



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：機房溫度監測與過熱警報系統設計 (Server Room Temperature Monitoring and Overheating Alarm System Design)



作者：李修維

系級：自控二乙

學號：D1479007

開課老師：黃清輝

課程名稱：感測與量度工程

開課系所：自動控制工程學系

開課學年：114 學年度 第 2 學期



中文摘要

本專題以「機房溫度監測與過熱警報系統」為主題，針對機房內伺服器、網路設備、電源供應器與通訊設備長時間運轉所產生的熱量進行監測與警示設計。機房若發生空調異常、通風不良或設備散熱不足，環境溫度可能逐漸升高，進而造成設備效能下降、保護性關機，甚至導致硬體損壞或資料遺失。因此，本專題設計一套具備溫度量測、訊號轉換、訊號放大、門檻判斷與警報輸出的系統，以達到即時監測與異常提醒的目的。

本系統以教材中的 CB100D 電阻式溫度感測器作為主要設計基準，並可參考 RTD / Pt100 類似架構進行實作。CB100D 利用電阻值隨溫度上升而增加的特性，透過有源電橋轉換電路將電阻變化轉換為電壓訊號。要注意的是，若實際改用標準 Pt100 感測器，因其溫度係數與教材 CB100D 不完全相同，需依資料表重新修正電阻對照表、校正電阻與輸出比例。由於轉換後的電壓訊號較小，因此再使用 OP Amp 放大電路將訊號放大至可判讀範圍。本專題設計 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 對應 $0\text{V}\sim 2.0\text{V}$ ，使輸出電壓與溫度具有近似線性關係，方便後續比較器進行門檻判斷。系統設定 35°C 為預警門檻， 40°C 為過熱警報門檻。當溫度低於 35°C 時，系統顯示正常狀態；當溫度達到 35°C 以上時，黃色 LED 亮起提醒使用者注意；當溫度達到 40°C 以上時，紅色 LED 與蜂鳴器啟動，以提醒管理人員立即檢查冷氣、通風與設備負載狀況。本專題亦針對雜訊干擾、誤差來源、調校流程、測試方法、採購成本與未來擴充進行完整規劃，使本系統不僅具備基本溫度量測功能，也具有實際應用與後續升級的可行性。



關鍵字：機房溫度監測、RTD、CB100D、Pt100、有源電橋、OP Amp、比較器、過熱警報

Abstract

This project focuses on the design of a server room temperature monitoring and overheat alarm system for monitoring and warning against heat generated by servers, network equipment, power supplies, and communication devices during long-term operation. If the air-conditioning system fails, ventilation is inadequate, or heat dissipation is insufficient, the ambient temperature may gradually rise, causing performance degradation, protective shutdowns, hardware damage, or even data loss. Therefore, this project develops a system integrating temperature measurement, signal conversion, signal amplification, threshold detection, and alarm output to achieve real-time monitoring and abnormal-condition notification.

The system uses the CB100D resistive temperature sensor described in the course material as the main design reference, while similar RTD or Pt100 structures may also be adopted in practice. The CB100D operates based on the increase in resistance with rising temperature. An active bridge circuit converts the resistance variation into a voltage signal. It should be noted that if a standard Pt100 sensor is used instead, its temperature coefficient differs from that of the CB100D; therefore, the resistance table, calibration resistors, and output scaling must be recalculated according to the actual datasheet. Since the converted voltage signal is relatively small, an operational amplifier is used to amplify it to a readable range. In this design, a temperature range of 0°C to 100°C corresponds approximately to an output voltage range of 0V to 2.0V, providing an approximately linear temperature-to-voltage relationship for subsequent comparator-based threshold detection.

The system sets 35°C as the warning threshold and 40°C as the overheat alarm threshold. When the temperature is below 35°C, the system indicates a normal condition. When the temperature reaches 35°C or above, the yellow LED turns on to warn the user. When the temperature reaches 40°C or above, the red LED and buzzer are activated, prompting maintenance personnel to immediately inspect the air-conditioning system, ventilation, and equipment load. This project also includes a comprehensive analysis of noise interference, error sources, calibration procedures, testing methods, procurement costs, and future expansion. As a result, the proposed system not only provides basic temperature monitoring but also demonstrates practical applicability and potential for further development.

Keyword : Server Room Temperature Monitoring, RTD, CB100D, Pt100, Active Bridge Circuit, Operational Amplifier (OP Amp), Comparator, Overheat Alarm

目 次

目錄

第一章 緒論

- 1-1 研究背景
- 1-2 研究動機
- 1-3 問題定義
- 1-4 專題目的
- 1-5 專題範圍與限制

第二章 系統需求與設計規劃

- 2-1 系統功能需求
- 2-2 系統架構
- 2-3 設計指標
- 2-4 系統工作流程

第三章 溫度感測器與轉換電路設計

- 3-1 溫度感測器比較
- 3-2 RTD / CB100D 感測原理
- 3-3 轉換電路選擇
- 3-4 有源電橋設計

第四章 放大、比較與警報電路設計

- 4-1 電源與參考電壓設計
- 4-2 OP Amp 選用
- 4-3 放大器設計
- 4-4 比較器門檻設計
- 4-5 指示與警報電路設計

第五章 雜訊抑制與誤差分析

- 5-1 機房環境干擾來源
- 5-2 雜訊消除與預防機制
- 5-3 誤差來源分析
- 5-4 系統穩定性改善方式

第六章 系統調校與測試規劃

- 6-1 調校目的
- 6-2 零點與滿刻度校正
- 6-3 警報門檻調整

6-4 測試項目與預期結果

6-5 驗收標準

第七章 採購建議、成本估算與維護

7-1 主要元件採購建議

7-2 成本估算

7-3 安裝建議

7-4 維護方式

第八章 結論與未來展望

8-1 結論

8-2 未來展望

參考資料

附錄

圖目錄

圖 1 機房溫度監測與過熱警報系統架構圖

圖 2 溫度感測器比較與選型圖

圖 3 溫度對輸出電壓曲線圖

圖 4 警報狀態判斷流程圖

圖 5 溫度量測轉換與警報電路示意圖

圖 6 雜訊消除與預防機制圖

圖 7 誤差來源魚骨圖

圖 8 調校流程圖與對照表

圖 9 主要元件採購建議圖

圖 10 系統安裝位置示意圖

圖 11 未來擴充架構圖

表目錄

表 1 機房溫度警報系統需求規格表

表 2 CB100D 溫度、電阻與輸出電壓對照表

表 3 警報門檻設定表

表 4 雜訊來源與改善方式表

表 5 誤差來源分析表

表 6 測試項目與預期結果表

表 7 主要元件採購與成本估算表

表 8 系統維護檢查表

表 9 未來擴充功能比較表



第一章 緒論

1-1 研究背景

機房是資訊系統、網路服務與資料儲存設備集中運作的重要場所，內部通常包含伺服器、交換器、路由器、網路儲存設備、不斷電系統、監控主機與電源供應設備等。這些設備在長時間運作時會持續產生熱量，若機房空調系統異常、冷熱氣流循環不良，或設備散熱通道被阻擋，都可能導致環境溫度逐漸升高。

對電子設備而言，溫度是影響可靠度與壽命的重要因素之一。當環境溫度過高時，電子元件的熱應力增加，可能造成系統效能降低、設備自動降頻、保護性關機，嚴重時甚至會導致硬體損壞或資料遺失。因此，在機房中建立溫度監測與過熱警報機制，是維持設備穩定運作的重要工作。

一般機房雖然通常會配置空調系統，但空調本身不一定具備獨立警報功能，或警報資訊未必能直接提醒現場管理人員。此外，若只依靠人工巡檢，容易受到時間間隔限制，當異常發生在巡檢空窗期時，就可能無法及時處理。因此，設計一套能夠持續監測機房溫度，並在溫度過高時發出明確警示的系統，具有實際應用價值。

1-2 研究動機

本專題的研究動機來自於機房環境安全與電子電路應用兩方面。從應用面來看，機房設備一旦因過熱而發生故障，可能造成網路中斷、資料存取異常或監控系統停止運作，因此需要一套簡單、可靠且可即時提醒的溫度警報系統。

從學習面來看，本專題整合了溫度感測器、電阻轉電壓轉換電路、OP Amp 放大器、比較器、LED 指示、蜂鳴器警報、濾波與校正等電路設計內容。透過本專題，可以將課堂中學到的電子元件特性與量測系統概念，應用於一個具有實際用途的環控監測系統中。

