

如何利用輸入高阻技術降低解決方案的功耗並減小尺寸

在多工 (muxed) 逐次逼近暫存器類比數位轉換器 (SAR ADC) 應用中，一般會有尺寸和功耗限制，這通常取決於每通道類比訊號鏈的設計選擇。本文說明為何採用類比輸入高阻 (高阻抗) 技術的多工 SAR ADC 是在不影響性能和精度的情況下，能大幅減小解決方案尺寸和降低功耗的關鍵。

■作者：Sanjay Rajasekhar

Arvind Shankar / ADI 應用工程師

多工 SAR ADC 通常用於需要不斷監測系統中多個關鍵變數的應用。在光通訊應用中，可以透過光功率測量監測鐳射偏壓，而在 VSM 應用中可以監測來自電極的 EEG/ECG 訊號。這些多工應用有一些共同的要求：

- 有很多通道需要監測。一般來說，ADC 會按順序監測所有通道。
- 通道電壓通常彼此不相關。
- 在系統尺寸和功耗方面存在嚴格的限制。

由於上述這些要求，設計人員會面臨一些挑戰。當 ADC 在一個通道

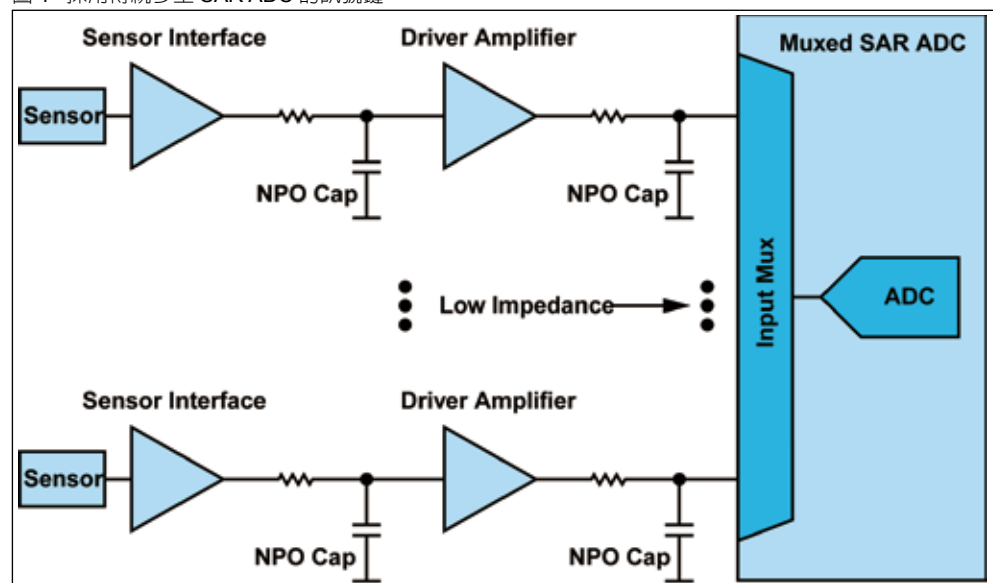
上完成轉換時，ADC 內的採樣電容會充電至該通道電壓。如果採樣電容的電壓與序列中下一個通道的電壓相差很大，則必須透過訊號鏈設計，使採樣電容能夠在允許的採樣時間內準確地穩定在新電壓。過去通常是使用一個寬頻驅動放大器，再配合一個 RC 濾波器來解決這個問題。典型的訊號鏈如圖 1 所

示。

感測器可以輸出電壓或電流，而感測器介面電路可以分別是一個儀錶放大器或一個互阻抗放大器。電容通常為 NP0/C0G 型，因為其它類型的電容會造成明顯的失真。NP0 電容線性度高，但密度低。選用的 NP0 電容也要比 ADC 內部採樣電容的值大得多。其執行兩個關鍵功能：

- 減少 ADC 採樣電容的反沖
- 濾除所需穩定頻寬以外的雜訊來降低訊號鏈的寬頻雜訊

圖 1: 採用傳統多工 SAR ADC 的訊號鏈。



在傳統的訊號鏈中，每個通道必須使用驅動放大器和大電容。每個驅動放大器的功耗在零點幾毫安培到幾毫安培之間。每個電容（包括間隙）可能佔據約 1 mm^2 的電路板面積。如果多個通道都採用這種訊號鏈，將非常不利於減小系統尺寸和降低功耗。這是目前多工 SAR ADC 應用中的主要問題之一。

