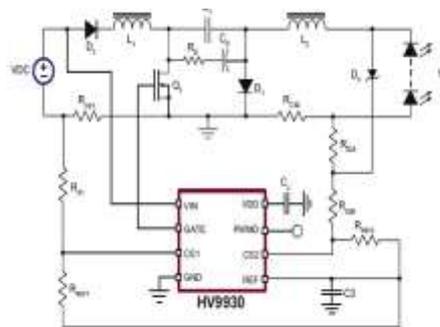


圖 11、升降壓兩用型 LED 轉換電路

(資料來源：HV9930 datasheet)



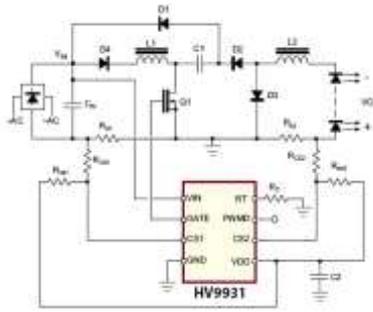


圖 12、具有功率因素校正的 LED 驅動電路  
(資料來源：HV9931 datasheet)

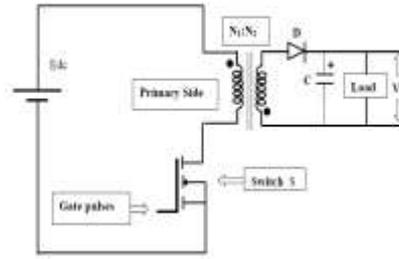


圖 13、基本返馳型電路  
(資料來源：參考文獻[3])

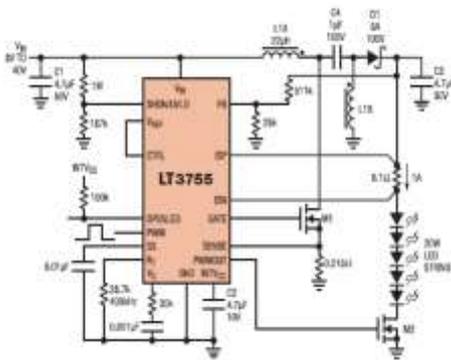


圖 14、為雙繞組返馳型轉換的應用電路  
(資料來源：LT3755 datasheet)