因此，本專題不只是單純量測溫度，而是希望完成一套從感測、訊號處理到警報輸出的完整系統，並進一步分析實際應用中可能遇到的雜訊、誤差與校正問題。

1-3 問題定義

本專題主要欲解決以下問題：

第一，機房環境溫度需要能夠連續監測，而不是只依靠人工巡檢。人工巡檢具有時間間隔，若溫度異常發生在巡檢之外，可能無法即時發現。

第二，RTD 或 CB100D 類感測器輸出的主要變化為電阻值，而後級警報與顯示電路通常需要電壓訊號，因此需要設計電阻對電壓的轉換電路。

第三，感測器轉換後的電壓變化可能較小，若未經適當放大，容易受到雜訊干擾或 OP Amp 偏移影響，使判斷不穩定。

第四，當溫度接近警報門檻時，若沒有適當濾波與遲滯設計，LED 或蜂鳴器可能會反覆開關，造成誤動作。

第五，機房內存在電源供應器、風扇馬達、長距離訊號線與繼電器切換等干擾來源，因此系統必須具備基本抗干擾與保護機制。

1-4 專題目的

本專題的主要目的如下：

1. 設計一套適用於機房環境的溫度監測與過熱警報系統。
2. 選用合適的溫度感測器，並說明其工作原理與選用理由。
3. 設計電阻對電壓轉換電路，將感測器電阻變化轉換為電壓訊號。
4. 設計 OP Amp 放大器，使輸出電壓能對應溫度變化。
5. 設定預警與警報門檻，並透過比較器控制 LED 與蜂鳴器。
6. 分析系統可能受到的雜訊干擾與誤差來源。
7. 規劃校正流程、測試項目與驗收標準。
8. 評估主要元件採購與成本，並提出未來擴充方向。

1-5 專題範圍與限制

本專題以 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 為量測範圍，其中 $20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 為主要監測範圍，符合一般機房環境應用需求。系統以類比電路為主要設計架構，包含 RTD 感測器、有源電橋、OP Amp 放大器、比較器、LED 指示與蜂鳴器警報。

本專題目目前以單點溫度監測為主，尚未包含多點感測、無線傳輸、雲端監控或資料紀錄功能。

第二章 系統需求與設計規劃

2-1 系統功能需求

本系統應具備以下功能：

1. 能偵測機房環境溫度。
2. 能將感測器電阻變化轉換為電壓變化。
3. 能將微小電壓訊號放大到可判讀範圍。
4. 能依溫度狀態進行正常、預警與警報判斷。
5. 能以 LED 顯示目前狀態。
6. 能在過熱時啟動蜂鳴器。
7. 能透過調校方式修正零點與滿刻度誤差。
8. 能加入濾波、去耦與接地管理，以減少雜訊干擾。

表1 機房溫度警報系統需求規格表

項目	設計規格	說明
1. 專題名稱	機房溫度監測與過熱警報系統	用於機房環境溫度監控
2. 量測範圍	0°C ~ 100°C	依教材範例與感測器特性設定
3. 主要監測範圍	20°C ~ 50°C	符合一般機房環境需求
4. 正常溫度	低於 35°C	顯示綠色 LED
5. 預警溫度	35°C 以上	顯示黃色 LED
6. 警報溫度	40°C 以上	顯示紅色 LED 並啟動蜂鳴器
7. 感測器	RTD / CB100D / Pt100	利用電阻隨溫度變化的特性
8. 轉換電路	有源電橋轉換電路	將電阻變化轉換成電壓變化
9. 放大電路	OP Amp 反相放大器	將微小訊號放大到可判讀範圍
10. 指示方式	LED、蜂鳴器、可選 LCD	顯示目前溫度狀態
11. 電源	DC 輸入，DC-DC 轉換 $\pm 5V$	供應 OP Amp 與比較器使用
12. 參考電壓	2.5V	作為電橋與比較器基準

2-2 系統架構

本系統的基本架構可分為六個部分：溫度感測器、轉換電路、放大電路、比較器電路、指示與警報電路，以及電源與參考電壓電路。

溫度感測器負責偵測機房環境溫度；轉換電路將感測器的電阻變化轉換為電壓變化；放大器將微小訊號放大；比較器依據設定門檻判斷是否進入預警或警報狀態；指示與警報電路負責 LED 與蜂鳴器輸出；電源與參考電壓電路則提供整體系統穩定運作所需的電壓基準。

系統基本訊號流程如下：

機房環境溫度 → RTD / CB100D 感測器 → 有源電橋轉換電路 → OP Amp 放大器 → 比較器門檻判斷 → LED / 蜂鳴器警報

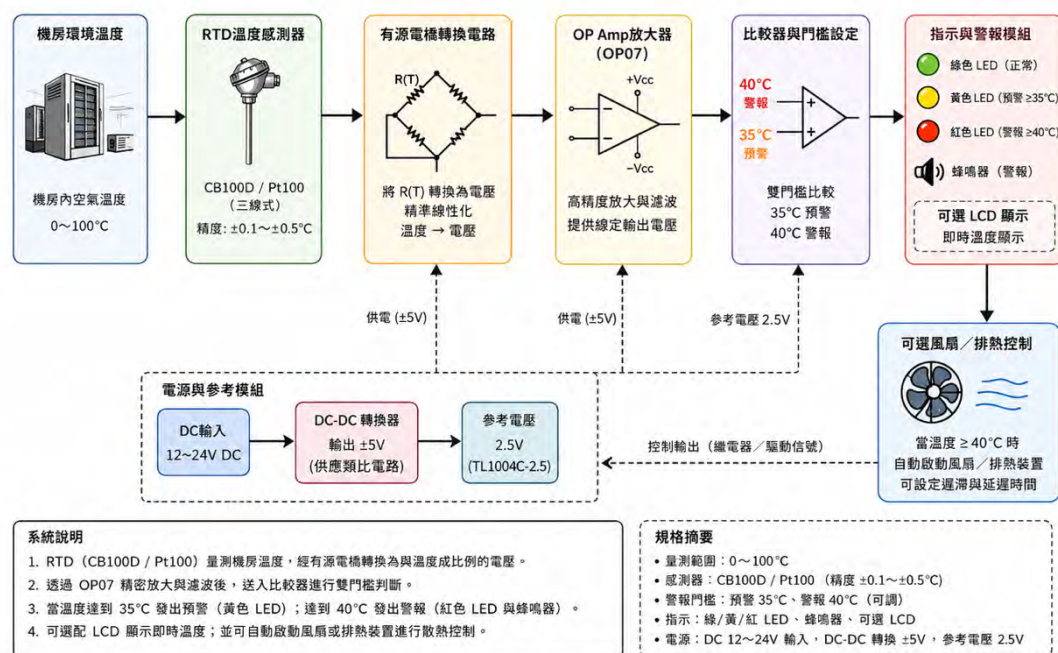


圖1 機房溫度監測與過熱警報系統架構圖

2-3 設計指標

設計項目	目標值	設計理由
量測範圍	0°C~100°C	對應教材範例與 RTD 校正範圍
主要應用範圍	20°C~50°C	符合一般機房環境監測需求
電壓輸出範圍	0V~2.0V	方便後級比較器判斷
溫度對電壓比例	20mV / °C	讓溫度與電壓關係容易換算
預警門檻	35°C	提醒管理人員注意

設計項目	目標值	設計理由
警報門檻	40°C	表示需立即處理
電源架構	DC-DC $\pm 5V$	供 OP Amp 與比較器使用
顯示方式	LED、蜂鳴器、可選 LCD	兼顧簡單與可擴充性
校正方式	兩點校正	使用 100 Ω 與 142.4 Ω 標準電阻校正
抗干擾設計	濾波、去耦、屏蔽、接地	提升量測穩定度

2-4 系統工作流程

系統啟動後，電源模組會提供 OP Amp 與比較器所需的工作電壓，同時參考電壓電路提供穩定的電壓基準。RTD 感測器隨著機房溫度改變產生電阻變化，轉換電路將此電阻變化轉換成電壓變化，再由 OP Amp 放大成 0V~2.0V 的訊號。

當輸出電壓低於 0.70V 時，表示溫度低於 35°C，系統判定為正常狀態；當輸出電壓介於 0.70V~0.80V 時，表示溫度已達預警範圍；當輸出電壓高於 0.80V 時，表示溫度達到警報範圍，系統啟動紅色 LED 與蜂鳴器。

第三章 溫度感測器與轉換電路設計

3-1 溫度感測器比較

常見的溫度感測器包含 NTC 熱敏電阻、RTD、熱電偶與 IC 溫度感測器。不同感測器各有適用場合，選用時需考慮量測範圍、線性度、穩定度、成本、反應速度與電路複雜度。

NTC 熱敏電阻價格低、靈敏度高，但線性較差，若要取得較精準溫度，需要補償或查表。熱電偶可量測高溫，但輸出電壓非常小，且需要冷端補償，對機房環境而言較不必要。IC 溫度感測器使用方便，適合微控制器系統，但若本專題重點在於類比量測電路設計，則較無法呈現電阻轉電壓與 OP Amp 放大設計的完整過程。