什麼是輸入高阻技術？

就類比輸入而言，高阻技術是指一組電路技術，可在不消耗靜態或連續功率的情況下，大幅提高 ADC 的有效輸入阻抗。這使得 ADC 的輸入易於驅動。

假設多工 ADC 正在通道 N-1 上轉換，下一個要轉換的通道是通道 N。

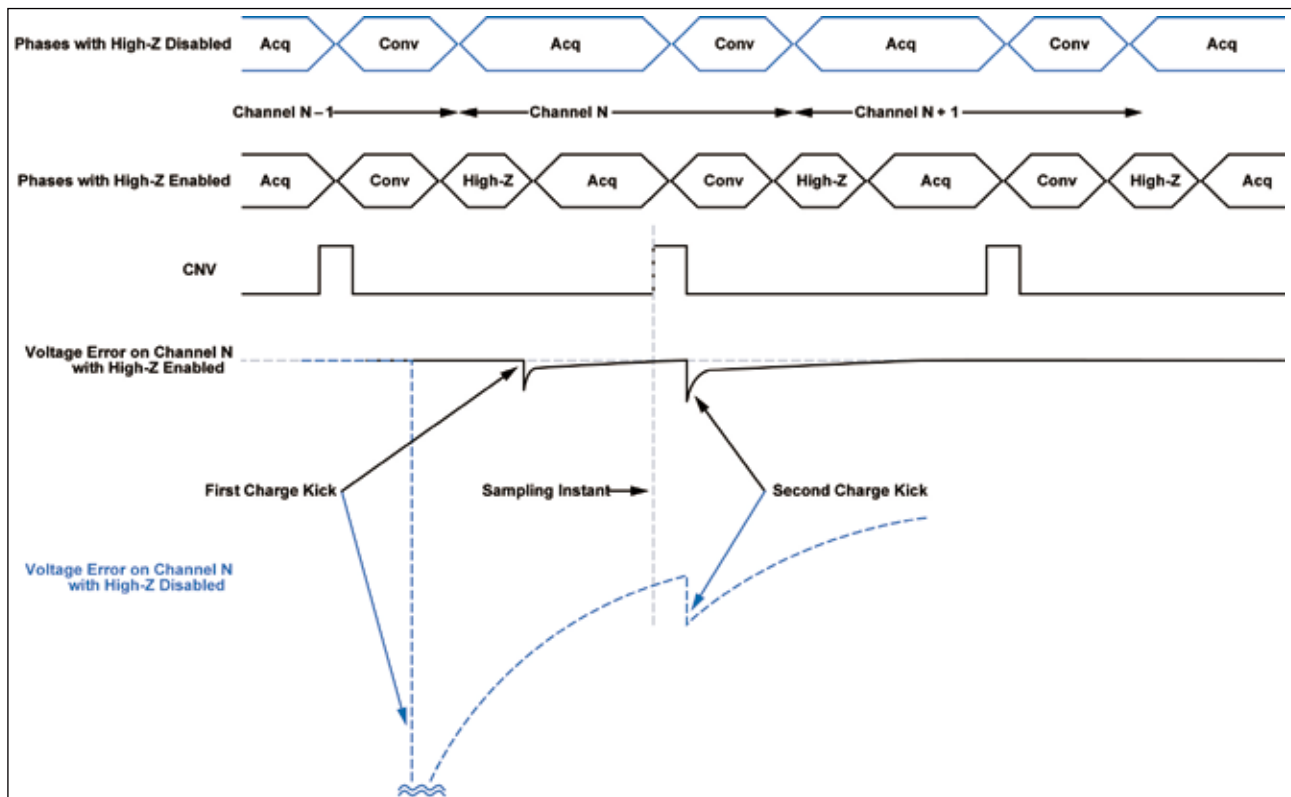
在轉換啟動 (CNV) 的升緣，對通道電壓進行採樣。在圖 2 中，CNV 的第一個升緣對通道 N-1 的電壓進行採樣。然後 ADC 對通道 N-1 上的採樣電壓進行轉換。轉換後，在禁用輸入高阻的情況下，ADC 繼續獲取序列中的下一個通道，即通道 N。通

道 N 上的電壓通常與通道 N-1 上的電壓大不相同，此時要對 ADC 電容充電，達到通道 N 的電壓水準。這會在通道 N（深藍色虛線）上產生巨大的電壓衝擊，並在採樣瞬間 (CNV 的第二升緣) 在通道電壓中引入較大誤差。因此需要一個較大的外部電容來吸收衝擊，並且需要一個驅動放大器來提供必要的電荷。

當啓用輸入高阻時，會對 ADC 的內部採樣電容充電，使其達到將要採集通道的目前電壓水準，然後開始真正的電壓採樣。在通道 N-1 上進行轉換後，立即引入高阻相位，將 ADC 採樣電容精確充電到通道 N 的當前電壓水準。這表示當 ADC 採樣電容連接到外部輸入時，其不會提供任何電荷，也不會導致任何反沖。在實踐中，由於內部開關的電荷注入（第一次電荷衝擊）通常會有較小的殘餘誤差，此種微小的殘餘誤差使得通道 N 採樣瞬間的穩定誤差幾乎可以忽略不計。在啓用高阻的情況下，此電荷誤差將明顯改善系統的穩定動態。

