

國立臺灣大學機械工程學系研究所碩士論文

指導教授：黃秉鈞教授

高功率LED之主動式散熱控制技術研究

**A Study on Active-Cooling Control Technology of  
High-power LED Lighting Luminaries**



研究生：羅逸軒 撰

中華民國九十八年六月

# 誌謝

本論文是受到許多人的協助下所完成的，在此，我僅以有限篇幅對這段期間曾經給予我幫助的人致上謝意。

首先我要感謝我的父母和姊姊，家人們時常給予我最大的支持和鼓勵，沒有他們為我加油打氣，就不會有今天的我，他們總是在背地裡默默給予我心理和生活上的支持，使我永遠可以不用為無謂的事煩惱。

再來要感謝的是指導教授 黃秉鈞教授，感謝老師的細心指導，讓我在兩年的研究生涯可以學到很多課本以外的知識。不論是國內外的研討會或是舉辦展覽，大家都感受到老師對各個細節的重視，如同老師在課堂教學和指導我們做研究時所抱持的態度。

接著要感謝研究助理吳大哥和葉大哥，因為你們的細心和充滿耐心的指導，才能使完全沒有實作基礎的我累積不少的實作經驗。感謝整合公司，尤其是工程師一小洪，因為有你的大力協助，本論文才得以如期完成。

另外要感謝實驗室的所有人，民聖、佳鴻、博恩、俊瑋、阿甘、志瑋等各位學長大力的幫忙，我的研究論文才得以順利完成，感謝同窗好友阿晃、于平、佑星及珮儀，跟你們一起學習、修課時的互相討論，真的讓我獲益良多。還有實驗室的助理和學弟，有了你們，實驗室的氣氛也熱鬧了許多。希望大家在未來的日子裡，都能一切順利順心，過著自己想過的生活。

# 高功率 LED 之主動式散熱控制技術研究

羅逸軒\* 黃秉鈞\*\*

國立台灣大學  
機械工程學系研究所

## 摘要

本研究旨在開發 LED 主動式散熱技術，提供高功率 LED 在特殊高溫環境下(高頂建築、礦坑、工廠等)散熱所需。本研究利用 DC 12V(48W)變頻壓縮機作為主動製冷元件，配合 LED 燈具設計，將冷凝器、膨脹閥及蒸發器等元件，和燈具硬體做結合，將 LED 照明時所產生的熱量散發至環境中。蒸發器固定於 150W LED 鋁基板上，透過銅管內冷媒循環傳遞熱量，將熱量從 150W LED 鋁基板傳導至冷凝器。冷凝器固定於燈具外殼的內壁，熱量從冷凝器傳導至燈具外殼，最後透過自然對流方式來散熱。另外，我們將量測到的 LED 鋁基板溫度進行回授控制，利用壓縮機變頻控制技術改變壓縮機的轉速，達到控制 LED 鋁基板溫度且節省壓縮機運轉耗能之目的。在 25°C 的環境下，壓縮機平均耗能為 26W，可將 LED 鋁基板溫度維持在 50°C，壓縮機的 COP 達 5.77，LED 燈泡發光效率為 85.2 lm/W；而在高溫 40°C 的環境下，壓縮機平均耗能為 48W，LED 鋁基板溫度維持在 50°C，壓縮機的 COP 達 3.13，LED 燈泡發光效率為 77 lm/W。

**關鍵字：**LED、主動式散熱、高溫環境

\* 研究生

\*\* 指導教授

# **A Study on Active-Cooling Control Technology of High-power LED Lighting Luminaries**

Yi-Hsuan Lo\*      Bin-Juine Huang\*\*

Department of Mechanical Engineering  
National Taiwan University

## **Abstract**

The main objective of this study is to develop LED with active-cooling technique, designing an interior droplight, which can provide high power LED for the purpose of heat dissipation in high temperature environment (e.g. mines, factories and desert areas). This study uses DC 12V compressor as active-cooling component, with the interior droplight design, integrating the condenser, expansion valve, and evaporator into a system. The aim of applying this system is to dissipate the heat from the 150W LED into the environment. In addition, the temperature measured by the aluminum PCB is then processed for feedback control. The inverter technology is used to change the rotating speed of the compressor, to control the temperature of aluminum PCB, and to save power while the compressor is in operation. The LED aluminum PCB is controlled at around 50°C under ambient temperature 25°C, and the average power consumption of the compressor is 26W. The COP is 5.77, and the overall LED efficacy is about 85.2 lm/W. At 40°C, the average power consumption of the compressor is 48W. The COP is 3.13, and the overall LED efficacy will be reduced to about 77 lm/W.

**Keywords:** LED 、 active-cooling 、 high temperature

\* Graduate Student

\*\* Advisor

# 目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究內容.....	5
第二章 LED照明燈具機構設計及製作.....	6
2.1 燈具元件介紹.....	8
2.1.1 150W LED發光模組規格.....	8
2.1.2 變頻式直流壓縮機特性.....	9
2.2 燈具散熱模組設計.....	11
2.3 燈具散熱模組製作.....	15
2.3.1 冷凝器製作.....	15

2.3.2 蒸發器製作.....	15
2.3.3 燈具主體結構製作.....	16
<b>第三章 LED燈具動態系統識別.....</b>	<b>18</b>
3.1 LED燈具動態模型推導.....	18
3.2 系統動態模型識別.....	27
3.2.1 系統識別方法.....	27
3.2.2 實驗設計.....	32
3.3 系統識別結果.....	35
3.3.1 $G_{\omega}(s)$ 之識別結果.....	35
3.3.2 $G_A(s)$ 之識別結果.....	40
3.3.3 $G_s(s)$ 之識別結果.....	44
<b>第四章 控制系統設計分析與製作.....</b>	<b>48</b>
4.1 變頻控制系統設計分析.....	48
4.2 變頻控制系統參數分析.....	50
4.3 變頻控制系統硬體設計與製作.....	57
4.4 變頻控制系統軟體撰寫.....	61
4.5 系統整合測試.....	63
4.5.1 環境溫度對系統之影響.....	63
4.5.2 環境風速對系統之影響.....	67

第五章 討論與結論.....	70
5.1 討論.....	70
5.2 結論.....	71
5.3 未來展望.....	72
參考文獻.....	73
附錄 PIC16F877A 控制器程式.....	75
作者簡歷.....	82



# 圖目錄

圖 1.1-1 全球 LED 市場預測圖.....	2
圖 1.1-2 LED 晶蕊溫度和照度關係圖.....	3
圖 1.1-3 LHP 散熱燈具圖.....	3
圖 2-1 吊燈內部冷媒循環圖.....	7
圖 2-2 燈具系統圖.....	7
圖 2.1.1-1 150W LED 發光模組.....	9
圖 2.1.2-1 壓縮機外觀(圖一).....	9
圖 2.1.2-2 壓縮機外觀(圖二).....	10
圖 2.2-1 燈具內部框架設計圖.....	11
圖 2.2-2 燈具外殼設計圖.....	12
圖 2.2-3 150W LED 吊燈設計圖(斜視).....	12
圖 2.2-4 150W LED 吊燈設計圖(下視).....	13
圖 2.2-5 冷凝器銅管管路示意圖.....	13
圖 2.2-6 吊燈內部元件配置圖.....	14
圖 2.3.1-1 冷凝器製作圖.....	15
圖 2.3.2-1 蒸發器製作圖.....	16
圖 2.3.3-1 燈具內部框架組裝圖.....	16



圖 2.3.3-2 燈具外觀圖.....	17
圖 3.1-1 LED 溫度控制系統結構圖.....	18
圖 3.1-2 LED 燈具能量平衡圖.....	19
圖 3.1-3 二階系統加入左半面極點對暫態性能的影響.....	25
圖 3.2.1-1 150W LED 燈具系統方塊圖.....	27
圖 3.2.1-2 $\tilde{T}_A = 0$ 、 $\tilde{V}_W = 0$ 之系統方塊圖.....	28
圖 3.2.1-3 步階輸入圖形.....	28
圖 3.2.1-4 $\tilde{T}_A = 0$ 、 $\tilde{V}_W = 0$ 之步階響應系統方塊圖.....	29
圖 3.2.1-5 步階響應值 $\eta(t)$ 曲線.....	30
圖 3.2.1-6 $\tilde{\omega} = 0$ 、 $\tilde{T}_S = 0$ 之步階響應系統方塊圖.....	31
圖 3.2.1-7 $\tilde{\omega} = 0$ 、 $\tilde{T}_A = 0$ 之步階響應系統方塊圖.....	31
圖 3.2.2-1 系統識別測試設備.....	32
圖 3.2.2-2 LED 鋁基板背面量測點位置.....	33
圖 3.2.2-3 系統識別設備圖.....	33
圖 3.3.1-1 壓縮機轉速由 2000rpm 上升至 2500rpm 步階響應曲線.....	35
圖 3.3.1-2 壓縮機轉速由 2500rpm 上升至 3000rpm 步階響應曲線.....	36
圖 3.3.1-3 壓縮機轉速由 3000rpm 上升至 3500rpm 步階響應曲線.....	36
圖 3.3.1-4 壓縮機轉速由 3500rpm 降至 3000rpm 步階響應曲線.....	37
圖 3.3.1-5 壓縮機轉速由 3000rpm 降至 2500rpm 步階響應曲線.....	37

圖 3.3.1-6 壓縮機轉速由 2500rpm 降至 2000rpm 步階響應曲線.....	38
圖 3.3.1-7 $\tilde{G}_\omega(s)$ 在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖.....	39
圖 3.3.2-1 環境溫度由 20°C 上升至 30°C 之步階響應曲線.....	40
圖 3.3.2-2 環境溫度由 30°C 上升至 40°C 之步階響應曲線.....	41
圖 3.3.2-3 環境溫度由 40°C 降至 30°C 之步階響應曲線.....	41
圖 3.3.2-4 環境溫度由 30°C 降至 20°C 之步階響應曲線.....	42
圖 3.3.2-5 $\tilde{G}_A(s)$ 在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖.....	43
圖 3.3.3-1 風量改變由無風環境至風速 1m/s 之步階響應曲線.....	44
圖 3.3.3-2 風量改變由風速 1m/s 至風速 2m/s 之步階響應曲線.....	45
圖 3.3.3-3 風量改變由風速 2m/s 至風速 1m/s 之步階響應曲線.....	45
圖 3.3.3-4 風量改變由風速 1m/s 至無風環境之步階響應曲線.....	46
圖 3.3.3-5 $\tilde{G}_V(s)$ 在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖.....	47
圖 4.1-1 加入 PI 控制器之閉迴路系統方塊圖.....	49
圖 4.2-1 具有飽和制動器之系統方塊圖.....	50
圖 4.2-2 具有反積分終結器之系統方塊圖.....	51
圖 4.2-3 系統模擬方塊圖.....	51
圖 4.2-4 $K_I = 0.4$ , $K_P = 25 \sim 150$ 之模擬結果圖形.....	53
圖 4.2-5 $K_P = 150$ , 調整 $K_I$ 之模擬結果圖形.....	54
圖 4.2-6 $\tilde{T}_A(s)$ 對 $\tilde{T}_L(s)$ 轉移函數波德圖.....	55

圖 4.2-7 $\tilde{V}_W(s)$ 對 $\tilde{T}_L(s)$ 轉移函數波德圖.....	56
圖 4.3-1 變頻控制系統硬體方塊圖.....	57
圖 4.3-2 控制電壓分壓電路.....	58
圖 4.3-3 壓縮機轉速和控制電壓關係圖.....	58
圖 4.3-4 壓縮機轉速控制電路板.....	58
圖 4.3-5 溫度感測器電路.....	59
圖 4.3-6 控制器電路圖.....	60
圖 4.3-7 系統電路完成圖.....	60
圖 4.4-1 積分近似圖.....	61
圖 4.4-2 變頻控制器軟體流程圖.....	62
圖 4.5.1-1 壓縮機未啟動狀態下之 LED 鋁基板溫度變化情形(環境溫度 23°C).....	63
圖 4.5.1-2 系統性能測試(環境溫度 25°C) .....	64
圖 4.5.1-3 系統性能測試(環境溫度 40°C).....	65
圖 4.5.1-4 系統性能測試(環境溫度 20°C 升至 30°C).....	66
圖 4.5.2-1 不同環境風力情況下系統性能測試(環境溫度 25°C).....	67
圖 4.5.2-2 高溫陣風情況下系統性能測試(風速 1.5m/s).....	68

# 表目錄

表 2.1.1-1	150W LED 工研院測試資料(一)	8
表 2.1.1-2	150W LED 工研院測試資料(二)	8
表 2.1.2-1	KSDC006LJCKXY 壓縮機規格	10
表 3.3.1-1	不同壓縮機轉速操作點下的識別結果(周溫 40°C)	38
表 3.3.2-1	不同環境溫度操作點下的識別結果(3500 rpm)	42
表 3.3.3-1	不同環境風速操作點下的識別結果(3500rpm)	45
表 4.2-1	$K_I=0.4$ 改變 $K_P$ 之步階響應模擬結果	52
表 4.2-2	$K_P=150$ 改變 $K_I=0.4\sim 0.9$ 之步階響應模擬結果	53
表 4.5.2-1	不同環境條件下之冷凝器與空氣間熱阻和壓縮機 COP 值	69

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

由於受氣候暖化和工業發展的影響，台灣地區用電量逐年攀升。近 5 年來，全台灣用電量去年已經達到 1816 億度，平均成長率達 4.8%，其中又以工業用電的成長比率最高。如果單從工業用電來看，平均成長率高達 5% 到 6%。再以台灣照明用電使用情況分析，可分為五大應用區塊，包括辦公室(34%)、家庭(26%)、商場(14%)、工業(18%)和道路(8%)。根據估計，一般商業大樓的照明用電約佔大樓總用電量的 30~40%，因照明不像空調一般具有季節性的差異，因此用電需求量大。照明用電量佔全國總用電量的 15~20%(包含工業、商業、住宅部門)，是不可小覷的電力消費。因此，只要在照明耗電方面節省 30%，就能降低全國約 5% 的電力消費量，數量驚人。

近年來，新興的固態光源：發光二極體(LED-Light Emitting Diode)，是被看好在未來十年內，成為替代傳統照明器具的一大潛力商品。此種半導體光源與傳統白熾鎢絲燈泡及日光燈相比，具有體積小、發熱量低、耗電量小、壽命長、反應速度快、環保、輕薄短小等優點。LED 和相同亮度的傳統燈泡相比，耗電量可以節省 50~80%。

以 LED 的市場來看，2006 年全球 LED 市場為 61.7 億美元，預計 2011 年成長至 125 億美元，平均每年市場成長率達 17.1%，速度驚人。因此 LED 可說是未來一大潛力商品[圖 1.1-1]。

而就技術層面來看，以目前單一顆高亮度 LED 的發光效率來看，已超過 100 lm/W，但照明設備必須使用多顆高亮度 LED 做不同的排列組合，以及搭配輔助光學才能達到照明的效果。密集的組合多顆高功率 LED 會產生熱源集中的問

題，當操作溫度超過晶蕊上限溫度，將會造成晶蕊燒毀或使光衰問題更加嚴重。因此需透過必要的散熱機制來解決熱的問題，LED 溫度和照度關係圖如圖 1.1-2。

傳統的 LED 散熱方式採用強制對流的設計概念：利用散熱鰭片加裝一個風扇，來達成散熱的效果。但是採用風扇的散熱裝置，會衍生幾個問題：(1)風扇故障；(2)消耗能量；(3)振動與噪音問題等等，其中，噪音問題更是令人無法忍受的一大問題點。

另外，使用被動式散熱元件，如 LHP(Loop heat pipe)<sup>[1]</sup>，如圖 1.1-3 所示。LHP 雖不需依賴外界輸入能量，可達到省電的目的，但在高溫、密閉且通風不良的特殊環境下(如沙漠環境、高頂建築、礦坑、工廠等)，被動散熱方式無法順利散熱。

針對高溫等特殊環境的情況下，本研究係利用主動式散熱技術，來解決高功率 LED 發光時所衍生出來的散熱問題，使 LED 照明的應用場合範圍擴大，並可防止 LED 晶蕊溫度過高所導致的照度衰減和壽命降低等問題產生。



圖 1.1-1 全球 LED 市場預測圖 (資料來源：工研院)

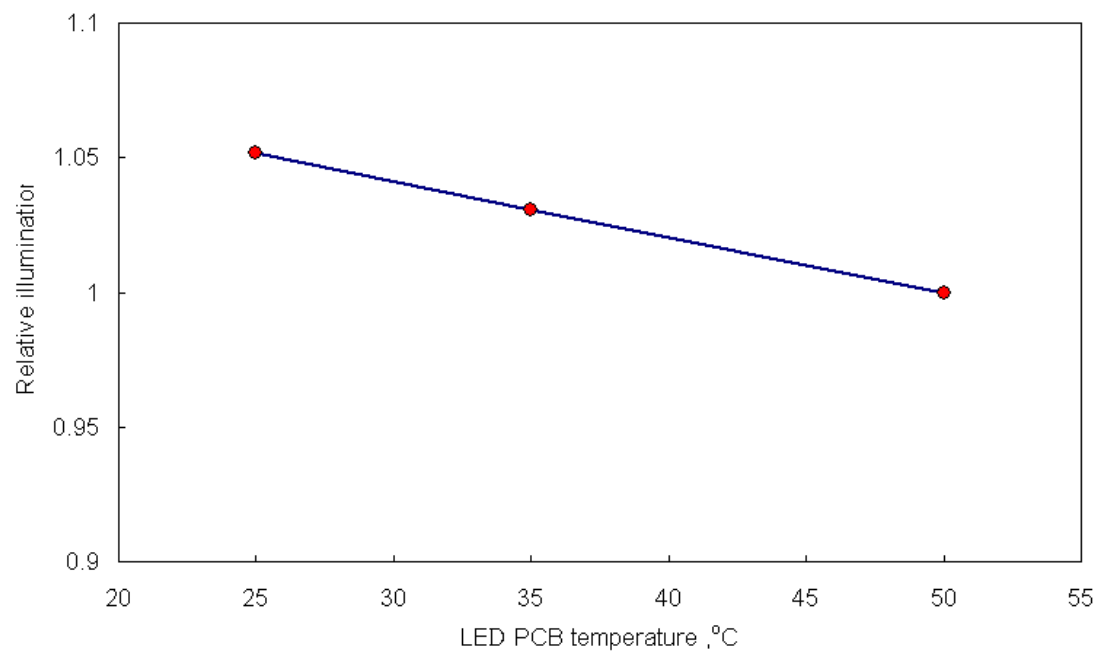


圖 1.1-2 LED 晶蕊溫度和照度關係圖



圖 1.1-3 LHP 散熱燈具圖

## 1.2 研究目的

本研究目的為開發一具有主動式散熱機制之 LED 燈具，利用小型直流變頻式壓縮機來達到製冷目的，專門提供高功率 LED 照明燈具在高溫、密閉且通風不良的特殊環境下散熱所需。透過銅管良好的可繞性、且具遠距離傳熱的特點，利用壓縮機驅動冷媒流動，可以使 LED 發光時產生的熱能均勻地分佈在燈罩上，最後透過環境空氣自然對流的方式將熱量帶走。

由於採主動式散熱設計，因此我們也須利用壓縮機變頻控制技術改變壓縮機的轉速<sup>[2]</sup>，以達到省電之目的。另外，控制器的設計目的除了有效控制 LED 鋁基板溫度之外，還必須考慮當環境溫度和風力變化時，減少外界干擾所產生的影響。





## 1.3 研究內容

本研究旨在開發 LED 主動式散熱技術，尤其針對其系統抗環境干擾等問題，主要探討利用直流變頻式壓縮機作為主動製冷元件，達到省電和提升散熱效率的目標。研究內容如下：

- (1)LED 照明燈具機構設計及製作。
- (2)LED 燈具動態系統識別。
- (3)控制系統設計分析與製作。
- (4)系統整合測試。



## 第二章 LED 照明燈具機構設計及製作

由於 LED 燈具系統為主動式散熱設計，壓縮機的製冷能力主要影響高效率 LED 燈具的散熱量。然而，良好的燈具機構設計，不僅使燈具體積更為縮小，同時固定單位面積下，燈具散熱量提升，使壓縮機不需長時間維持高轉速運轉，達到節省耗電量的目的。另外，燈具系統內有製冷元件，系統整體重量較傳統燈具增加，燈具系統的懸吊重心配置和避免壓縮機運作時產生的震動噪音等問題，也是燈具機構設計時所必須考慮到的重點。

主動式散熱燈具動作原理為：壓縮機負責冷媒(R-134a)流動及壓縮的功能，低壓低溫的氣態冷媒經壓縮機加壓後，會變成高壓高溫的氣體狀態。高壓高溫的氣態冷媒流進冷凝器，藉由冷凝器(固定於燈具殼壁)和空氣自然對流作熱交換，達到冷媒散熱目的，這時冷媒會變成高壓中溫的液體狀態。高壓中溫的液態冷媒會經由膨脹閥的阻流，膨脹為低壓低溫的飽和狀態(氣態+液態)。低壓低溫的飽和狀態冷媒流進蒸發器，藉由蒸發器與 150W LED 鋁基板做熱交換，達到冷媒吸熱(對 150W LED 鋁基板降溫)目的，冷媒會回復到低壓低溫的氣體狀態。如此以達到 LED 散熱的目的。吊燈內部冷媒循環圖如圖 2-1，燈具系統圖如圖 2-2 所示。

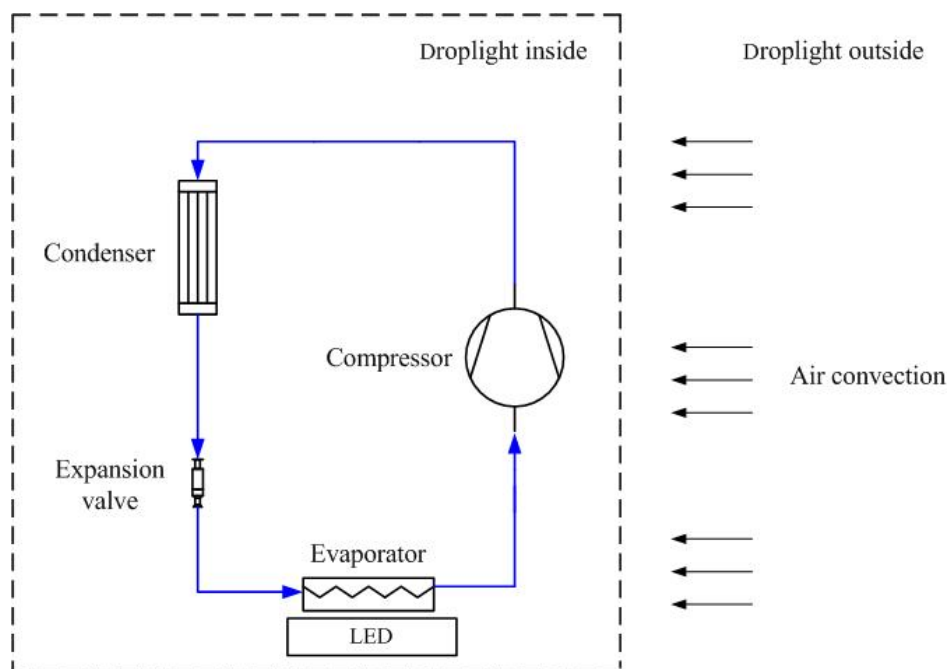


圖 2-1 吊燈內部冷媒循環圖

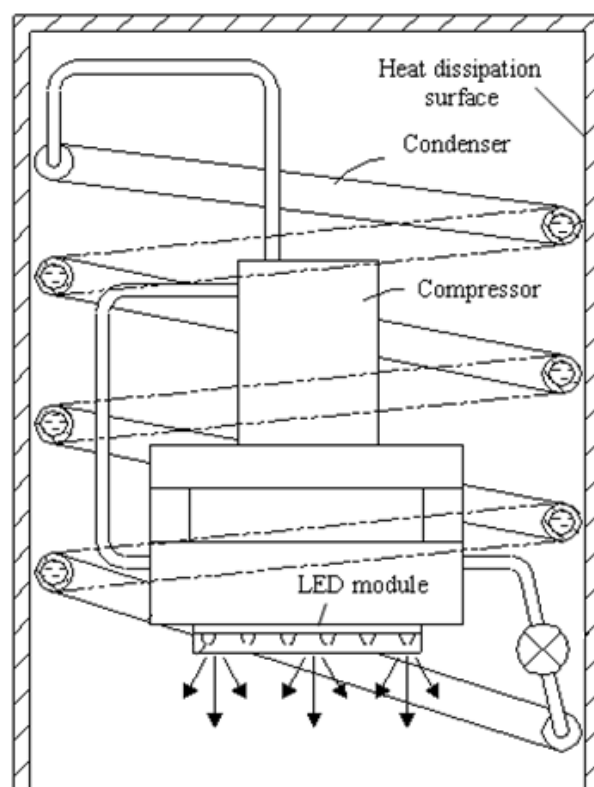


圖 2-2 燈具系統圖

## 2.1 燈具元件介紹

主動式散熱LED燈具包含二大組件：(1)發光組件—150W LED發光模組；(2)主動式散熱系統，接下來將介紹各組件的特性。

### 2.1.1 150W LED 發光模組規格

本研究所使用的燈具為總瓦數150W LED燈具，是由單顆1.2W的LED所組成的發光模組。表2.1.1-1和表2.1.1-2為本研究之150W LED在工研院的性能測試結果。

表 2.1.1-1 150W LED 工研院測試資料(一)

電壓 (V)	電流 (A)	瓦數 (W)	總流明數 (lm)	發光效率 (lm/W)	50%光分佈角	90%光分佈角
45.2	3.3	149.16	8836	50.9	52.6°	71.1°

表 2.1.1-2 150W LED 工研院測試資料(二)

中央照度	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
(Lux)	4200	1050	467	263	168	117	86	66

發光模組為經由模組化的設計，可因應的不同的燈具設計。模組化的設計也可使燈具具有防水、導熱、高透光及簡易拆卸的功能要求，發光模組外觀如圖2.1.1-1。

本研究所使用的 150W LED 燈具[718YG07W01V3.0-N32SL-ez1000]，發光模組採用單顆 1W LED [14(串聯)×9(並聯)]，並且為了讓亮度輸出集中，且發光模組小型化，因此於面積 210mm×110mm 裝配了 126 顆 LED 燈泡，輸出功率可達 150W。

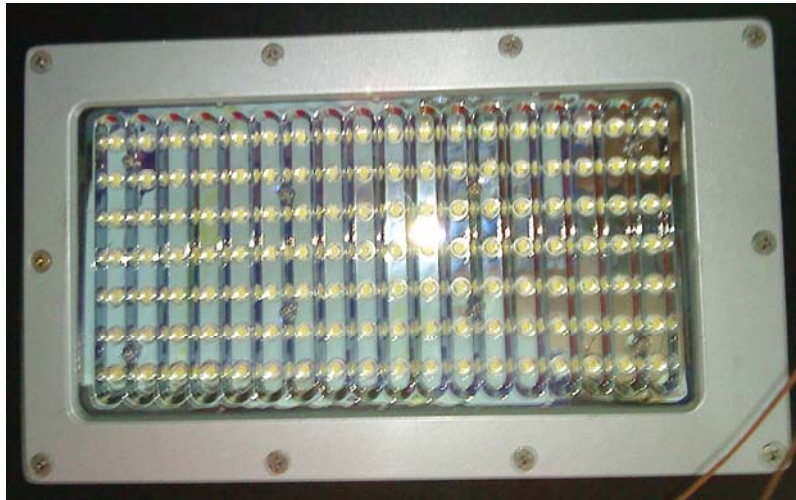


圖 2.1.1-1 150W LED 發光模組

### 2.1.2 變頻式直流壓縮機特性

高功率 LED 在發光的同時，會產生高熱量。如果無法適時的將熱量有效的導出，LED 長時間運作在高溫的情況下，將會對 LED 的壽命及效能造成很大的影響。

本研究使用東元公司出產之 KSDC006LJCKXY 直流變頻式壓縮機，其排氣容積為 0.6c.c/rev，最大耗電功率為 47 瓦。壓縮機轉速可由 0rpm 至 4200rpm。壓縮機外觀如圖 2.1.2-1 和圖 2.1.2-2 所示。壓縮機性能規格如表 2.1.2-1。



