

## 解析溫度感應器應用優勢

溫度感應技術的應用非常廣泛，在各類消費性電子、玩具、家用電器、工業測量產品以及個人電腦裡，都扮演了不可或缺的角色。熱敏電阻（**thermistor**）是傳統上最常見的溫度感應元件，不過 **IC 溫度感應器（temperature sensor）** 也出現在同樣的應用領域中。

### 熱敏電阻的傳統優勢

對於熱敏電阻最常見的評價不外乎價格優勢、各種不同的引腳封裝以及準確度：

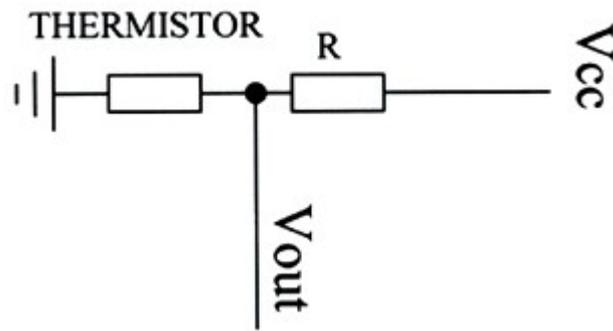
一、**價格** 在大多數情況下，熱敏電阻單一元件的價格比 **IC 溫度感應器** 低。然而，爲了將熱敏電阻的阻值轉換成電壓值，需要一個精度爲 **1%** 的上拉電阻，以便獲得準確的讀數；如果需要以數位方式讀出熱敏電阻的值，則必須再加用帶有不同介面(如 **I2C** 或 **SPI**)的類比數位轉換器(**ADC**)。相較之下，單獨一顆 **IC 溫度感應器** 晶片即可讀出電壓值，而不需外加元件。如果需要以數位方式讀出溫度值，也可輕易找到具不同輸出介面的單晶片數位 **IC 溫度感應器**。因此，以整體系統價格來說，採用 **IC 溫度感應器** 的成本並不必然高於熱敏電阻。另一方面，隨著溫度感應器製程技術不斷推陳出新，廠商也得以降低生產成本。例如，美國國家半導體最近推出的 **LM19**，其價格就足以與熱敏電阻媲美。

二、**各種各樣的封裝** 如果不將感應器裝在電路板上，熱敏電阻較有優勢，但也僅限於此。若把感應器裝在印刷電路板(**PCB**)上，熱敏電阻的量測結果就與 **IC 溫度感應器** 差不多；如果採用的是導熱性高的 **LLP** 封裝之 **IC 溫度感應器** 的話，如 **LM20** 或 **LM74** 時，讀值又會更爲精準。

三、**準確度** 事實上，因爲用途不同，熱敏電阻的量測結果也不必然較爲精準。測量小範圍內的溫度，例如體溫計，熱敏電阻因具備輸出微調能力，若配合精確的外加線路，可得到精確的讀值。**IC 溫度感應器** 則因受到安裝在電路板上的限制，可能無法直接接觸到測量物，因而影響到測量結果的準確度。但在允許在電路板上測量溫度且範圍較大的應用領域時，**IC 溫度感應器** 就會比熱敏電阻精確。細節會在下文的實驗章節中描述。另一方面，使用熱敏電阻時，爲了達到一致的準確度，必須對每批或每顆熱敏電阻調校。**IC 溫度感應器** 則在出廠時即完成測試，反而較能維持系統生產時的穩定性。

### 溫度讀取誤差的來源

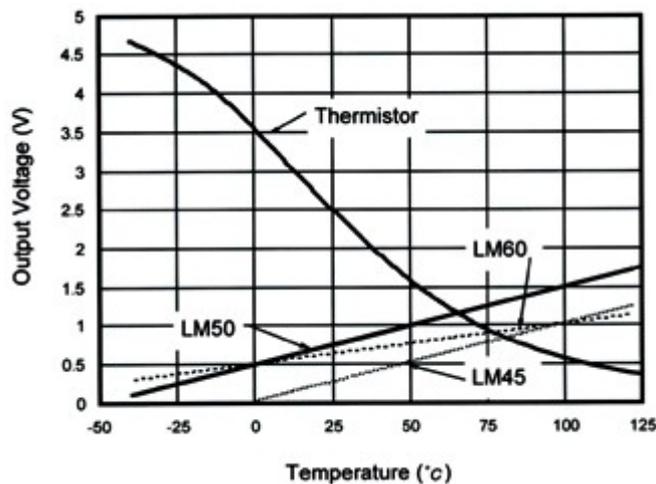
讀取網路和功耗：熱敏電阻的電阻會隨著溫度而變化。工程師往往需建立一電阻網路以把電阻變化轉爲電壓變化。如(圖一)，上部的電阻會造成讀取資料的第一個錯誤。想要得到準確的結果，上部電阻的準確度必須不低於 **1%**。再者，上部電阻的阻值還會影響整個網路的線性度和功耗，細節會在實驗章節裏說明。