因此，本專題以教材中的 CB100D 電阻式溫度感測器作為主要設計基準，並可參考 RTD / Pt100 類似架構進行實作。CB100D 的線性較佳、穩定度高，且適合長時間環境監測。若實際採用標準 Pt100，需依其資料表重新修正電阻值、校正電阻與溫度對照表，避免直接套用 CB100D 的 $142.4\Omega / 100^{\circ}\text{C}$ 設定。

圖2 溫度感測器比較與選型

項目	NTC熱敏電阻	RTD (Pt100 / CB100D)	熱電偶	IC溫度感測器 (如TSC7660)
工作原理	電阻值隨溫度升高而降低，利用電阻變化推算溫度。	金屬電阻值隨溫度升高而近似線性增加，利用電阻變化推算溫度。 (Pt100 : 0°C 時 100Ω)	兩種不同金屬接點產生熱電勢，電壓與溫度成對應關係。	晶片內建感測元件與訊號處理，直接輸出溫度 (電壓或數位)。
優點	成本低、體積小、靈敏度高。	✓ 線性佳 ✓ 穩定度高、重複性佳 ✓ 精度高、長期漂移小 ✓ 易於校正與標準化	測溫範圍寬、反應快、耐高溫、結構簡單、不需外加電源。	整合度高、輸出線性、數位介面、校正完成、電路設計簡單。
缺點	線性差、溫度範圍窄、長期穩定性較差、需非線性校正。	成本較高、需激勵電流、導線需三線或四線式以補償線阻。	低溫非線性較大、需冷端補償、精度較低且易受雜訊影響。	測溫範圍較窄、耐高溫能力不足、受元件規格限制。
適用溫度範圍	$-50 \sim 150^{\circ}\text{C}$	$-200 \sim 600^{\circ}\text{C}$ (CB100D可至約 600°C)	$-200 \sim 1700^{\circ}\text{C}$ (依型式而定)	$-55 \sim 150^{\circ}\text{C}$ (依晶片規格)
適用場合	家電、消費性產品、低成本量測。	工業量測、機房環控、實驗室、校正設備等需要高精度與穩定度的場合。	高溫爐、鍋爐、引擎、冶金、製程控制等高溫環境。	消費性電子、設備內部監控、低成本與小型化設計。
成本	低	中等偏高	中等	中等偏低
是否適合本專題	不建議 (線性與穩定度不足)	✓ 最佳選擇 (本專題選用方案)	不建議 (精度不足，需冷端補償與抗雜訊設計)	可行但受限 (溫度範圍與精度不足，耐溫較低)

本專題選用方案

RTD
(Pt100 / CB100D)

選用理由

- 線性較佳**
電阻與溫度近似線性，便於訊號處理與補償。
- 穩定度高**
長期漂移小、重複性佳，適合長時間監測應用。
- 適合機房環控**
精度高、抗干擾能力佳，符合機房溫度監控需求。
- 便於校正**
可對應國家標準，校正流程簡單可靠。

↓

✓ **綜合評估：RTD 為本專題最合適之溫度感測方案**

3-2 RTD / CB100D 感測原理

RTD 是利用金屬電阻值會隨溫度改變的特性來量測溫度。當溫度上升時，金屬內部電子與晶格碰撞增加，使電阻值上升。相較於熱敏電阻，RTD 的電阻與溫度關係較接近線性，因此常用於工業量測與環境控制。

本專題以教材中的 CB100D 電阻式溫度感測器為設計基礎。依教材所示特性，假設 CB100D 在 0°C 時電阻值為 100Ω ，在 100°C 時電阻值約為 142.4Ω 。為了方便電路設計，可將其在 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 範圍內近似為線性關係：

$$R(T) = 100 + 0.424T$$

其中 $R(T)$ 為溫度 T 時的感測器電阻值， T 為攝氏溫度。此式為本專題依教材 CB100D 特性所建立的設計與校正用近似模型。若實際改用標準

Pt100，其 100°C 電阻值通常不等於 142.4Ω，因此需依 Pt100 資料表重新修正 R(T) 與校正點。

例如當 T = 40°C 時：

$$R(40) = 100 + 0.424 \times 40 = 116.96\Omega$$

因此，只要能量測出 RTD 電阻值變化，就能推算出環境溫度。

表2 CB100D 溫度、電阻與輸出電壓對照表

溫度 T	感測器等效電阻 R(T)	轉換電路輸出 V1(T)	放大後輸出 V2(T)	系統狀態
0°C	100.00Ω	0mV	0.00V	校正零點
10°C	104.24Ω	-4mV	0.20V	正常
20°C	108.48Ω	-8mV	0.40V	正常
25°C	110.60Ω	-10mV	0.50V	正常
30°C	112.72Ω	-12mV	0.60V	正常
35°C	114.84Ω	-14mV	0.70V	預警
40°C	116.96Ω	-16mV	0.80V	警報
50°C	121.20Ω	-20mV	1.00V	高溫
75°C	131.80Ω	-30mV	1.50V	高溫
100°C	142.40Ω	-40mV	2.00V	滿刻度校正

註：假設 $R(T) = 100 + 0.424T$ ，且放大後輸出 $V2(T) = 0.02T$ 。

3-3 轉換電路選擇

由於後級的 OP Amp、比較器與指示電路主要處理電壓訊號，因此必須將 RTD 的電阻變化轉換為電壓變化。常見的轉換方式包含電阻分壓法、電阻電橋法、定電流法與有源電橋法。

電阻分壓法電路簡單、成本低，但線性與精度較差。普通電橋法適合微小電阻變化量測，但當感測器電阻變化較大時，可能產生非線性誤差。定電流法概念清楚，但若要達到高穩定性與歸零功能，需要較精密的定電流源設計。

本專題採用有源電橋轉換電路，主要原因是其可配合 OP Amp 負回授特性，將電阻變化轉換為較穩定的電壓訊號，並可透過可變電阻進行歸零與校正，較適合本專題的設計需求。

3-4 有源電橋設計

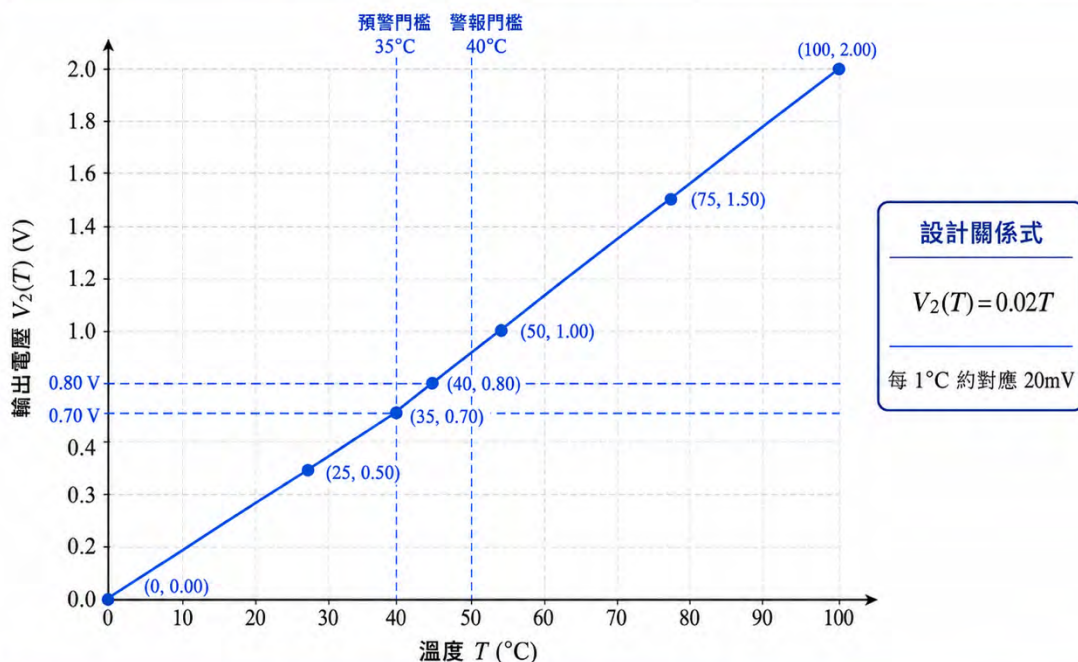
有源電橋的工作原理是利用電橋平衡與不平衡的特性。當感測器在基準溫度時，電橋可調整至平衡，使輸出接近 0V；當溫度上升後，RTD 電阻增加，電橋失去平衡，產生差動電壓。此差動電壓再送入 OP Amp 放大，即可得到與溫度相關的輸出訊號。