圖 2.1.2-1 壓縮機外觀(圖一)



圖 2.1.2-2 壓縮機外觀(圖二)

表 2.1.2-1 KSDC006LJCKXY 壓縮機規格

Cooling capacity:	100W @ evaporator temperature 7.2 °C
Rated power input:	40W @ 12VDC
Input voltage:	11-15 VDC
Swept volume:	0.6 cc/rev
Frequency:	0 - 4500 rpm (0-5VDC input)
Refrigerant:	R134a
Ambient temperature:	<55 °C
Size:	OD 60 mm x L100 mm
Weight:	1.3 kg
Noise:	45 dBA @full speed

## 2.2 燈具散熱模組設計

在燈具硬體設計部分，燈具外殼為鋁材質，可提供良好的導熱性質及減輕整體重量。另外，為增加燈具外殼的散熱面積，在固定的體積條件下，設計為圓柱形，其側面面積可較方柱形側面面積大幅增加。但圓柱型的設計提高了製作及加工的難度。在散熱面積和加工製作等各方面因素考量之下，我們決定將燈具外殼設計為正八角柱以滿足散熱和加工製作等需求。

燈具硬體部份主要由 150W LED 發光模組、內部框架及燈具外殼等三大部分組合而成。內部框架為由十二支方形空心鋁柱相互焊接而成的長方體，尺寸如下：長為 443 毫米，寬為 248 毫米，高為 391 毫米，配合與燈殼連接的鋁柱，主要設計目的為支撐吊燈整體重量並固定各部分燈具元件，燈具內部框架設計圖如圖 2.2-1 所示。

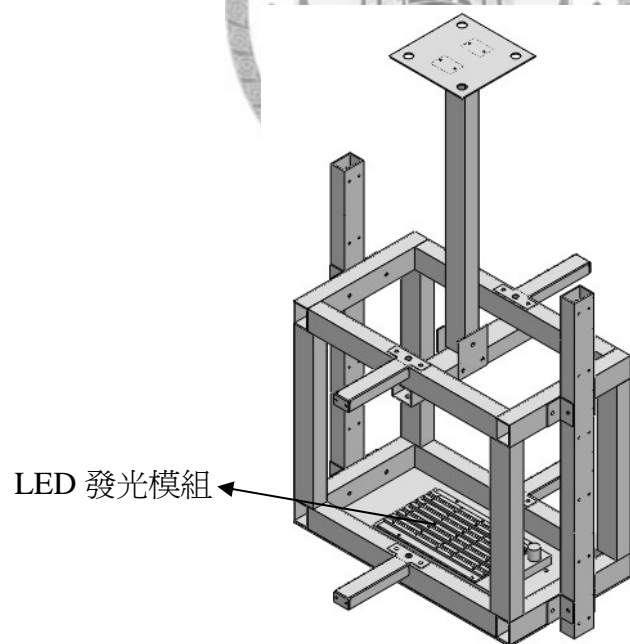


圖 2.2-1 燈具內部框架設計圖

燈具外殼為八角柱形，採用對半式設計，不僅易於機器加工製作，在日後的維修保養上也較為方便。150W LED 發光模組位於內部框架下方，使 LED 所發

出的光線不會被燈具所遮蔽，燈具外殼設計圖如圖 2.2-2 所示。

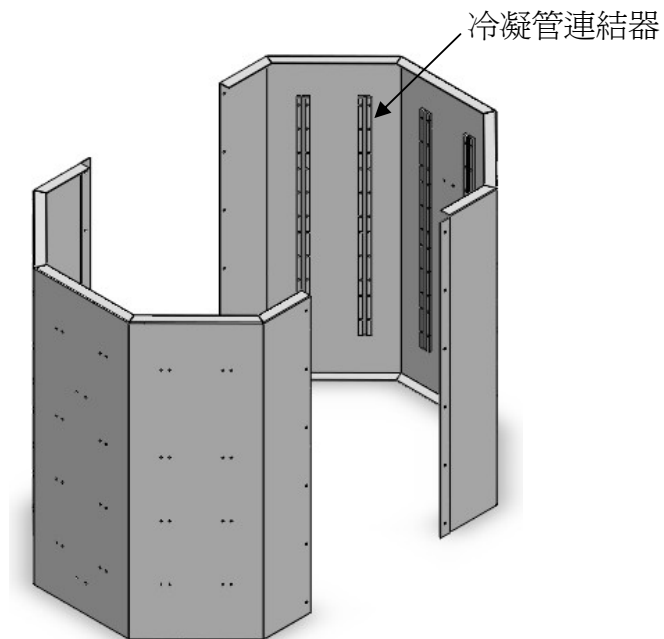


圖 2.2-2 燈具外殼設計圖

燈具尺寸對角線長為 542 毫米，高度為 594 毫米，燈具外殼提供之總散熱面積為  $0.732\text{m}^2$ ，大約和 11.74 張 A4 尺寸相等。吊燈設計圖如圖 2.2-3 和圖 2.2-4 所示，冷凝器銅管管路示意圖如圖 2.2-5，吊燈內部元件配置圖如圖 2.2-6 所示。

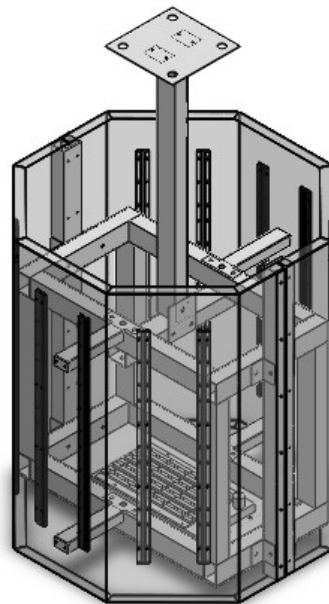


圖 2.2-3 150W LED 吊燈設計圖(斜視)



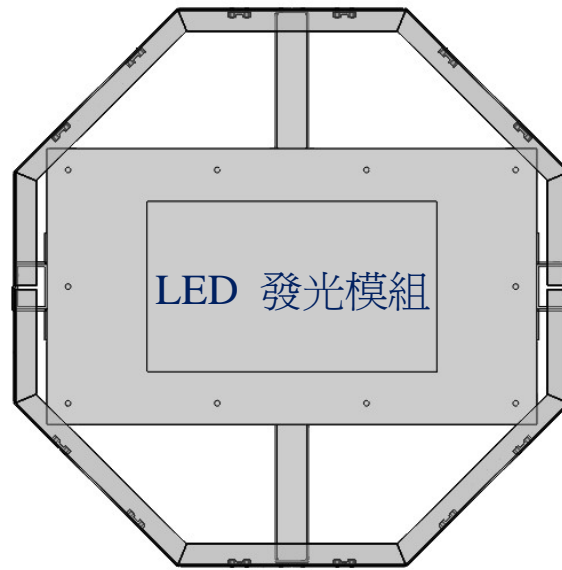


圖 2.2-4 150W LED 吊燈設計圖(下視)

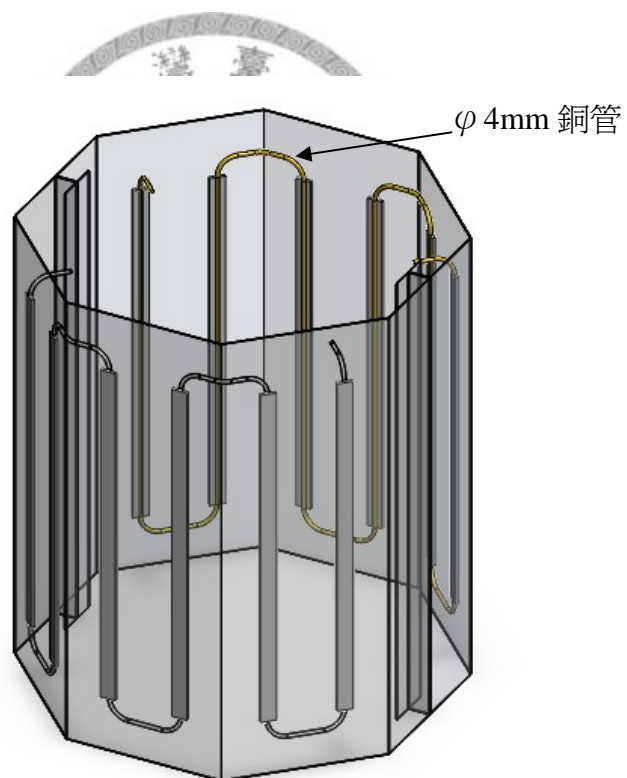


圖 2.2-5 冷凝器銅管管路示意圖

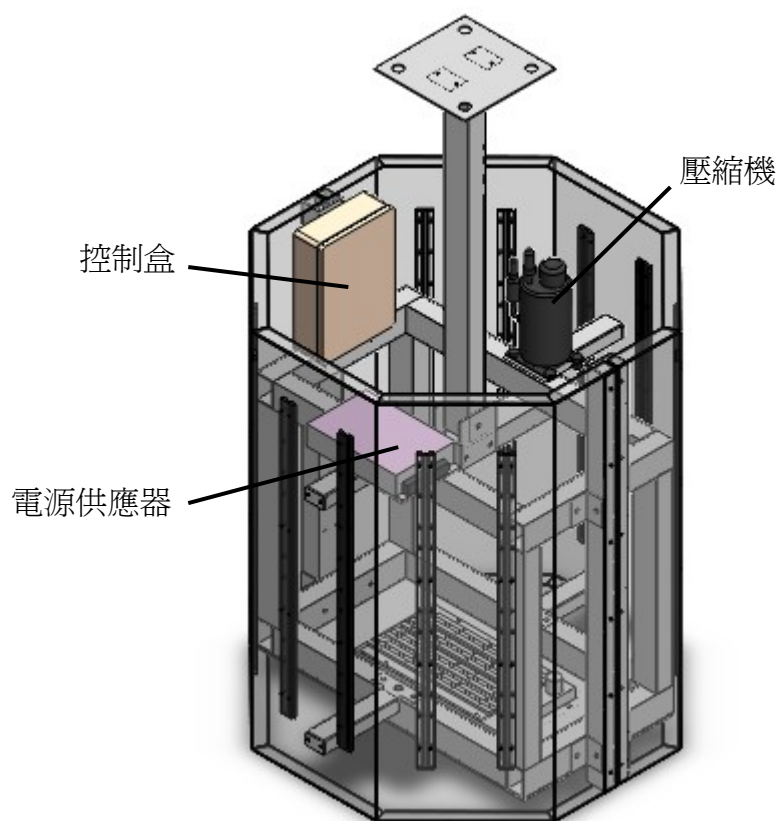


圖 2.2-6 吊燈內部元件配置圖



## 2.3 燈具散熱模組製作

### 2.3.1 冷凝器製作

由於冷凝器必須固定於燈具外殼的內壁，才能將熱量從冷凝器傳導至燈具外殼，最後透過環境中自然對流方式來散熱。首先將冷凝器的銅管固定於連結器的溝槽裡，再將連結器固定在燈具外殼上，接觸面皆塗上導熱膏，以避免接面間隙中存在空氣影響導熱效率。燈具外殼每一面有二個連結器，每個長度為 450 毫米，冷凝器照片如圖 2.3.1-1 所示。

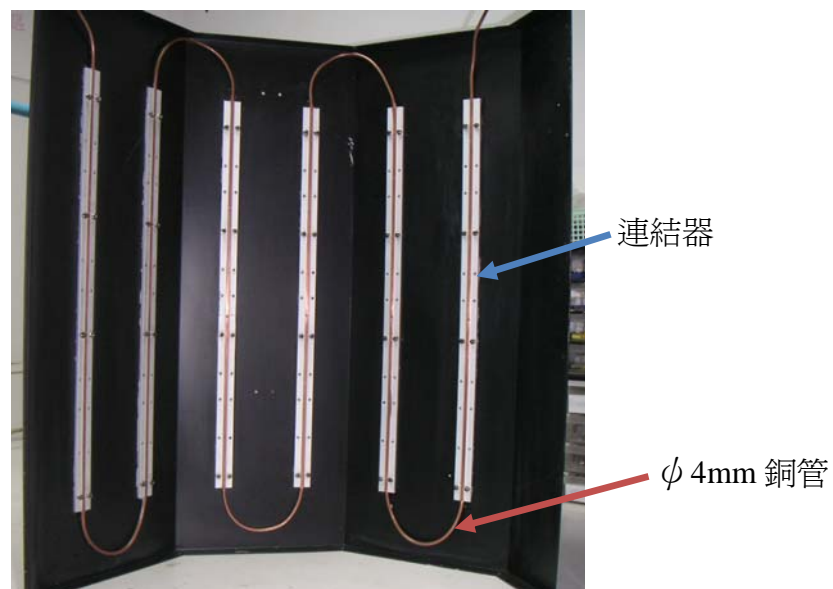


圖 2.3.1-1 冷凝器製作圖

### 2.3.2 蒸發器製作

蒸發器固定於 150W LED 鋁基板上，才能將熱量透過冷媒循環，從 150W LED 鋁基板傳導至冷凝器。我們將蒸發器的銅管固定於四個連結器的溝槽裡，再將連結器固定在 150W LED 鋁基板上，每個連結器長度為 200 毫米，蒸發器照片如圖 2.3.2-1 所示。



圖 2.3.2-1 蒸發器製作圖

### 2.3.3 燈具主體結構製作

燈具內部框架外觀如圖 2.3.3-1。燈具外觀如圖 2.3.3-2 所示。

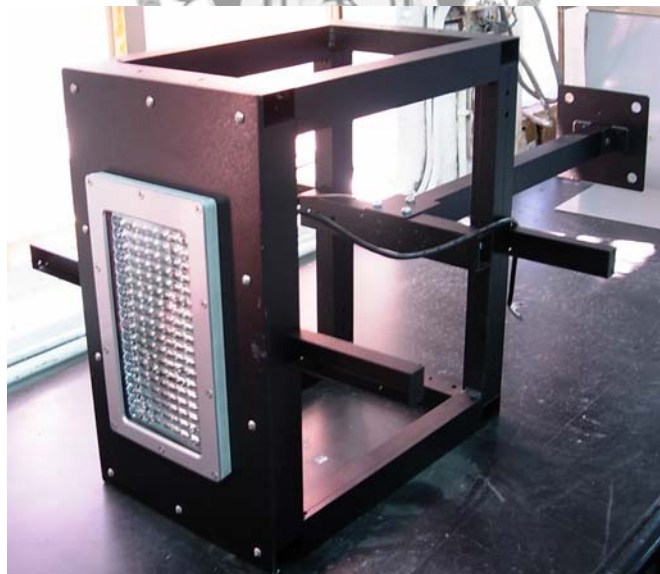


圖 2.3.3-1 燈具內部框架組裝圖

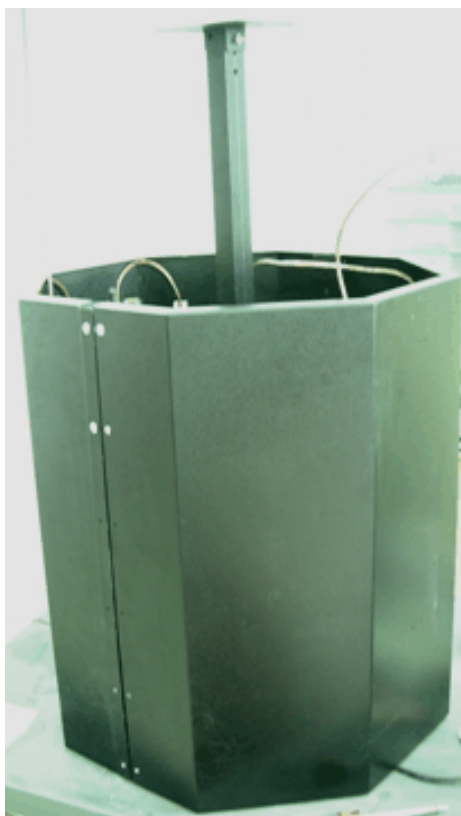


圖 2.3.3-2 燈具外觀圖



## 第三章 LED 照明燈具動態系統識別

### 3.1 LED 燈具動態模型推導

針對LED鋁基板溫度之控制系統設計需求，如圖3.1-1所示，須先識別LED照明燈具之動態系統模型。本節先利用能量平衡的觀念，對系統各部進行能量平衡的推導，見圖3.1-2，再建構出系統狀態空間模型(State-Space Model)，進而推導出動態系統模型<sup>[5]</sup>。

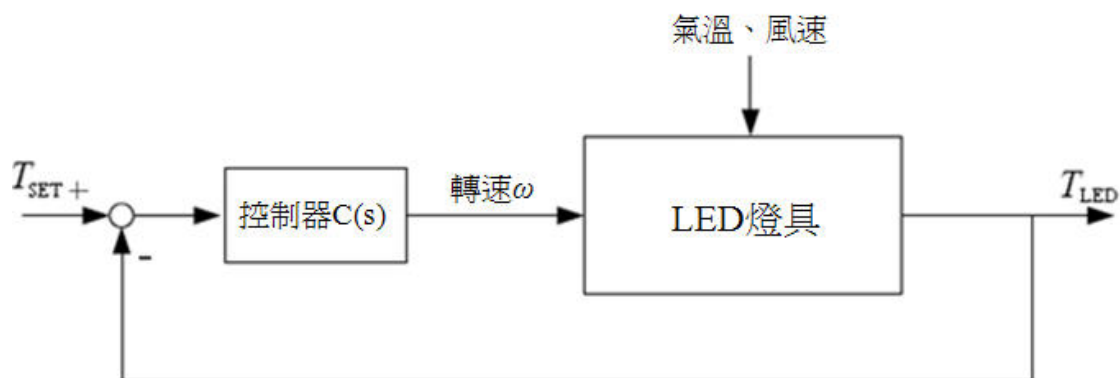


圖3.1-1 LED溫度控制系統結構圖

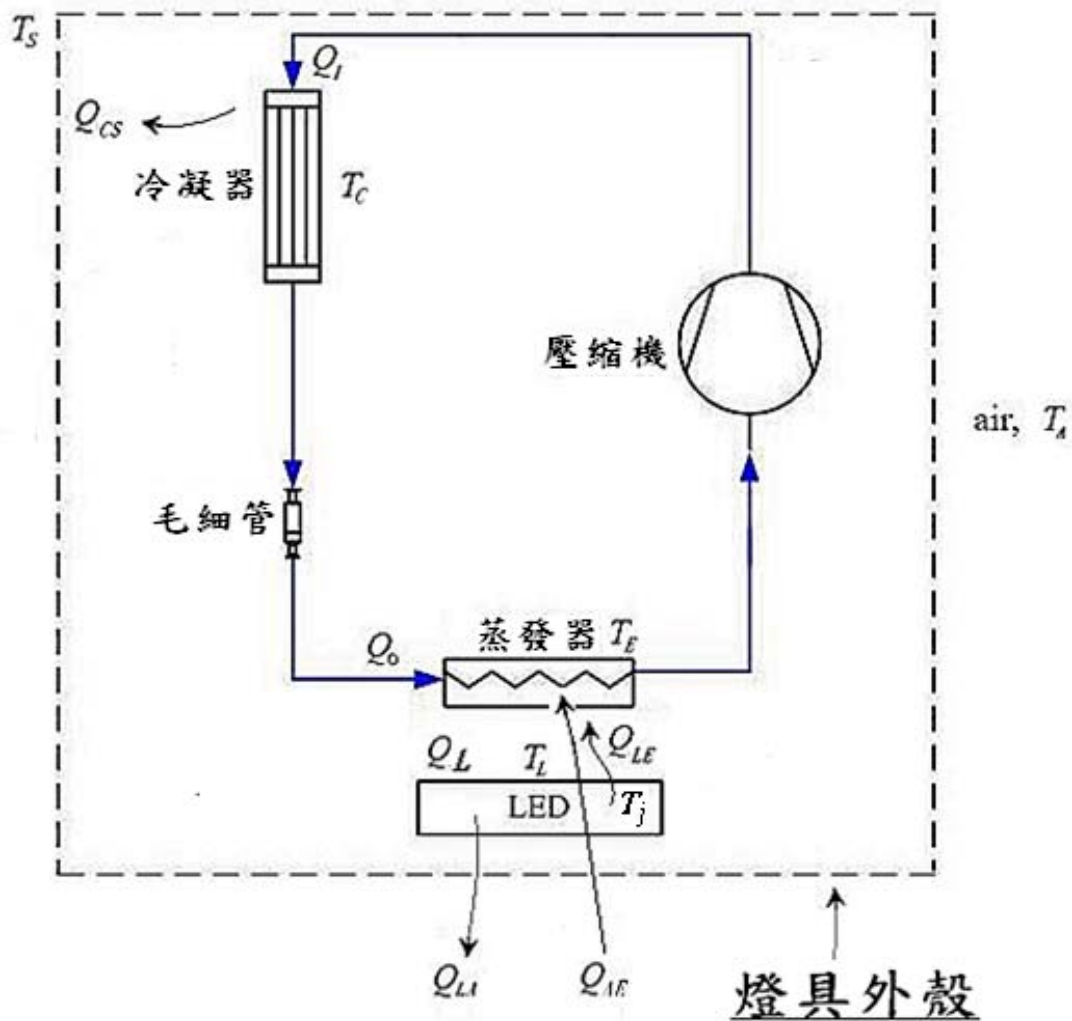


圖 3.1-2 LED 燈具能量平衡圖

1. 對冷凝器做能量平衡可得：

$$M_C C_C \frac{dT_C}{dt} = Q_I - Q_{CS} \quad (3.1-1)$$

其中  $M_C$ ：冷凝器質量

$C_C$ ：冷凝器比熱

$T_C$ ：冷凝器(包含銅管及冷凝管連結器部分)溫度

$Q_I$ ：冷凝器淨熱流入量(壓縮機和冷凝器之間的熱傳遞量)

$Q_{CS}$ ：冷凝器傳遞至燈具外殼的熱量

$T_s$ ：燈具外殼溫度

冷凝器至燈具外殼的熱傳出量  $Q_{CS}$  如下式：

$$Q_{CS} = (UA)_C(T_P - T_S) \quad (3.1-2)$$

其中假設冷凝管連結器溫度 $T_P$ 和冷凝器溫度 $T_C$ 相同，因此(3.1-2)可改寫為：

$$Q_{CS} = (UA)_C(T_C - T_S) \quad (3.1-3)$$

冷凝器直接傳遞至環境的熱量太小，可忽略不計。

2. 對蒸發器做能量平衡可得：

$$M_E C_E \frac{dT_E}{dt} = Q_{LE} + Q_{AE} - Q_O \quad (3.1-4)$$

其中  $M_E$ ：蒸發器質量

$C_E$ ：蒸發器比熱

$T_E$ ：蒸發器溫度

$Q_{LE}$ ：LED 傳遞至蒸發器的熱量

$Q_{AE}$ ：環境傳遞至蒸發器的熱量

$Q_O$ ：壓縮機所產生的製冷量

$$Q_O = COP \times W \quad (3.1-5)$$

其中 $COP$ 為性能係數，主要受到壓縮機轉速 $\omega$ 和環境溫度 $T_A$ 影響， $W$ 為壓縮機輸入功率。

LED鋁基板傳遞至蒸發器的熱量 $Q_{LE}$  如下式：

$$Q_{LE} = (UA)_L(T_L - T_E) \quad (3.1-6)$$

環境傳遞至蒸發器的熱量 $Q_{AE}$  如下式：

$$Q_{AE} = h_A A_{AE}(T_A - T_E) \quad (3.1-7)$$

3. 對 LED 鋁基板做能量平衡：

$$M_L C_L \frac{dT_L}{dt} = Q_L - Q_{LA} - Q_{LE} \quad (3.1-8)$$

其中  $M_L$ ：LED 鋁基板質量

$C_L$ ：LED 鋁基板比熱

$T_L$ ：LED 鋁基板溫度

$Q_L$ ：LED 鋁基板吸收 LED 的熱量



$Q_{LA}$ ：LED 鋁基板傳遞至環境的熱量

$Q_{LE}$ ：LED 鋁基板傳遞至蒸發器的熱量

LED 鋁基板吸收 LED 的熱量  $Q_L$  如下式：

$$Q_L = K_L \times (T_j - T_L) \quad (3.1-9)$$

其中  $K_L$  為熱傳係數，和 LED 鋁基板材質、面積等有關。 $T_j$  為 LED 之晶蕊溫度，和 LED 鋁基板溫度  $T_L$  有關，因此可以假設成正比關係：

$$T_j - T_A = K_j \times (T_L - T_A) \quad (3.1-10)$$

其中  $K_j$  為比例係數。

LED 鋁基板傳遞至環境的熱量  $Q_{LA}$  如下式：

$$Q_{LA} = h_A A_{LA} (T_L - T_A) \quad (3.1-11)$$

LED 鋁基板傳遞至蒸發器的熱量  $Q_{LE}$  如(3.1-6)所示。

將上述之平衡方程式(3.1-1)、(3.1-4)和(3.1-8)整理如下：

$$M_C C_C \frac{dT_C}{dt} = Q_I - Q_{CS} \quad (3.1-12)$$

$$M_E C_E \frac{dT_E}{dt} = Q_{LE} + Q_{AE} - Q_O \quad (3.1-13)$$

$$M_L C_L \frac{dT_L}{dt} = Q_L - Q_{LA} - Q_{LE} \quad (3.1-14)$$

由於熱傳現象大多為非線性系統，為了方便分析，將上述模型線性化，對方程式中各變量取線性微擾：

$$T_C(x, t) = \bar{T}_C(x) + \tilde{T}_C(x, t) \quad (3.1-15)$$

$$T_S(x, t) = \bar{T}_S(x) + \tilde{T}_S(x, t) \quad (3.1-16)$$

$$T_E(x, t) = \bar{T}_E(x) + \tilde{T}_E(x, t) \quad (3.1-17)$$

$$T_L(x, t) = \bar{T}_L(x) + \tilde{T}_L(x, t) \quad (3.1-18)$$

$$T_A(x, t) = \bar{T}_A(x) + \tilde{T}_A(x, t) \quad (3.1-19)$$

$$Q_I(x, t) = \bar{Q}_I(x) + \tilde{Q}_I(x, t) \quad (3.1-20)$$

$$Q_O(x, t) = \bar{Q}_O(x) + \tilde{Q}_O(x, t) \quad (3.1-21)$$

$$Q_L(x, t) = \bar{Q}_L(x) + \tilde{Q}_L(x, t) \quad (3.1-22)$$

其中 $\bar{T}_C(x)$ 、 $\bar{T}_S(x)$ 、 $\bar{T}_E(x)$ 、 $\bar{T}_L(x)$ 、 $\bar{T}_A(x)$ 、 $\bar{Q}_I(x)$ 、 $\bar{Q}_O(x)$ 、 $\bar{Q}_L(x)$ 為各變量之平衡狀態，滿足(3.1-23)~(3.1-25)：

$$\bar{Q}_I - (UA)_C(\bar{T}_C - \bar{T}_S) = 0 \quad (3.1-23)$$

$$(UA)_L(\bar{T}_L - \bar{T}_E) + h_{AA_{AE}}(\bar{T}_A - \bar{T}_E) - \bar{Q}_O = 0 \quad (3.1-24)$$

$$K_L \times [K_f(\bar{T}_L - \bar{T}_A) + \bar{T}_A - \bar{T}_L] - h_{AA_{LA}}(\bar{T}_L - \bar{T}_A) - (UA)_L(\bar{T}_L - \bar{T}_E) = 0 \quad (3.1-25)$$