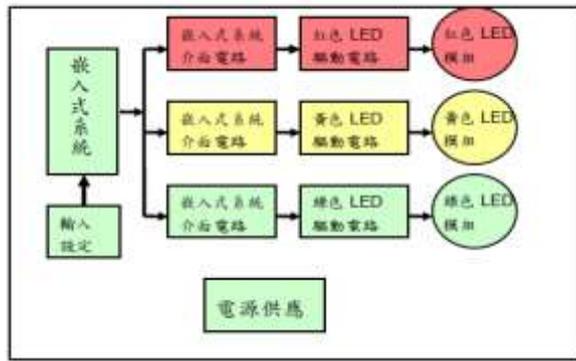


圖 15、紅綠燈交通號誌控制系統架構圖

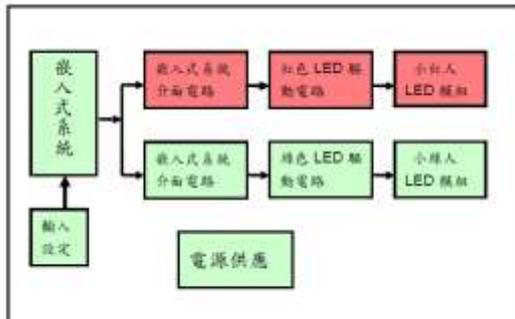


圖 16、紅綠燈暨小綠人交通號誌控制系統架構圖

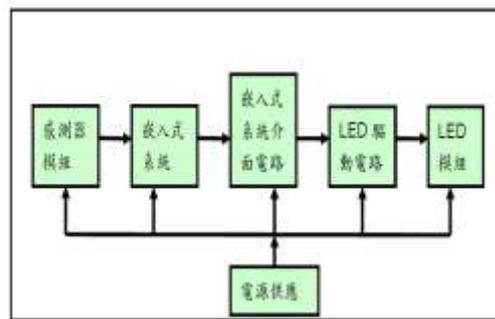
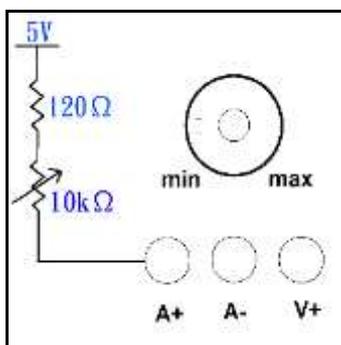


