

精準與效率的電流感測解決方案帶來工業電源革新

■作者：Steve Hsiao

Diodes 公司全球策略技術行銷部門

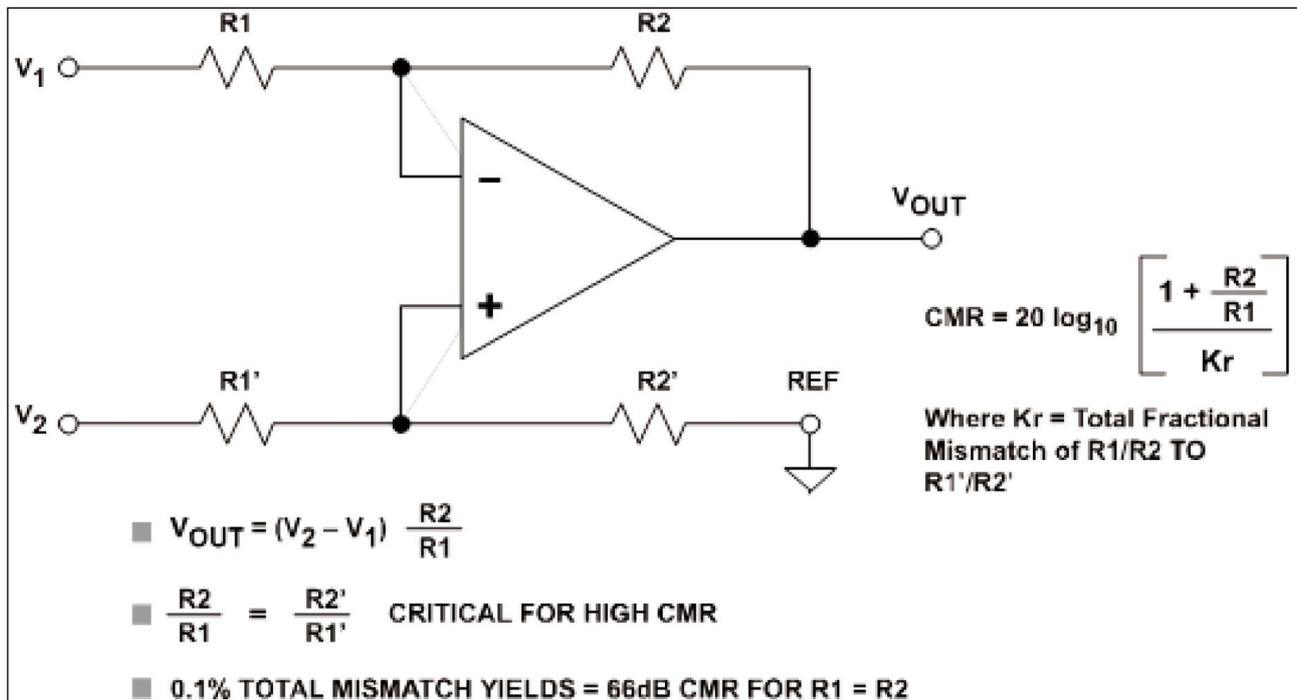
在工業電源與 USB Power Delivery (PD) 3.0 標準快速演進的環境中，精準、高效和可靠的電流感測解決方案變得空前關鍵。ZXCT21x 系列為專用電流感測放大器系列全新產品，為改變工程師電流測量方式而設計，適用於筆記型電腦、擴充塢和可攜式充電器等產品應用。本文探討電流感測相關的常見挑戰、傳統分離元件解決方案的限制，並說明為何 ZXCT21x 系列成為更優秀的替代方案，有望簡化設計流程並顯著提高各種工業和消費產品應用的系統

效能。

ZXCT21x 元件適用低於 26V 的電軌，單向和雙向應用的高側或低側感測。目標應用包括各類電池管理系統，用於測量電池充電與放電電流、監控速度控制和保護馬達的平均電流、監控調節和過載保護電源的輸出電流、測量增強太陽能發電系統效能的面板電流、監控各種控制和診斷工業自動化設備的電流、測量可攜式電子裝置的電池汲極電流並最佳化用電量。

如果使用分離元件，要達到與 ZXCT21x

圖 1：元件選擇、校準和效能是分離元件解決方案的重要考量因素。



專用電流感測放大器相同的精準度並不容易。電路設計會變得更複雜，需要使用多個被動元件並謹慎選擇運算放大器，以滿足所需的增益、頻寬和共模抑制比 (CMRR) (請參閱圖 1)。