圖一 熱敏電阻的電阻會隨著溫度而變化

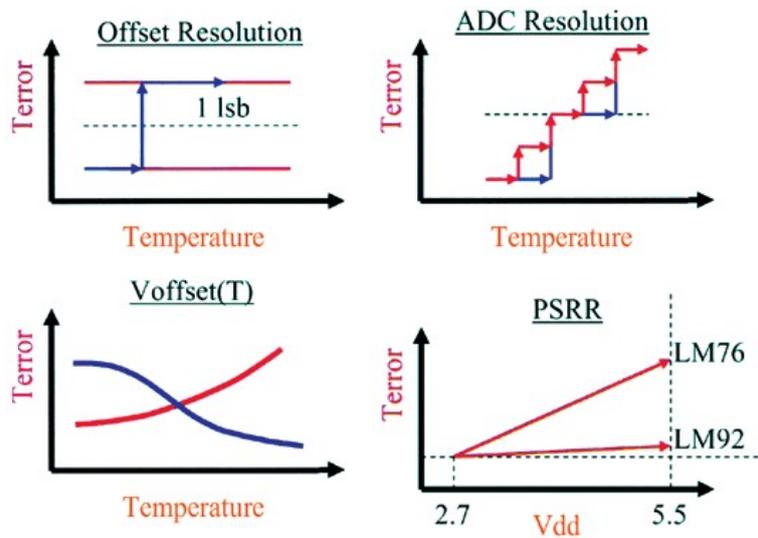
與熱敏電阻相較，IC 溫度感應器就較易於使用。IC 溫度感應器裡有三個引腳，分別是 Vcc、GND 和 Vout。一般而言，Vout 與溫度呈線性關係，而 CMOS 製程能將耗電率降至最低。IC 溫度感應器一般都可承受一定範圍的 Vcc 變化，而不影響其輸出值。

**線性度：**如讀取網路中所示，線性度也會造成讀取誤差，在溫度讀數範圍較寬時尤其如此。因此，爲了彌補線性度不足的問題，熱敏電阻還需加裝一些類比線路，或者要在數位化過程完成後使用查閱表對照，而使得成本再度增加。相較之下，IC 溫度感應器則是以線性方式顯示溫度，而且不需要進行線性度補償。(圖二)爲熱敏電阻與 IC 溫度感應器回應性能的範例：



圖二 熱敏電阻與 IC 溫度感應器回應性能的範例

**數位化誤差** 爲了讀出數位世界中的溫度值，我們需要用類比數位轉換器(ADC)將類比輸出轉換爲數位量。在此過程中，類比數位轉換器的線性誤差、量化誤差、偏移誤差、PSRR 誤差與溫度的關係，都會造成整體系統的溫度讀取誤差，如(圖三)。

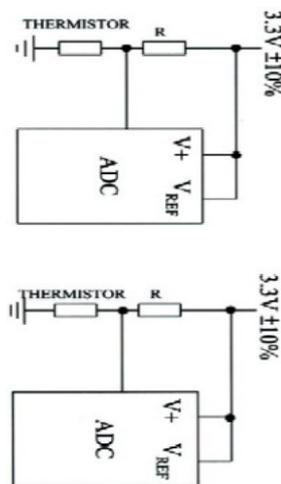


圖三類比數位轉換器的線性誤差、量化誤差、偏移誤差、PSRR 誤差與溫度的關係

如果又考量到最終系統的全部參數和誤差取決於多種因素，設計工作又更為複雜，可能還需要在生產現場進行系統校準。IC 數位溫度感應器則將感應器與數位化功能整合在單一晶片內，其數位輸出級在出廠前經過測試，以排除一切誤差來源。因為整個晶片的準確度有了保證，也就能夠立刻被採用。舉例來說，LM92 的技術規格為 30°C 時的準確度為 0.33°C，工程師就可以立即從 I2C 匯流排獲得準確的數位讀數而無須校準。

### 敏電阻與 LM20 的對照實驗

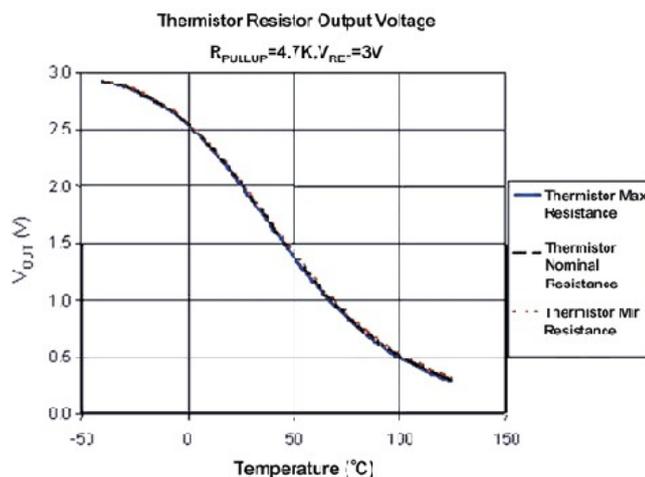
**比較組設計** 為比較熱敏電阻和 IC 溫度感應器 LM20 的效能高低，我們進行了以下實驗，並將兩者的設置控制到盡可能相同的程度。實驗電路如(圖四)。



