

狀態監測系統設計選項及其對訊號鏈建置方案的影響

本文將深入探討狀態監測系統的感測器介面資料獲取 (DAQ) 訊號鏈設計考量。我們將會分析系統架構、感測器類型和分析方法等設計選項會如何影響 DAQ 訊號鏈設計，並透過詳細論證兩種 DAQ 訊號鏈設計示例，將這些理論應用於實踐。

■作者：Naiqian Ren / ADI 應用工程師

簡介

狀態監測的核心價值在於能長期節省成本。透過提供預測性維護，可以降低維護成本，並消除意外的生產停機，從而節省成本。能否實現這一價值，取決於狀態監測系統在開發早期階段準確檢測並識別故障問題的能力。

與開發後期非常明顯且易於檢測的災難性故障不同，開發早期的故障只會使資產的正常運作行為產生微小偏差。這種偏差也可能是暫時的。要正確檢測和分類早期故障特徵，通常需要使用感測方式各異的高性能感測器來作為整個監控解決方案的組成部分。這些感測器需要與性能匹配的 DAQ 訊號鏈連接，以充分利用其感測能力。然後，可以使用專用演算法來組合和處理這些資料，以確定所監控資產的整體狀況。

與所有系統設計一樣，在設計狀態監測系統時需要做出許多選擇。每種選擇都會伴隨相應的權衡和取舍，可能會徹底改變 DAQ 訊號鏈設計。

系統級考慮因素

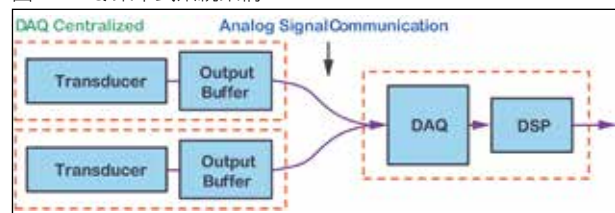
系統架構

對於狀態監測 (CM) 系統，要考慮的第一層因素是系統架構。根據感測器和 DAQ 訊號鏈之間的相對位置，可以使用幾種常見的 CM 系統架構選項，每種都有一定的優勢。

以 DAQ 為中心

典型的 DAQ 集中式系統將多個資料擷取通道集中部署在某個位置，通常是以櫃式 / 架式儀器的形式。感測器佈署在較遠位置，使用類比電纜連線至 DAQ 系統。

圖 1: DAQ 集中式系統架構。



現有的許多測量解決方案廣泛使用 DAQ 集中式架構。大部分台式振動監測儀器和工業類比輸入模組都使用這種架構。在設計具備內建 CM 功能的資產時，也適合使用這種架構，例如，在電機和泵中整合 CM 功能時。

這種架構的一些重要優勢包括：

- 低佈線成本。通常使用低成本同軸電纜和雙絞線在感測器和 DAQ 之間遠距離傳輸訊號。
- 穩固的介面。設計採用多個標準介面協定 (例如 IEPe 和 4 mA 至 20 mA 電流迴路) 來確保在嘈雜環境中提供穩固的感測器介面。
- 彈性的感測器支援。可以根據不同的測量要求，將同一個 DAQ 系統設計為支援多種感測器類型。
- 支援嚴苛的操作環境。感測器和 DAQ 訊號鏈之間物理分隔使得某些感測器能夠在電子元件通常不支

援的條件下運行，例如在極高 / 極低工作溫度下。

- 更高效的 DAQ 訊號鏈配置。訊號鏈設計可以共用更多公共模組，以提高效率和降低成本。

採用 DAQ 集中式架構的 CM 系統的典型資料獲取訊號鏈設計要求：

- 性能。大部分 DAQ 集中式系統設計都支援多種感測器類型。其中一些具有雙重功能，也能作為通用 DAQ 儀器使用。這些需求提高了 DAQ 訊號鏈的性能要求，以及寬動態範圍、可調頻寬、交流線性度和直流精度等需求指標。
- 輸入保護。由於 DAQ 集中式系統的輸入終端經常暴露在外圍環境中，所以很容易受到錯誤接線、訊號傳輸距離過遠和 ESD 等因素的影響而損壞。通常需要額外的保護電路來保護 DAQ 輸入。
- 混疊抑制。使用 DAQ 集中式體系結構的系統供應商並不總是控制感測器和系統要使用的輸入訊號。因此，這些系統需要能夠抵抗目標測量頻段之外的訊號混疊和雜訊。其中許多系統都要求 DAQ 能夠完全抑制所有帶外訊號。
- 功率和區域。與其他系統架構相比，DAQ 集中式架構對 DAQ 訊號鏈的功耗和解決方案尺寸的限制較少。但是，一些較新的系統開始要求更高的通道密度，使得 DAQ 訊號鏈解決方案的大小和熱密度成為更加重要的設計考慮因素。