圖 17、智慧型 LED 照明燈具架構





圖 18、LED 實驗系統



19、I-V 曲線量測電路圖

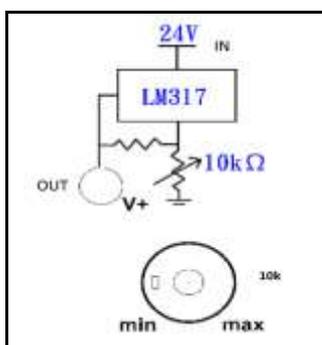


圖 20、定電壓驅動電路圖

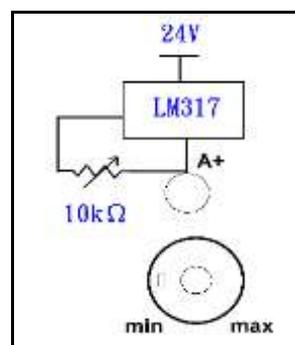


圖 21、定電流驅動電路圖



圖 22、專題實驗控制板



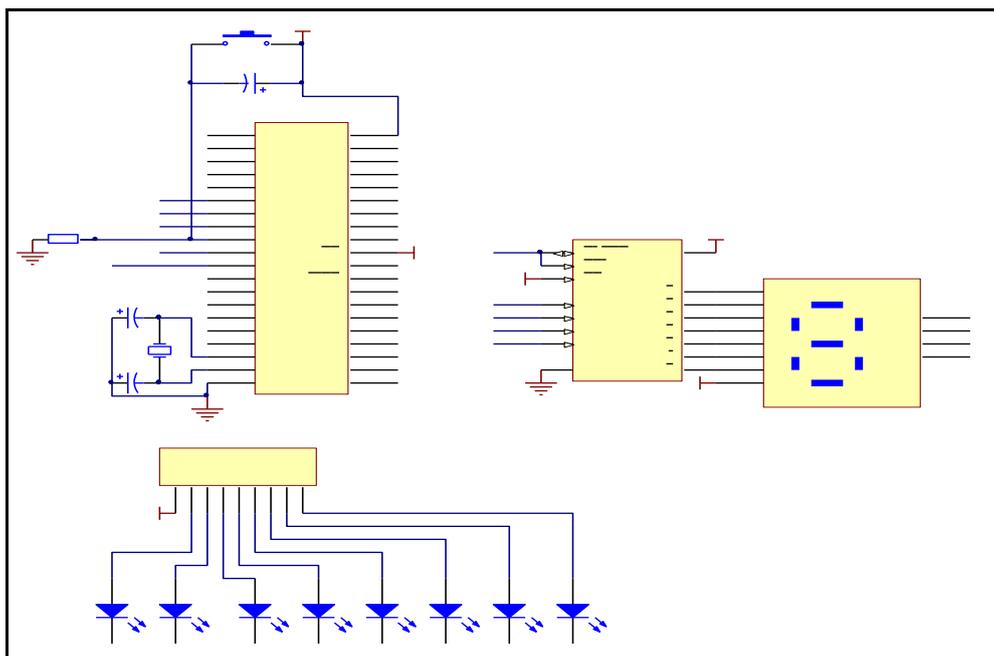


圖 23、紅綠燈交通號誌控制電路圖

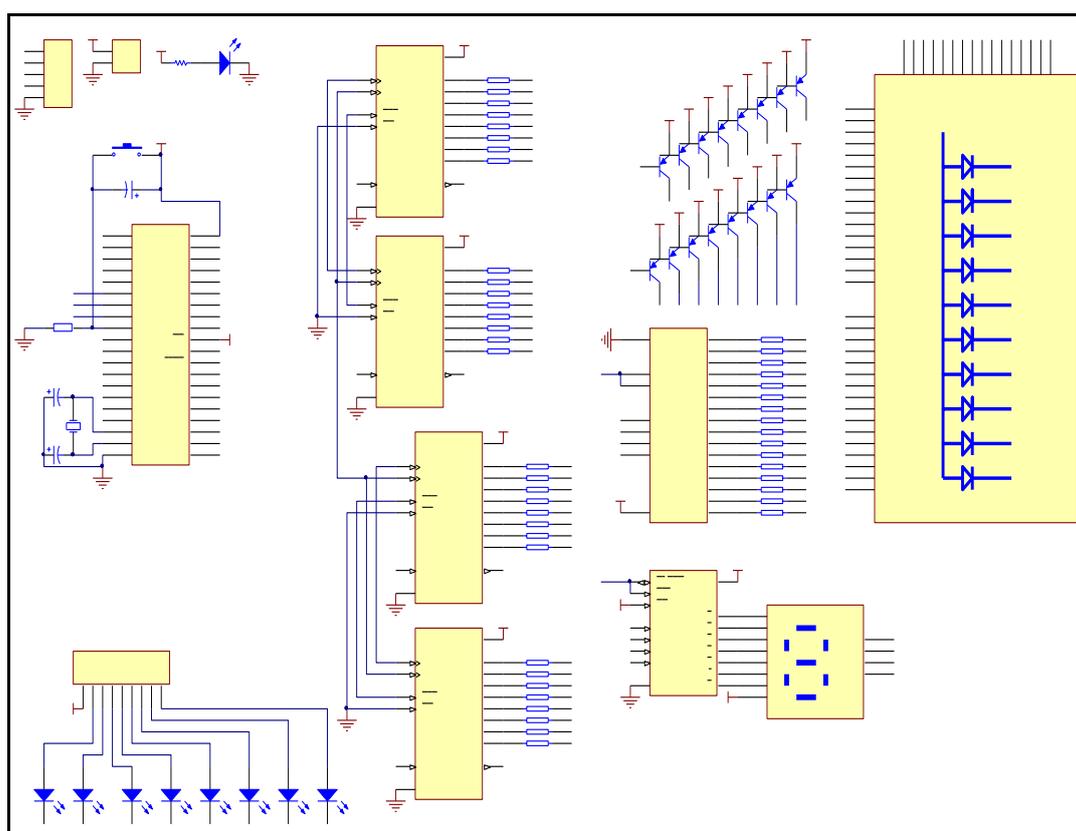


圖 24、紅綠燈暨小綠人交通號誌整合電路圖



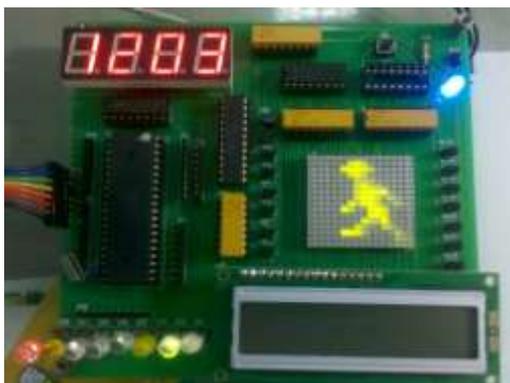