將(3.1-15)至(3.1-25)代入(3.1-12)、(3.1-13)、(3.1-14)中，整理可得線性微擾方程式如式(3.1-26)~(3.1-28)：

$$M_C C_C \frac{d\tilde{T}_C}{dt} = \tilde{Q}_I - (UA)_C(\tilde{T}_C - \tilde{T}_S) \quad (3.1-26)$$

$$M_E C_E \frac{d\tilde{T}_E}{dt} = (UA)_L(\tilde{T}_L - \tilde{T}_E) + h_{AA_{AE}}(\tilde{T}_A - \tilde{T}_E) - \tilde{Q}_O \quad (3.1-27)$$

$$M_L C_L \frac{d\tilde{T}_L}{dt} = K_L \times [K_f(\tilde{T}_L - \tilde{T}_A) + \tilde{T}_A - \tilde{T}_L] - h_{AA_{LA}}(\tilde{T}_L - \tilde{T}_A) - (UA)_L(\tilde{T}_L - \tilde{T}_E) \quad (3.1-28)$$

因變量 $Q_I$ 、 $Q_O$ 皆受到壓縮機轉速 $\omega$ 影響，而燈具外殼溫度 $\tilde{T}_S$ 主要受到環境風速 $V_W$ 所影響，因此假設

$$\tilde{Q}_I = K_I \times \tilde{\omega} \quad (3.1-29)$$

$$\tilde{Q}_O = K_O \times \tilde{\omega} \quad (3.1-30)$$

$$\tilde{T}_S = K_W \times V_W \quad (3.1-31)$$

其中 $K_I$ 、 $K_O$ 、 $K_W$ 為比例常數。

將(3.1-29)、(3.1-30)、(3.1-31)分別代入(3.1-26)~(3.1-28)中，改寫

(3.1-26)~(3.1-28)，可得(3.1-32)~(3.1-34)式：

$$M_C C_C \frac{d\tilde{T}_C}{dt} = K_I \times \tilde{\omega} - (UA)_C(\tilde{T}_C - K_W \times V_W) \quad (3.1-32)$$

$$M_E C_E \frac{d\tilde{T}_E}{dt} = (UA)_L(\tilde{T}_L - \tilde{T}_E) + h_{AA_{AE}}(\tilde{T}_A - \tilde{T}_E) - K_O \times \tilde{\omega} \quad (3.1-33)$$

$$M_L C_L \frac{d\tilde{T}_L}{dt} = K_L \times [K_f(\tilde{T}_L - \tilde{T}_A) + \tilde{T}_A - \tilde{T}_L] - h_{AA_{LA}}(\tilde{T}_L - \tilde{T}_A) - (UA)_L(\tilde{T}_L - \tilde{T}_E)$$

$$(3.1-34)$$

得到了線性微擾模型，可建立出狀態空間模型，如式(3.1-35)、(3.1-36)所示：

$$\dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + B\tilde{u} \quad (3.1-35)$$

$$\tilde{y} = C\tilde{x} \quad (3.1-36)$$

其中各參數如式(3.1-37)~(3.1-42)所示：

$$\tilde{x} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_C \\ \tilde{T}_E \\ \tilde{T}_L \end{bmatrix} \quad (3.1-37)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-(UA)_C}{M_C C_C} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-(UA)_L - h_{AAE}}{M_E C_E} & \frac{(UA)_L}{M_E C_E} \\ 0 & \frac{(UA)_L}{M_L C_L} & \frac{K_L(K_f - 1) - h_{AA} - (UA)_L}{M_L C_L} \end{bmatrix} \quad (3.1-38)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{K_f}{M_C C_C} & \frac{K_w(UA)_C}{M_C C_C} & 0 \\ \frac{-K_O}{M_E C_E} & 0 & \frac{h_{AAE}}{M_E C_E} \\ 0 & 0 & \frac{-K_L K_f + K_L + h_{AA}}{M_L C_L} \end{bmatrix} \quad (3.1-39)$$

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} \tilde{\omega} \\ \tilde{V}_W \\ \tilde{T}_A \end{bmatrix} \quad (3.1-40)$$

$$\tilde{y} = [\tilde{T}_L] \quad (3.1-41)$$

$$C = [0 \quad 0 \quad 1] \quad (3.1-42)$$

根據上述狀態空間模型，可利用 $G(s) = C(sI - A)^{-1} B$  推導出系統線性微擾模型

$\tilde{G}(s)$ ，如式(3.1-43)所示：

$$\begin{aligned} \tilde{G}(s) &= [\tilde{G}_\omega(s) \quad \tilde{G}_V(s) \quad \tilde{G}_A(s)] \\ &= \left[ \frac{K_f[dh+g(s-e)]}{M_C C_C \Delta} + \frac{-K_O[h(s-a)+bg]}{M_E C_E \Delta} \quad \frac{K_w(UA)_C[dh+g(s-e)]}{M_C C_C \Delta} \quad \frac{h_{AA} C_A[h(s-a)+bg]}{M_E C_E \Delta} + \frac{h_{AA} A_{LA}[(s-a)(s-e)-bd]}{M_L C_L \Delta} \right] \end{aligned} \quad (3.1-43)$$

$$\text{令(3.1-38)式中，} A = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (3.1-44)$$

$$\begin{aligned} \Delta &= s^3 - (i + e + a)s^2 - (ae + ie + ia - cg - bd - hf)s \\ &\quad + (-aei - dhc - bfg + cge + bdi + hfa) \end{aligned} \quad (3.1-45)$$

式(3.1-43)中， $\tilde{G}_\omega(s) \equiv \frac{\tilde{T}_L(s)}{\tilde{\omega}(s)}$  為壓縮機轉速的微擾輸入量對 LED 鋁基板溫度的微擾輸出量之線性微擾轉移函數； $\tilde{G}_V(s) \equiv \frac{\tilde{T}_L(s)}{\tilde{U}_V(s)}$  為環境風速的微擾輸入量對 LED 鋁基板溫度的微擾輸出量之線性微擾轉移函數； $\tilde{G}_A(s) \equiv \frac{\tilde{T}_L(s)}{\tilde{U}_A(s)}$  為環境溫度的微擾輸入量對 LED 鋁基板溫度的微擾輸出量之線性微擾轉移函數。以上 LED 燈具動態模型理論為三階系統，對系統時域特性，如時間常數、上升時間、安定時間、峰值時間、超越量百分比等公式，僅定義於一階或二階無零點系統。因此假設三階系統，即二階系統中加入一極點，如式(3.1-46)所示：

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \sigma_r)(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (3.1-46)$$

則其單位步階輸入之響應為：

$$\begin{aligned} Y(s) &= \frac{\omega_n^2}{s(s + \sigma_r)(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \\ &= \frac{K_1}{s} + \frac{K_2}{s + \sigma_r} + \frac{K_3 \cdot (s + \zeta\omega_n) + K_4 \cdot (\omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2})}{(s + \zeta\omega_n)^2 + (\omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2})^2} \end{aligned} \quad (3.1-47)$$

若  $\zeta < 1$ ，則

$$Y(t) = K_1 \cdot u_s(t) + K_2 e^{-\sigma_r t} + e^{-\zeta\omega_n t} \cdot \left| K_3 \cdot \cos(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t) + K_4 \cdot \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t) \right|$$

(A) 當  $\sigma_r$  稍大於  $\zeta\omega_n$ ，則  $e^{-\sigma_r t}$  與  $e^{-\zeta\omega_n t}$  大小相近

(B) 當  $\sigma_r$  遠大於  $\zeta\omega_n$ ，則  $e^{-\sigma_r t} \ll e^{-\zeta\omega_n t}$

(C) 當  $\sigma_r \rightarrow \infty$ ，則  $e^{-\sigma_r t} \rightarrow 0$ ，故其系統響應則幾乎為二階系統。

上述三種極點分佈位置的系統響應曲線圖如圖3.1-3所示。

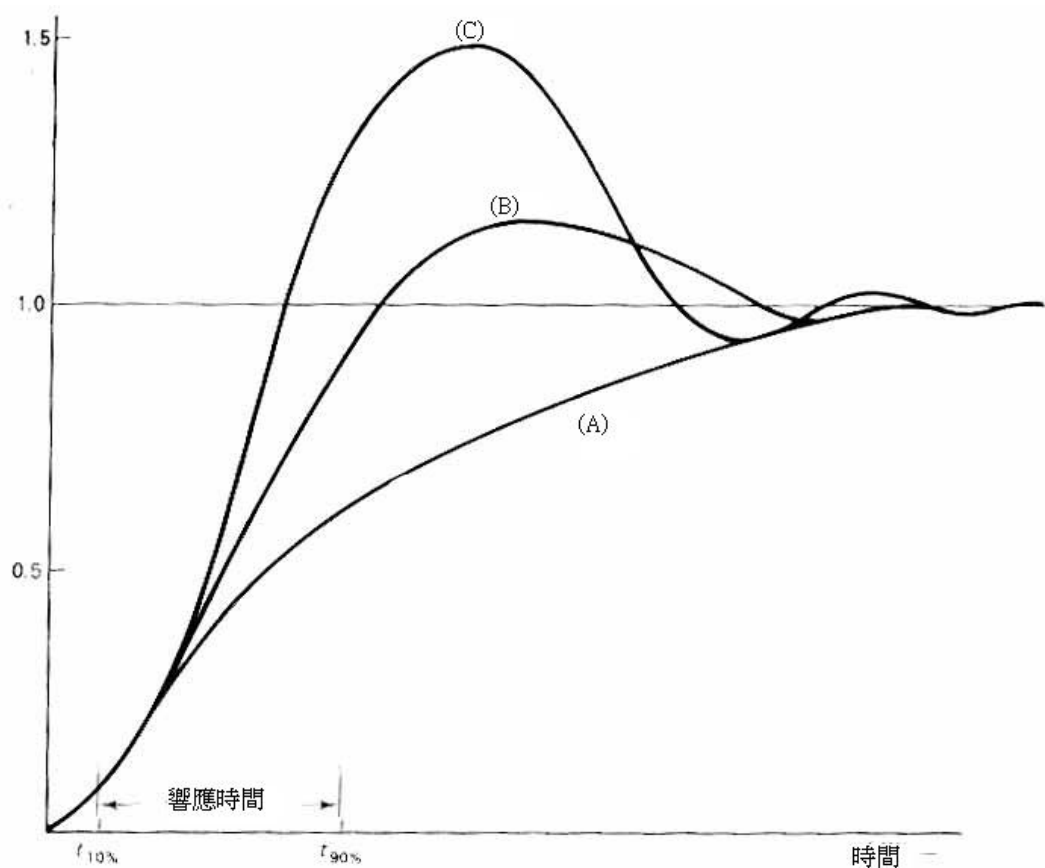


圖 3.1-3 二階系統加入左半面極點對暫態性能的影響

由圖3.1-3可知，二階系統若在複數平面之左半平面加入一左半面極點對暫態性能的主要影響是增加上升時間 $t_r$ ，減少最大超越量 $M_o$ ，而安定時間(settling time)幾乎不改變。若新加入的極點遠離原來兩極點之位置，則其系統響應特性與原來二階系統響應特性相近；一般而言，若第三極點之值為原來二階系統極點之值的五倍以上，則此三階系統即可降階為二階系統。

若二階系統對步階輸入之響應為 $Y(s)$ ，當在複數平面加入一零點 $(s+a)$ ，則加入零點之後的系統響應為 $Y'(s)$

$$Y'(s) = (s+a) \cdot Y(s) = s \cdot Y(s) + a \cdot Y(s) \quad (3.1-48)$$

(a)當 $a$ 值很小時， $sY(s)$ 為對原來系統響應微分，故系統響應之 $Y'(s)$ 超越量將會增加。

(b)當 $a$ 值很大時，則系統響應 $Y'(s)$ 主要為 $aY(s)$ ，因此其響應近似原系統輸出響應乘上比例係數 $a$ 。

由以上可知，二階系統若加入一零點，當零點位置越遠離虛軸，則系統輸出響應越近似原來二階系統響應。

在控制器的設計方面，將閉迴路主極點移至滿足暫態性能規格的極點位置上，其餘的閉迴路極點盡量遠離主極點，這樣即能順利地達到閉迴路暫態性能的控制。



## 3.2 系統動態模型識別

### 3.2.1 系統識別方法

本研究中的受控系統為150W LED燈具，系統中唯一動件是47W直流變頻壓縮機，由3.1小節得知系統有三個輸入為壓縮機製冷量( $Q_o$ )、大氣溫度( $T_A$ )及環境風速( $V_w$ )，系統輸出為LED鋁基板溫度( $T_L$ )，因系統輸入、輸出間存在著耦合關係，所以輸入系統之三種變量( $Q_o$ 、 $T_A$ 、 $V_w$ )均會影響輸出之LED鋁基板溫度( $T_L$ )。壓縮機製冷量( $Q_o$ )主要受壓縮機轉速( $\omega$ )所影響，越高的壓縮機轉速，製冷量越大，為了實驗方便，改以 $\tilde{Q}_l = K_l \times \tilde{\omega}(s)$ 取代原先壓縮機製冷量微擾 $\tilde{Q}_o = K_o \times \tilde{\omega}(s)$ ，其中 $K_l$ 、 $K_o$ 均為常數。燈具外殼溫度( $T_s$ )主要易受到環境風速( $V_w$ )所影響。系統方塊圖如圖3.2.1-1所示。

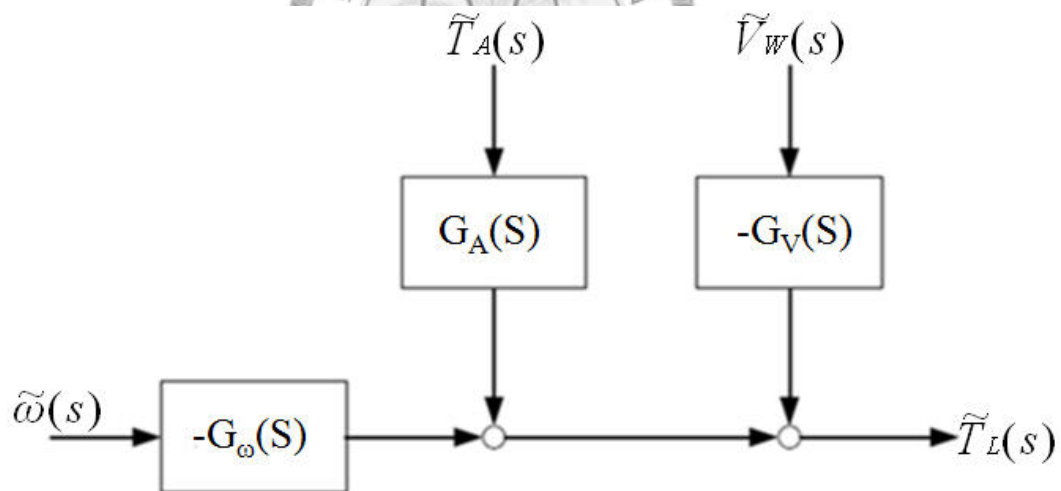


圖 3.2.1-1 150W LED 燈具系統方塊圖

為了求出各個轉移函數，使用隔離法，針對其中一個轉移函數做識別時，將另兩個輸入對系統輸出的影響隔離開，化為三個單輸入單輸出系統，再分別對 $G_\omega(s)$ 、 $G_A(s)$ 、 $G_V(s)$ 做系統識別<sup>[10]</sup>。

識別的方法是利用步階響應，其作法是在當系統處在穩態操作時給予一步階輸入，此步階可為正或負，觀察系統步階響應，由圖3.2.1-1可知系統輸出 $\tilde{T}_L$ 如式

(3.2.1-1)所示：

$$\tilde{T}_L(s) = -\tilde{\omega}(s) \cdot G_{\omega}(s) + \tilde{T}_A(s) \cdot G_A(s) - \tilde{V}_W(s) \cdot G_V(s) \quad (3.2.1-1)$$

假設環境溫度無變化( $\tilde{T}_A = 0$ )，且燈具外殼溫度不受外界風力所影響( $\tilde{V}_W = 0$ )，

式(3.2.1-1)可簡化為：

$$\tilde{T}_L(s) = -\tilde{\omega}(s) \cdot G_{\omega}(s) \quad (3.2.1-2)$$

系統被簡化為一單輸入單輸出系統，如圖(3.2.1-2)所示：

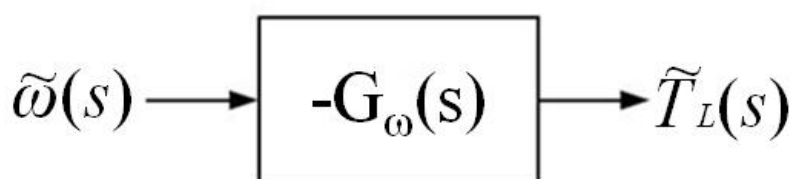


圖3.2.1-2  $\tilde{T}_A = 0$ 、 $\tilde{V}_W = 0$ 之系統方塊圖

單輸入單輸出系統轉移函數 $G_{\omega}(s)$ 如式(3.2.1-3)所示：

$$G_{\omega}(s) = -\frac{\tilde{T}_L(s)}{\tilde{\omega}(s)} \quad (3.2.1-3)$$

當系統在穩態操作時給序固定大小的步階輸入做為測試訊號，設輸入的步階訊號 $\tilde{\omega}(t) = A \cdot u_s(t)$ ，其中 $A$ 為步階大小值， $u_s(t)$ 為單位步階函數，步階輸入圖形如圖3.2.1-3所示：

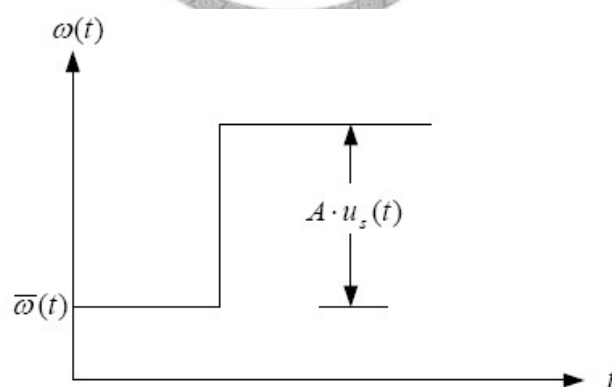


圖3.2.1-3 步階輸入圖形

重新定義系統輸入及輸出項：

$$u_{\omega}(t) = \frac{\tilde{\omega}(t)}{A} = u_s(t) \quad (3.2.1-4)$$

$$y_{\omega}(t) = \frac{\tilde{T}_L(t)}{A} \quad (3.2.1-5)$$



系統轉移函數可寫為式(3.2.1-6)，且系統方塊圖如圖(3.2.1-4)。

$$G_{\omega}(s) = -\frac{\tilde{Y}_{\omega}(s)}{\tilde{U}_{\omega}(s)} \quad (3.2.1-6)$$

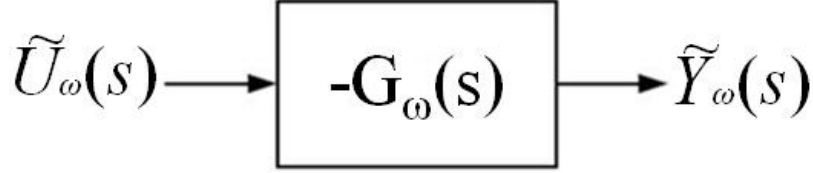


圖3.2.1-4  $\tilde{T}_A = 0$ 、 $\tilde{V}_W = 0$ 之步階響應系統方塊圖

由於 $u_{\omega}(t)$ 為單位步階函數，可以(3.2.1-6)式改寫為：

$$G_{\omega}(s) = -s \cdot \tilde{Y}_{\omega}(s) \quad (3.2.1-7)$$

假設 $G_{\omega}(s)$ 之轉移函數如式(3.3.1-8)，其中係數 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3 \cdots a_n$ 及 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、

$b_3 \cdots b_m$ 均為未知之常係數：

$$G_{\omega}(s) = \frac{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + \cdots + b_m s^m}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3 + \cdots + a_n s^n} = -\frac{\tilde{Y}_{\omega}(s)}{\tilde{U}_{\omega}(s)} \quad (3.2.1-8)$$

使用 Rake's 分析法，經由時域的步階響應資料，即可推得 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3 \cdots a_n$

及 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3 \cdots b_m$ 。

首先定義 $\eta(t)$ ：

$$\eta(t) = \frac{\tilde{T}_L(t)}{A \cdot u_s(t)} \equiv \frac{T_L(t) - \bar{T}_L}{A \cdot u_s(t)} \quad (3.2.1-9)$$

由終值定理及式(3.2.1-9)，

$$K_0 \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \eta(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \tilde{Y}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_{\omega}(s) = b_0 \quad (3.2.1-10)$$

如圖(3.2.1-5)所示：

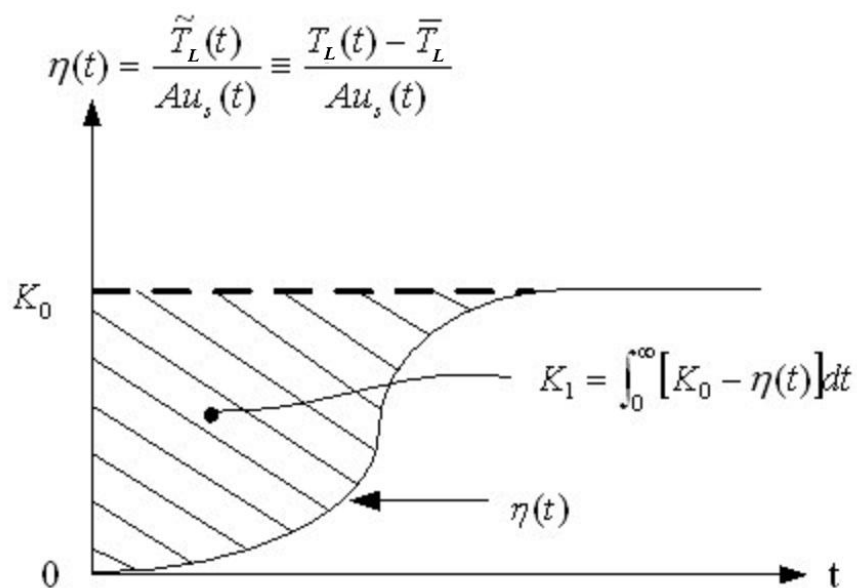


圖3.2.1-5 步階響應值  $\eta(t)$  曲線

定義  $\eta_1(t)$  為：

$$\eta_1(t) = \int_0^{\infty} [K_0 - \eta(\tau)] d\tau \quad (3.2.1-11)$$

上式取拉氏轉換，並將式(3.2.1-7)代入得：

$$L[\eta_1(t)] = L\left[\int_0^{\infty} [K_0 - \eta(\tau)] d\tau\right] = \frac{1}{s} \left[ \frac{K_0}{s} - \tilde{Y}_\omega(s) \right] = \frac{1}{s} \left[ \frac{K_0}{s} - \frac{G_\omega(s)}{s} \right] \quad (3.2.1-12)$$

將  $\eta_1(t)$  代入終值定理，

$$K_1 \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \eta_1(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \left[ \frac{K_0}{s} - \frac{G_\omega(s)}{s} \right] = b_0 a_1 - b_1 = k_0 a_1 - b_1 \quad (3.2.1-13)$$

對於  $n$  個極點系統，重覆推導步驟，可得  $K_2$ 、 $K_3 \cdots K_n$ 。

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = K_0 \\ -b_1 + K_0 a_1 = K_1 \\ b_2 + K_1 a_1 - K_0 a_2 = K_2 \\ \vdots \\ (-1)^n b_n + K_{n-1} a_1 - K_{n-2} a_2 + \cdots + (-1)^{n-1} K_0 a_n = K_n \end{array} \right. \quad (3.2.1-14)$$

其中

$$K_n \equiv \int_0^{\infty} [K_{n-1} - \eta_{n-1}(t)] dt \quad (3.2.1-15)$$

所以只要知道微擾模型 $G_{\omega}(s)$ 之極點與零點數目，透過步階響應的輸出曲線，便可列出(3.2.1-14)之聯立方程式，進而求得 $H(s)$  之所有係數，此法即為Rake's 分析法，同理，識別轉移函數 $G_A(s)$ 時，令 $\tilde{\omega}(s) = 0$ 、 $\tilde{V}_w(s) = 0$ ，且 $\tilde{T}_A(t) = B \cdot u_A(t)$ ，定義 $\tilde{u}_A(t) = \frac{\tilde{T}_A(t)}{B \cdot u_s(t)}$ 、 $\tilde{y}_A(t) = \frac{\tilde{T}_L(t)}{B \cdot u_s(t)}$ ，可推得式(3.2.1-16)，方塊圖如圖(3.2.1-6)所示。

$$G_A(s) = s \cdot \tilde{Y}_A(s) \quad (3.2.1-16)$$

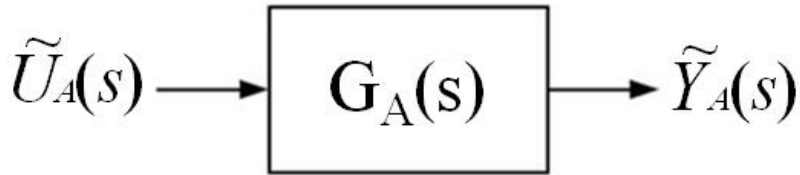


圖3.2.1-6  $\tilde{\omega} = 0$ 、 $\tilde{V}_w = 0$ 之步階響應系統方塊圖

識別轉移函數 $G_V(s)$ 時，令 $\tilde{\omega}(s) = 0$ 、 $\tilde{T}_A(s) = 0$ ，且 $\tilde{V}_w(t) = C \cdot u_v(t)$ ，定義 $\tilde{u}_v(t) = \frac{\tilde{V}_w(t)}{C \cdot u_s(t)}$ 、 $\tilde{y}_v(t) = -\frac{\tilde{T}_L(t)}{C \cdot u_s(t)}$ ，可推得式(3.3.1-17)，方塊圖如圖(3.2.1-7)所示。

$$G_V(s) = -s \cdot \tilde{Y}_V(s) \quad (3.2.1-17)$$

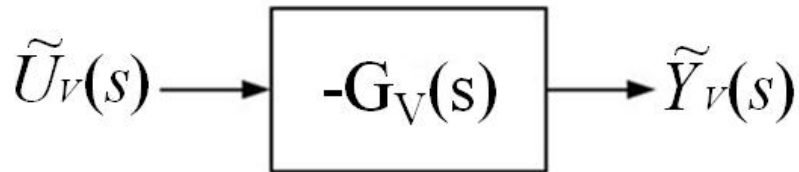


圖3.2.1-7  $\tilde{\omega} = 0$ 、 $\tilde{T}_A = 0$ 之步階響應系統方塊圖

本研究中所識別出來的系統參數，會隨著操作點的不同而改變，故針對單一穩態操作點所識別出來的線性微擾模型，無法代表整個系統模型。因此，需取所有個別穩態操作點的平均模型，足以代表整個系統的動態模型。

### 3.2.2 實驗設計

將燈具放置在一自製的溫控箱內，如圖3.2.2-1，利用加熱器來調整溫控箱內的溫度變化，可將箱內溫度控制於 $20 \sim 40^{\circ}\text{C}(\pm 2^{\circ}\text{C})$ 。由於環控箱內存在溫度分層現象，利用風扇製造微小風量來破壞溫度分層。箱內於不同高度溫度值有所差異，因此取圖3.2.2-1中四個溫度量測點的平均值為環境溫度值 $T_A$ 。