本專題設定目標為 0°C 時最終輸出為 0V，100°C 時最終輸出為 2.0V，因此整體輸出關係可設計為：

$$V_2(T) = 0.02T$$

也就是每升高 1°C，輸出電壓約增加 20mV。如此設計可讓後續門檻設定更加直觀，例如 35°C 對應 0.70V，40°C 對應 0.80V。需注意的是，0V ~ 2.0V 為本專題設定的輸出目標，實際電路需透過零點與滿刻度校正，使輸出符合此比例。

圖3 溫度對輸出電壓曲線圖



註：本圖為本專題設定之理論輸出關係，實際電路需經零點與滿刻度校正。

第四章 放大、比較與警報電路設計

4-1 電源與參考電壓設計

由於 OP Amp 在處理接近零點或需要正負擺幅的訊號時，使用雙電源會較容易設計，因此本專題規劃以 DC 輸入經 DC-DC 轉換模組產生 $\pm 5V$ ，供 OP Amp、比較器與類比訊號處理電路使用。選用 $\pm 5V$ 的原因是本系統最終輸出範圍設定為 $0V \sim 2.0V$ ，且警報門檻僅為 $0.70V$ 與 $0.80V$ ，因此 $\pm 5V$ 已足以滿足放大與比較需求，也可降低系統功耗與電路複雜度。

此外，轉換電路與比較器門檻需要穩定參考電壓，因此本專題設定參考電壓為 $2.5V$ 。使用穩定參考電壓可避免電源波動直接影響量測基準，提高系統準確度。

電源設計時需加入濾波與去耦元件，例如在電源輸入端加入 $100\mu F$ 、 $10\mu F$ 電解電容，並在 OP Amp 與比較器電源腳附近加入 $0.1\mu F$ 陶瓷電容，以降低電源雜訊。

4-2 OP Amp 選用

由於 RTD 轉換後的電壓訊號較小，因此 OP Amp 的失調電壓、偏壓電流與漂移特性會影響量測結果。本專題建議使用 OP07 作為主要放大元件，因為 OP07 屬於低失調、低漂移的精密運算放大器，適合用於低頻精密量測電路。實作時仍需確認 OP07 的供電電壓、輸入共模範圍與輸出擺幅是否符合本系統 $0V \sim 2.0V$ 的輸出需求。

若以低成本與容易取得為優先，也可使用 LM358 作為替代方案。不過 LM358 的精度較 OP07 低，若用於正式量測時，需特別注意失調電壓與輸出誤差。

4-3 放大器設計

本專題規劃使轉換電路於 $0^{\circ}C$ 時輸出約 $0V$ ， $100^{\circ}C$ 時輸出約 $-40mV$ ，再經反相放大器放大成 $2.0V$ 。此 $-40mV$ 為依教材架構設定的設計目標，並非所有電橋電路都會自然產生相同數值；實際輸出仍需依 R_1 、 R_2 、 R_3 、感測器電阻、參考電壓與回授架構決定，並透過 VR 進行零點與滿刻度校正。若系統希望放大後輸出為 $2.0V$ ，則所需放大倍率為：

$$A_v = 2.0V / (-40mV) = -50$$

因此可採用反相放大器，其增益公式為：

$$A_v = -R_f / R_{in}$$

若選擇 $R_{in} = 4.02k\Omega$ ， R_f 約為 $201k\Omega$ ，則增益約為 -50 倍。可使用固定電阻搭配精密可變電阻，使增益可微調，以便在校正時讓 $100^{\circ}C$ 對應到 $2.000V$ 。

4-4 比較器門檻設計

本系統設定 $35^{\circ}C$ 為預警門檻， $40^{\circ}C$ 為警報門檻。由於本專題設定輸出關係為 $V_2(T)=0.02T$ ，因此 $35^{\circ}C$ 對應 $0.70V$ ， $40^{\circ}C$ 對應 $0.80V$ 。（ V_{th} 可透過 $2.5V$ 參考電壓經分壓電路取得，例如以固定電阻搭配 $10k\Omega$ 精密可變電阻組成分壓器，調整 VR 使輸出分別對應 $0.70V$ 與 $0.80V$ 。）

系統使用兩組比較器進行門檻判斷，第一組比較器 $C1$ 用於判斷溫度是否超過 $35^{\circ}C$ ，第二組比較器 $C2$ 用於判斷溫度是否超過 $40^{\circ}C$ 。當溫度低於 $35^{\circ}C$ 時， $C1$ 與 $C2$ 皆未觸發，系統顯示正常狀態；當溫度介於 $35^{\circ}C$ 與 $40^{\circ}C$ 之間時， $C1$ 觸發、 $C2$ 未觸發，系統進入預警狀態；當溫度超過 $40^{\circ}C$ 時， $C1$ 與 $C2$ 皆會觸發，因此黃色 LED 與紅色 LED 會同時亮起，蜂鳴器也會啟動。

此設計屬於疊加式警示邏輯，表示警報狀態同時包含預警狀態。若需讓三種燈號完全排他，例如警報時只亮紅燈而黃燈熄滅，則需額外加入邏輯電路，使黃燈控制條件為 $C1$ HIGH 且 $C2$ LOW。

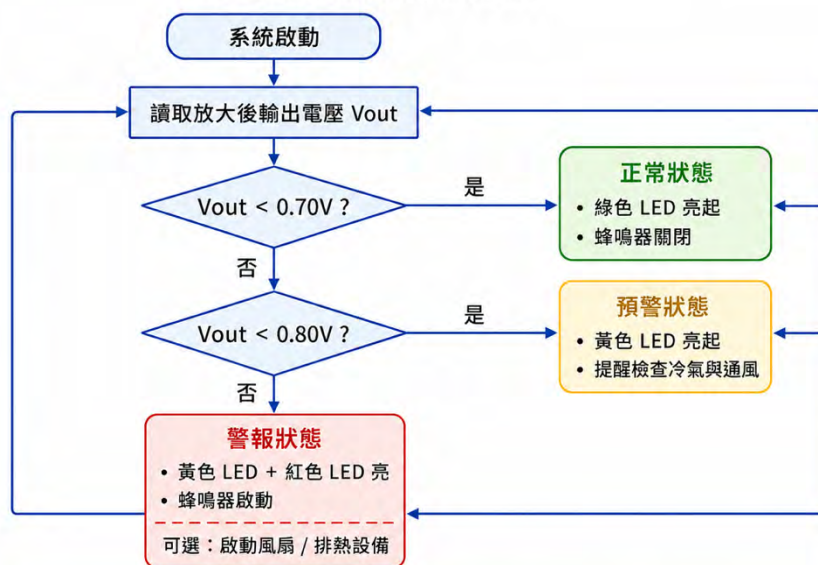
圖四註解：綠色 LED 由 $C1$ 比較器輸出經 74HC14 反相控制，因此當溫度達到 $35^{\circ}C$ 以上時，綠色 LED 會自動熄滅。預警狀態為綠燈熄滅、黃燈亮；警報狀態為綠燈熄滅、黃燈與紅燈同時亮，蜂鳴器啟動。

表3 警報門檻設定表

溫度範圍	C1 : 35°C 比較器	C2 : 40°C 比較器	指示狀態	系統動作
$T < 35^{\circ}\text{C}$	LOW	LOW	綠色 LED 亮	機房溫度正常
$35^{\circ}\text{C} \leq T < 40^{\circ}\text{C}$	HIGH	LOW	黃色 LED 亮	進入預警狀態，提醒檢查冷氣與通風
$T \geq 40^{\circ}\text{C}$	HIGH	HIGH	黃色 LED + 紅色 LED 亮	進入警報狀態，蜂鳴器啟動， 需立即處理

註：本系統採用疊加式警示邏輯。當溫度超過 40°C 時，因已同時超過 35°C 預警門檻與 40°C 警報門檻，因此黃色 LED 與紅色 LED 會同時亮起。若需實現排他性顯示，則須額外加入邏輯電路，使黃燈控制邏輯為 C1 AND NOT C2。