在典型分離元件電路中，使用四個增益電阻器和一個運算放大器的，就需要符合電阻器容差。分離元件解決方案通常需要手動校準以補償元件變化和漂移，進一步增加了設計的複雜性。此外，由於輸入運算放大器的補償電壓隨著溫度而變化，因此處理補償漂移的難度便會增加，會對精準度產生負面影響。另外，在雜訊、補償電壓和功耗方面，分離元件提供不同於 ZXCT21x 專用電流感測放大器的效能等級。

使用專用電流感測放大器有多個優點。ZXCT21x 系列可簡化電流感測電路，這些元件易於使用且僅需要極少的外部元件。ZXCT21x 專為測量電流而設計，透過仔細校準和內部補償技術，可實現高精準度。與分離元件解決方案相比，ZXCT21x 具有良好的雜訊效能、低補償電壓和低功耗。更重要的是，雖然分離元件看似更便宜，但設計複雜性、校準工作和有可能犧牲效能會帶來額外成本，從而總成本可能更高。

由於 26V 共模電壓 (VCM(max)) 的限制，ZXCT21x 僅適用低於 26V 的電軌高側感測。相反地，由於 VCM (min) 的限制，負電壓感測應高於 -0.3V。由於頻寬限制為 4kHz 至 80kHz，此元件也不適用於監控電感負載的動態切換電流。

ZXCT21x 可測量的最大電流取決於歐姆定律。例如：在 I_{sens} 為 100A、 R_{sens} 為 0.1Ω 的條件下，最大 V_{sens} 則為 10mV。電流測量解析度依所選增益和參考電壓 (V_{ref}) 而定，增益分別為：50、75、100、200、500 或 1000。一般來說，增益越低，解析度越高，但

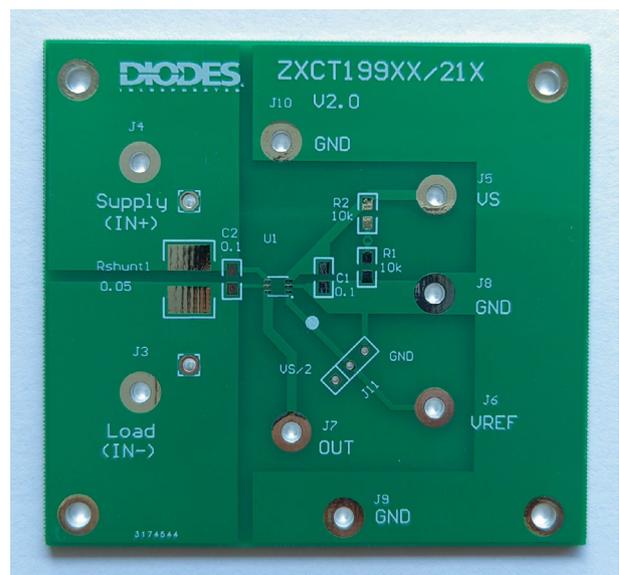
輸出電壓越低。因此，在設計電路時，必須考慮解析度和動態範圍之間的平衡。

ZXCT21x 採用 2.6V 至 26V 的單一電源供電，最大輸出電壓與電源電壓相同。為盡量減少雜訊，需確保良好的電源濾波並確實接地。接地對於測量精準度至關重要，因此，需使用共用接地平面，並將接地 (GND) 接腳連接到低阻抗接地。

一般來說，ZXCT21x 並不需要校準，因為作為高精度元件，補償電壓僅為 100μV，最大增益誤差為 0.8%。ZXCT21x 具有零漂移核心，可在 -40°C 至 +125°C 完整操作溫度範圍內提供僅 0.5μV/°C 的輸入補償漂移。在此溫度範圍之外，精準度可能會略有漂移，如有需要，請將溫度補償考量在內。不過在設計系統時，尤其是在高電流或寬廣溫度範圍下，可以在工廠模式下進行手動校準。使用內建微控制器 (MCU)，可將補償電壓和增益誤差校準為盡可能接近零，以獲得最佳精準度。