LED鋁基板背面量測點如圖3.2.2-2所示，共五個量測點，取其平均值做為LED均溫 $T_{LED}$ ，實驗設備如圖3.2.2-3所示。

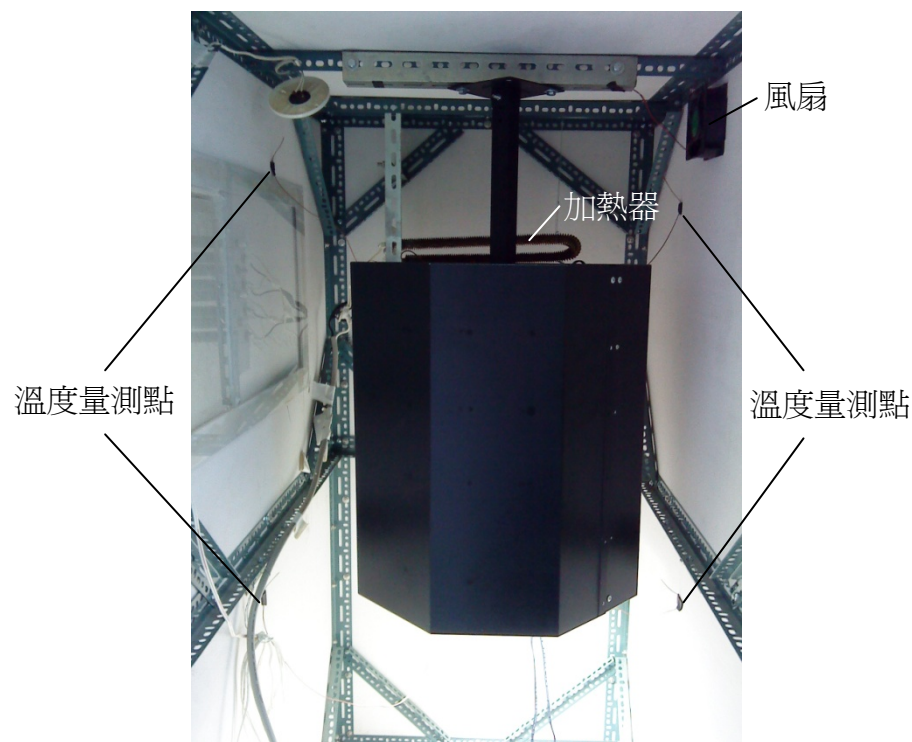


圖3.2.2-1 系統識別測試設備

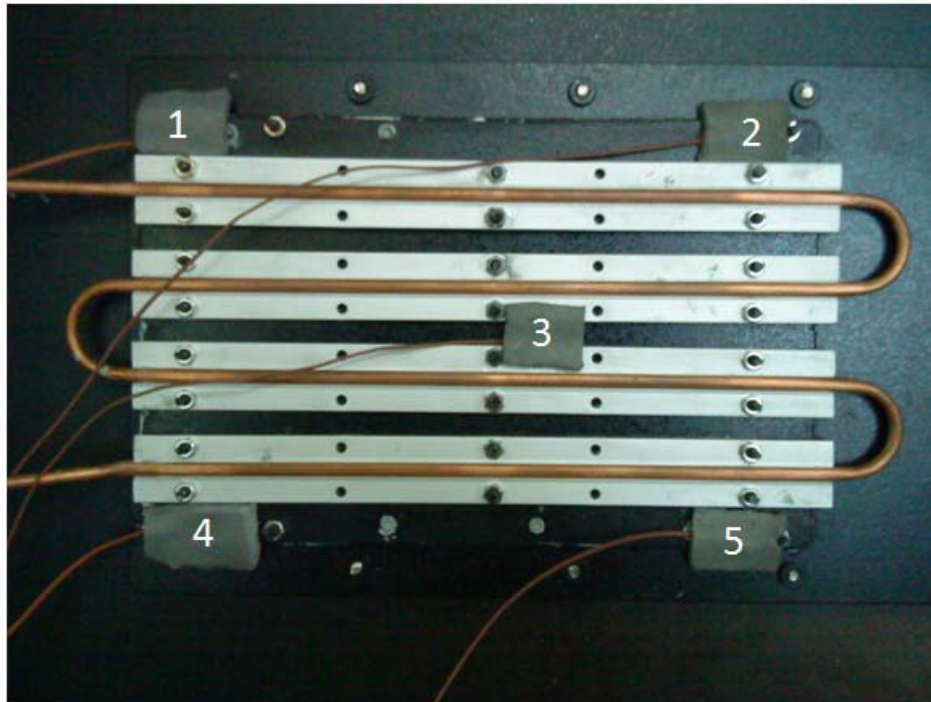


圖3.2.2-2 LED鋁基板背面量測點位置

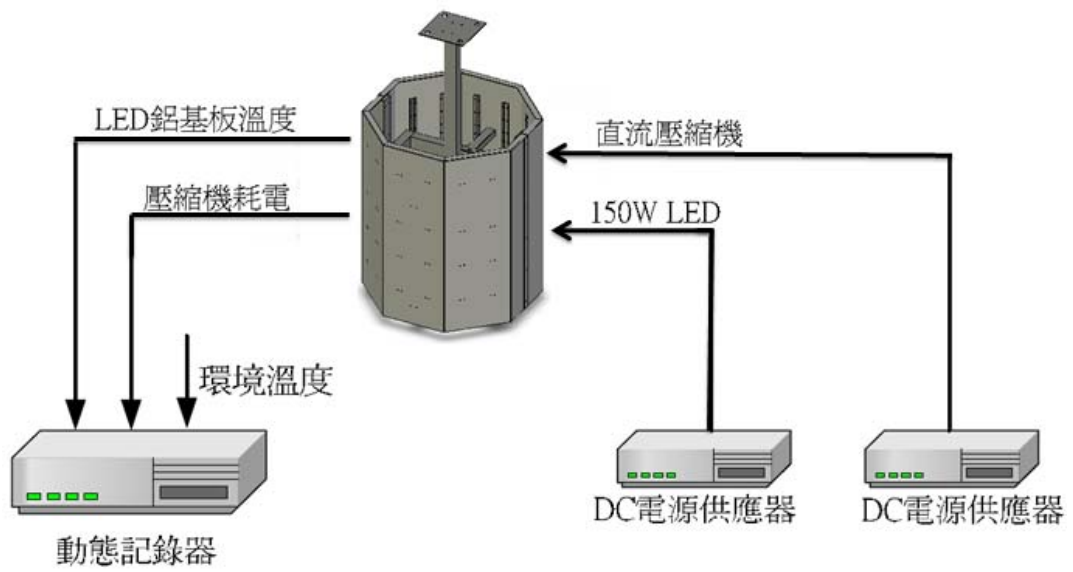


圖3.2.2-3 系統識別設備圖

(1)  $\tilde{G}_\omega(s)$  識別：

識別轉速對 LED 鋁基板溫度模型  $\tilde{G}_\omega(s)$  時，壓縮機轉速微擾量控制為 500rpm，自低轉速 2000rpm 開始，至高轉速 3500rpm，模擬輸入正步階訊號時，觀察系統輸出的響應曲線，再由高轉速 3500rpm 降至低轉速 2000rpm，模擬輸入負步階訊號時，觀察 LED 鋁基板溫度的輸出變化。

(2)  $\tilde{G}_A(s)$  識別

識別  $\tilde{G}_A(s)$  時，固定壓縮機轉速在 3500rpm，實驗環境溫度控制在 20℃ 至 40℃ 之間，環境溫度微擾量控制為 10℃，自低溫 20℃ 開始，至高溫 40℃，模擬輸入正步階訊號時，觀察系統輸出的響應曲線，再由高溫 40℃ 降至低溫 20℃，模擬輸入負步階訊號時，觀察系統輸出的響應曲線。

(3)  $\tilde{G}_V(s)$  識別

識別  $\tilde{G}_V(s)$  時，固定壓縮機轉速在 3500rpm，實驗環境溫度控制在 25℃±1℃ 之誤差範圍內，改變風速大小，每 1m/s 為一單位步階微擾量。由無風環境逐漸增加風速至 2m/s，模擬輸入正步階訊號時，觀察系統輸出的響應曲線，再由風速 2m/s 降至無風干擾，模擬輸入負步階訊號時，觀察系統輸出的響應曲線。

### 3.3 系統識別結果

#### 3.3.1 $\tilde{G}_\omega(s)$ 之識別結果

由系統輸出的步階響應曲線變化，利用 Rake's 分析法分析，可以找出系統轉移函數。由於從低頻到高频，相位圖由  $0^\circ$  趨近於  $-180^\circ$ ，可以判別出轉移函數的分母比分子多二階，大小圖大於轉角頻率  $1 \times 10^{-1}$  的直線斜率為  $-40\text{dB/decade}$ ，因此  $\tilde{G}_\omega(s)$  可採用二階動態模型近似。

圖 3.3.1-1 至圖 3.3.1-6 為系統在不同壓縮機轉速操作點之下的步階響應曲線圖，表 3.3.1-1 為系統在不同壓縮機轉速操作點下的識別結果。

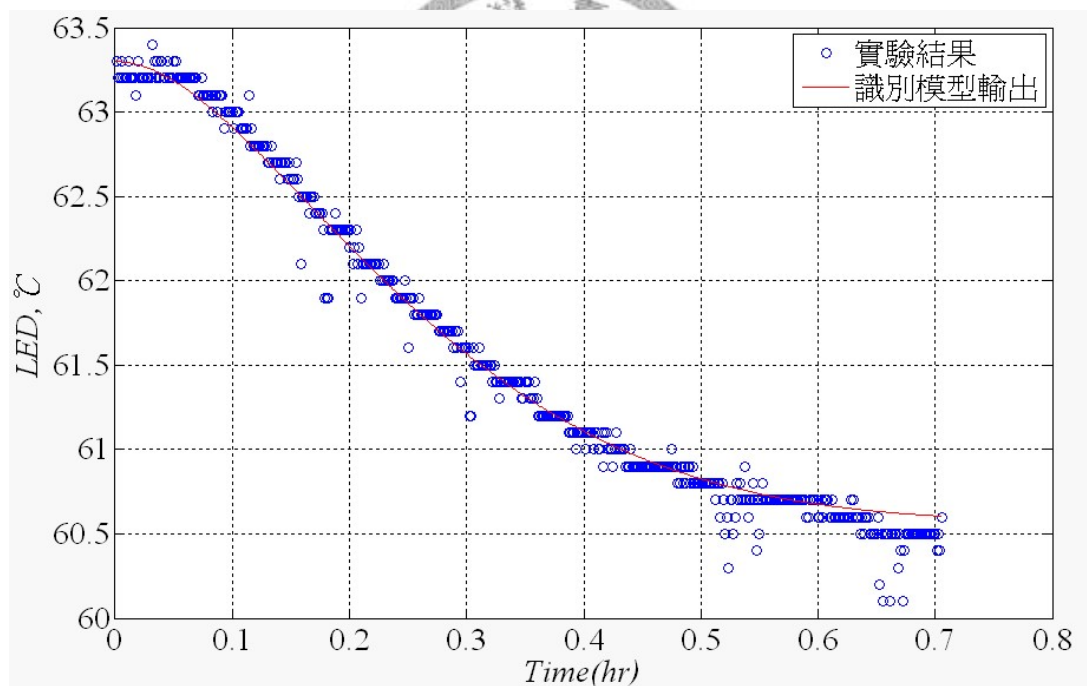


圖3.3.1-1 壓縮機轉速由2000rpm上升至2500rpm步階響應曲線

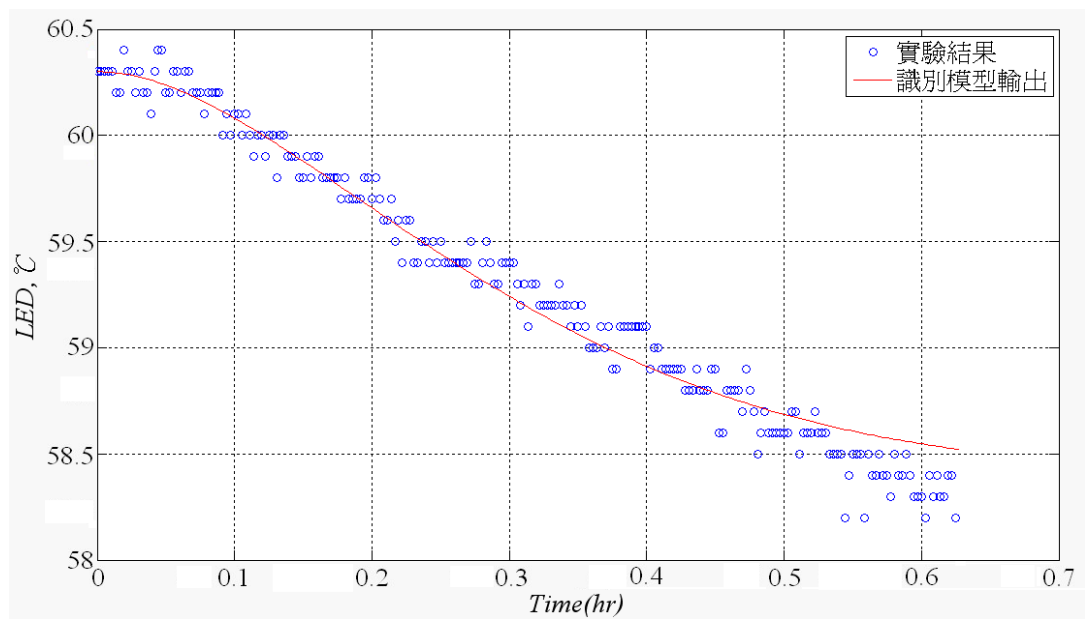


圖3.3.1-2 壓縮機轉速由2500rpm上升至3000rpm步階響應曲線

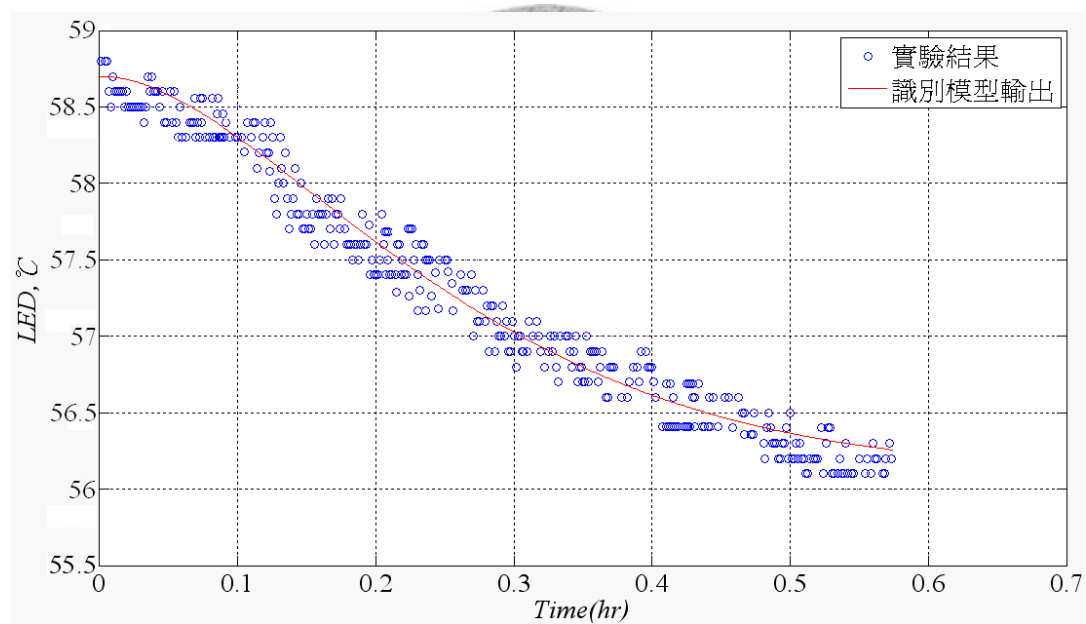


圖3.3.1-3 壓縮機轉速由3000rpm上升至3500rpm步階響應曲線



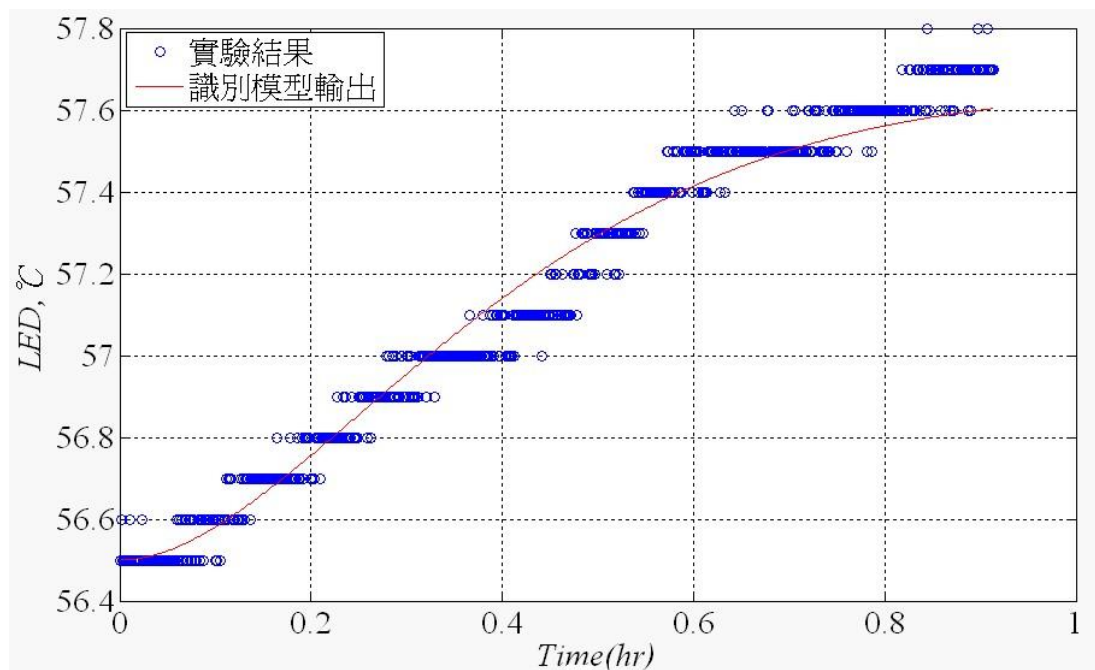


圖3.3.1-4 壓縮機轉速由3500rpm降至3000rpm步階響應曲線

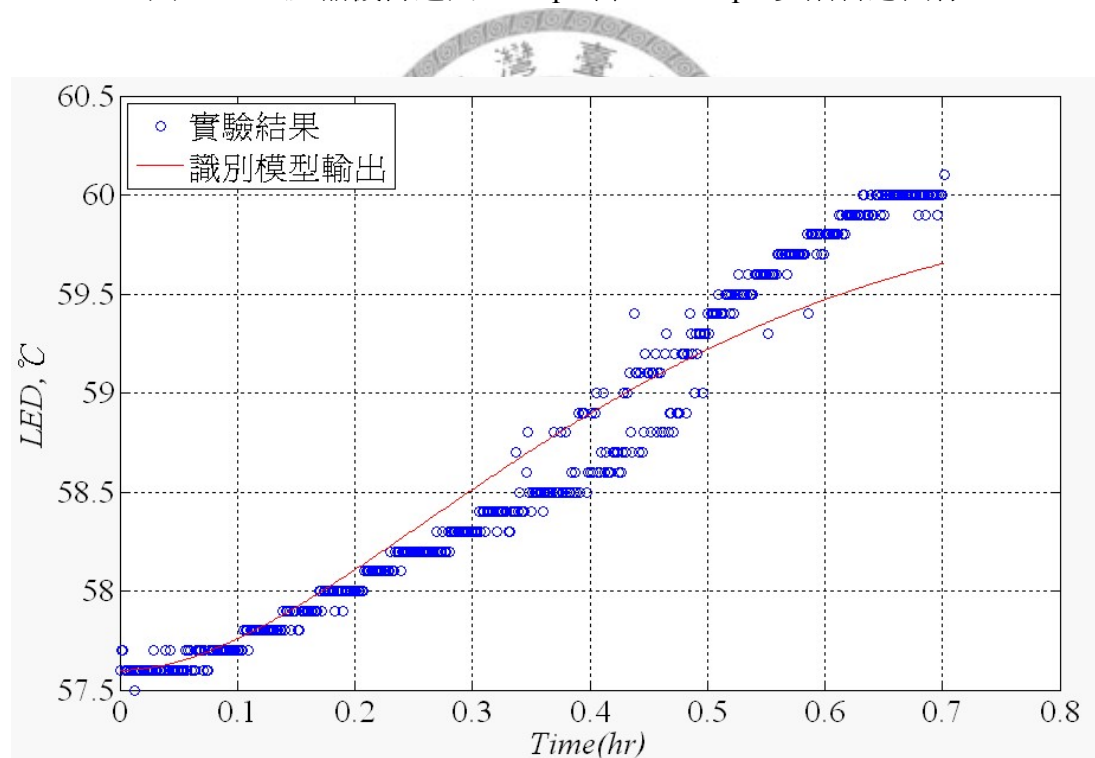


圖3.3.1-5 壓縮機轉速由3000rpm降至2500rpm步階響應曲線

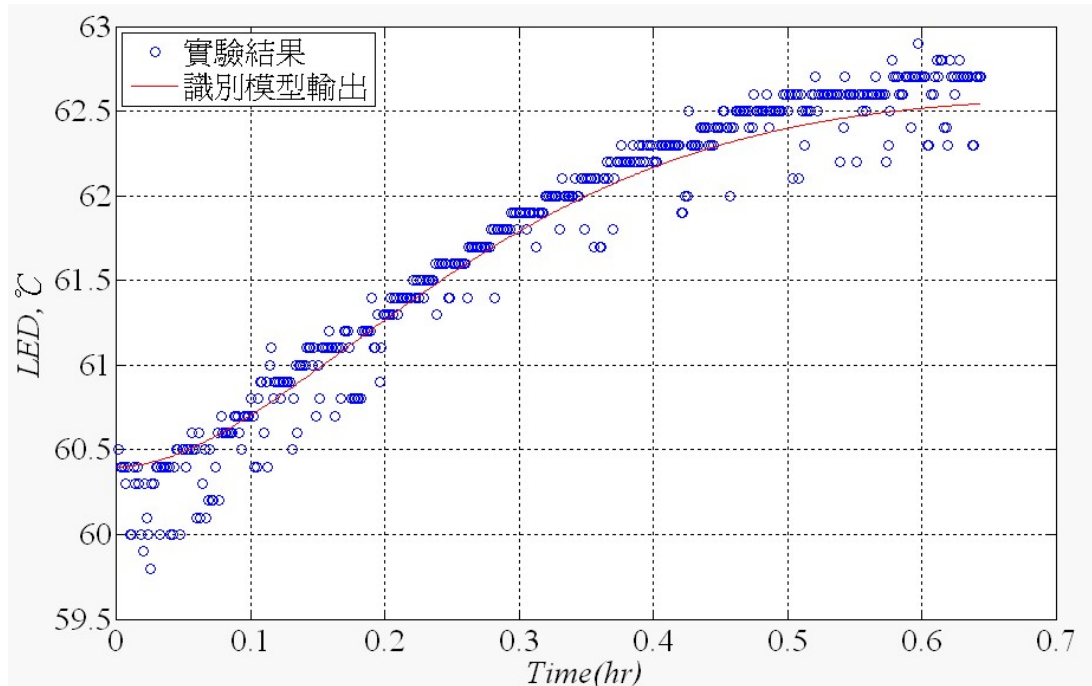


圖3.3.1-6 壓縮機轉速由2500rpm降至2000rpm步階響應曲線

表 3.3.1-1 不同壓縮機轉速操作點下的識別結果

操作點	壓縮機轉速(rpm)	P1	P2	k
1	2000~2500	-0.000993	-0.279	8.6e-7
2	2500~3000	-0.00106	-0.249	9.2e-7
3	3000~3500	-0.00118	-0.24	8.3e-7
4	3500~3000	-0.00128	-0.189	8.8e-7
5	3000~2500	-0.000642	-0.41	6.3e-7
6	2500~2000	-0.000781	-0.33	6.1e-7
平均		-0.001	-0.283	8.94e-7

在環境溫度40度的不同壓縮機轉速操作點下所得到的識別結果如表3.3.1-1，

P1和P2為 $\tilde{G}_\omega(s)$ 轉移函數的極點，k為 $\tilde{G}_\omega(s)$ 轉移函數的增益常數。 $\tilde{G}_\omega(s)$ 動態模型轉移函數識別結果列出如下：

$$\tilde{G}_\omega(s) = \frac{8.94e-7}{s^2 + 0.283s + (2.8e-4)} \quad (3.3.1-1)$$

不同操作點所得到的識別模型與平均模型頻率響應結果如圖3.3.1-7，平均模型與識別模型大小值相差不超過6db，且相位接近，以平均模型代表整個授控系統。而在式(3.3.1-1)中，平均模型的極點在左半平面，因此為穩定系統，且為極

小相位系統。

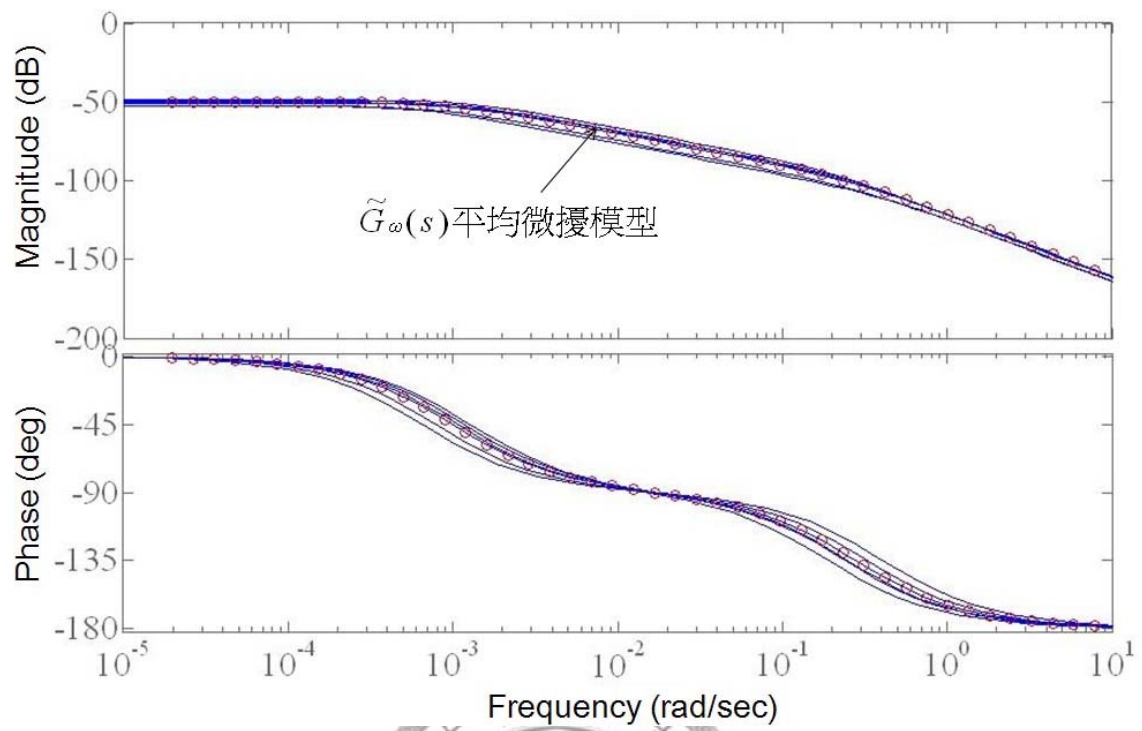


圖3.3.1-7  $\tilde{G}_\omega(s)$  在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖



### 3.3.2 $\tilde{G}_A(s)$ 之識別結果

由系統輸出的響應曲線變化，利用 Rake's 分析法分析，可以找出系統轉移函數。由於從低頻到高频，相位圖由  $0^\circ$  趨近於  $-180^\circ$ ，可以判別出轉移函數的分母比分子多二階，大小圖大於轉角頻率  $1 \times 10^{-3}$  的直線斜率為  $-40\text{dB/decade}$ ，因此  $\tilde{G}_A(s)$  可採用二階動態模型近似。