LM20 是美國國家半導體公司新推出的一款類比溫度感應器，採用 SC-70 或 Micro-SMD 封裝，體積小巧，尤其適用於手機。另外，採用 TO-92 封裝的 LM19 也具有相同的性能。

在此使用的熱敏電阻是 Murata NTH5G10P/16P33B103F。

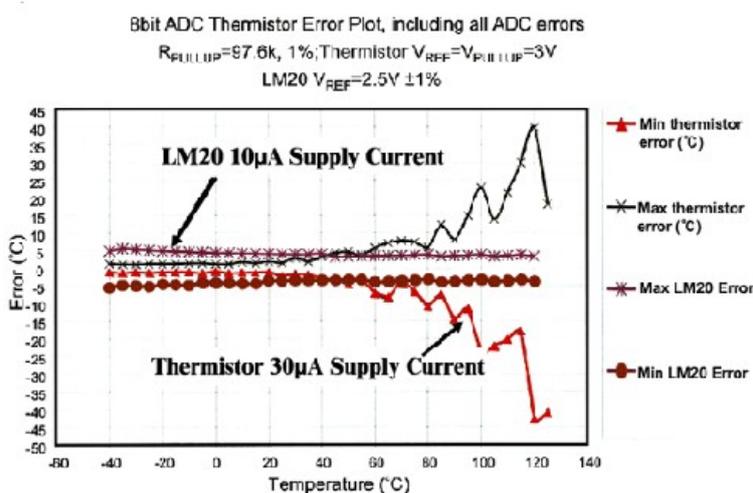
**熱敏電阻的非線性及功耗** 首先，我們需要確定熱敏電阻設置中的上拉電阻。如上一節中所說明的，電阻值的選取可能造成不同的線性度和功耗。是選取阻值分別為 4.7K 歐姆和 97.6K 歐姆時的結果。在 97.6 K 歐姆的上拉電阻下，非線性情況相當嚴重，而且較高溫度範圍內斜率的下降也將降低 ADC 的解析度。(圖五)



五 97.6 K 歐姆的上拉電阻下，非線性情況相當嚴重

隨著上拉電阻減至 4.7K 歐姆，熱敏電阻設置的線性度有所改善，但功率消耗也因而增高。功耗增加導致熱敏電阻網路的自熱現象，因而產生讀取誤差。隨著系統使用時間增長，自熱效應造成的誤差也會更為嚴重。目前為止，熱敏電阻的非線性與自熱問題仍然無法同時獲得解決。IC 溫度感應器卻能真正地同時獲得高線性度與低自熱的性能。

**實驗結果** 在這些設置條件下，熱敏電阻與 IC 溫度感應器的特性如(圖六)所示。



圖六 熱敏電阻與 IC 溫度感應器的特性

從圖中可明顯看出：在較低溫度範圍內，兩種設置的誤差大致相同，而熱敏電阻的準確度甚至要再高一些。但在 50°C 以上的較高溫度範圍內，熱敏電阻的讀數準確度降低，而且隨著溫度升高，準確度也跟著降低。因為溫度感應器往往需要在高溫範圍內執行系統保護的功能，如果使用熱敏電阻而不加線性補償線路，發出假警報

的機率將會增高，對使用者就會形成不小的困擾。另一方面，IC 溫度應測器消耗的功率只有熱敏電阻的三分之一(10uA vs. 30uA)。

### 使用 IC 溫度感應器與熱敏電阻的判定標準

根據以上結果，在以下幾種情況時，應選擇使用 IC 溫度感應器：

- 當測量的溫度範圍較廣時；
- 當系統的總成本非常重要時；
- 當設計時間必須減到最少時；
- 當空間非常寶貴時；
- 當需要較低的供電電流時。

熱敏電阻的選用時機則為：

- 系統準確度不甚重要時。
- 感測元件必須遠離 PCB 時；
- 系統無需外加器件來讀取溫度值時。

在接下來的幾期裏，我們還會逐一介紹溫度感應器在消費性電子產品、無線產品、工業設備、個人與手提電腦、資訊家電以及汽車等市場上的應用。

作者為美國國家半導體亞太區市場經理: 陳永信 先生