圖 25、紅綠燈，小綠人及時間倒數測試

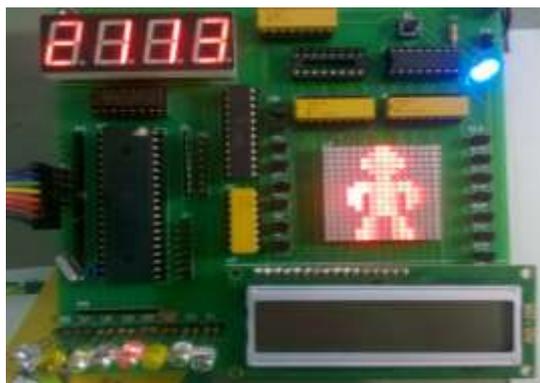


圖 26、紅綠燈，小紅人及時間倒數測試

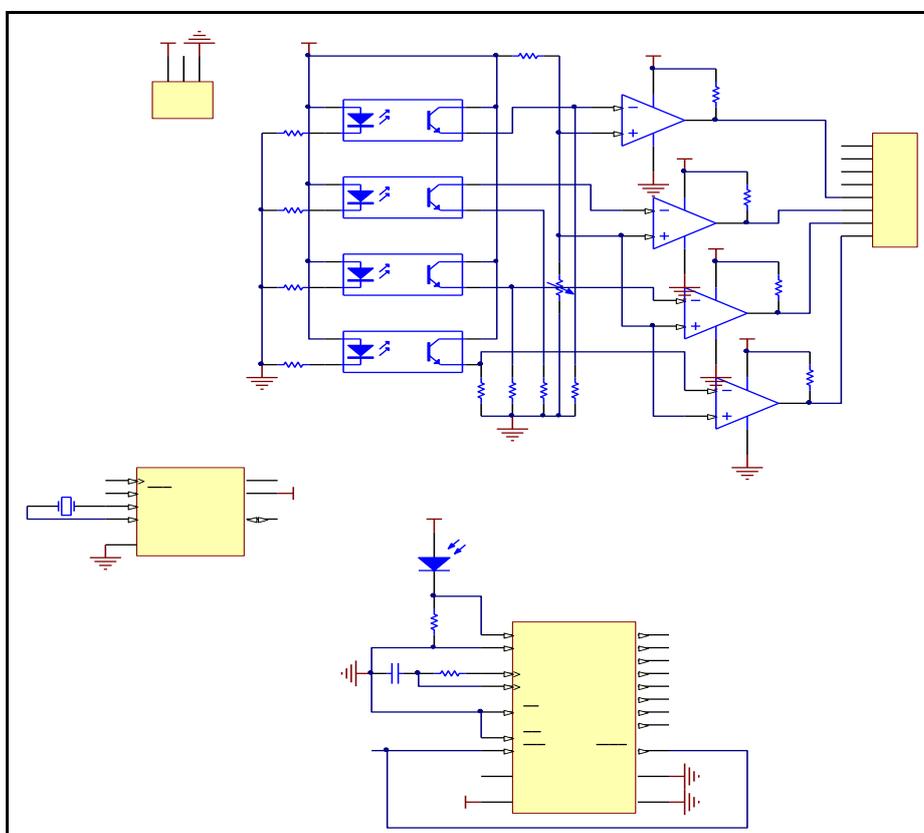


圖 27、智慧型 LED 燈具電路圖



第一章	•LED發光二極體的原理與基本特性
第二章	•降壓型LED驅動電路
第三章	•升壓型LED驅動電路
第四章	•升降壓兩用型LED驅動電路
第五章	•具有功率因素校正的LED驅動電路
第六章	•輸出人埠之原理與應用
第七章	•脈波寬度調變之原理與控制
第八章	•紅綠燈交通控制專題製作
第九章	•紅綠燈小綠人交通控制專題製作
第十章	•紅綠燈暨小綠人交通控制專題製作
第十一章	•智慧型LED照明燈具專題製作

圖 28、實驗教材章節