圖 3.3.2-1~圖 3.3.2-4 為系統在不同操作點之下的步階響應曲線圖，表 3.3.2-1 為系統在不同環境溫度操作點下的識別結果。

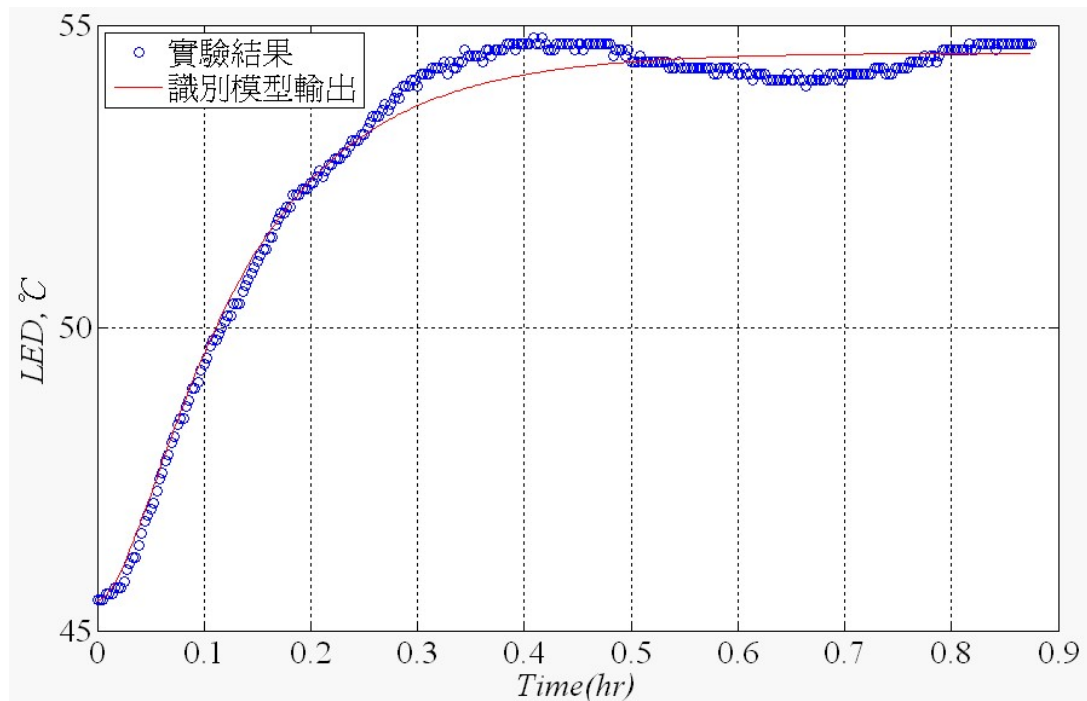


圖3.3.2-1 環境溫度由 $20^\circ\text{C}$ 上升至 $30^\circ\text{C}$ 之步階響應曲線

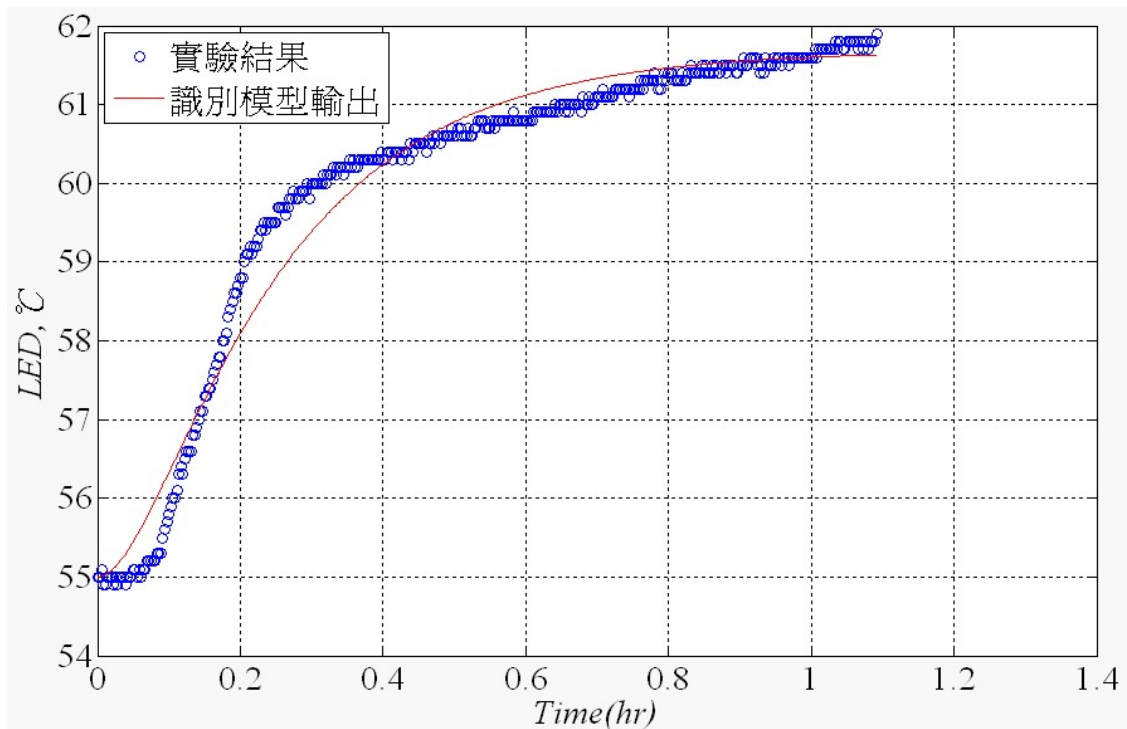


圖3.3.2-2 環境溫度由30°C上升至40°C之步階響應曲線

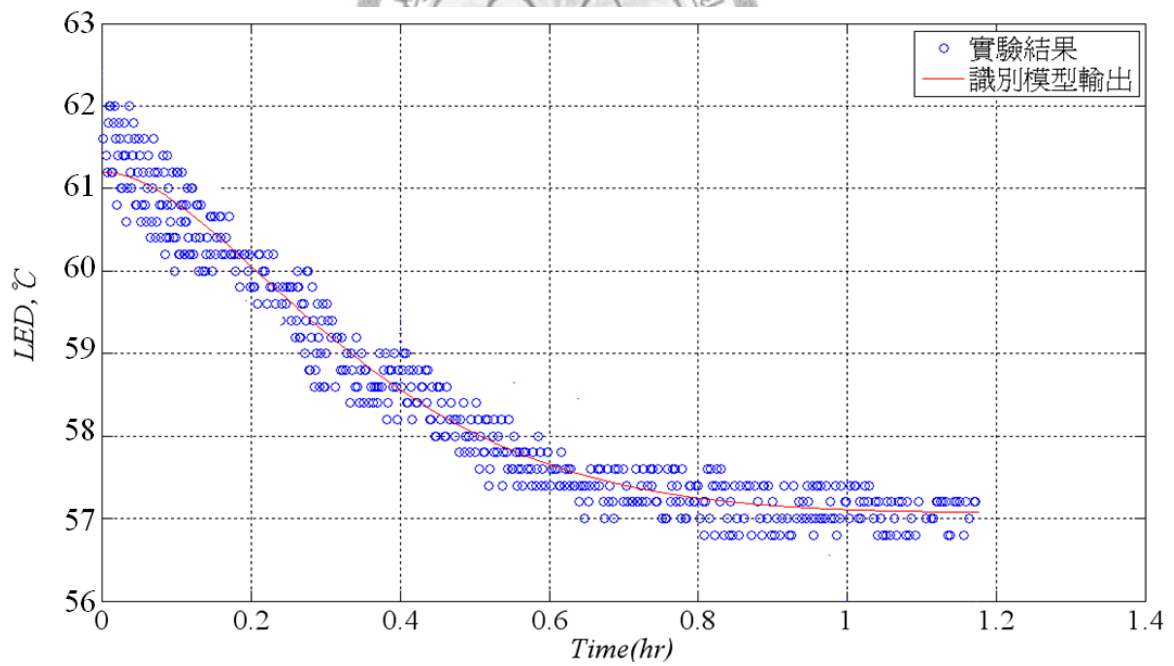


圖3.3.2-3 環境溫度由40°C降至30°C之步階響應曲線

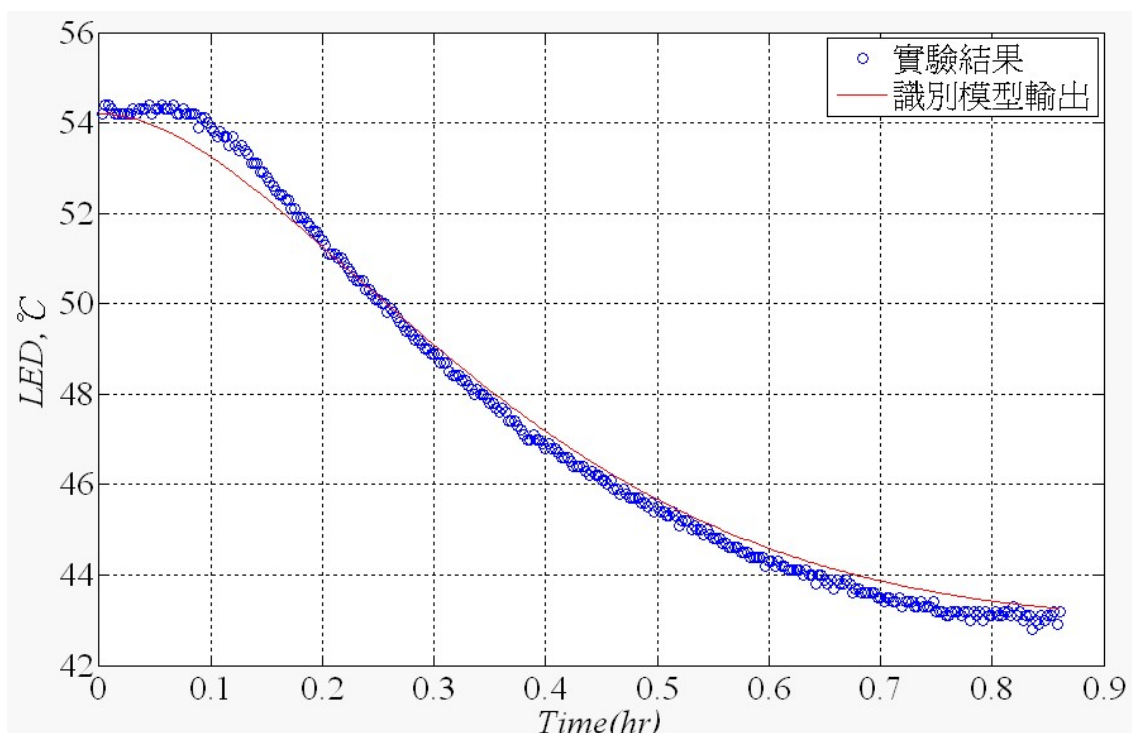


圖3.3.2-4 環境溫度由30°C降至20°C之步階響應曲線

表3.3.2-1 不同環境溫度操作點下的識別結果(3500 rpm)

操作點	環境溫度	P1, P2	k
1	20°C~30°C	$-0.0024 \pm 0.003i$	5.06e3
2	30°C~40°C	$-0.0018 \pm 0.003i$	4.87e3
3	40°C~30°C	$-0.0021 \pm 0.001i$	4.13e3
4	30°C~20°C	$-0.0017 \pm 0.002i$	4.90e3
平均		$-0.002 \pm 0.00225i$	4.74e3

在環境溫度20度~40度的不同壓縮機轉速操作點下所得到的識別結果如表

3.3.1-1，P1和P2為  $\tilde{G}_A(s)$  轉移函數的極點，k為  $\tilde{G}_A(s)$  轉移函數的增益常數。 $\tilde{G}_A(s)$

動態模型轉移函數識別結果列出如下：

$$\tilde{G}_A(s) = \frac{4.74e3}{(s + 0.002 - 0.00225i)(s + 0.002 + 0.00225i)} \quad (3.3.2-1)$$

不同操作點所得到的識別模型與平均模型頻率響應結果如圖3.3.2-5，平均模型與識別模型大小值相差不超過4db，且相位接近，以平均模型代表整個授控系統。而在式(3.3.2-1)中，平均模型的極點在左半平面，因此為穩定系統，且為極



小相位系統。

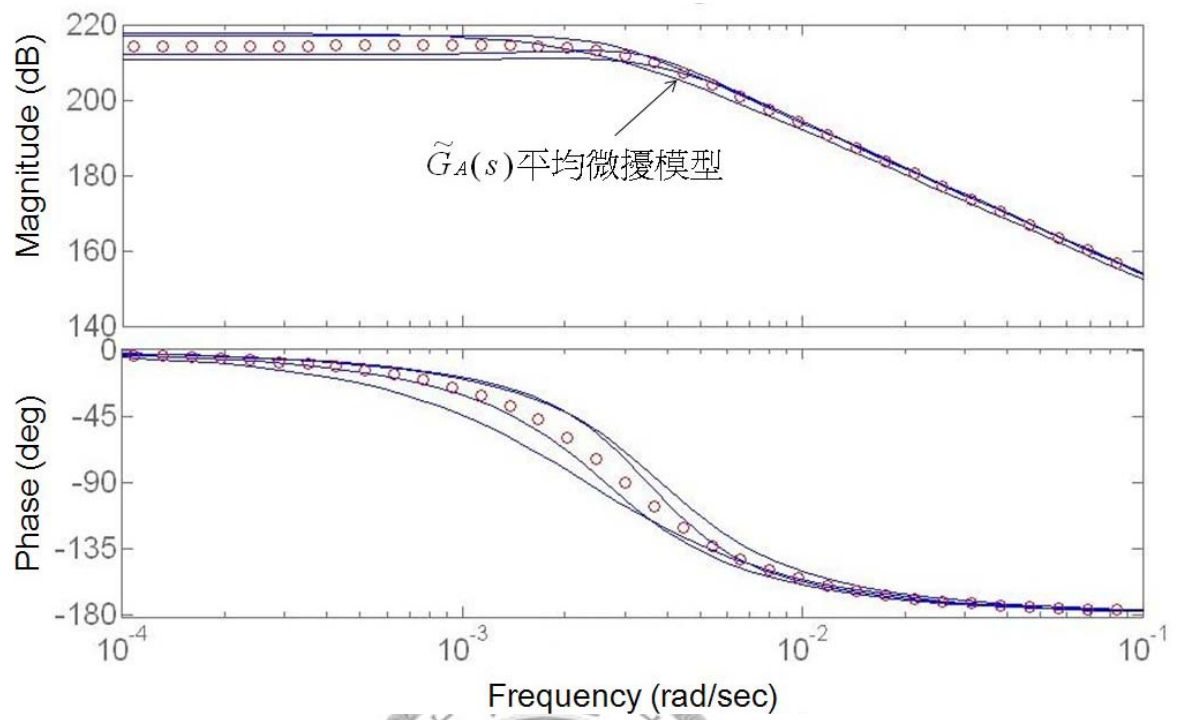


圖3.3.2-5  $\tilde{G}_A(s)$  在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖



### 3.3.3 $\tilde{G}_V(s)$ 之識別結果

由系統輸出的響應曲線變化，利用 Rake's 分析法分析，可以找出系統轉移函數。由於從低頻到高频，相位圖由  $0^\circ$  趨近於  $-180^\circ$ ，可以判別出轉移函數的分母比分子多二階，大小圖大於轉角頻率  $1 \times 10^{-3}$  的直線斜率為  $-40\text{dB/decade}$ ，因此  $\tilde{G}_V(s)$  可採用二階動態模型近似。

圖 3.3.3-1~圖 3.3.3-4 為系統在不同操作點之下的步階響應曲線圖及頻率響應曲線圖，表 3.3.3-1 為系統在不同環境溫度操作點下的識別結果。

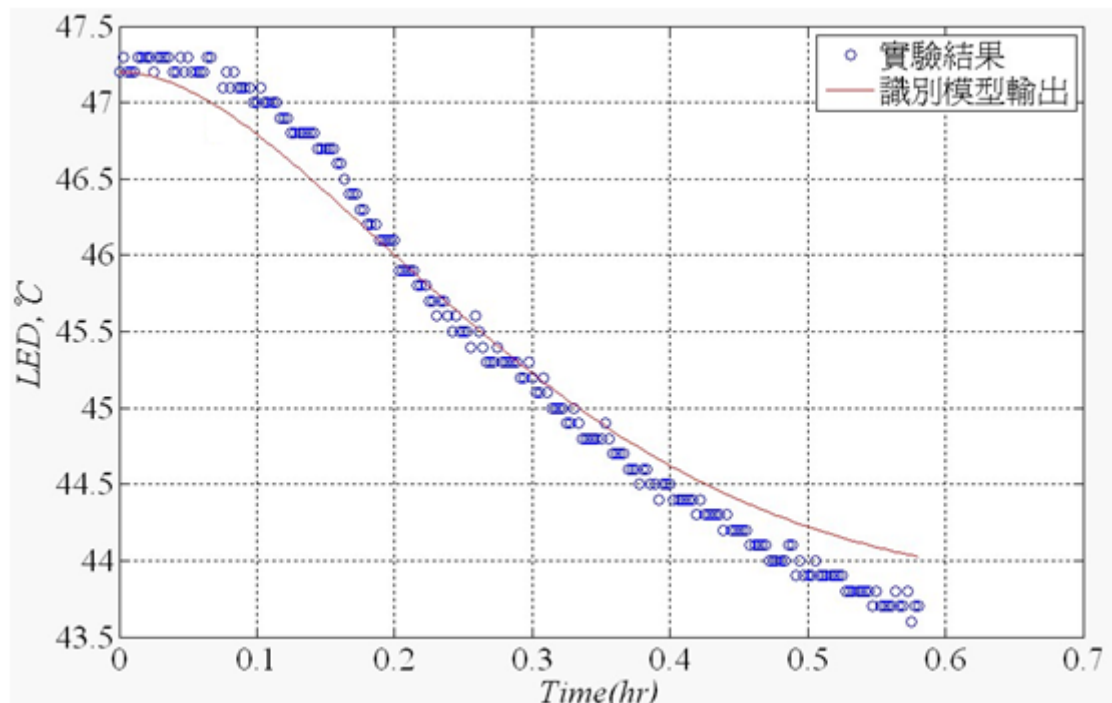


圖3.3.3-1 風量改變由無風環境至風速1m/s之步階響應曲線



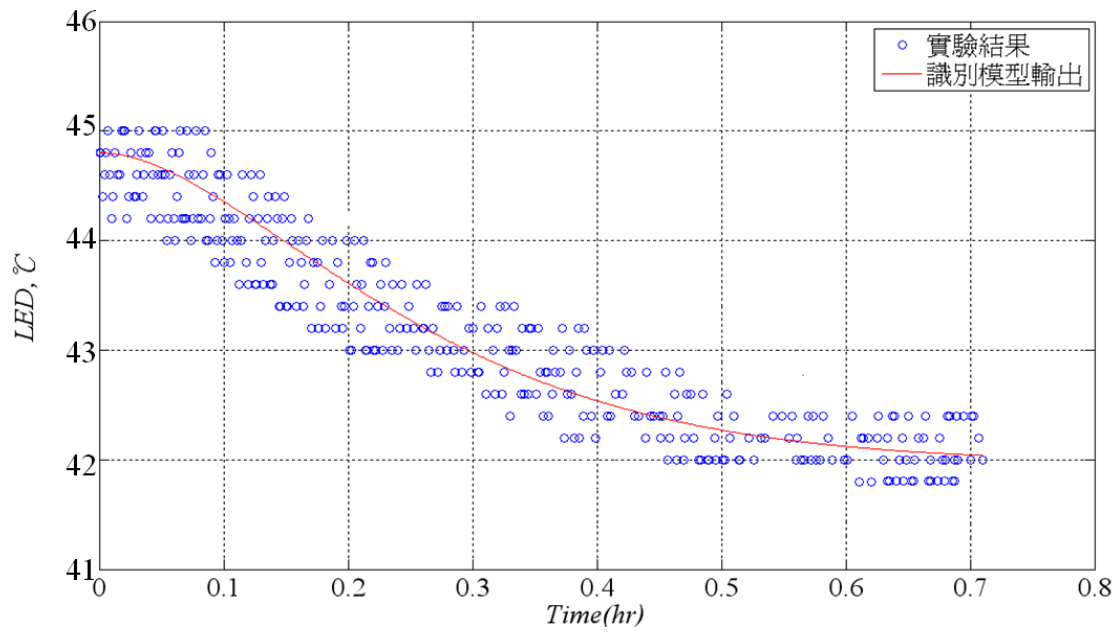


圖3.3.3-2 風量改變由風速1m/s至風速2m/s之步階響應曲線

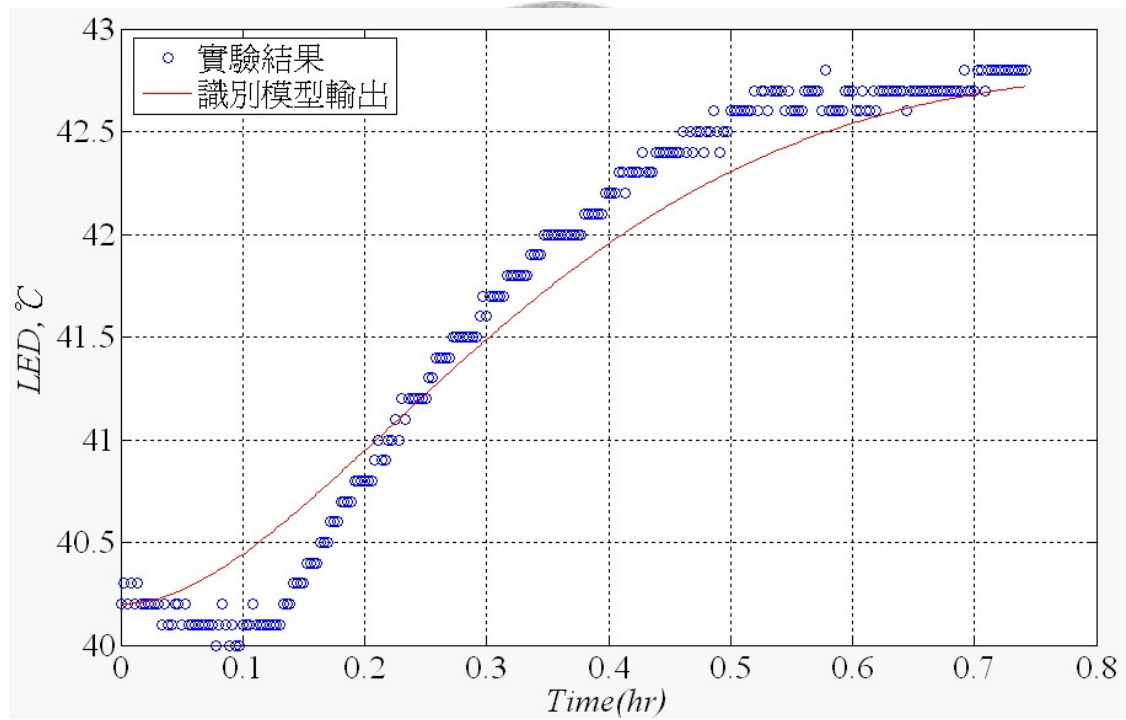


圖3.3.3-3 風量改變由風速2m/s至風速1m/s之步階響應曲線

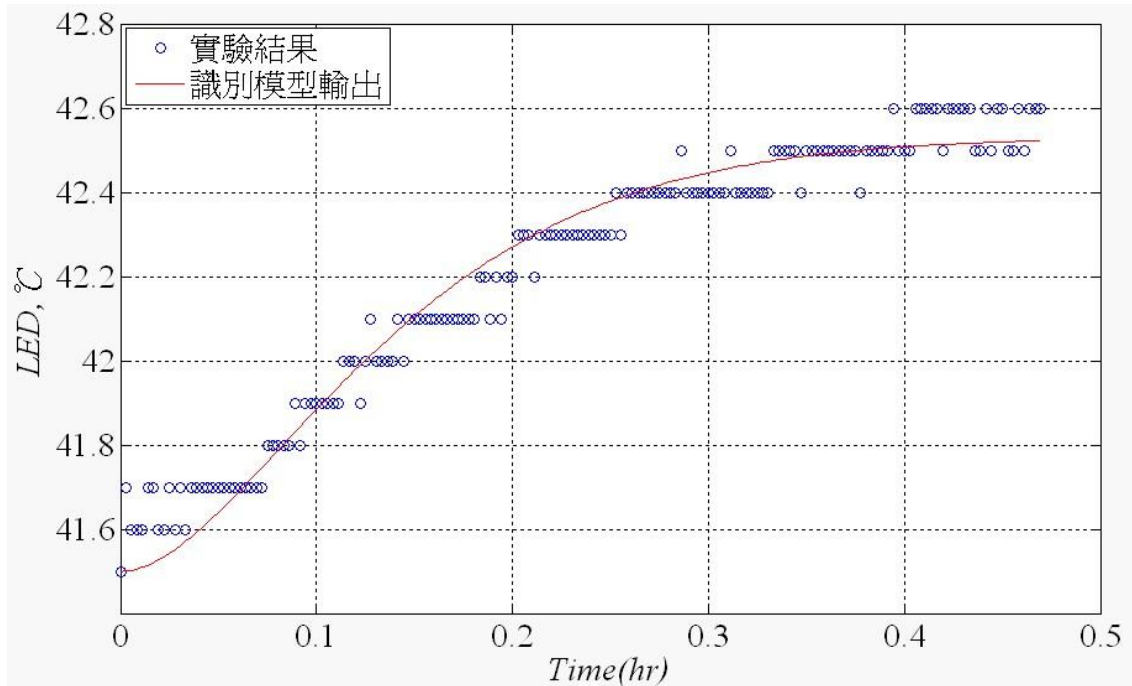


圖3.3.3-4 風量改變由風速1m/s至無風環境之步階響應曲線

表3.3.3-1 不同環境風速操作點下的識別結果(3500rpm)

操作點	環境風速(m/s)	P1, P2	k
1	0~1	$-0.0012 \pm 0.001i$	$4.42e-2$
2	1~2	$-0.0022 \pm 0.0017i$	$5.26e-2$
3	2~1	$-0.001 \pm 0.001i$	$4.84e-2$
4	1~0	$-0.0018 \pm 0.0012i$	$3.83e-2$
平均		$-0.00155 \pm 0.001225i$	$4.59e-2$

在不同環境風速0m/s~2m/s的操作點下所得到的識別結果如表3.3.3-1，P1和P2為 $\tilde{G}_v(s)$ 轉移函數的極點，k為 $\tilde{G}_v(s)$ 轉移函數的增益常數。 $\tilde{G}_v(s)$ 極點在左半平面，因此為穩定系統，且為極小相位系統。

$\tilde{G}_v(s)$ 動態模型轉移函數識別結果列出如下：

$$\tilde{G}_v(s) = \frac{4.59e-2}{(s + 0.00155 - 0.001225i)(s + 0.00155 + 0.001225i)} \quad (3.3.3-1)$$

不同操作點所得到的識別模型與平均模型頻率響應結果如圖3.3.3-5，平均模型與識別模型大小值相差不超過5db，且相位接近，以平均模型代表整個授控系統。而在式(3.3.3-1)中，平均模型的極點在左半平面，因此為穩定系統，且為極