邊緣節點

與 DAQ 集中式架構相比，邊緣節點架構處於解決方案整合級別的另一端。在基於邊緣節點的系統中，感測器、DAQ 訊號鏈和訊號處理單元彼此非常靠近。訊號檢測、獲取和處理都在邊緣進行。處理後的數據透過有線或無線通訊鏈路發送到主機。

許多由電池供電的智慧狀態監測系統採用邊緣節點架構，具有以下優點：

- 易於安裝。特別是對於無線系統，安裝邊緣節點系

圖 2: 邊緣節點系統架構。



統時，在傳感節點之間部署長電纜時要更加容易。

- 優化設計。由於整個系統定義更明確、更獨立，所以更易於設計出優化的訊號鏈。

採用邊緣節點架構的 CM 系統的典型 DAQ 訊號鏈設計要求：

- 性能。明確知道需要將哪些感測器連接至 DAQ，就可以客製化 DAQ 訊號鏈設計和改善效率。但是，有限的功率預算（尤其在電池供電式系統中）會限制感測器和訊號鏈的性能。
- 輸入保護。由於系統獨立自足，類比 DAQ 訊號鏈不會暴露在外圍環境中，所以類比 DAQ 訊號鏈輸入保護要求也相對放寬。
- 混疊抑制。同樣，感測器和 DAQ 系統之間的距離很短，加上獨立式物理結構，使得邊緣節點系統不太可能接收到帶外干擾。DAQ 系統可能仍然需要提供某種程度的濾波保護，以免受節點內部的干擾，例如來自感測器時脈元件、電源和通訊鏈路的干擾，但所需的抑制等級要低於 DAQ 集中式系統。
- 功率和區域。對邊緣節點系統來說，低功耗和精巧的解決方案尺寸是常見要求。對於電池供電式系統，低功耗是關鍵。系統的尺寸會影響系統外殼的材料成本、安裝的難度，對於振動傳感系統還會影響感測器的機械特性。

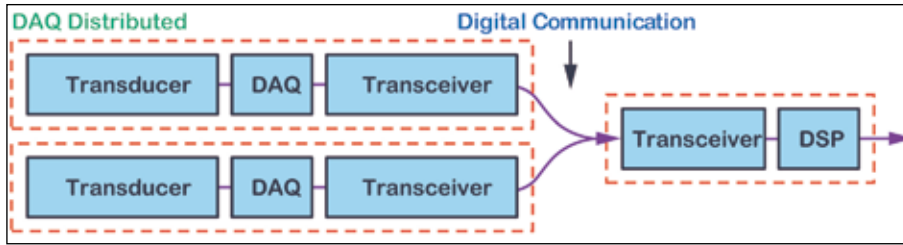
DAQ 分散式系統

DAQ 分散式架構位於 DAQ 集中式架構和邊緣節點架構之間。在這種架構中，DAQ 訊號鏈位於感測器一側，資料處理能力有限或沒有資料處理能力。採集到的感測器資料透過數位有線鏈路（例如 RS-485 或 10BASE-T1L 乙太網路）傳輸至集中式主機進行後處理。

DAQ 分散式架構的優勢包括：更標準化的通訊介面、與大型的工廠自動化系統的整合度更高。

DAQ 分散式系統的訊號鏈設計考慮與邊緣節點系統相似。

圖 3: DAQ 分散式系統架構。



器通常由與 DAQ 訊號鏈共用的單端 3.3 V 至 5 V 電源供電。與之相比，具有 IEPE 介面的壓電式加速度計通常由 24 V 電源產生的 ~4 mA 恆定電流源透過雙線電纜供電，感測器輸出為基於直流偏置電壓（一般為

8 V 至 10 V）的交流訊號，該訊號一般需要先緩衝、衰減和進行位準轉換，然後才能被 ADC 擷取。

感測器

檢測模組

選擇狀態監測系統中使用的感測器時需考慮多個因素，第一個是要支援的檢測模組。就像醫生透過監控患者的多項生命體徵能更佳診斷他們的健康狀況一樣，監控資產的多項參數也可以提高故障檢測的準確性。例如，已經證明在開發的早期階段，振動監測是檢測機械故障的可靠方法。溫度是狀態監測中的另一個重要輔助參數，因為許多故障類型都會導致發熱。狀態監測中使用的其他常見檢測模組包括：聲音、電能品質、應變、扭矩和位移。給定的狀態監測系統具體組合使用哪些檢測模組，還取決於所監控的資產類型和要檢測的故障類型。