圖4 警報狀態判斷流程圖



判斷基準：依本專題設定 $V_2(T) = 0.02T$ ， 35°C 對應 0.70V ， 40°C 對應 0.80V 。

註：本圖採用疊加式警示邏輯，當 $T \geq 40^{\circ}\text{C}$ 時，黃色 LED 與紅色 LED 會同時亮起。

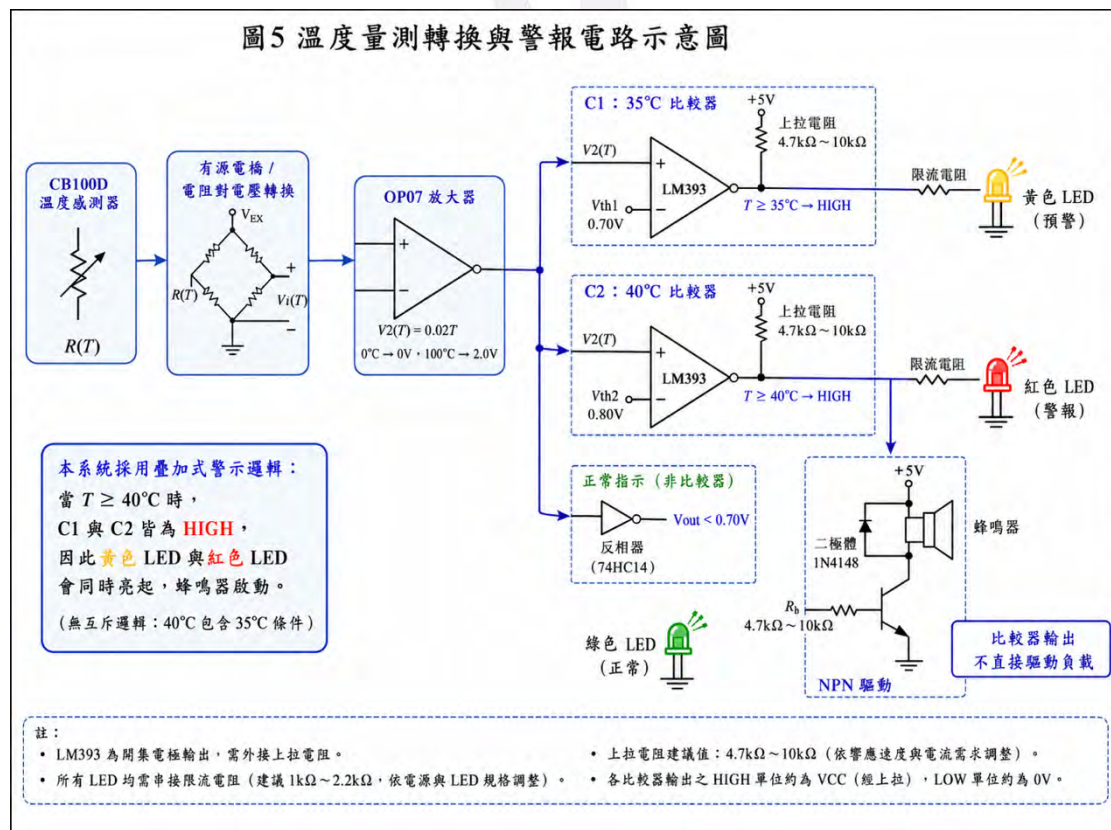
4-5 指示與警報電路設計

本系統使用 LED 與蜂鳴器作為主要輸出。當溫度低於 35°C 時，綠色 LED 亮起，表示機房溫度正常；當溫度達到 35°C 以上但未達 40°C 時，黃色 LED 亮起，表示溫度偏高；當溫度達到 40°C 以上時，由於 35°C 與

40°C 兩組門檻皆已被觸發，因此黃色 LED 與紅色 LED 會同時亮起，並啟動蜂鳴器。74HC14 之輸入接於 C1 比較器輸出，當 C1 輸出為 LOW 時 ($T < 35^{\circ}\text{C}$)，74HC14 輸出 HIGH，驅動綠色 LED 亮起。。

若採用 LM393 作為比較器，需注意 LM393 為開集極輸出，輸出端必須接上拉電阻，例如 $4.7\text{k}\Omega \sim 10\text{k}\Omega$ ，才能形成穩定的 HIGH 訊號。此外，LED 需串接限流電阻，蜂鳴器或繼電器不建議直接由比較器輸出驅動，應透過 NPN 電晶體或驅動模組控制。

另外，本專題中的 LED 限流電阻值主要以保護 LED 與降低耗電為考量，因此若採用較大的限流電阻，例如 $1\text{k}\Omega \sim 2.2\text{k}\Omega$ ，LED 仍可正常亮起並完成狀態指示功能。不過在實際機房環境中，若周圍照明較強或警報燈需要遠距離辨識，LED 電流過小可能造成亮度不足，使管理人員不易察覺警示狀態。因此，若本系統進一步進行實體製作或實際安裝，建議依 LED 規格與現場亮度需求重新調整限流電阻，例如改用 $330\Omega \sim 470\Omega$ ，或選用高亮度 LED，以提高警報可視性。



第五章 雜訊抑制與誤差分析

5-1 機房環境干擾來源

機房內部有許多可能影響量測系統的干擾來源，例如交換式電源供應器、高速風扇、繼電器切換、長距離感測線與接地不良等。這些干擾可能造成 OP Amp 輸出不穩、比較器誤判，甚至使 LED 或蜂鳴器出現反覆動作。

因此，本專題在設計時需將抗干擾能力納入考量，不能只看理論電路是否正確，也要注意電源、接地、佈線與保護元件的安排。

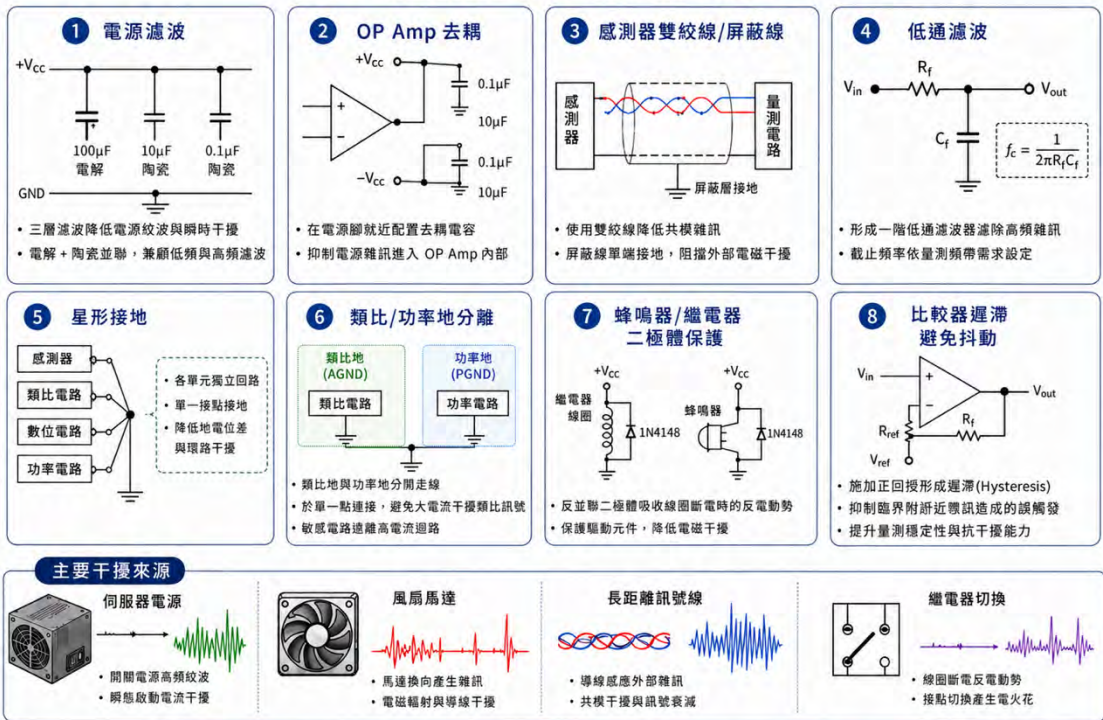
5-2 雜訊消除與預防機制

本系統主要雜訊抑制方式包含電源濾波、OP Amp 去耦、感測器線路屏蔽、低通濾波、星形接地、類比地與功率地分離、保護二極體與比較器遲滯。

電源端可使用 $100\mu\text{F}$ 、 $10\mu\text{F}$ 與 $0.1\mu\text{F}$ 電容並聯，以同時降低低頻紋波與高頻雜訊。OP Amp 電源腳附近應就近放置 $0.1\mu\text{F}$ 去耦電容，減少電源雜訊進入放大器。若感測器導線較長，應使用雙絞線或屏蔽線，並避免與 AC 電源線、馬達線平行靠近。

此外，若溫度在警報門檻附近微小波動，可能造成比較器輸出反覆變化，因此可加入遲滯設計。例如溫度升到 40°C 時啟動警報，但需降到 38°C 以下才解除警報，避免蜂鳴器反覆啟停。