小相位系統。

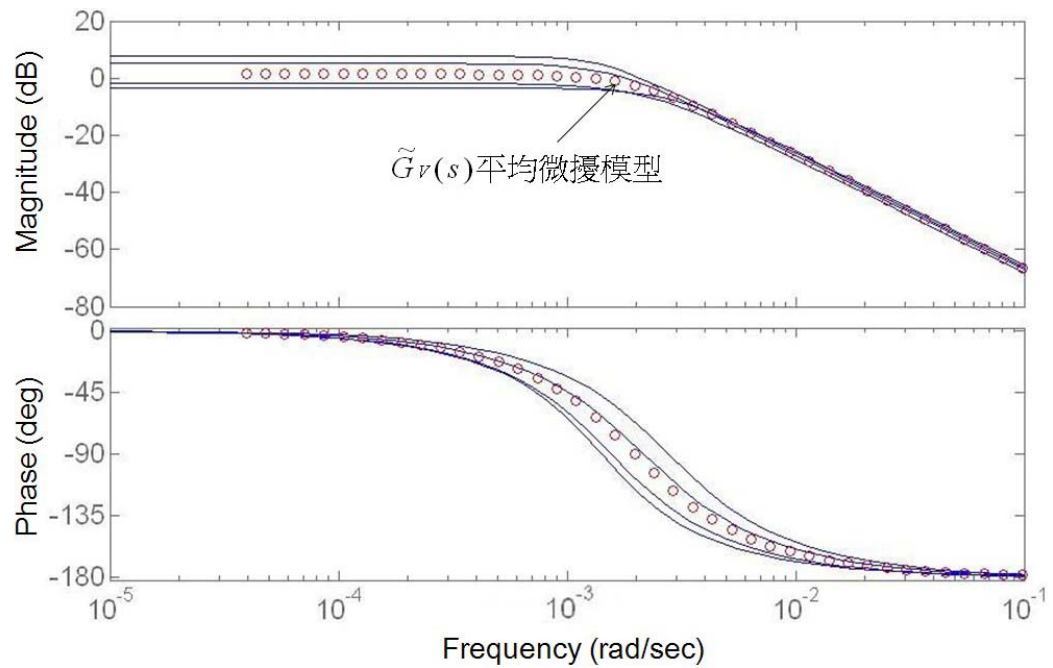


圖3.3.3-5  $\tilde{G}_v(s)$  在不同操作點下的微擾模型和平均模型之頻率響應圖

本節完成了系統三個轉移函數的識別工作，接下來便可以利用識別出的轉移函數來做主動式散熱燈具變頻控制器的分析與設計。

## 第四章 控制系統設計分析與製作

本章將對燈具變頻控制系統做一完整分析，以單晶片PIC16F877A實現控制流程，並對變頻控制系統做一完整測試。

### 4.1 變頻控制系統設計分析

根據第三章所識別出系統動態模型，進行控制系統設計，控制目標為 LED 發光模組之鋁基板溫度  $\tilde{T}_L$ ，如式(4.1-1)所示：

$$\tilde{T}_L(s) = -\tilde{D}(s) \cdot G_w(s) + \tilde{T}_A(s) \cdot G_A(s) - \tilde{V}_H(s) \cdot G_T(s) \quad (4.1-1)$$

由於熱流系統的時域反應較慢，且容易受外界溫度及風力等干擾影響LED鋁基板溫度，所以希望所設計的控制器一方面能抑制外界干擾影響，另一方面能縮短系統反應時間，且降低穩態的誤差。最後希望能在符合系統規格下，找出一組最省能的控制器參數，讓整體運轉耗能降低，達到省電的目的。

本研究設計的控制系統，針對一步階響應規格如下：

1. 上升時間(rise time)  $\leq 40$  分鐘
2. 穩態誤差(steady-state error)  $\leq 1^\circ\text{C}$
3. 最大超越量(percent overshoot)  $\leq 20\%$

為了達到以上的要求，本研究選用工業上較常使用的 PI 控制器，PI 控制器轉移函數如式(4.1-2)，演算法如式(4.1-3)：

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (4.1-2)$$

$$\omega(t) = e_r(t)K_p + K_I \int_0^t e_r(\tau) d\tau \quad (4.1-3)$$

式(4.1-2)、(4.1-3)中，各參數定義為：

$G_c(s)$ ：控制器轉移函數

$e_r(t)$ ：誤差值， $e_r(t)=T_{SET}-T_{LED}$

$K_P$ ：比例增益常數

$K_I$ ：積分增益常數

由於PI控制器由時域(time-domain)的角度來看，相當於在開路轉移函數中加入一個零點及 $s=0$ 之極點，此極點增加開路轉移函數的階數(type)一次，若閉迴路系統為穩定，則穩態誤差( $e_{ss}$ )能有效被改善，加入一零點也可縮短系統上升時間。另外從頻域(frequency-domain)的觀點，PI控制器的頻率轉移函數 $G_C(j\omega)=K_P+\frac{K_I}{j\omega}$ ，當頻率越高， $|G_C(j\omega)|$ 越小，所以PI控制器在頻域上為一低通濾波器(low-pass-filter)，因此對於系統中出現的高頻雜訊有抑制的作用。

加入PI控制器後，閉迴路系統方塊圖如圖4.1-1所示，將依訂定的控制器規格，對系統做模擬分析，找出控制器參數 $K_P$ 及 $K_I$ 的最佳值。

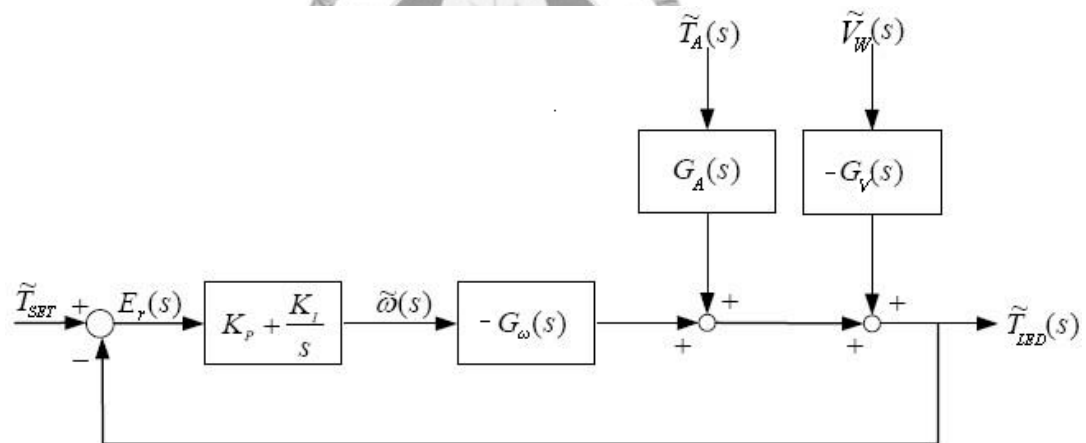


圖4.1-1 加入PI控制器之閉迴路系統方塊圖

## 4.2 變頻控制系統參數分析

首先利用Routh's Stability Criterion，判斷系統穩定之 $K_P$ 及 $K_I$ 值之範圍。由上一章所識別出之 $G_\omega(s)$  模型，可得系統閉迴路特徵方程式  $\Delta(s)$ ：

$$\Delta(s) = s^3 + 0.283s^2 + (8.94 \times 10^{-7} K_P + 2.8 \times 10^{-4})s + 8.94 \times 10^{-7} K_I = 0 \quad (4.2-1)$$

由Routh's Stability Criterion 可知系統穩定的條件為：

$$2.53K_P - 8.94K_I + 792.4 > 0 \quad (4.2-2)$$

$$K_I > 0 \quad (4.2-3)$$

在穩定的 $K_P$ 及 $K_I$ 值範圍內，利用Matlab進行時域步階響應的模擬<sup>[7][8]</sup>。於模擬過程中，需考慮壓縮機運轉時的飽和(saturation)現象，如圖4.2-1所示，壓縮機輸出值有上限，無論控制命令如何要求，其輸出值只能維持在上限值，在本研究中所使用的壓縮機，最低轉速為2000 rpm，最高轉速為4500 rpm。

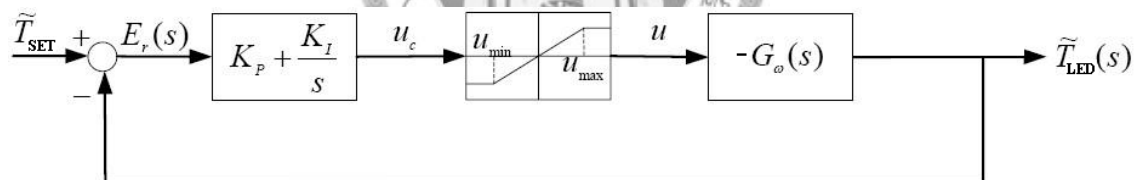


圖4.2-1 具有飽和制動器之系統方塊圖

由於在控制初期 $e_r(t)$ 極大，I control會累積很大的 $u_c$ 值( $u_c < u_{min}$ 或 $u_c > u_{max}$ )，造成致動器進入上述之飽和區域，此現象稱之為積分終結(integrator antiwindup)，因為 $u$ 是真正進入系統，用來修正輸出值 $\tilde{T}_{LED}$ ，以降低誤差 $e_r$ 的大小，而 $|u| < |u_c|$ ，使得真正進入系統的控制力量小於控制器要求的力量，因此誤差修正的效果無法達到控制器預期完成的目標，所以誤差的修正通常需要更長的時間，在響應圖形上會產生較大的超越量(overshoot)及低超量(undershoot)。

改善積分終結的方法就是設計一反積分終結器(antiwindup)，如圖4.2-2，圖中 $K$ 值為斜率，當 $u_c < u_{max}$ 或 $u_c > u_{min}$ ，反積分終結器不作用，當 $u_c > u_{max}$ 或 $u_c < u_{min}$ ，

反積分終結器作用，降低進入積分器的誤差 $e_I$ ，進而降低控制器輸出 $u_e$ ，以抑制非線性飽和現象的產生。

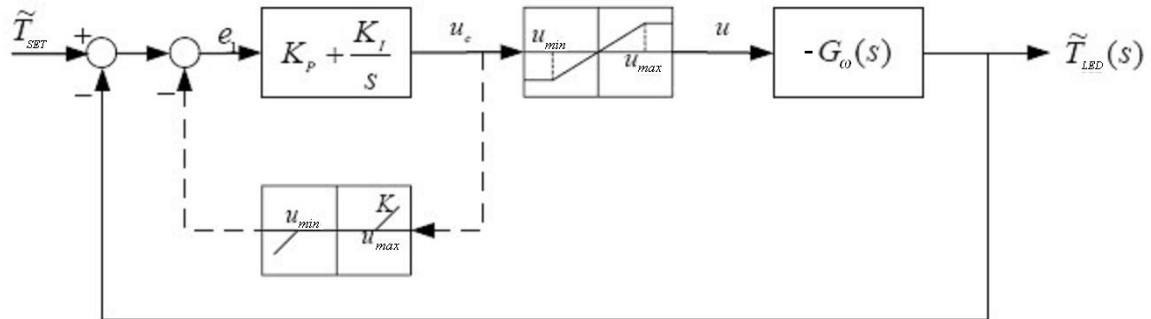


圖4.2-2 具有反積分終結器之系統方塊圖

利用Matlab內建之simulink 功能，建立系統模擬之方塊圖，如圖4.2-3所示。

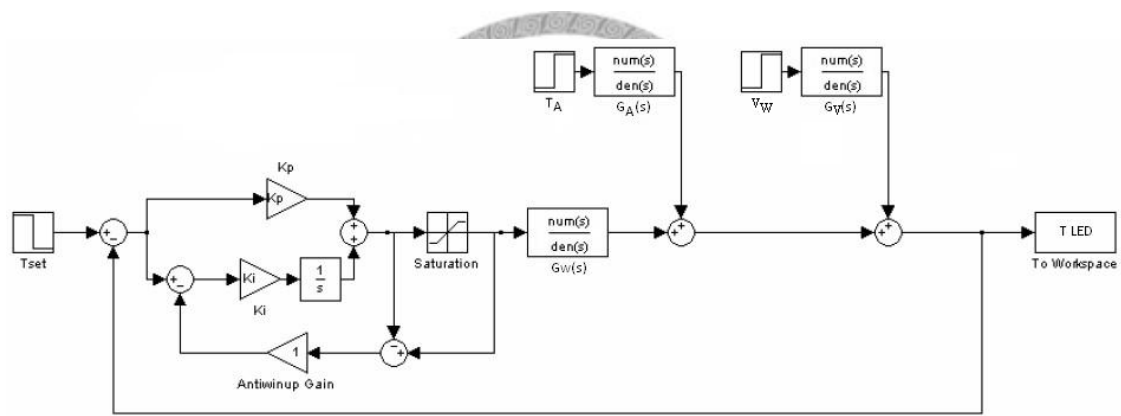


圖4.2-3 系統模擬方塊圖

圖中使用符號說明如下：

1.  $T_{set}$ ：微擾模型溫度設定值的輸入點，為控制器所要追蹤目標。
2.  $T_A$ ：環境溫度所造成干擾值輸入點，單位步階表 $5^{\circ}\text{C}$ 溫差。
3.  $V_W$ ：環境風速變化量所造成干擾值輸入點，單位步階表 $1\text{m/s}$ 風速變化。
4.  $K_p$ 、 $K_i$ ：PI控制器設計參數。
5.  $K$ ：反積分終結器之增益值，取 $K=1$ 。
6.  $T_{LED}$ ：LED鋁基板溫度。
7. Saturation：表示致動器(壓縮機)之非線性飽和元件， $u_{\max}=4500\text{rpm}$ 、

$$u_{\min}=2000\text{rpm}。$$

8.  $G_{\omega}(s)$ ：壓縮機轉速對LED鋁基板溫度轉移函數。

$$G_{\omega}(s) = \frac{8.94e-7}{s^2 + 0.283s + (2.8e-4)}$$

9.  $G_A(s)$ ：環境溫度變化對LED鋁基板溫度轉移函數。

$$G_A(s) = \frac{4.73e3}{s^2 + 0.004s + 9.06e-6}$$

9.  $G_V(s)$ ：環境風速變化對LED鋁基板溫度轉移函數。

$$G_V(s) = \frac{4.59e-2}{s^2 + 0.0031s + 3.9e-6}$$

根據 $K_P$ 和 $K_I$ 的穩定值範圍進行控制系統分析，首先將 $K_I$ 設為0.4，調整 $K_P$ 於25~150間，觀察系統輸出，並利用Integral of the Absolute Value of the Error(IAE)為調整判斷基準，如式(4.2-4)，並以壓縮機轉速和壓縮機耗電量之間關係來預估壓縮機總耗能，模擬結果如表4.2-1所示。

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (4.2-4)$$

當 $K_P$ 增加時，系統的最大超越量、穩態誤差、 $IAE$  逐漸增加，壓縮機耗能也增加。當 $K_P > 150$ 後，P控制效果即不明顯，且過大的數值對控制器運算負擔也越大，容易使致動器飽和，系統時域模擬輸出圖形如圖4.2-4所示。

表4.2-1  $K_I=0.4$  改變 $K_P$ 之步階響應模擬結果

$K_P$	$T_r (min)$	$M_o (%)$	$e_{ss} (^\circ C)$	$IAE$	壓縮機耗能(Wh)
25	34.54	18.33	0.047	2231	74.8
50	35.67	16.76	0.034	2012	75.2
75	36.42	14.05	0.029	1843	76.7
100	37.04	11.48	0.021	1564	77.1
125	38.26	7.41	0.014	1442	78.2
150	39.67	5.13	0.009	1230	80.6



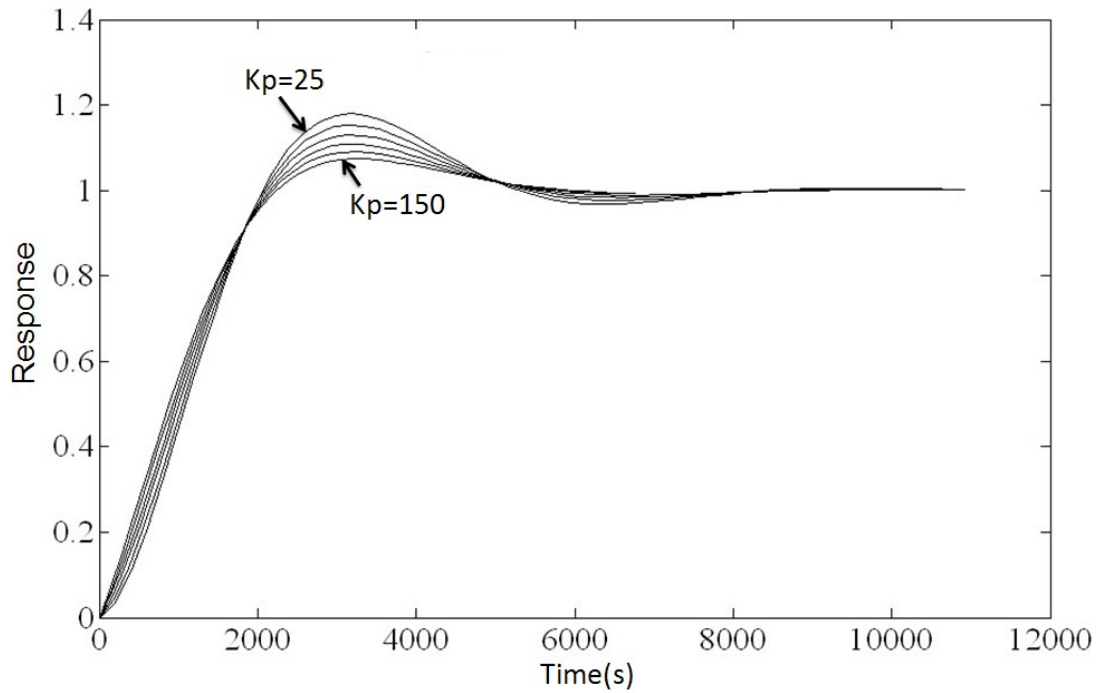


圖4.2-4  $K_I = 0.4$ ， $K_P = 25 \sim 150$  之模擬結果

接著固定 $K_P=150$ ，調整 $K_I$ 的值來進行模擬，模擬結果如表4.2-2所示。當 $K_I > 0.4$ 時，閉迴路系統為欠阻尼(under damped)系統，此時系統過超量(overshoot)隨著 $K_I$ 的值增加而變大，但此時系統上升時間較短， $IAE$ 也較大，壓縮機耗能也隨著 $K_I$ 增加而變大。當 $K_P=150$ ， $K_I=0.9$ 時，雖然此時系統過超量稍大，但是具有低穩態誤差的優點。

表4.2-2  $K_P=150$  改變 $K_I=0.4 \sim 0.9$ 之步階響應模擬結果

$K_I$	$T_r (min)$	$M_o (\%)$	$e_{ss} (^\circ C)$	$IAE$	壓縮機耗能(Wh)
0.4	39.67	5.13	0.009	1230	80.6
0.5	34.96	7.96	0.007	1264	83.8
0.6	29.83	11.45	0.004	1310	85.2
0.7	26.33	14.74	0.001	1392	90.4
0.8	24.67	18.21	0.0008	1440	92.8
0.9	21.66	22.62	0.0006	1516	95.3

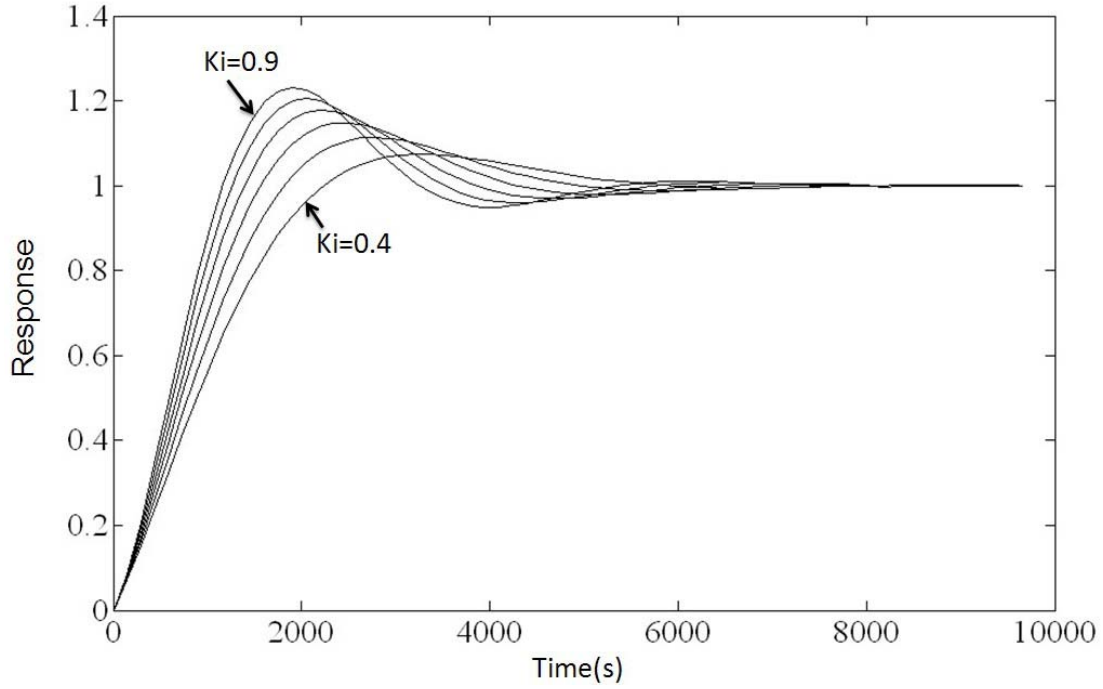


圖4.2-5  $K_P=150$ ，調整 $K_I=0.4\sim0.9$ 之模擬結果

接下來考慮干擾對系統影響來做控制器參數分析，首先探討環境溫度變化微擾量  $\tilde{T}_A(s)$  對輸出微擾量  $\tilde{T}_L(s)$ ，加入控制器後， $\tilde{T}_A(s)$  對  $\tilde{T}_L(s)$  轉移函數如式

(4.2-5)：

$$\frac{\tilde{T}_L}{\tilde{T}_A} = \frac{G_A(s)}{1 + G_C(s)G_\omega(s)} \quad (4.2-5)$$

$$= \frac{s(4.73 \times 10^3 s^2 + 1338.6s + 1.32)}{s^5 + 0.29s^4 + 1.42 \times 10^{-3}s^3 + 3.68 \times 10^{-6}s^2 + (2.54 \times 10^{-11} + 4.23 \times 10^{-3} K_P)s + 4.23 \times 10^{-3} K_I}$$

將表4.2-2之 $K_P$ 、 $K_I$ 值帶入式(4.2-5)中，轉移函數大小圖如圖4.2-6所示，可看出在各種參數搭配下， $\omega$ 在 $10^{-4}$  rad/sec至 $10^3$  rad/sec的範圍內， $|\tilde{T}_L(s)/\tilde{T}_A(s)|$ 大小值皆在0dB以下，表示加入控制器之閉迴路系統，對此頻率範圍內的環境溫度干擾 $\tilde{T}_A$ 不具有放大作用，控制器可以有效抑制 $\tilde{T}_A$ 雜訊，使 $\tilde{T}_A$ 對LED鋁基板溫度影響減至最低。

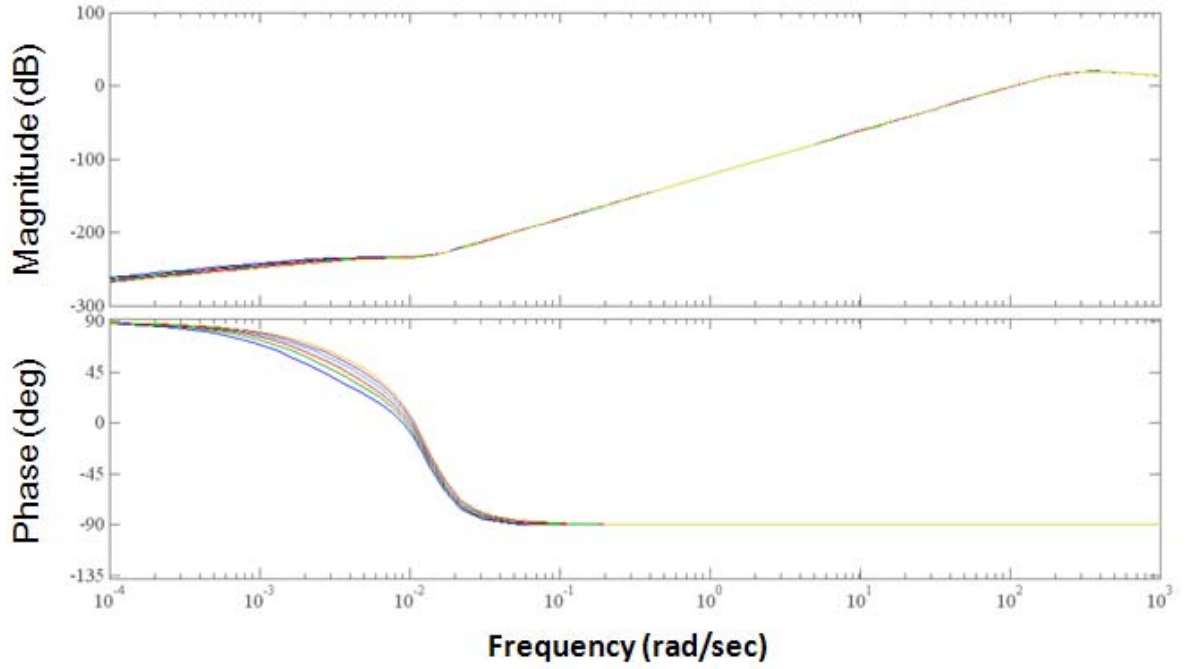


圖4.2-6  $\tilde{T}_A(s)$ 對 $\tilde{T}_L(s)$ 轉移函數波德圖

接著探討環境風速變化微擾量 $\tilde{V}_w(s)$ 對輸出微擾量 $\tilde{T}_L(s)$ ，加入控制器後，

$\tilde{V}_w(s)$ 對 $\tilde{T}_L(s)$ 轉移函數如式(4.2-6)：

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{T}_L}{\tilde{V}_w} &= \frac{G_V(s)}{1 + G_C(s)G_\omega(s)} \\ &= \frac{s(4.59 \times 10^{-2}s^2 + 0.01s + 1.29 \times 10^{-5})}{s^5 + 0.29s^4 + 1.16 \times 10^{-3}s^3 + 1.97 \times 10^{-6}s^2 + (1.1 \times 10^{-9} + 4.1 \times 10^{-8}K_P)s + 4.1 \times 10^{-8}K_I} \end{aligned} \quad (4.2-6)$$

將表4.2-2之 $K_P$ 、 $K_I$ 值帶入式(4.2-6)中，轉移函數大小圖如圖4.2-7所示，可看出在各種參數搭配下， $\omega$ 在 $10^{-4}$  rad/sec至 $10^3$  rad/sec的範圍內， $|\tilde{T}_L(s)/\tilde{V}_w(s)|$ 大小值皆在 $-150 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m/s}}$ 以下，表示加入控制器之閉迴路系統，對此頻率範圍內的環境風速干擾 $\tilde{V}_w$ 不具有放大作用，控制器可以有效抑制 $\tilde{V}_w$ 雜訊，使 $\tilde{V}_w$ 對LED鋁基板溫度影響減至最低。

