

热電偶調理電路設計注意事項

■作者：Kevin Tretter

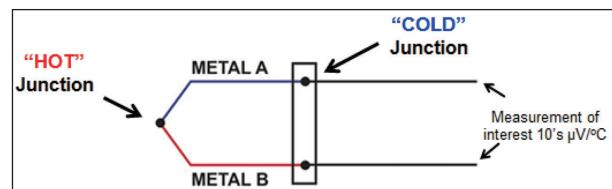
Microchip 混合及線性訊號產品部產品行銷主任工程師

溫度是迄今為止最常測量的物理量之一，其應用範圍涵蓋從暖通空調 (HVAC) 系統、冰箱和烤箱等常見應用到石化工廠及工廠自動化等更複雜的系統。除了不同種類的溫度感測應用以外，還有很多其他的感測器類型，範圍涵蓋從簡單的雙金屬片溫控開關到複雜的高精度數位解決方案。本文將重點介紹一種最常見的溫度感測元件——熱電偶，並探討與此類感測器有關的設計挑戰。

將兩種不同的金屬連接起來就形成了熱電偶。這兩種金屬具有不同的原子結構，因而會導致電子從一種金屬移動到另一種金屬產生熱電偶效應。這些電子的移動取決於金屬的類型以及溫度。對於給定的金屬組合，這些電子的移動會形成微弱的電壓，這種電壓與溫度有關。熱電偶的簡易性使其成為用於惡劣環境 (如工業和石化應用) 的理想感測器。熱電偶的種類有很多，它們由各種具有不同特性的金屬組合組成。

在溫度感測領域，熱電偶的應用相當廣泛，是什麼原因讓它們如此受歡迎呢？前面我們已經提到過，熱電偶有很多不同的類型，其中一些可在非常寬廣的溫度範圍內工作，有的可以遠遠低於攝氏 0 度，有的則可以達到攝氏 1800 度以上。由於熱電偶只是將兩根導線簡單地焊接在一起，即使在惡劣的條件下也非常可靠，並且具有遠端放置的優點，因此可以將敏感的電子元件與惡劣的環境隔離開來。與電阻溫度檢測器 (RTD) 等其他溫度感測元件不同，熱電偶不需要電壓或電流激勵。此外，熱電偶提供了非常快的熱回應速度。

但遺憾的是，除了上述優點以外，熱電偶也存在一些缺點。較長的熱電偶線可能會形成天線效應，



從而拾取到各種電氣雜訊。理想情況下，這種雜訊會耦合到兩條導線上，因此形成共模雜訊，但這種高水準的共模雜訊可能會影響訊號調整電路，這將在以後進行探討。熱電偶產生的實際電壓相當低，在較寬的溫度範圍內也就只有幾十 mV。要在可能存在較大共模雜訊的情況下測量低至這種程度的電壓，必須具備高性能的前端訊號調整才行。熱電偶產生的電壓輸出不僅相對較低，而且它在溫度範圍內也呈現出非線性的特性。最後，熱電偶電壓提供給使用者的是相對溫度，因此必須使用其他的溫度基準值對這一讀數進行補償，才能獲得實際的絕對溫度。

在圍繞熱電偶開發電路時，設計人員針對全方案基本上有兩種選擇：一是分離式的解決方案，採用獨立的放大器、類比至數位轉換器 (ADC)、溫度感測器、微控制器及相關的被動元件；二是整合度更高的單晶片解決方案。我們會更詳細地探討這兩種選擇。

對於分離式方案，本文將重點介紹四個方面：儀錶放大、混合訊號、溫度和韌體。我們先來討論儀錶放大，或者說是前端設計要求。如前所述，熱電偶產生的電壓變化相對較小。例如，K 型熱電偶可以測量從 -270 到近 1400 攝氏度的溫度。但在如此寬廣的溫度範圍內，其電壓變化只有 60 mV。要準確地測量這種程度的電壓，輸入電路需要儘量減

少偏置和增益誤差，能夠處理潛在的共模雜訊並提供相當高的輸入阻抗（相對於熱電偶本身而言），以消除會對測量產生不利影響的導線電流所形成的壓降。

下一階段的設計考慮是混合訊號部分，或者更具體地說就是類比至數位轉換。不管實現的 ADC 是獨立元件還是整合在微控制器中的周邊，必須考慮與該 ADC 相關的誤差，特別是與之相關的增益誤差和非線性特徵，因為這會大幅增加對總體誤差的預計。給定使用的熱電偶類型和 ADC 時，選擇參考電壓與前端增益設置相結合是一種合理的方式，因為這將簡化轉換。例如，如果使用具有 4096 解析度的 12 位元 ADC，並且使用 4.096V 參考電壓，則每個數值表示 1 mV，因此，在給定已知的熱電偶輸出時，可以對其進行縮放，例如，使每個數值代表 0.5 度。

儘量減弱非預期熱電偶的影響也十分重要，如果這種熱電偶不是故意設計的，通常將之稱作熱結點。當將兩種不同的金屬連接在一起時，就會出現熱結點，例如在焊接點處，或將過孔連接到地平面時。這是整個熱電偶調整電路的問題，而不只是與混合訊號部分有關。

前面提到過，熱電偶提供的是相對測量值，而非絕對值。因此，必須提供一個溫度基準。該基準通常稱作“冷結點”，因為在以前，人們將此基準放置在冰浴內，以確保溫度恒定在 0 摄氏度。測量這個冷結點的方法有很多——使用熱敏電阻或整合溫度感測器的積體電路是較受歡迎的選擇。重要的是要記住，與此溫度基準相關的任何誤差都會被直接加入整個系統的溫度誤差，因此選擇能夠提供給定應用所需精度的溫度感測解決方案至關重要。在理想情況下，此溫度基準將直接在熱電偶端的接處點來測量，因為熱電偶端子與溫度基準之間的任何增量都會導致偏置誤差，我們需要注意這一點並進行校準。