圖6 雜訊消除與預防機制



綜合運用以上機制，可有效抑制雜訊、避免誤動作，確保量測系統穩定與準確。

表4 雜訊來源與改善方式表

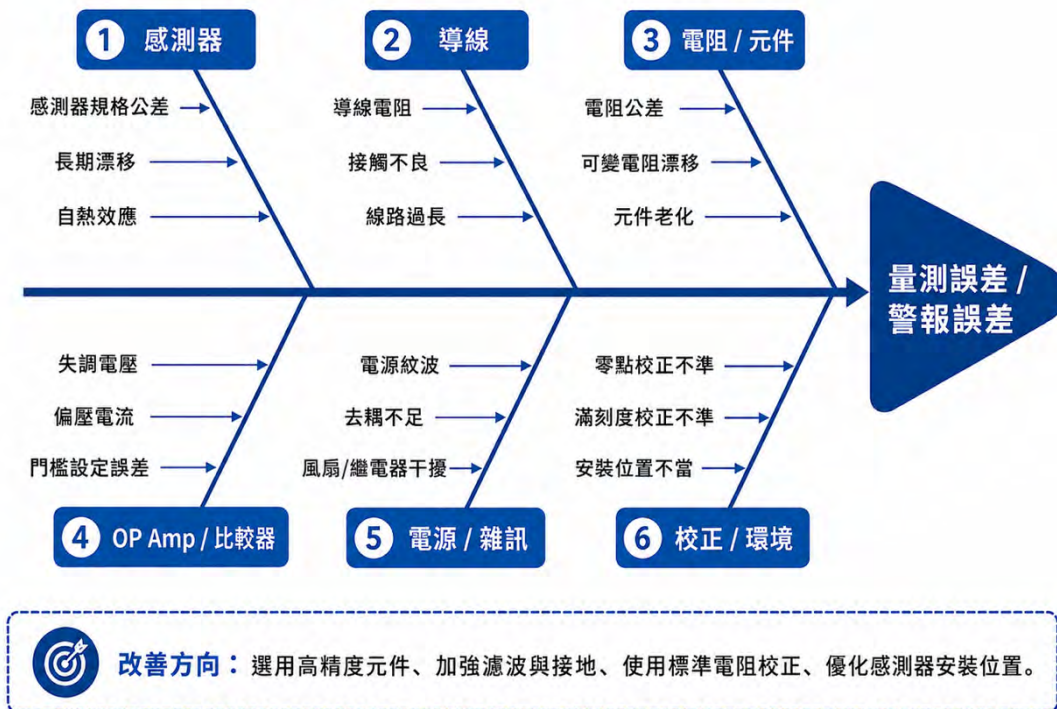
雜訊來源	可能造成的影響	改善方法
電源供應器紋波	OP Amp 輸出不穩、溫度讀值跳動	加入 100µF、10µF、0.1µF 濾波電容
OP Amp 電源雜訊	放大後訊號產生漂移	在 OP Amp 電源腳附近加 0.1µF 去耦電容
感測器導線過長	感應外部電磁雜訊	使用雙絞線或屏蔽線
風扇馬達干擾	警報誤動作或輸出抖動	類比電路與功率電路分開佈線
蜂鳴器啟動瞬間電流	電源電壓瞬間下降	蜂鳴器獨立驅動，並加濾波電容
繼電器線圈反電動勢	可能損壞電晶體或比較器	線圈兩端加反向保護二極體
門檻附近溫度波動	LED 或蜂鳴器反覆開關	加入比較器遲滯設計
接地不良	產生地電位差，影響量測	使用星形接地，類比地與功率地分離

建議搭配去耦、濾波、接地管理與遲滯比較器設計，以提升抗干擾能力。

5-3 誤差來源分析(表 5)

誤差來源	造成原因	對系統影響	改善方式
感測器誤差	RTD 本身規格公差	溫度讀值與實際值有偏差	選用精度較高的 RTD，並進行校正
導線電阻誤差	感測器與電路距離較遠	量到的電阻值偏大	使用三線式 RTD 或導線補償
電阻公差	分壓與放大電阻誤差	增益與門檻值偏移	使用 1% 或 0.1% 金屬膜電阻
OP Amp 失調電壓	OP Amp 輸入端存在微小偏移	放大後造成輸出誤差	選用低失調 OP Amp，如 OP07
參考電壓漂移	Vref 隨溫度或電源變動	電橋與比較器基準不穩	使用穩定參考電壓 IC
電源雜訊	DC-DC 或負載造成紋波	輸出電壓跳動	加入濾波與去耦電容
環境干擾	風扇、電源線、繼電器干擾	可能造成誤警報	使用屏蔽線、低通濾波與遲滯
校正誤差	標準電阻或調整不準	量測曲線偏移	進行零點與滿刻度反覆校正

圖 7 誤差來源魚骨圖



5-4 系統穩定性改善方式

為提升系統穩定性，本專題建議採用以下方式：

1. 關鍵電阻使用 1% 或 0.1% 金屬膜電阻。
2. 零點與增益調整使用 10 圈精密可變電阻。
3. OP Amp 與比較器電源腳加入去耦電容。
4. 感測器導線使用雙絞線或屏蔽線。
5. 類比地與功率地分離，並採星形接地。
6. 蜂鳴器或繼電器使用電晶體驅動，避免直接由比較器輸出承受負載。
7. 警報門檻加入遲滯，避免臨界點抖動。

第六章 系統調校與測試規劃

6-1 調校目的

調校的目的，是使實際電路輸出能盡量接近理論設計值。由於感測器、電阻、OP Amp 與參考電壓都存在誤差，因此即使理論設計正確，實際輸出也可能有所偏移。透過零點校正與滿刻度校正，可提高系統準確度。

本系統調校目標為：

$$0^{\circ}\text{C} \rightarrow V_2(T) = 0\text{V}$$

$$100^{\circ}\text{C} \rightarrow V_2(T) = 2.000\text{V}$$

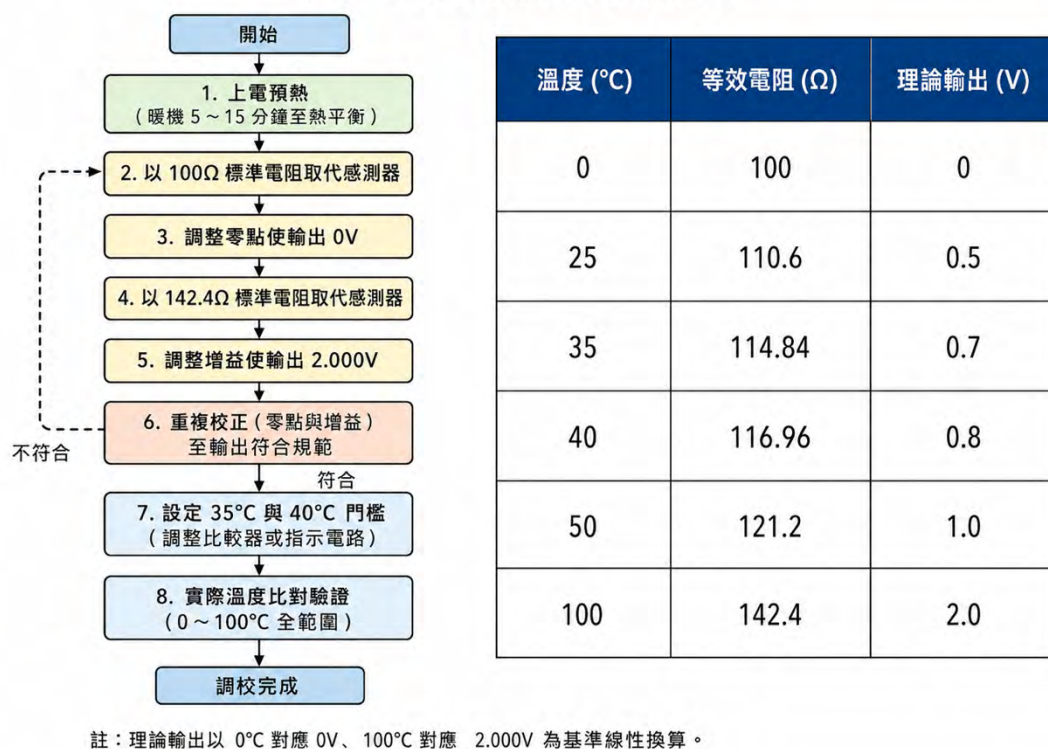
上述校正點以教材 CB100D 的 $100\Omega / 142.4\Omega$ 為基準；若實際使用標準 Pt100 或其他 RTD，需依感測器資料表重新設定 100°C 對應電阻值。

6-2 零點與滿刻度校正

校正時可使用標準電阻取代感測器。依教材 CB100D 特性， 100Ω 代表 0°C ， 142.4Ω 代表 100°C ，因此可先以 100Ω 電阻代替感測器，調整零點可變電阻，使輸出為 0V ；再以 142.4Ω 電阻代替感測器，調整增益可變電阻，使輸出為 2.000V 。若感測器改用標準 Pt100， 100°C 校正電阻不可直接使用 142.4Ω ，需依資料表重新選定。