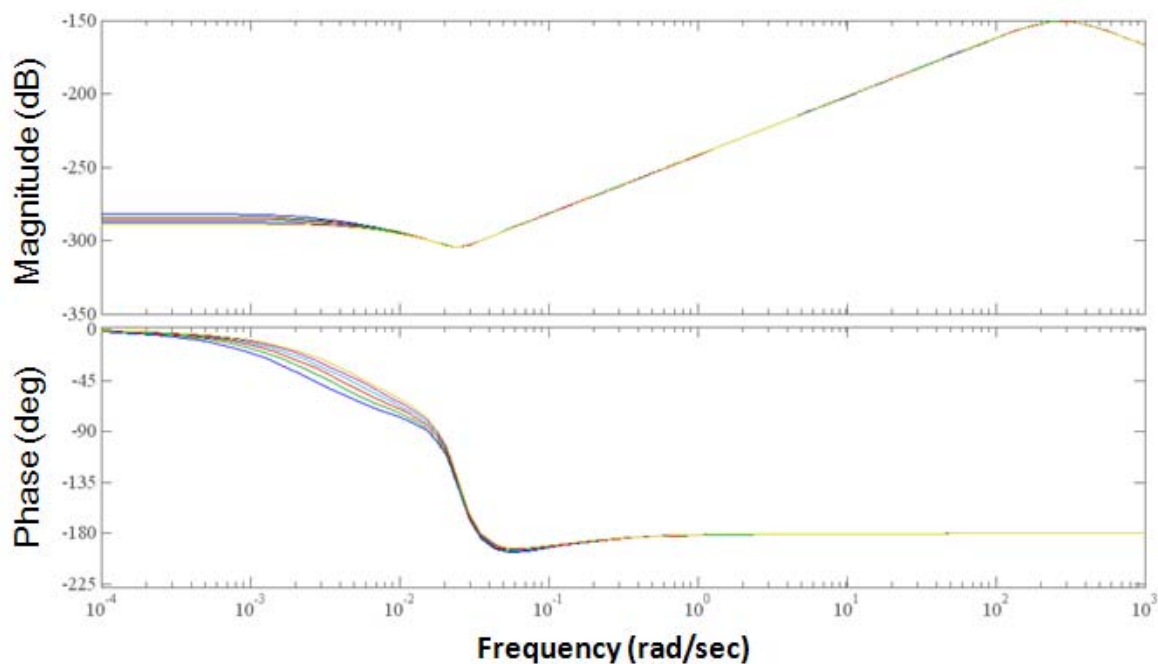


圖4.2-7  $\tilde{V}_w(s)$  對  $\tilde{T}_L(s)$  轉移函數波德圖

經由上述各項比較後，本研究採用 $K_P=150$ 、 $K_I=0.4$ 做為控制器設計參數，此控制器參數閉迴路系統對單位步階響應的性能為 $Tr = 39.67min$ 、 $Mo = 5.13\%$ 、 $e_{ss} = 0.009$ 、壓縮機耗能為 $80.6Wh$ 。利用此參數所設計的控制器可有效降低系統過超量，且IAE較低，而且壓縮機耗電量較低，達到省電的目的。以上完成了控制系統參數分析工作，接下來將進行控制系統硬體設計與製作，並撰寫PI控制器程式。

### 4.3 變頻控制系統硬體設計與製作

壓縮機變頻控制系統硬體方塊圖如圖4.3-1所示，主要是利用單晶片 PIC16F877A 為運算核心，利用溫度感測器 LM35，將 LED 鋁基板溫度回授，以數位電阻 GS6267S 輸出電阻值改變壓縮機轉速，達到溫度控制的目的。變頻控制系統硬體方塊圖如圖4.3-1所示：

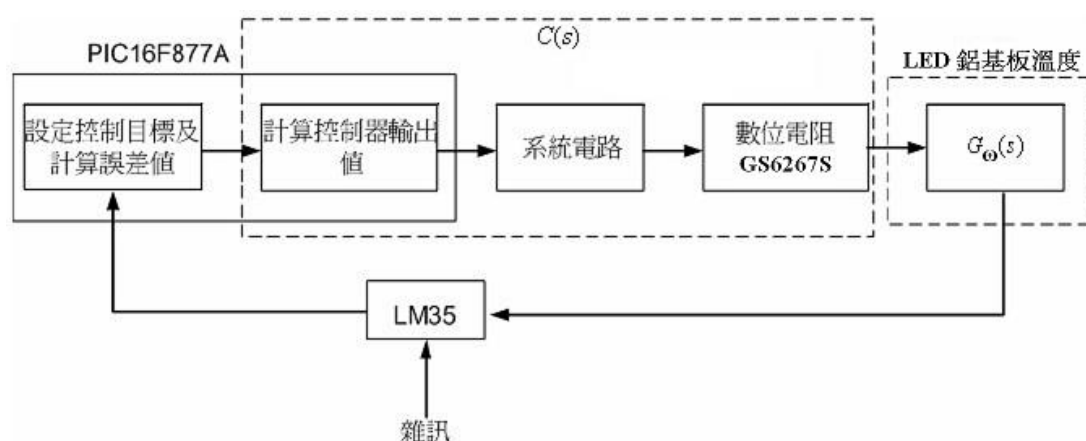


圖4.3-1 變頻控制系統硬體方塊圖

壓縮機變頻控制為使用微處理器透過數位訊號來控制數位電阻改變電阻值，藉由電阻值的改變使得控制電壓可控制在0~5V的電壓範圍內。當控制電壓低於1V時，壓縮機處於停轉狀態；而當控制電壓為1V左右時，壓縮機以最低轉速運轉；當控制電壓在1V~4V之間變化時，壓縮機轉速和控制電壓幾乎為線性成正比的關係；控制電壓高於4V時，壓縮機將持續以最高轉速運轉。控制電壓分壓電路如圖4.3-2，壓縮機轉速和控制電壓關係圖如4.3-3所示，壓縮機轉速控制電路板如4.3-4所示。

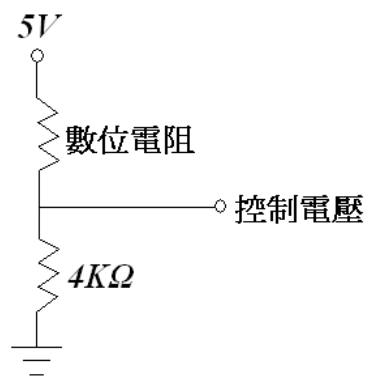


圖4.3-2 控制電壓分壓電路

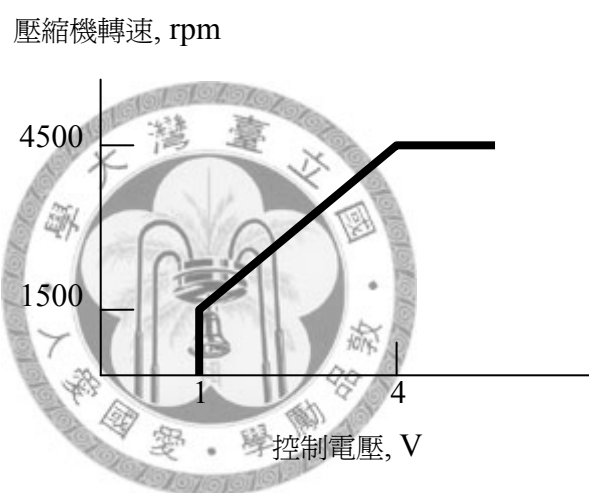


圖4.3-3 壓縮機轉速和控制電壓關係圖



圖 4.3-4 壓縮機轉速控制電路板

控制器硬體部分包含下列主要元件，詳細電路圖及製作完成圖如圖4.3-6及圖4.3-7所示：

1. 單晶片PIC16F877A：

為Microchip 所推出之8位元微處理機，包含8組10bit之ADC(Analog to Digital Converter)，可直接量測電壓，在5V參考電壓值，量測精度可達0.005V。

2. 數位電阻GS6267S：

目前使用Linkas公司所出產的GS6267數位電阻來做設計。此數位電阻具有雙256 bits通道，可控制電阻值範圍在0~20KΩ之間，最大精度為40Ω，利用微處理機將串列資料傳輸至數位電阻。

3. 溫度感測器LM35：

可將溫度值轉換成電壓輸出至微處理機，可量測-55℃~150℃，精確度為0.5℃，轉換公式如式(4.3-1)，其中 $V_{out}$ 為LM35輸出電壓、 $Temp$ 為量測溫度值(℃)，溫度量測電路需加入一低通濾波器以防止高頻雜訊，如圖4.3-5所示。

$$V_{out}=0.001 \times Temp(^{\circ}C) \quad (4.3-1)$$

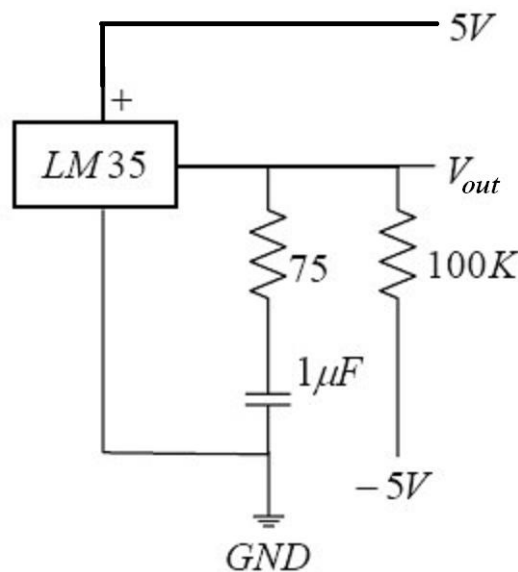


圖4.3-5 溫度感測器電路



#### 4. LCD 液晶顯示器：

主要顯示目前LED溫度值與壓縮機轉速，及方便程式除錯。

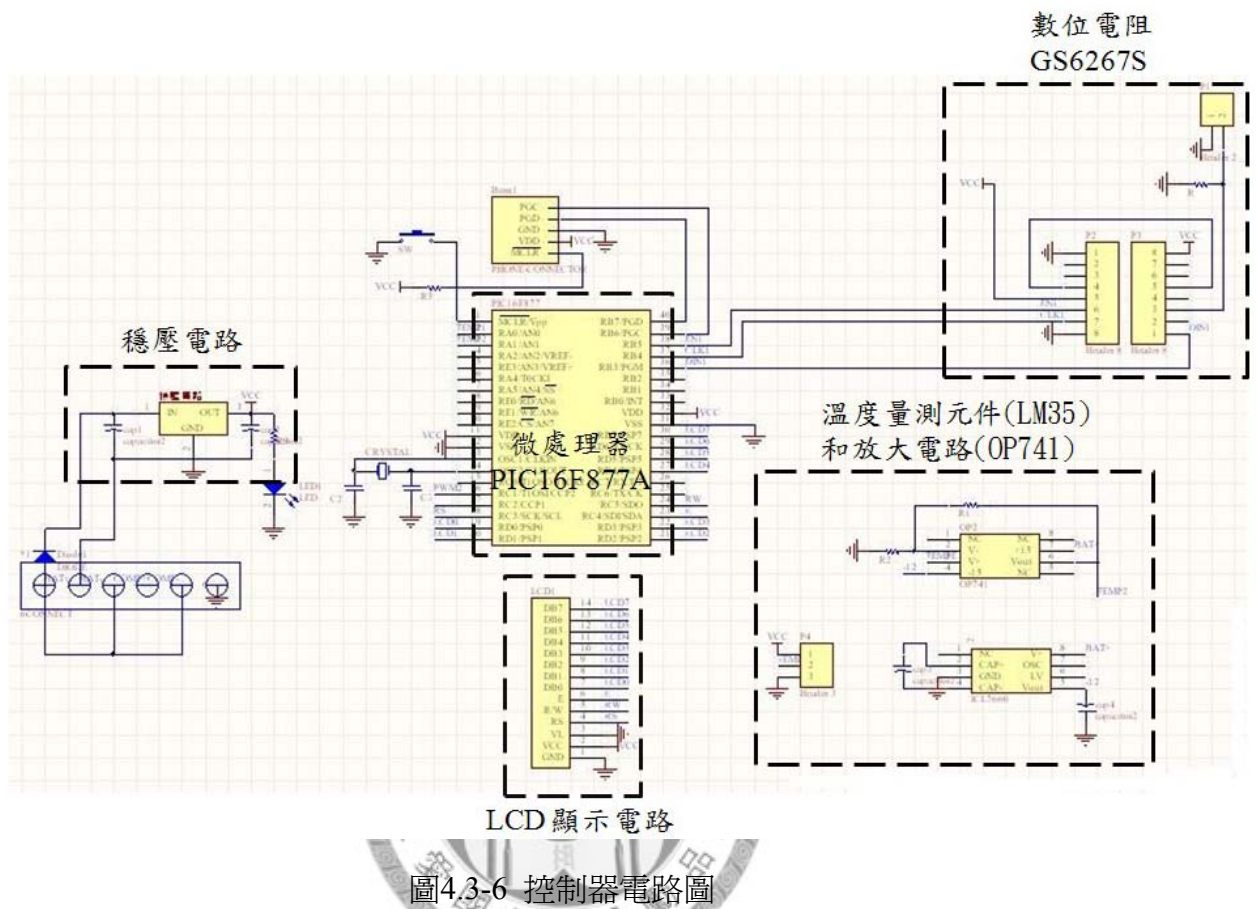


圖4.3-6 控制器電路圖

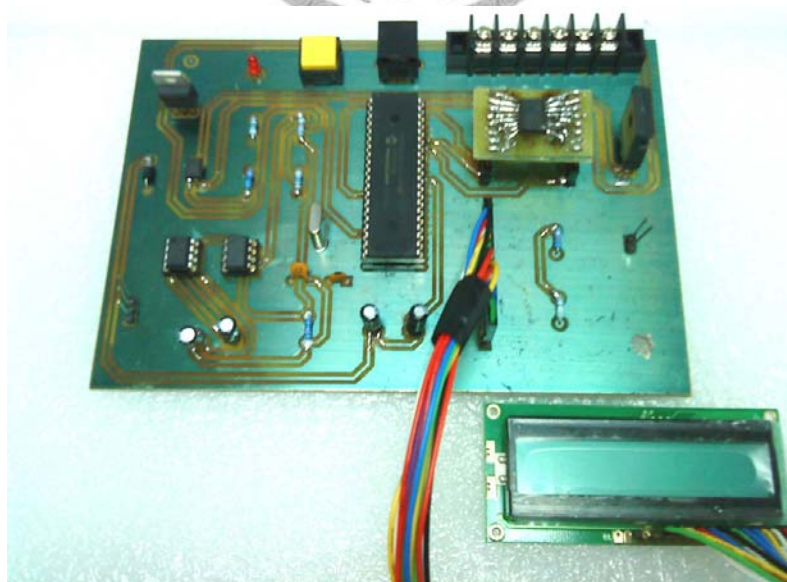


圖4.3-7 系統電路完成圖



## 4.4 變頻控制系統軟體撰寫

由於使用PI控制器，在軟體撰寫時，須將積分器的運算式改為(4.4-1)式，圖形如圖4.4-1，才能以微處理機來實現<sup>[4]</sup>。

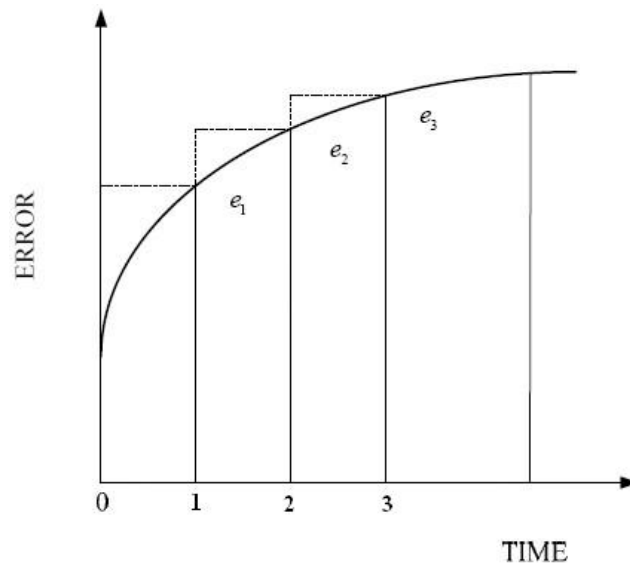


圖4.4-1 積分近似圖

$$K_I \int e dt = K_I \cdot e_1 \Delta t + K_I \cdot e_2 \Delta t + K_I \cdot e_3 \Delta t + \dots \quad (4.4-1)$$

其中：

$K_I$ ：積分器增益常數

$e_1$ ：在時間1時的誤差值

$e_2$ ：在時間2時的誤差值，其餘依此類推

$\Delta t$ ：取樣時間

控制程式流程圖如圖4.4-2 所示，詳細的控制程式收錄於附錄1。

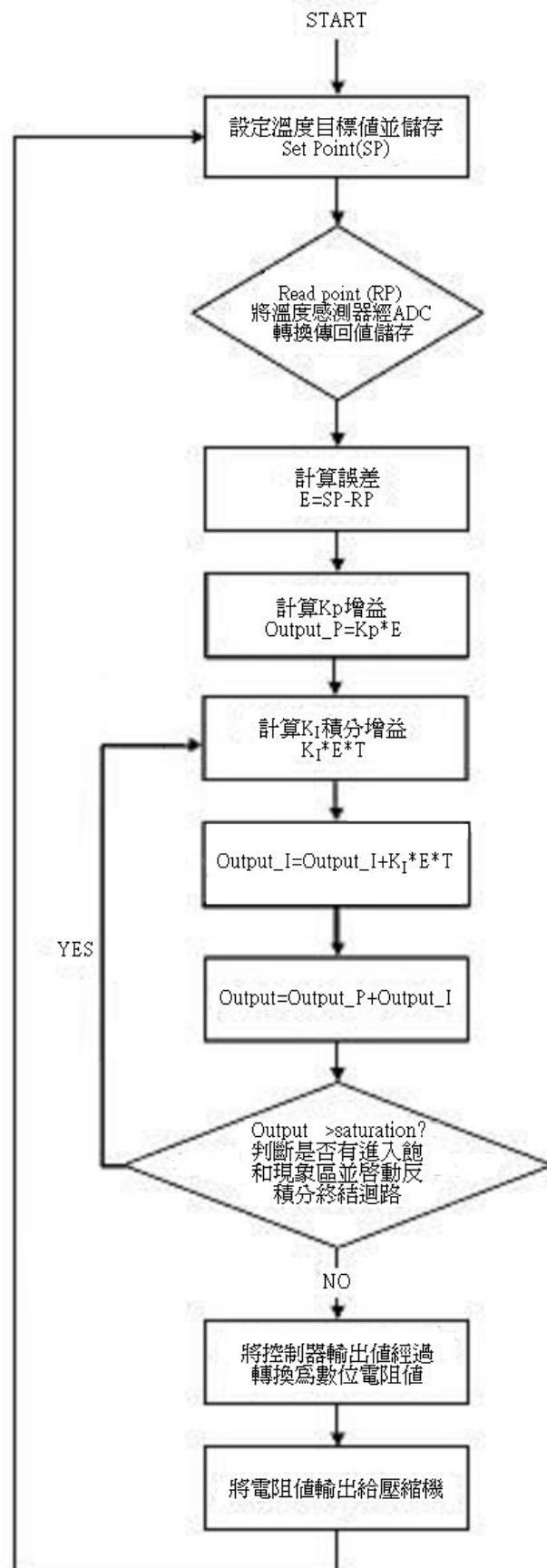


圖4.4-2 變頻控制器軟體流程圖

## 4.5 系統整合測試

### 4.5.1 環境溫度對系統之影響

當環境溫度為23℃的無風情況，且未啓動壓縮機時，LED發光時晶蕊溫度隨時間而上升，LED鋁基板溫度在30分鐘內上升超過30℃，且溫度仍在持續上升中，50分鐘內將到達90℃，LED晶蕊溫度過高會導致嚴重的光衰問題和影響LED的使用壽命，圖4.5.1-1為壓縮機未啓動時，LED鋁基板溫度之變化情形。

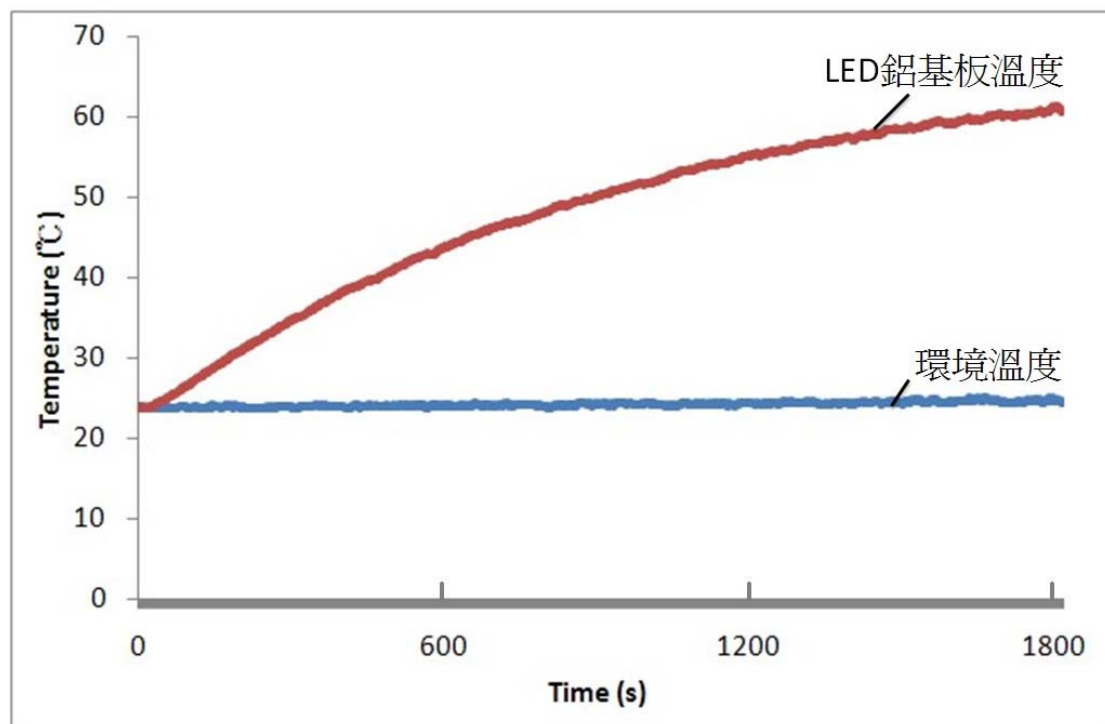


圖4.5.1-1 壓縮機未啓動狀態下之LED鋁基板溫度變化情形(環境溫度23℃)

當環境溫度為25℃且無風的狀態下，進行主動式散熱控制系統的性能測試。由圖4.5.1-2實驗數據顯示，控制器可以將LED鋁基板溫度控制在50℃。當系統達到熱平衡狀態時，蒸發器入口溫度為3.8℃，蒸發器出口溫度為27.5℃，蒸發器進出口溫度差達到23.7℃。冷凝器入口溫度為47℃，冷凝器出口溫度為27.7℃，冷凝器進出口溫度差達到19.3℃，冷凝器的平均溫度為37.35℃。壓縮機平均耗能為

26W，約為壓縮機全速運轉耗能之52%。計算冷凝器與空氣間熱阻，計算式如式(4.5.1-1)所示，其平均熱阻為0.07°C/W。壓縮機之COP定義為LED耗電瓦數除以壓縮機耗電瓦數，其COP值為5.77。原先LED燈泡的發光效率為100 lm/W，系統加入壓縮機耗電量計算後，LED發光效率降為85.2 lm/W。

$$\text{冷凝器與空氣間熱阻 } R_{ca} = \frac{\text{冷凝器進出口平均溫度} - \text{空氣溫度}(\text{°C})}{\text{壓縮機及150W LED耗電量總和}(W)} \quad (4.5.1-1)$$

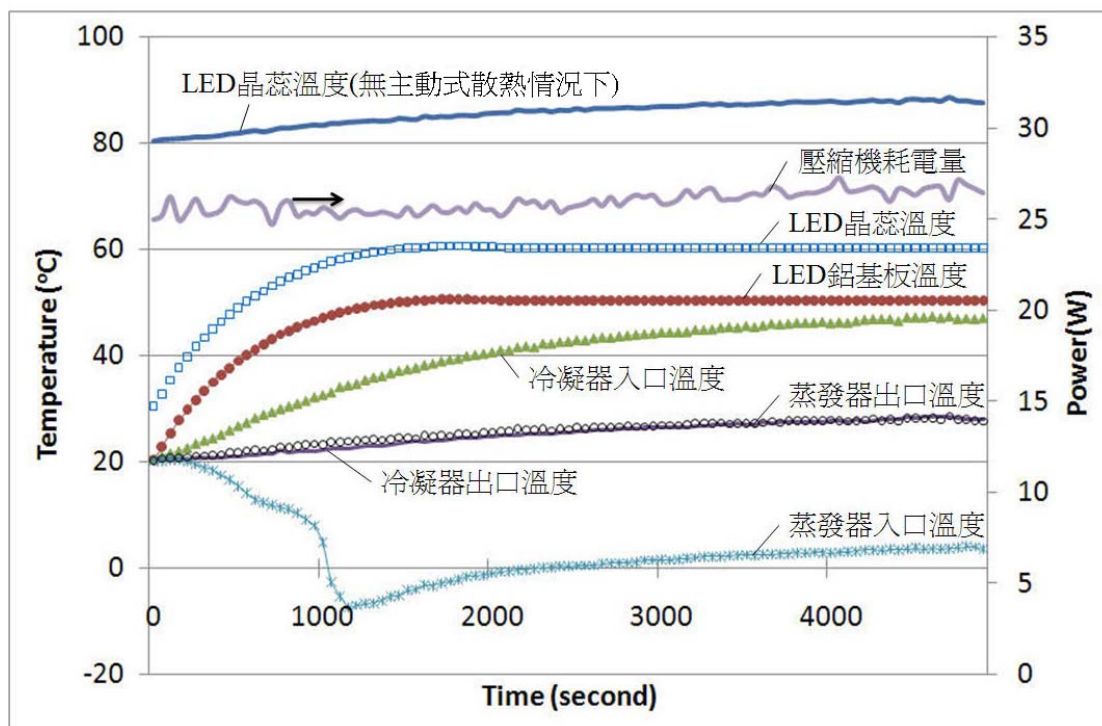


圖4.5.1-2 系統性能測試(環境溫度25°C)

接著探討當環境溫度升高時對系統的影響，由圖4.5.1-3實驗數據顯示，當環境在無風的狀態下，環境溫度維持在40°C，控制器可以將LED鋁基板溫度控制在50°C。系統達到熱平衡狀態時，冷凝器入口溫度為78°C，冷凝器出口溫度為40°C，冷凝器進出口溫度差達到38°C。蒸發器入口溫度為16°C，蒸發器出口溫度為48°C，蒸發器進出口溫度差達到32°C。壓縮機平均耗能為48W，約為壓縮機全速運轉耗能之96%，壓縮機的COP為3.13。此時冷凝器和空氣間的熱阻為0.096°C/W，平均每面燈殼可散熱超過20W。系統加入壓縮機耗電量計算後，LED燈泡

發光效率為77 lm/W。系統在高溫環境下(40°C)比常溫環境(25°C)發光效率減少9.6%，而壓縮機耗電量增加85%。

在此環境條件下，若無利用主動式散熱技術來解決LED散熱問題，則LED晶蕊溫度將到達將近90°C，這會導致LED產生嚴重的光衰問題和影響LED使用壽命。

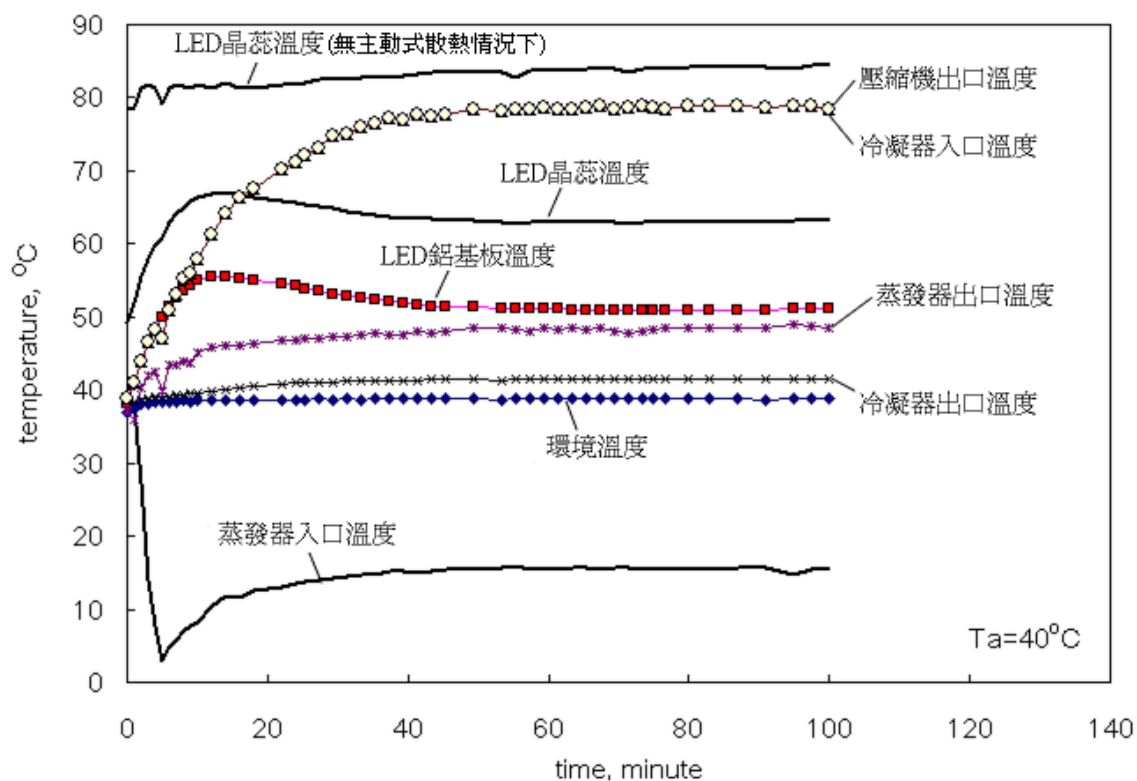


圖4.5.1-3 系統性能測試(環境溫度40°C)

