

將 1V 至 5V 訊號轉換為 4mA 至 20mA 輸出

凌力爾特應用技術工程師
Thomas Mosteller

長久以來，儘管人們一直預測，4mA 至 20mA 電流迴路將消失，但是這種類比介面仍然是連接電流迴路電源與檢測電路的最常見方法。這種介面需要將電壓訊號 (典型值為 1V 至 5V) 轉換為 4mA 至 20mA 的輸出。嚴格的準確度要求決定，必須使用昂貴的精密電阻器或微調電位器，以校準較不精密元件的初始誤差，滿足設計目標要求。在今天以自動測試設備為主導和表面黏著型生產環境中，這兩種方法都不是最好的。獲得採用表面黏著封裝的精密電阻是很難的，且微調電位器又需要人工干預，而這種要求與生產環境是不相容的。

凌力爾特的 LT5400 四匹配電阻器網路則可解決這些問題，該網路採用一種簡便的電路，不需要微調，可實現小於 0.2% (圖 1) 的整體誤差。該電路採用兩級放大器，利用了 LT5400 獨特的匹配特性。第一級放大器將來自 DAC、典型值為 1V 至 5V 的輸出加到運算放大器 IC_{1A} 的非反相輸入。這個電壓通過 FET Q₂，將通過 R₁ 的電流準確地設定為 V_{IN}/R₁。這個電流通過 R₂ 拉低，因此 R₂ 底端的電壓為 24V 迴路電源電壓減去輸入電壓。

此部分電路具有 3 個主要誤差源：R₁ 和 R₂ 的匹配；IC_{1A} 的失調電壓；以及 Q₂ 的洩漏電流。R₁ 和 R₂ 的準確值並不重要，但是它們必須相互準確匹配。LT5400A 級版本以 ±0.01% 的誤差實現了此一目標。LT1490A 在 0 至 70°C 之間具不到 700μV 失調電壓。這個電壓在 1V 輸入電壓時產生 0.07% 的誤差。NDS7002A 的洩漏電流為 10nA，儘管其數值通常小得多。這個洩漏電流代表 0.001% 的誤差。

第二級靠拉動通過 Q₁ 的電流，保持 R₃ 上的電壓等於 R₂ 上的電壓。因為 R₂ 上的電壓等於輸入電壓，所以通過 Q₁ 的電流準確地等於輸入電壓除以 R₃。透過為 R₃ 並聯一個精確的 250Ω 分流電阻，該電流可準確地追蹤輸入電壓。

第二級的誤差源是 R₃ 的值、IC_{1R} 的失調電壓和 Q₁ 的洩漏電流。電阻器 R₃ 直接設定輸出電流，因此其值對於該電路的精確度相當重要。這個電路利用常用的 250Ω 並聯電阻完成電流迴路。圖中的 Riedon SF-2 器件的初始準確度為 0.1%，溫度漂移很低。與第一級的情形類似，失調電壓產生不超過 0.07% 的誤差。Q₁ 的洩漏電流低於 100nA，所產生的最大誤差為 0.0025%。

沒有任何微調時，總輸出誤差好於 0.2%。電流檢測電阻器 R₃ 是主要的誤差源。如果使用一個更高品質的元件 (例如 Vishay PLT 系列元件)，那麼可以實現 0.1% 的準確度。電流迴路輸出在使用中受到相當大的壓力。輸出至 24V 迴路電源及地之間的二極體 D₁ 和 D₂ 幫助保護 Q₁；R₆ 提供一定的隔離。藉由提高 R₆ 的值，在輸出端以犧牲一些符合條件的電壓作為代價，可以實現更高的隔離度。如果最高輸出電壓要求低於 10V，那麼可以將 R₆ 的值提高到 100Ω，針對輸出壓力提供更高的隔離度。如果設計方案需要增強保護，那麼可以給輸出加上一個暫態電壓抑制器，當然這麼做會由於洩漏電流而導致輸出準確度有一定的損失。

此種設計方案僅使用了 LT5400 封裝中 4 個匹配電阻中的兩個。還可以將另外兩個電阻用於其他電路功能 (例如: 精確的反相器), 或者另一個 4mA 至 20mA 轉換器。另外, 還可以導入其他電阻與 R_1 和 R_2 並聯。這種方法可降低了電阻器產生的統計誤差, 其降幅則為 2 的平方根。

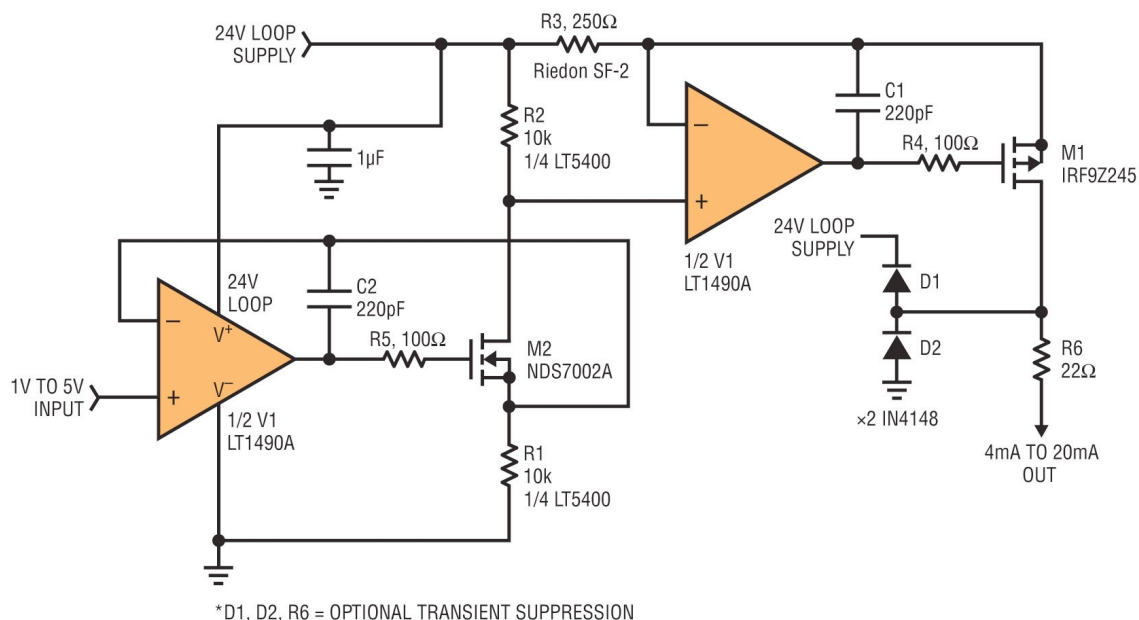


圖 1：精準匹配的電阻提供準確的電壓至電流轉換