當通道 N 的採樣完成後，ADC 必須繼續進行

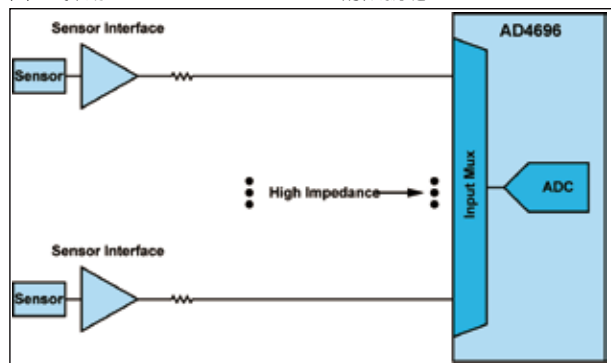
圖 2：啓用和禁用高阻功能時 AD4696 的相位。



轉換。因此，內部開關將 ADC 的採樣電容與外部輸入斷開。由於開關打開電荷注入，這會導致第二次電荷衝擊。一般情況下，第二次電荷衝擊的穩定時間較長，所以第一次電荷衝擊的幅度決定了通道的穩定誤差。因此，必須盡可能減小第一次電荷衝擊的幅度。

AD4696 (新一代多工 SAR ADC) 採用了輸入高阻技術，作為 EasyDrive™ 功能集的一部分。因此，AD4696 在通道上開始電壓採樣時非常平穩。每個通道不再需要反沖吸收電容和驅動放大器。使得系統尺寸和功耗大幅減少，並且訊號鏈明顯簡化，如圖 3 所示。

圖 3: 採用 AD4696 多工 SAR ADC 的訊號鏈。



在 AD4696 系列中實現輸入高阻的重要優勢是執行高阻功能的電路都可按轉換速率進行迴圈上電。因此，高阻功能的功耗將與 ADC 的輸送量成線性比例，就像核心 SAR ADC 本身一樣。相較於刻板的傳統訊號鏈設計，其具有明顯的彈性。

AD4696 的 LTspice 模型中也內建了輸入高阻功能。對第一次和第二次電荷衝擊進行了精準建模，從而可靠地模擬訊號鏈設計中的穩定偽影。

一些細節

回顧一下便會發現，NP0 電容還提供了訊號鏈的寬頻雜訊濾波。如果想去除這個電容，就必須找到其它方法來濾除雜訊。實現相同有效訊號鏈雜訊頻寬的一個簡單方法是增加外部串聯電阻。AD4696 具有一個 60 pF 的內部電容與一個 240 Ω 的典型內部電阻串聯。透過設定外部電阻，我們可以將訊號

鏈雜訊頻寬調整到目標值。

在沒有 NP0 電容的情況下，外部電阻對訊號鏈的雜訊性能、線性度和精度起著重要作用。小阻值電阻有助於快速穩定採樣電荷衝擊，從而提高線性度和精度，但更高的有效雜訊頻寬會導致整體雜訊增加。反之，大阻值電阻對於濾除雜訊效果更佳，但線性度和精度則會降低。

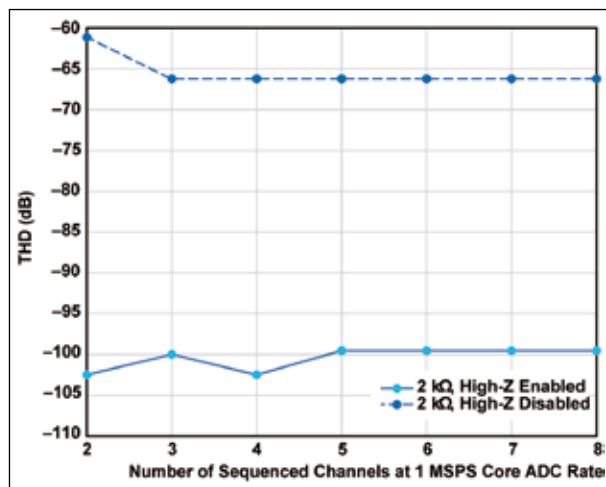
正如下一節所述，AD4696 採用高阻技術的主要優勢，就是允許使用大阻值電阻 (濾除雜訊效果更佳)，且不會降低線性度和精度。其支援對訊號鏈中的所有參數進行優化，包括雜訊、線性度、精度、功耗和解決方案尺寸。