探討當環境溫度改變時對系統的影響，由圖4.5.1-4實驗數據顯示，當環境在無風的狀態下，環境溫度自20℃上升至30℃，控制器可以將LED鋁基板溫度控制在50.3℃，顯示控制器可有效抵抗外界環境溫度干擾。系統達到熱平衡狀態時，冷凝器入口溫度為47.3℃，冷凝器出口溫度為28.8℃，冷凝器進出口溫度差達到18.5℃。蒸發器入口溫度為8.8℃，蒸發器出口溫度為32.2℃，蒸發器進出口溫度差達到23.4℃。壓縮機平均耗能為28W，約為壓縮機全速運轉耗能之56%，壓縮機的COP為5.36。系統加入壓縮機耗電量計算後，LED燈泡發光效率為84 lm/W。系統在環境溫度改變的情況下(20~30℃)比常溫環境(25℃)發光效率減少1.4%，而壓縮機耗電量增加7.7%。

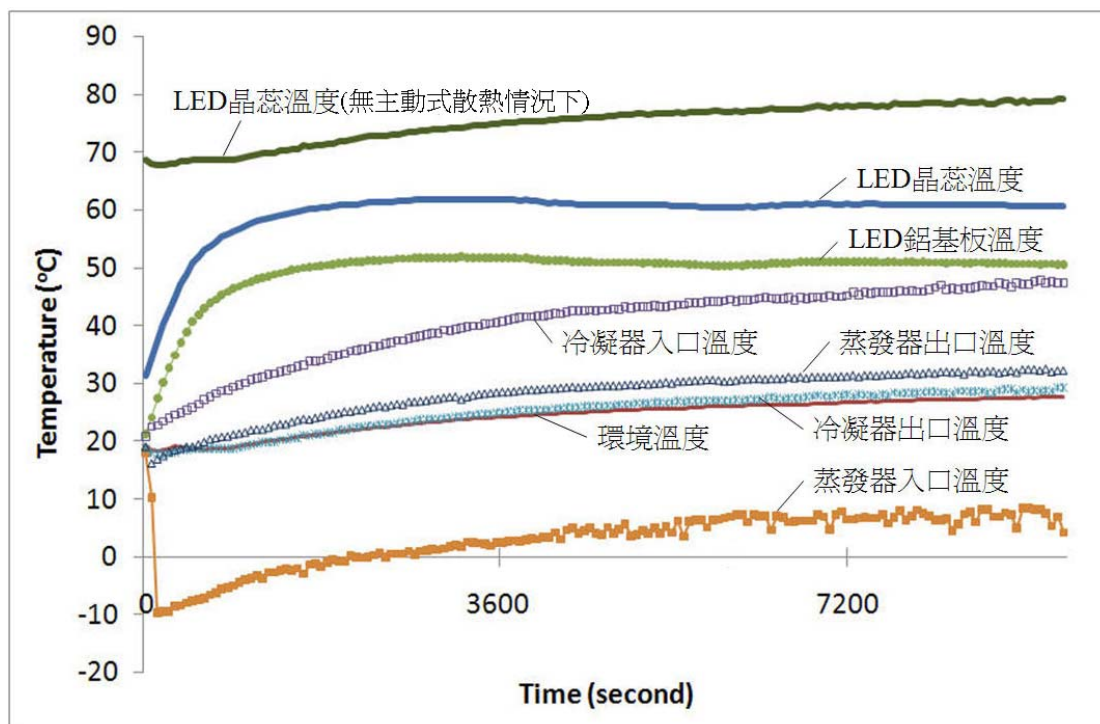


圖4.5.1-4 系統性能測試(環境溫度20℃升至30℃)

## 4.5.2 環境風速對系統之影響

爲了瞭解吊燈系統懸掛於天花板時，所受到不同風力影響的情形。設定風速分別爲無風情況、風速1m/s、風速2m/s及風速3m/s的情況下，並將環境溫度維持在 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。控制器可以將LED鋁基板溫度控制在 $50^{\circ}\text{C}$ ，使外界風力干擾系統的情況減至最低。在環境風速分別爲無風情況、風速1m/s、風速2m/s及風速3m/s的情況下，壓縮機平均耗能依序爲24W、21W、19W及16W，而測試期間內壓縮機之總平均耗能爲18W，約爲壓縮機全速運轉耗能之36%，壓縮機的COP爲8.33。由圖4.5.2-1顯示，控制器可以有效的控制LED鋁基板溫度並降低環境風力干擾，配合壓縮機變頻技術來改變壓縮機轉速，使壓縮機耗電量大幅降低，大幅提升了壓縮機的COP值，來達到省電的目的。

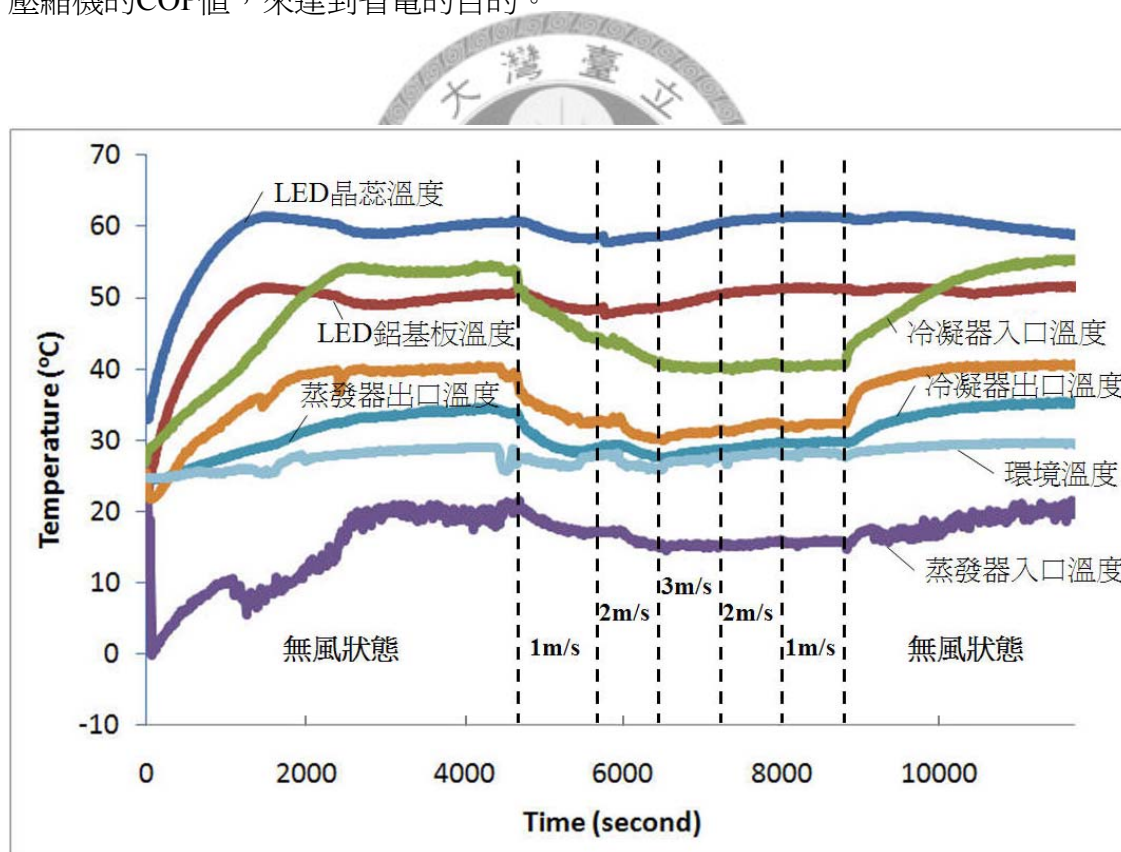


圖4.5.2-1 不同環境風力情況下系統性能測試(環境溫度 $25^{\circ}\text{C}$ )



當系統受到高溫50℃陣風、風速為1.5m/s的影響情況下，觀察系統中各點溫度變化。由圖4.5.2-2顯示，控制器可以將LED鋁基板溫度控制在50℃，使系統受到外界風力干擾的影響減至最低，而且壓縮機平均耗能只有27W，約為壓縮機全速運轉耗能之54%，壓縮機的COP為5.56，LED燈泡發光效率為84.7 lm/W。由實驗數據顯示，控制器可以有效的控制LED鋁基板溫度並降低高溫陣風干擾，利用壓縮機變頻技術來改變壓縮機轉速，使壓縮機耗電量大幅降低，達到省電的目的。

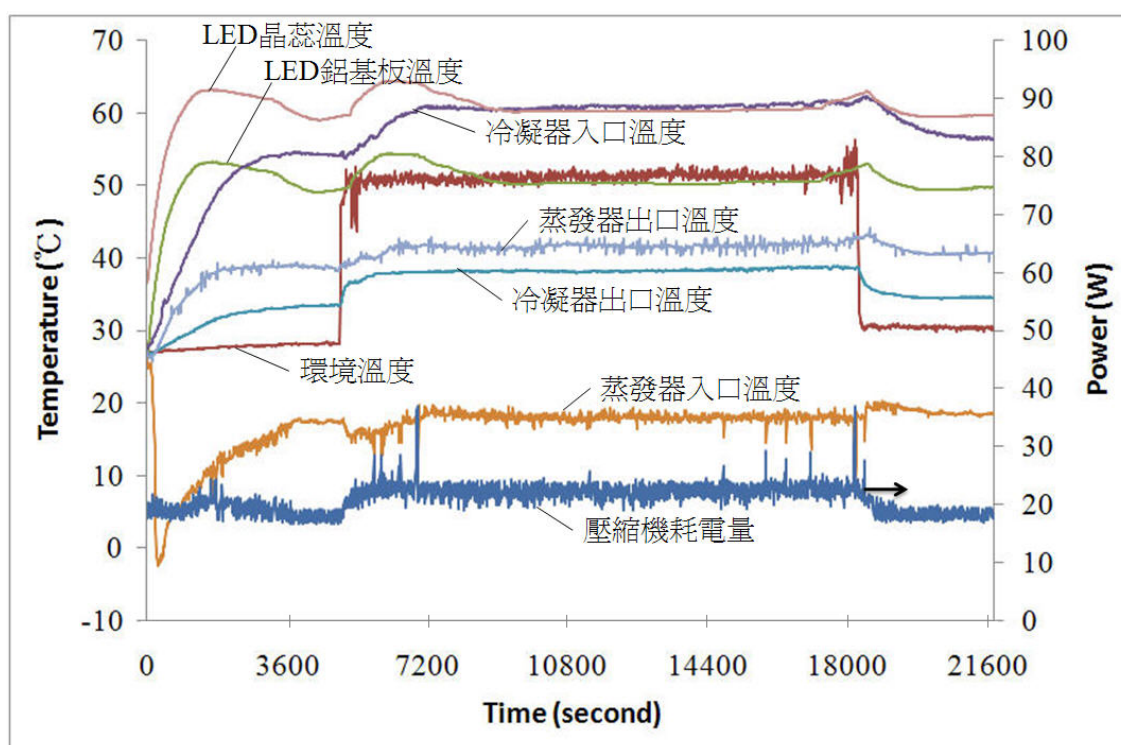


圖4.5.2-2 高溫陣風情況下系統性能測試(風速1.5m/s)



綜合以上實驗結果，列出不同環境條件下，冷凝器與空氣間熱阻值及壓縮機COP，如表4.5.2-1所示。

表4.5.2-1 不同環境條件下之冷凝器與空氣間熱阻和壓縮機COP值

	冷凝器與空氣間熱阻 $R_{ca}$	壓縮機COP值
環境溫度25℃	0.07	5.77
環境溫度40℃	0.096	3.13
環境溫度20℃上升至30℃	0.069	5.36
環境風速1m/s (25℃)	0.072	7.14
環境風速2m/s (25℃)	0.074	7.89
環境風速3m/s (25℃)	0.073	9.38
高溫陣風(風速1.5m/s)	0.068	5.56
平均值	0.075	6.32



# 第五章 討論與結論

## 5.1 討論

本研究旨在開發 LED 主動式散熱技術，設計一室內吊燈燈具，可提供高功率 LED 在特殊高溫環境下(高頂建築、礦坑、工廠等)散熱所需。本研究利用 DC 12V(50W)變頻壓縮機作為主動製冷元件，配合室內吊燈燈具設計，將冷凝器、膨脹閥及蒸發器等元件，和燈具硬體系統做結合，目的是將 150W LED 照明時所產生的熱量散發至環境中。由於系統為主動式散熱設計，因此我們利用壓縮機變頻控制技術改變壓縮機的轉速，達到省電之目的。

本研究所製作的主動式散熱燈具，可相當穩定的達到溫控LED鋁基板溫度的目標，而且整體系統耗電量小，散熱能力卻可高達200W。儘管如此，但仍有許多可以再加以改良之處，使整體性能更加完善，分述如下：

1. 由於燈具內有壓縮機等製冷元件，壓縮機在運轉過程中可能會產生些許噪音與震動問題，日後設計控制器時，必須考慮系統的共振頻率，才不至於產生共振現象。
2. 在低於40℃的環境下，壓縮機的效率極佳(COP>3)，且冷凝器和空氣間的熱阻極小(<0.1℃/W)。但在高溫的環境下(>45℃)，壓縮機的製冷能力會隨溫度升高而下降，即使壓縮機在全速運轉的狀態下，只能維持LED鋁基板溫度60℃。因此，若在大於45℃的環境下使用壓縮機製冷，則必須考慮使用更大功率的壓縮機或降低LED負載來達到需求。
3. 目前燈具總重17kg，且體積較大，搬運及安裝不易，未來可以朝縮小燈具體積的方向來研究對整體耗電量的影響。

## 5.2 結論

本研究主要探討主動式散熱技術的設計分析與實際應用，主要研究成果有：

1. 設計一高功率LED室內吊燈燈具，將冷凝器、膨脹閥及蒸發器等元件，和燈具硬體系統做結合，燈具在外觀上不會看到銅管或內部元件外露的情況發生。
2. 壓縮機變頻控制器可以將LED鋁基板溫度控制在 $50^{\circ}\text{C}$ ，並達到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 誤差範圍內之溫控目標。除了可有效抑制環境溫度和風力的干擾之外，還可以降低壓縮機耗能，達到省電的目的。當系統在環境溫度為 $25^{\circ}\text{C}$ 且無風的狀態下，壓縮機平均耗能為 $26\text{W}$ ，其COP值為 $5.77$ ，此時LED發光效率為 $85.2\text{lm/W}$ ；當系統在高溫環境下( $40^{\circ}\text{C}$ )，壓縮機平均耗能為 $48\text{W}$ ，壓縮機的COP為 $3.13$ ，此時LED燈泡發光效率為 $77\text{lm/W}$ 。
3. 主動式散熱技術不僅可以有效解決高溫環境下的LED散熱問題，而且熱阻比被動散熱方式低，耗電量小。利用主動式散熱技術使LED在高溫環境下整體發光效率較被動式散熱高出許多，大幅降低LED在晶蕊溫度過高時光衰現象的產生。

## 5.3 未來展望

由於高功率LED發光效率提高和價格下降，未來高功率LED將被廣泛的應用在每個角落，隨著LED製作技術的提高，LED的應用範圍也隨之擴大。根據本研究實驗的結果，提供下列發展方向，以提高主動式散熱技術之應用性：

1. 隨著LED製作技術進步，LED以更集中的排列方式，整體發光效率提升，LED發熱量也隨技術改良而減小，價格也會降低。可使用更小的燈具匹配，減少系統材料成本，及降低整體重量。
2. 目前燈具外殼表面為黑色烤漆，未來可以製作不同外殼顏色之燈具，探討燈具外殼色彩對於整體系統散熱能力的影響。
3. 將吊燈系統加入光學設計，使高功率LED照明的光型、佈光角等，可以符合照明市場的需求。
4. 未來將進行系統最佳化設計，整理出LED燈具尺寸對散熱能力與外界環境干擾程度的關係，日後可依照不同的LED耗電瓦數來設計不同尺寸的燈具。
5. 當鋁基板溫度和壓縮機耗能改變時，對整體燈具使用壽命和經濟效益進行評估，和傳統水銀燈管作比較。

# 參考文獻

- [1] B.J.Huang, "Development of a low-cost LHP for commercial application", 13<sup>th</sup> International Heat Pipe Conference, Shanghai, China. Sept.21-25, (2004)
- [2] 顏仕銘, "獨立型移動式太陽能冰箱系統設計與控制研究", 國立台灣大學機械工程學系研究所碩士論文, (2006)
- [3] 周嘉貴, "半導體照明控制技術研究", 國立台灣大學機械工程學系研究所碩士論文, (2004)
- [4] 吳民聖, "獨立型太陽能路燈之高性能充放電控制技術研究", 國立台灣大學機械工程學系研究所碩士論文, (2005)
- [5] Kuo B.C., "Automatic Control System", Prentice Hall, (1987)
- [6] Incropera, DeWitt, Bergmann, and Lavine, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 6<sup>th</sup>, Wiley, (2007)
- [7] 張智星, "MATLAB 程式設計", 清蔚科技與鈦思科技, (2004)
- [8] 洪維恩, "Matlab 7 程式設計", 旗標出版股份有限公司, (2006)
- [9] William Kleitz, "Digital Electronics with VHDL", Prentice Hall, (2006)
- [10] 黃秉鈞, "系統識別(課程講義)", 國立台灣大學機械工程學系研究所, (2008)
- [11] Franklin, G.F., J.D. Powell, A.E. Naeini, "Feedback-control of Dynamic System", Addison Wesley, (1994)
- [12] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, "Modern Control System", Prentice Hall, (2000)
- [13] Bin-Juine Huang, Huan-Hsiang Huang, Chun-Wei Chen, Min-Sheng Wu, "Development of high-power LED lighting luminaries using loop heat pipe". *J. Light & Vis. Env.*, Vol.32, No.2, 148-155, 2008.

- [14] 呂宗蔚, “高亮度 LED 散熱系統之熱傳及效益研究”, 國立成功大學工程科學系碩士論文, (2007)
- [15] 湯孟翰, “矽基板應用於發光二極體封裝之熱分析”, 國立台灣大學電機資訊學院光電工程學系研究所碩士論文, (2008)
- [16] 鐘正發, “高功率發光二極體熱傳途徑分析研究”, 國立中山大學機械與機電工程學系碩士在職專班碩士論文, (2007)
- [17] 李明坤, ”LED 蒸氣腔體散熱模組”, 國立台灣大學機械工程學系研究所碩士論文, (2006)
- [18] 翁慶典, “智慧型 LED 電源驅動控制研究”, 國立台灣大學機械工程學系研究所碩士論文, (2007)



# 附錄

## PIC16F877A 控制器程式

```
#include<16F877A.h>
#define ADC=10 //定義 ADC 為 10 bits
#define delay(clock=4000000) //石英震盪器 4MHZ

#define EN1 PIN_B5 //DVR EN1
#define CLK1 PIN_B4 //DVR CLK1
#define DIN1 PIN_B3 //DVR DIN1

#define VL PIN_C0 //定義 LCD 腳位
#define RS PIN_C3 //定義 LCD 腳位
#define RW PIN_C5 //定義 LCD 腳位
#define E PIN_C4 //定義 LCD 腳位

#define T 0.3 //採樣時間
#define KP 150 //設定比例控制參數
#define KI 0.4 //設定積分時間

int X1,Y1,Z1,C,Temp1,Temp2,Temp3,i;
float TEMP,TOTAL,MAX,MIN,a;
char DVR_VALUE[2],oBit[17],duty;
int16 R,R_digital,e0,e1,duty_pre;
float A_new,A_sum=0;

//-----PI 控制副程式-----//

void PI_CONTROL() {

    e1=e0;

    if(Temp<=500)
    {
        e0=500-e0;
```



```

A_new=(e0+e1)*T/2;
A_sum=A_sum+A_new;
duty_pre=((KI*A_sum)/KP)+(KI*e0);
if(duty_pre>=760) {
    duty_pre=760;                                     //設定輸出上限
    if(A_sum>=A_new) A_sum=A_sum-A_new;
    else A_sum=A_new-A_sum;
}
else ;
}
else {
    e0=e0-500;
    A_new=(e0+e1)*T/2;
    if(A_sum>=A_new) {
        A_sum=A_sum-A_new;
        if((A_sum/KI)>=e0) duty_pre=((KP*A_sum)/KI)-KI*e0;
        else {
            duty_pre=920;                               //設定輸出上限
            A_sum=A_sum+A_new;
        }
    }
    else duty_pre=920;
}
duty=duty_pre/4;
}
//-----PI 控制副程式結束-----//

//-----設定 LCD 顯示程式-----//

```

```

Void SET_LCD(char set,delay){
    output_d(set);
    output_low(RS);
    output_low(RW);
    output_high(E);
    delay_ms(delay);
    output_low(E);
}
Void WRITE_LCD(char write){

```



```

output_d(write);
output_high(RS);
output_low(RW);
output_high(E);
delay_ms(1);
output_low(E);
}

```

```

Void LCD_INITIALIZED(Void){
    output_low(VL);
    SET_LCD(0x38,20);
    delay_ms(5);
    SET_LCD(0x38,5);
    SET_LCD(0x38,1);
    SET_LCD(0x0f,1);
    SET_LCD(0x01,1);
    SET_LCD(0x06,1);
    SET_LCD(0x82,1);
    //SET_LCD(0xC2,1);
    WRITE_LCD(Temp1);
    WRITE_LCD(Temp2);
    WRITE_LCD(".");
    WRITE_LCD(Temp3);
    WRITE_LCD(0xDF);
    WRITE_LCD('C');

}

```



//-----設定 LCD 顯示程式結束-----//

//-----數位電阻設定程式-----//

```

void OutBit1(boolean oBitIn)
{
    output_low(CLK1);
    delay_us(50);
    if(oBitIn)
        output_high(DIN1);
    else

```

```

        output_low(DIN1);
    delay_us(50);
    output_high(CLK1);
    delay_us(50);
    output_low(CLK1);
    delay_us(50);
}

```

```

void SET_DVR1()                                     //把電阻值數位化傳至數位電阻
{

```

```

    output_high(EN1);
    delay_us(50);
    for(i =0; i<17; i++)
    {
        OutBit1(oBit[i]);
    }
    output_low(EN1);
    delay_us(50);
}

```



```

void SET_DVR_VALUE1()                               //總共 17 個 bit

```

```

{  oBit[0] = 1;

    oBit[1] = (DVR_VALUE[0]>>7)&0x01;
    oBit[2] = (DVR_VALUE[0]>>6)&0x01;
    oBit[3] = (DVR_VALUE[0]>>5)&0x01;
    oBit[4] = (DVR_VALUE[0]>>4)&0x01;
    oBit[5] = (DVR_VALUE[0]>>3)&0x01;
    oBit[6] = (DVR_VALUE[0]>>2)&0x01;
    oBit[7] = (DVR_VALUE[0]>>1)&0x01;
    oBit[8] = DVR_VALUE[0]&0x01;

    oBit[9] = (DVR_VALUE[1]>>7)&0x01;
    oBit[10] = (DVR_VALUE[1]>>6)&0x01;
    oBit[11] = (DVR_VALUE[1]>>5)&0x01;

```

```

oBit[12] = (DVR_VALUE[1]>>4)&0x01;
oBit[13] = (DVR_VALUE[1]>>3)&0x01;
oBit[14] = (DVR_VALUE[1]>>2)&0x01;
oBit[15] = (DVR_VALUE[1]>>1)&0x01;
oBit[16] = DVR_VALUE[1]&0x01;

SET_DVR1();                                     //總共 17 個 bits
}

void six_resister_plus()                         //6個電阻值相加
{
    R_digital=R;

    if(R_digital>=510)                           //電阻值上限
        R_digital=510;

    if(R_digital>=510)
    {
        DVR_VALUE[0]=255;
        DVR_VALUE[1]=255;
    }

    if(R_digital>=255 && R_digital<510)
    {
        DVR_VALUE[0]=255;
        DVR_VALUE[1]=R_digital-255;
    }

    if(R_digital<255)
    {
        DVR_VALUE[0]=R_digital;
        DVR_VALUE[1]=1;
    }
}

```



```

    }

    if(R_digital<=20)
    {
        DVR_VALUE[0]=1;
        DVR_VALUE[1]=1;
    }

}

//-----數位電阻設定程式結束-----//

//-----主程式-----//
Void main()
{
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,249,1);
    setup_ccp2(CCP_PWM);
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    delay_ms(100);
    set_pwm2_duty(0);
    delay_ms(100);

while(1){

    set_adc_channel(0);

    TOTAL=0;
    MAX=0;
    MIN=1024;
    for(i=1;i<=100;++i)
    {
        TEMP=read_adc();
        delay_us(10);
        TOTAL=TOTAL+TEMP;
    }
}

```

//開啓 PWM 功能

//開啓 ADC channel(0)

//溫度量 100 次

```

    if(MAX<TEMP)
    {
        MAX=TEMP;
    }
    if(MIN>TEMP)
    {
        MIN=TEMP;
    }
}
TOTAL=TOTAL-MAX-MIN;                                     //去掉最大最小
TEMP=TOTAL/98;                                           //去掉最大最小剩 98 組取平均

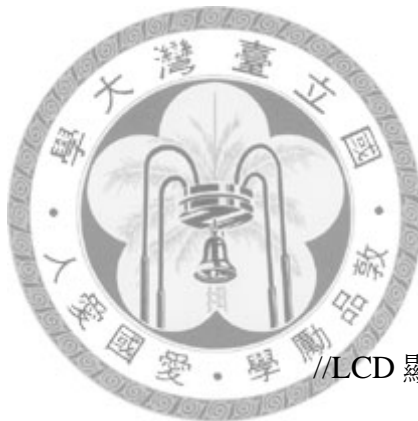
a=((TEMP*500)/(5*1023));
X1=a/10;
C=a;
Y1=C%10;
C=a*10;
Z1=C%10;
Temp1=0x30+X1;
Temp2=0x30+Y1;
Temp3=0x30+Z1;
delay_ms(100);
LCD_INITIALIZED();                                       //LCD 顯示目前 LED 鋁基板溫度
delay_ms(100);
PI_CONTROL();                                           //進入 PI 控制程序
R=250-duty;
delay_ms(100);
six_resister_plus();
SET_DVR_VALUE1();                                       //數位電阻電壓值輸出
delay_ms(100);

}

}

//-----主程式結束-----//

```



# 作者簡歷

姓名：羅逸軒

生日：民國74年9月10日

籍貫：台灣省桃園縣

住址：桃園縣桃園市忠義里大業路一段19巷32弄2號

電子郵件：r96522828@ntu.edu.tw

學歷：國立台灣大學機械工程研究所

私立長庚大學機械工程學系

國立內壢高級中學

桃園縣立青溪國民中學

桃園縣立青溪國民小學