感測器類型

同樣的感測模組也可以選擇多種感測器類型。不同類型的感測器可能有不同的屬性和介面要求，沒有一種感測器適合所有狀態監測系統。

以振動監測為例。常見的振動感測器類型包括 MEMS、壓電式（壓電）和壓阻式（動態應變儀）。MEMS 加速度計功耗低、重量輕、體積小，非常適合採用邊緣節點架構的系統。壓電式加速度計可以支援非常寬的頻寬並具有高動態範圍。具有 IEPE 介面的壓電感測器與許多振動監控儀器相容，透過搭配使用，可以建構採用 DAQ 集中式架構的狀態監測系統。

這兩種感測器對介面的要求也有很大的不同。有些 MEMS 加速度計提供數位輸出，可以直接連接到微處理器上。大多數高性能 MEMS 加速度計都提供類比輸出，需要使用資料獲取訊號鏈。MEMS 感測

通道數

另一個與感測器相關的考慮是使用的感測器數量，這會直接影響所需的 DAQ 通道數量。狀態監測系統可以在多個位置部署相同類型的感測器，以更全面地掌握資產的狀況。例如，一對振動感測器可以正交放置，以提供更準確的資產振動幅度資訊。三軸振動感測器可以安裝在任何角度位置，並且對各個方向的振動仍具有充分的靈敏度。某些故障診斷方法也依靠多個訊號之間的相位差來三角測量故障位置。這要求狀態監測系統同時從多個相同類型的感測器獲取訊號，可以轉化成對 DAQ 訊號鏈的同步採樣、相位匹配和通道採樣同步要求。

分析方法

分析方法的選擇也是影響 DAQ 訊號鏈設計決策的重要因素。

頻域分析

頻域分析是一種常用的狀態監測方法，用於監控移動機械。旋轉機器基頻倍數的諧波可以透過振動、聲音和電能品質等感測模組進行檢測。確定這些諧波的振幅和頻率是分析機器運行狀況的第一個基本步驟。

利用快速傅立葉轉換 (FFT) 對時域樣本進行轉換，可以得到頻域資訊。在進行頻率分析時，需要考慮的關鍵 DAQ 訊號鏈設計參數包括：

■ 目標頻寬。目標頻寬測量取決於被監控資產的屬

性和故障覆蓋類型。監控齒輪箱軸承所需的振動監控頻寬可能遠高於監控風塔結構擺動所需的頻寬。整個監控訊號鏈應具有足夠頻寬，足以涵蓋最高目標能量譜分量。

- **振幅平坦度。**要進行頻率分析，通常要求目標頻率上的振幅回應保持平坦，即增益在頻率上保持恆定。感測器回應和 DAQ 訊號鏈內部的濾波回應可能使得振幅回應隨頻率變化。透過選擇在目標頻段上具有平坦回應的感測器，並將濾波器設計為具有平坦的通帶回應，可以實現良好的平坦度。
- **帶外訊號抑制。**目標頻帶外的訊號對狀態監測系統無用，可能會消耗寶貴的處理資源，甚至是污染目標訊號。對於 DAQ 訊號鏈來說，最好去除目標頻帶外的所有訊號。
- **雜訊。**與訊號平坦度一樣，測量系統要求在目標頻帶上具有均勻平坦的雜訊譜密度 (NSD)。雜訊基準應低於最小的目標訊號幅度。因為調變增益，FFT 處理功能還具有一個額外優勢，即可以降低頻率輸出中的總體雜訊基準。簡單的說，就是處理的樣本越多，bin 的尺寸就越窄，每個 bin 內的功率雜訊就越低。這使得測量系統能夠人工增大其測量動態範圍 (僅在頻域中)，以檢查原本將會低於雜訊基準的訊號。調變增益的限制在於：需要很大的記憶體和更長的處理時間。測量訊號鏈的無雜散動態範圍 (SDFR) 也可以設定要測量的最小有意義訊號幅度。
- **動態線性。**在進行頻域諧波分析時，低諧波失真非常重要。測量訊號鏈的非線性引起的額外諧波會掩蓋故障條件引起的真實諧波訊號偏差。

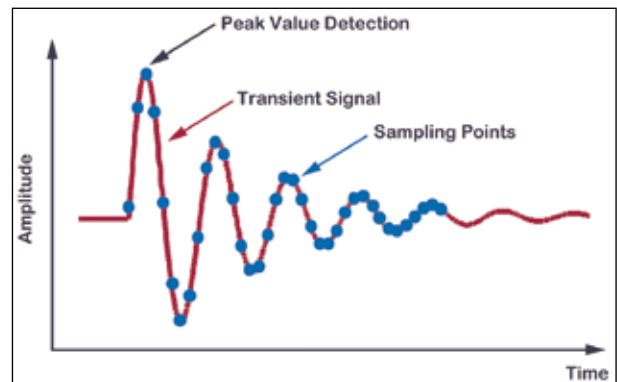
時域分析

頻域分析只能監控週期性訊號，例如旋轉機器本身產生的訊號。要監控以非週期性方式運行的資產，例如進行線性和往復運動的資產，以及基於特定時序運行的資產，例如液壓 / 氣缸，則需要採用時域分析。即使是監控旋轉機器，某些分析方法 (例如衝擊脈衝法) 也依賴於時域資料分析。