完成後需反覆檢查零點與滿刻度，避免調整增益時影響零點，或調整零點時影響滿刻度。

圖8 調校流程圖與對照表



6-3 警報門檻調整

警報門檻可使用對應電阻或對應電壓進行校正。35°C 對應約 114.84Ω 或 0.70V，40°C 對應約 116.96Ω 或 0.80V。

校正時可先讓輸出接近 0.70V，確認黃色 LED 是否亮起；再讓輸出接近 0.80V，確認紅色 LED 與蜂鳴器是否啟動。若啟動點不準，可調整比較器參考電壓或可變電阻。

6-4 測試項目與預期結果 (表 6)

測試項目	測試方法	預期結果
零點測試	使用 100Ω 標準電阻取代感測器	輸出約 0V
滿刻度測試	使用 142.4Ω 標準電阻取代感測器	輸出約 2.0V
線性測試	使用不同阻值模擬不同溫度	輸出電壓隨溫度線性上升
預警測試	使用 114.84Ω 電阻模擬 35°C	黃色 LED 亮起

測試項目	測試方法	預期結果
警報測試	使用 116.96Ω 電阻模擬 40°C	紅色 LED 與蜂鳴器啟動
雜訊測試	啟動蜂鳴器或風扇觀察輸出	輸出不應大幅跳動
供電穩定測試	改變輸入電源或負載	輸出仍保持穩定
實際環境測試	與溫度計量測結果比對	誤差應在可接受範圍內

6-5 驗收標準

本專題可設定以下驗收標準：

1. 100Ω 標準電阻測試時，輸出應接近 0V 。
2. 142.4Ω 標準電阻測試時，輸出應接近 2.0V 。
3. 35°C 等效測試時，黃色 LED 應能啟動。
4. 40°C 等效測試時，紅色 LED 與蜂鳴器應能啟動。
5. 蜂鳴器啟動時，量測輸出不應出現明顯跳動。
6. 系統經短時間連續運作後，輸出不應明顯漂移。
7. 正常溫度 ($T < 35^{\circ}\text{C}$) 時，綠色 LED 應亮起；溫度升至 35°C 以上時，綠色 LED 應自動熄滅。
8. 使用 116.96Ω 模擬 40°C 時，黃色 LED 與紅色 LED 應同時亮起（疊加式警示），同時啟動蜂鳴器。

第七章 採購建議、成本估算與維護

7-1 主要元件採購建議

本專題主要元件包含 RTD 感測器、OP Amp、比較器、參考電壓 IC、DC-DC 電源模組、精密電阻、可變電阻、電容、LED、蜂鳴器、電晶體、二極體與外殼線材等。

其中，會直接影響量測準確度的元件，例如感測器、分壓電阻、放大器增益電阻與參考電壓 IC，建議選用品質較穩定的規格。一般電阻可使用 1%

金屬膜電阻，若預算允許則可使用 0.1% 精密電阻。可變電阻建議使用 10 圈精密型，以方便校正零點與增益。

LED 建議選用紅、黃、綠三色高亮度 LED，分別作為警報、預警與正常狀態指示。若僅作為低功耗狀態顯示，可使用較大的限流電阻；但若應用於實際機房警報系統，需考慮日光燈、設備指示燈與觀察距離等因素，避免 LED 亮度不足。因此實作時可依需求將限流電阻調整為 $330\Omega \sim 470\Omega$ ，或改用高亮度低電流 LED。

圖9 主要元件採購建議表

元件名稱	建議型號/規格	用途	選用理由
 RTD感測器 (PT100/CB100D)	Pt100 (3線式) 或 CB100D	量測0~100°C溫度	- 線性度高、穩定性佳 - 與數位一致，易於校正與維護
 OP07	OP07CPZ 精密運算放大器	放大、電壓轉換、 訊號調理	- 低偏移、低漂移、低雜訊 - 適合精密量測電路
 LM393	LM393N 雙電壓比較器	門檻比較、 指示與控制	- 供應電壓範圍廣 - 開集極輸出，易於介面整合
 TL431或2.5V參考源	TL431ACD 或 TL1004C-2.5	精準參考電壓產生	- 穩定度高、溫度係數小 - 易於調整輸出電壓
 DC-DC $\pm 5V$ 模組	輸入5~12V 輸出 $\pm 5V / \pm 300mA$	提供雙電源給類比電路	- 體積小、效率高、噪聲低 - 隔離或非隔離皆可選
 精密電阻	金屬膜電阻 0.1% (依需求選阻值)	電路精密設定、分壓、 增益調整	誤差小、溫漂低、穩定性佳
 10圈可變電阻	多圈精密微調電位器 (如 10k Ω)	零點調整、增益微調、 校正用	- 調整精度高、耐久性佳 - 避免因震動造成漂移
 0.1 μF / 10 μF / 100 μF 電容	精屬陶瓷 0.1 μF 電解電容 10 μF 、100 μF	濾波、去耦、穩壓	- 精屬電容高頻穩定 - 電解電容大容量濾波
 LED	3mm LED (紅/綠) 限流電阻	狀態指示	- 亮度高、功耗低 - 易於觀察系統狀態
 主動式蜂鳴器	5V 主動式蜂鳴器	警報提示	- 內建振盪器，驅動簡單 - 音量適中、穩定可靠
 2N2222電晶體	2N2222A (NPN)	驅動蜂鳴器/LED、 開關控制	- 通用性高、成本低 - 開關速度適中
 保護二極體	1N4007或1N4148	反接保護、浪湧吸收	- 耐壓高 (1N4007) - 開關速度快 (1N4148)
 LCD1602 (選配)	16x2 字元型 LCD模組 (HD44780相容)	顯示溫度、參數或狀態	- 顯示清晰、介面簡單 (並列) - 模組化，易於整合



成本估算 (僅供參考)

基本版：約 400 - 1200 元

※ 實際價格依供應商與數量而異。

7-2 成本估算

本系統若採用基本元件完成，預估成本約為 400~1200 元。若加入 LCD 顯示器、PCB 製作、外殼加工、較高精度 RTD 感測器或多點監測模組，成本會進一步提高。

從專題角度來看，本系統的成本主要集中在感測器、電源模組、外殼線材與顯示設備。若只需完成基本警報功能，可先以 LED 與蜂鳴器為主；若要提升展示效果，則可加入 LCD 顯示即時溫度。

表7 主要元件採購與成本估算表

元件名稱	建議規格 / 型號	數量	用途	預估價格
RTD 感測器	Pt100 / CB100D	1	溫度感測	50 ~ 150 元
OP Amp	OP07	1 ~ 2	轉換與放大	20 ~ 80 元
比較器	LM393	1	警報門檻比較	10 ~ 30 元
參考電壓 IC	TL431 / 2.5V Reference	1	提供穩定參考電壓	10 ~ 50 元
DC-DC 模組	±5V 或 ±12V	1	提供雙電源	50 ~ 150 元
精密電阻	1% 或 0.1% 金屬膜	多個	分壓、增益設定	30 ~ 100 元
10 圈可變電阻	10kΩ / 100Ω	2 ~ 3	零點與增益調整	30 ~ 100 元
電容	0.1μF、10μF、100μF	多個	濾波與去耦	20 ~ 80 元
LED	紅、黃、綠	各 1	狀態指示	10 ~ 30 元
蜂鳴器	5V 主動式	1	過熱警報	20 ~ 50 元
電晶體	2N2222 / 8050	1 ~ 2	驅動蜂鳴器	5 ~ 20 元
保護二極體	1N4148 / 1N4007	1 ~ 2	反向保護	5 ~ 20 元
LCD 顯示器	LCD1602，選配	1	顯示溫度	80 ~ 200 元
外殼與線材	塑膠盒、端子、導線	1 批	保護與連接	100 ~ 300 元