此外，PCB 布局至關重要。避免高電流走線靠近敏感的類比電路，使用適當的旁路和濾波電容，並盡量減少走線電阻和電感。並依應

圖 2：ZXCT21x 的評估板概覽圖。



用需求不同，也可考量保護功能，例如反向電流保護、過電流保護和 ESD 保護。

為支援您往後的設計，Diodes 公司提供免費的評估板和技術服務，包括應用說明。評估板如圖 2 所示，包含一個採用 SOT363 封裝的 ZXCT21x、一個位於電源端的去耦合電容、一個位於輸入端的干擾抑制電容、兩個用於選擇 V_{REF} 的分壓電阻、一個用於為 V_{REF} 端子連接不同電壓的選擇器，以及個件測試點接頭 (省略 R3 和 R4)。

一般應用經常會使用圖 3 所示的電路。圖中的 ADC 輸入接腳連接至 MCU 接地接腳。此

電路的優點為：無論 V_{REF} 接腳如何連接，ADC 輸入電壓始終等於 $(V_{1.0}-V_{2.0}) \times$ 增益。這表示只需一次測量即可獲得所需資料，減少 ADC 和 MCU 的工作負載，並提高效率。

相比之下，圖 4 所示電路需從 V_{REF} 中減去測量數值，且該 V_{REF} 值必須事先設定或單獨測量。這會增加 MCU 的工作負載。ZXCT21X 的電源電壓通常設定為 5V 或 3.3V，ADC 的輸入電壓範圍分別為 0V~5V 或 0V~3.3V。由於 ADC 和 MCU 必須具有相容的電壓位準，因此如果兩個元件是在不同電壓下操作，則需使用電位轉換電路來轉換兩個元件間的訊號。如有

圖 3：建議電路應用，其中 ADC 的輸入接腳連接至 MCU 的接地接腳。

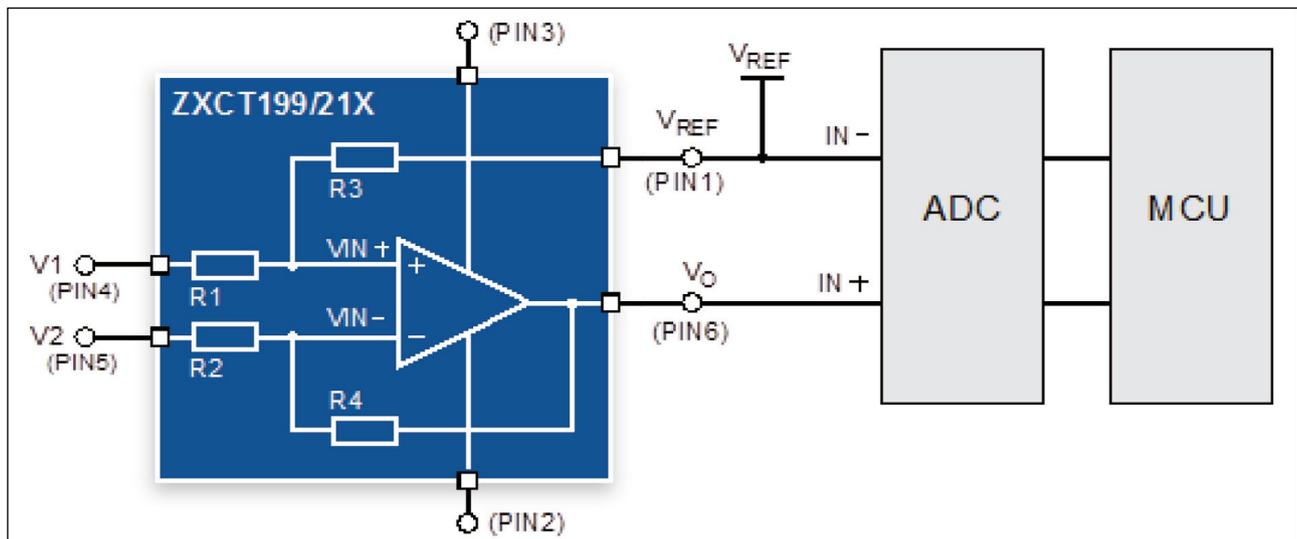
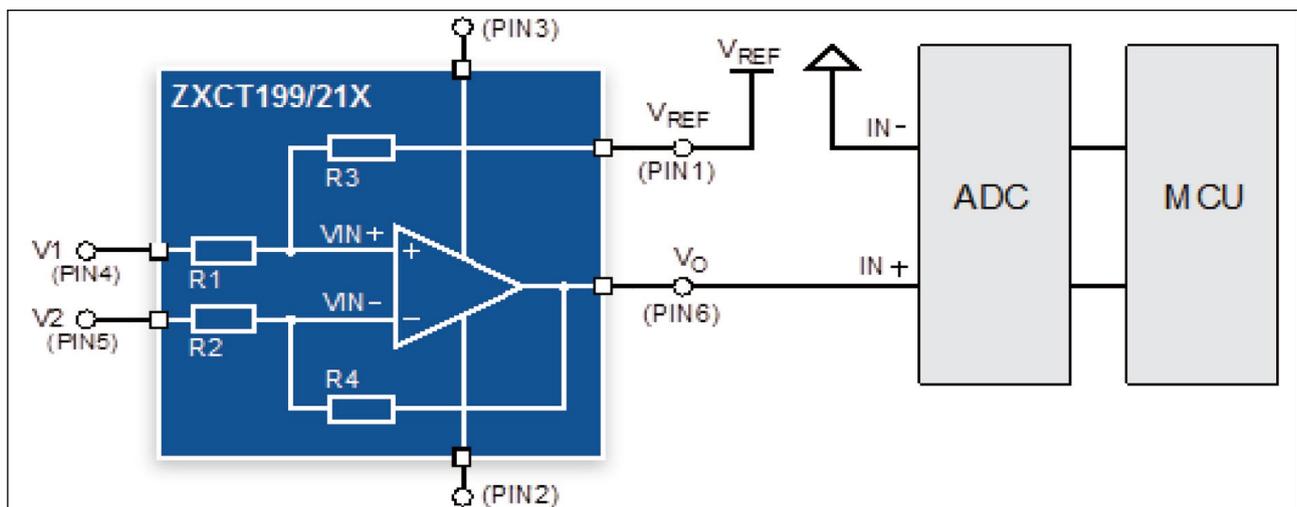