測量結果

在沒有任何 NP0 電容的情況下，用一個 2 kΩ 的外部電阻進行測量。結果顯示，在啟用類比輸入高阻的情況下，交流和直流性能得到了大幅提升。實驗中以 1 MSPS 的速度運行 AD4696 的核心 ADC，但選擇了更多的通道作為輪詢序列的一部分。資料都在一個通道上收集，而序列中其它通道的輸入電壓為 0 V。

圖 4 顯示了 1 kHz、-1 dBFS 訊號音下相關通道的失真性能。當通道在禁用高阻的情況下進行排序時，由於採樣電容未充電到後續通道的電壓水準，因此會出現非線性穩定誤差。這會導致嚴重失真。

圖 4: THD 與序列中通道數的關係。測試音：1 kHz，-1 dBFS。

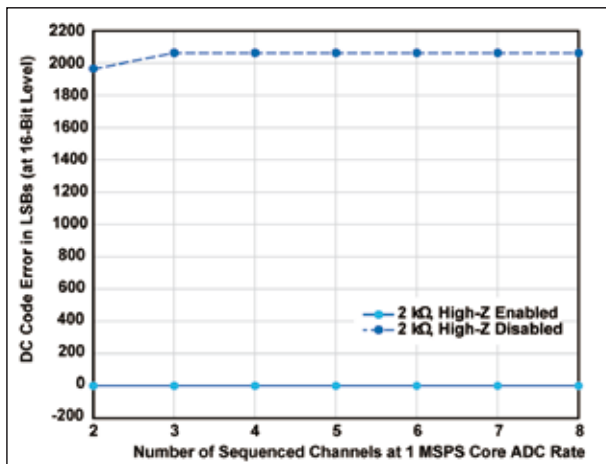


啓用高阻後，失真性能有了很大的改善。

圖 5 顯示了有無高阻功能的直流穩態建立誤差。在這個測試中，相關的通道具有接近滿量程的輸入值，序列中的其它通道驅動電壓為 0 V。在相關通道上進行轉換，同時將越來越多的通道增加到序列中，並繪製出平均輸出代碼與預期代碼的偏移。

當核心 ADC 以低於 1 MSPS 的輸送量運行時，使用者可能需要進一步降低有效的訊號鏈雜訊頻寬來限制類比前端雜訊混疊，這將需要更高的電阻值，而高阻功能非常有助於在這些條件下保持性能。

圖 5: 16 位電平 LSB 中的直流穩定誤差。



結論

AD4696 系列產品採用輸入高阻技術，為多工 SAR 應用帶來諸多優勢如降低系統級功耗、縮減尺寸和元件數，同時保持高水準的交流性能和直流精度。如此每個通道不再需要專用驅動放大器和反沖吸收電容。高阻功能本身的功耗與 ADC 的輸送量成比例，為系統級設計提供了良好的彈性和多功能性。AD4696 的 LTspice 模型則可用來模擬在使用者希望設計的任何系統中電荷衝擊的影響。

致謝

作者在此感謝 Asif Ahmad、Peter Hurrell 和 Tyler Schmitt 對本文的貢獻。 CTA

ADI 於 2022 年慕尼黑電子展亮相，持續引領永續未來

ADI 於 11 月 15 日至 18 日在德國舉辦的 2022 慕尼黑電子展 (electronica 2022, C4 展館第 125 號展位) 展示涵蓋工業自動化和儀器儀錶、汽車、醫療保健、消費性電子及通訊等應用之創新技術和解決方案。

展示亮點：

工業自動化和儀器儀錶

此區展示將涵蓋先進智慧運動控制、資產健康狀態監測、無縫連接之智慧邊緣裝置以及高效電源管理等方案，生動展現 ADI 技術在建構更永續工業未來進程中所發揮的積極作用。

汽車

汽車領域展示包含用於鋰電池儲能的全方位電池管理系統，可在座艙內部同時使用兩個獨立語音助理的 ADI LISTN 平台，以及基於 GMSL 的 SerDes 解決方案，該解決方案將為汽車 OEM 未來在軟體定義汽車中佈署高解析度感測器奠定基礎。

醫療健康

主題展示包含非接觸式健康監控系統、置於患者床墊或枕頭上或內部的業界首款生命體徵監測模組，以及配備低成本功率計的健身車 (此功率計並支援用於活動追蹤腕帶的 ADI 生物特徵識別感測器平台)。ADI 健康感測器平台 4.0 亦將在展示中亮相，此一開源參考設計適用於胸部貼片，可提供全天候的生命體徵監測。

消費性電子及通訊

產品將包含低功耗無線耳機、性能卓越的 soundbar，以及能在人與技術之間實現高度沉浸式互動的下一代消費性電子裝置。通訊解決方案展示則包含高速無線資料互連系統，以及經過優化的 5G RF 訊號鏈電源設計。