進行分離式設計的最後一個注意事項是韌體開發。一旦熱電偶電壓能被正確地測量和數位化，接下來，設計人員必須將此值轉換成實際溫度。熱電

偶的類型由所用的兩種金屬界定，其必須符合國家標準技術研究所 (NIST) 規定的特性。這可以確保任何熱電偶製造商生產的“K 型”熱電偶都具有相同的表現。NIST 提供了查閱資料表以及描述每種熱電偶傳遞函數的多項式方程式。這些方程式很複雜，可能包含多達 14 階的多項式。因此，在開發方面，當選擇微控制器或數位訊號處理器 (DSP) 來處理這種級別的數學運算時，必須考慮到這一點。最後，韌體還需要考慮到冷結點補償，以提供絕對溫度。

本文剛剛回顧了實現分離式熱電偶解決方案的一些設計挑戰和注意事項（實際情況還更複雜）。除了開發分離式解決方案外，也可以選擇整合度更高的解決方案。這種程度的整合一方面可以降低風險、縮短上市時間並降低製造和庫存方面的成本，另一方面可盡可能地減少一些已知的困難。

有幾家積體電路製造商提供了面向熱電偶應用的調整元件。大多數解決方案包括前端緩衝器 / 儀錶放大解決方案以及類比至數位轉換器。此外，大多數解決方案還包括一個用於冷結點補償的整合溫度感測器，但不會替使用者進行任何生成電壓的後期處理。

Microchip Technology 發佈了整合度極高的“隨插即用”型熱電偶解決方案，包含前端電路、經校準的 ADC、冷結點補償和整合 MCU。MCP9600 的目標是解決上文提到的所有設計問題，包括前端介面、ADC 和相關的參考電壓、冷結點補償以及 MCU（提供了支援八種不同熱電偶類型的數學引

Thermocouple Conditioning Integrated Circuit



擎)。該完整的解決方案允許用戶在一端簡單地連接一個熱電偶，並通過標準的 I²C 介面檢索攝氏度數據。內部 ADC 和冷結點補償溫度感測器均經過工廠校正，允許使用者在整個熱電偶溫度範圍內實現 1.5 度的精度。利用整合 MCU，您還獲得了其他的一些有用的功能，如可程式設計的溫度警報、數位濾波選項及多種低功耗模式。

熱電偶是誕生最早、使用最廣泛的電子溫度感測元件。熱電偶廣泛地應用於各種應用，包括醫療

過程、科學研究、自動化製造工藝以及各種消費類產品，在這些應用中，溫度是測量或控制系統的重要參數之一。該感測元件具有溫度範圍廣、設計簡單和熱響應快等諸多優點，但相關的調整電路可能會比較複雜。分離式解決方案經濟高效，但需要仔細考慮影響解決方案整體精度的衆多誤差源。為了解決這些設計難題，積體電路製造商正在不斷地開發更高整合度的解決方案，如 MCP9600，以便最終用戶能夠降低風險、縮短上市時間並縮減成本。CTA

紅帽助力企業實現深層的數位轉型



照片人物：紅帽台灣、香港、澳門暨中國華南區區域總經理文志鋒

《2017 紅帽論壇》以《開源創新 始於個人》(The Impact of The individual)為主題於 2017 年 12 月 13 日來到台北盛大舉行。

紅帽高峰論壇上除了頒發年度《紅帽亞太區創新獎》予玉山銀行，攜手英特爾、HPE 慧與科技、聯想、雲達科技等事業夥伴，共同展現開放原始碼生態系統夥伴的創新成果之外，並與現場貴賓深入交流及探討企業開放原始碼的發展趨勢和願景、用戶成功案例及關鍵痛點解決方案，以及混合雲管理(CloudForms)、具備 Docker 和 Kubernetes 最新技術的 OpenShift、雲端原生容器技術等多項熱門技術與話題。

紅帽台灣、香港、澳門暨中國華南區區域總經理文志鋒表示，「90% 以上的全球財星 500 大

企業使用紅帽的產品與解決方案，紅帽能夠敏銳地察覺市場變化並迅速做出反應，才能讓企業在激烈的競爭中立於不敗之地。

為了進一步幫助企業用戶利用紅帽豐富的開放原始碼專業技術因應業務和 IT 挑戰，繼美國、英國地區之後，紅帽也在新加坡設立了亞太地區第一個紅帽開放創新實驗室。紅帽開放創新實驗室的指導專家，由來自紅帽顧問、工程、業務和全球支援服務部門的精銳團隊組成，能夠協助用戶的 IT 團隊充分理解開放原始碼的開發方式和敏捷工作流程。

為表彰本地企業用戶和合作夥伴所取得的技術成就，肯定其創新思維、解決問題的能力以及以創新方式運用紅帽技術，紅帽自 2011 年起，發起了每年一度的紅帽亞太創新獎，所有獲獎者均經由業界和開源技術專家組成的小組評估。在《2017 紅帽論壇》台北站中，由玉山銀行贏得此項殊榮。

玉山銀行獲獎的類別為數位化轉型。作為亞洲最佳銀行之一，玉山銀行為進行數位化轉型，保持並提升核心競爭力，首先需要構建靈活的標準化業務平台。玉山銀行藉由紅帽企業 Linux、紅帽衛星、紅帽 JBoss 企業應用平台與紅帽 JBoss BPM 套件，建立了快速彈性的 IT 環境，實現將應用與服務加速推向市場的目標。