圖 4：較少使用的 ZXCT21x 應用電路圖。



干擾，應根據需要在輸入和輸出部分增加濾波器，濾除干擾訊號並改善穩定性。

若要測量雙向對稱電流，需將 V_{REF} 電壓設定為電源電壓的一半。若為單向正電流，則將 V_{REF} 電壓設定為 0.5V (或 0.2V 等電壓)。這將限定輸出電壓範圍為 0.5V 至 4.5V (或 0.2V 至 4.8V)。電流為零時，輸出電壓將等於 V_{REF} 。達到最大電流時，輸出電壓將為最高值，這增加了輸出電壓的動態範圍。

同樣地，若要測量單向負電流，需將 V_{REF} 電壓設定為 4.5V (或 4.8V 等)，即可限制輸出電壓範圍為 0.5V 至 4.5V (或 0.2V 至 4.8V)。達到最大電流時，輸出電壓將等於 V_{REF} 。達到最小電流時，輸出電壓將為最低值，這也增加了輸出電壓的動態範圍。

總而言之，ZXCT21x 系列可為各種產品應用的電流感測需求提供具有說服力的解決方

案，特別是工業電源 (12V/24V) 和 USB PD 3.0 標準 (5/9/15/20V) 應用，例如筆記型電腦、擴充埠和可攜式充電器等裝置。該系列解決與電流感測相關的常見挑戰，為複雜且精準度欠佳的分離元件解決方案提供簡化的替代方案。

雖然分離元件看似具有成本效益，但增加了設計複雜性、校準工作，並可能犧牲效能，最終可導致整體成本上升和系統效能欠佳。ZXCT21x 系列無需手動校準和複雜的元件匹配，不僅簡化設計流程，還能提高系統的整體精準度、效率和可靠性。

然而，需要注意 ZXCT21x 系列有其限制，包括共模電壓範圍和頻寬限制，從而可能不適合某些產品應用。雖然存在限制，但對於電池管理系統和工業自動化設備等產品應用而言，該系列元件仍表現出色，可為電流測量和監控提供多功能解決方案。CTA

IPC 統計

9 月份北美 EMS 行業出貨量增長 10.3%

IPC 宣佈了其北美電子製造服務 (EMS) 統計計畫 2024 年 9 月的調查結果。帳面與帳單比率為 1.26。

2024 年 9 月，北美 EMS 總出貨量同比增長 10.3%。與上月相比，9 月份的出貨量增長了 2.0%。9 月份 EMS 預訂同比增長 19.6%，比上月下降 10.8%。

IPC 首席經濟學家 Shawn DuBravac 表示：“北美 EMS 帳面與帳單比率仍接近今年的中點，突顯出該行業的需求穩定。”。“雖然 9 月份的訂單反映出比上個月有所下降，但它們表明預訂持續彈性。”