總成本預估：基本版約 **400~1200 元**

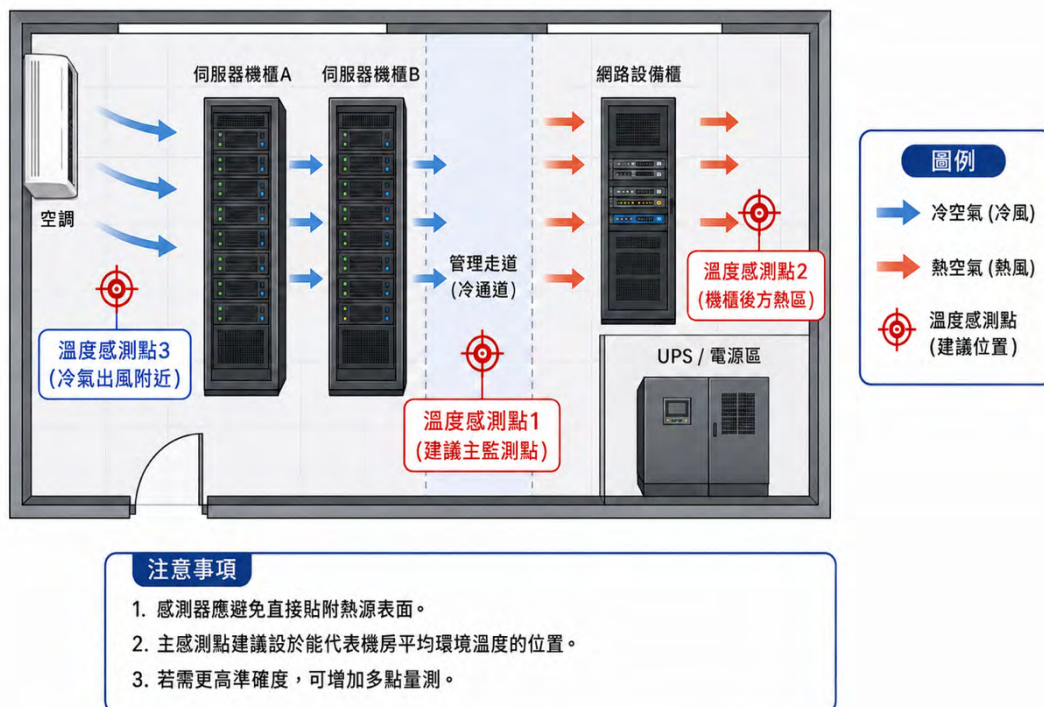
加入 LCD、外殼、PCB 與較高精度元件後，成本會再提高。

7-3 安裝建議

感測器安裝位置會直接影響量測結果。若感測器放在冷氣出風口附近，可能會量到偏低溫度；若放在伺服器排風口附近，則可能量到偏高溫度。因此本專題建議將感測器放置在能代表機房平均環境溫度的位置，例如伺服器機櫃中段或設備集中區附近，但應避免直接貼在熱源表面。

若機房內設備分布較廣，可在未來加入多點感測器，分別監測機櫃前方、後方、冷氣出風口與排風熱區，以更完整掌握溫度分布。

圖10 系統安裝位置示意圖



7-4 維護方式（表 8）

檢查項目	檢查內容	建議週期
感測器固定	確認 RTD 未鬆動或脫落	每月
感測器導線	檢查導線是否破損、氧化或靠近干擾源	每月
LED 指示	確認綠、黃、紅 LED 皆可正常亮起	每月
蜂鳴器	測試蜂鳴器音量與啟動狀態	每月
電源模組	檢查輸出電壓是否穩定	每季
校正狀態	使用標準電阻檢查零點與滿刻度	每學期或每半年
電路板	檢查灰塵、受潮與接點氧化	每季
外殼與端子	確認固定牢靠，避免短路	每季

第八章 結論與未來展望

8-1 結論

本專題完成一套機房溫度監測與過熱警報系統的設計規劃，系統以教材中的 CB100D 電阻式溫度感測器作為主要設計基準，透過有源電橋將電阻變化轉換成電壓訊號，再使用 OP Amp 放大器將微小訊號放大到 0V~2.0V 的輸出範圍。此輸出比例為本專題設定目標，實作時需透過零點與滿刻度校正完成。透過比較器設定 35°C 預警與 40°C 過熱警報門檻，系統可利用 LED 與蜂鳴器明確顯示目前溫度狀態。

在設計過程中，本專題不只考慮電路功能，也進一步分析感測器選用、電源與參考電壓、雜訊抑制、誤差來源、調校流程、測試方法與採購成本。這使本系統不只是單一電路，而是較完整的溫度量測與警報應用設計。

整體而言，本專題能將課堂中學到的感測器、OP Amp、比較器、濾波與校正等概念結合於實際應用場景中。若後續完成硬體實作並取得實測數據，將可進一步驗證理論設計與實際量測結果之間的差異。

8-2 未來展望（表 9）

本專目前以類比電路為主要架構，已具備溫度量測與警報功能。未來可加入微控制器，例如 Arduino、8051 或 ESP32，將放大後的類比電壓透過 ADC 轉換成數位資料，再顯示於 LCD、OLED 或電腦介面上。

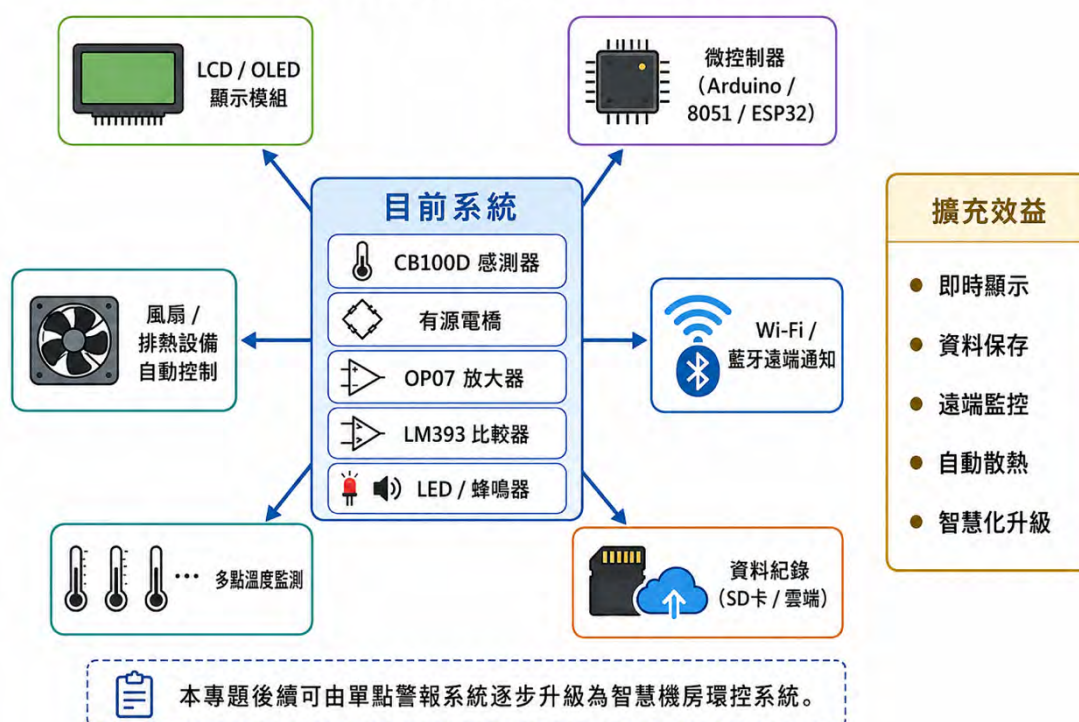
此外，也可加入資料紀錄功能，將機房溫度變化儲存於記憶卡或上傳至雲端平台，以便後續分析溫度趨勢。若加入 Wi-Fi 或藍牙模組，系統可在過熱時傳送手機通知，使管理人員即使不在現場也能即時收到警報。

未來也可擴充成多點溫度監測系統，於不同機櫃、冷氣出風口與設備排風區設置多組感測器，以分析機房內部溫度分布。若再搭配風扇、繼電器或空調控制模組，則可從單純的警報系統升級為智慧機房環境控制系統。

擴充功能	增加元件	優點	難度
LCD 即時顯示	LCD1602 / OLED	可直接顯示溫度	低
微控制器控制	Arduino / 8051 / ESP32	可做數位判斷與顯示	中
資料紀錄	SD 卡模組	可保存溫度歷史資料	中

擴充功能	增加元件	優點	難度
遠端通知	Wi-Fi / 藍牙模組	可手機或雲端通知	中高
多點監測	多組 RTD 或感測模組	可分析機房溫度分布	中高
自動散熱控制	風扇、繼電器、驅動模組	可自動啟動排熱設備	中
人機介面	按鍵、顯示器、設定選單	可調整門檻與參數	高

圖11 未來擴充架構圖



參考文獻

Analog Devices. (n.d.). *OP07 precision operational amplifier* [Data sheet].

Texas Instruments. (n.d.). *LM393 dual differential comparator* [Data sheet].

Texas Instruments. (n.d.). *TL431 precision programmable reference* [Data sheet].

工業電子與量測電路相關教材。(n.d.)。*溫度感測器與轉換電路*[教材]。

感測器原理與應用。(n.d.)。*電阻式溫度感測器與訊號調理*。

電子電路學。(n.d.)。*運算放大器、比較器與濾波電路*。

Pt100/RTD 溫度感測器基本規格資料。(n.d.)。