透過簡單分析採樣得到的資料波形，即可獲得時域資訊。在進行時域分析時，需要考慮的關鍵的 DAQ 訊號鏈設計參數包括：

- **目標頻寬。**測量訊號鏈的頻寬應足夠寬，以免最高目標頻率下的訊號波形失真。測量頻寬要求通常不是由瞬態事件發生的頻率決定的，而是由瞬態事件導致的訊號的振盪頻率決定的。在某些情況下，例如使用衝擊脈衝法進行監控時，瞬態事件引起的訊號振盪由感測器的諧振頻率決定。
- **採樣速率。**與頻率分析 (原則上，有效訊號採樣速率無需高於要監控的最高能量譜分量的兩倍) 相反，時域分析可能要求採樣速率遠高於最高目標輸入訊號頻率。這被監控訊號的瞬態特性造成的。對瞬態訊號進行過採樣，以便分析訊號波形的特徵，包括其峰谷幅度和變化率。峰值比最大誤差可以由 $1 - \cos(\pi / OS)$ 推導出來，其中 OS 為過取樣速率，等於輸入訊號頻率範圍內的有效採樣速率。以 10 倍瞬態訊號振盪頻率進行過採樣，可以將峰值檢測精度限制在 $\pm 5\%$ 以內。

圖 4：要對瞬態訊號進行時域峰值檢測，需要進行過採樣。



- **雜訊。**由於每個樣本中所包含的雜訊會直接影響時域波形的幅度檢測精度，所以在時域分析中，總均方根雜訊值非常重要。雜訊譜密度的平坦度並不重要，只要有效雜訊頻寬上的總積分雜訊滿足要求的測量精度即可。在時域分析中，雜訊改善 DSP 技術 (例如 FFT 處理增益) 不再可用。
- **階躍回應。**測量訊號鏈需要具有良好的階躍回應，以便複製瞬態訊號輸入的特徵。這會影響 DAQ 訊號鏈中的濾波器設計和選擇。

DAQ 訊號鏈設計示例

在本節中，我們將使用兩個狀態監測系統 DAQ 訊號鏈示例來展示如何將系統需求轉化為訊號鏈設計。

示例 1

系統要求

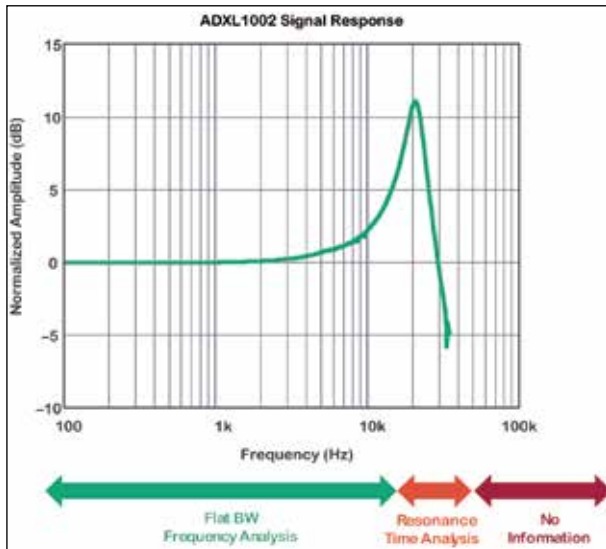
- 採用邊緣節點架構、由 3 V 至 3.6 V 電池供電的系統
- ±50 g 範圍的單軸振動檢測
- 支援高達 10 kHz (平坦) 頻寬的頻率分析
- 在 10 kHz 頻寬下，動態範圍 >80 dB
- 支援採樣速率為 128 kSPS 的時域分析，包括衝擊脈衝法
- 在滿量程範圍內，動態非線性度等於或小於 0.1%
- 能夠在高雜訊環境中工作，且能夠抑制電磁干擾 (EMI)

感測器選擇

選擇使用 ADXL1002 MEMS 加速度計來進行振動檢測。它滿足關鍵性能標準，具有低功耗、小尺寸，非常適合邊緣節點系統。

ADXL1002 具有 11 kHz 平坦響應頻寬，非常適合用於在 10 kHz 目標頻寬上實施頻率分析。感測

圖 5: ADXL1002 加速度計的頻率回應劃分。



器的諧振頻率為 21 kHz。可以對該頻率下的訊號進行過採樣，以支援衝擊脈衝法等時域分析方法。

該感測器的雜訊密度為 $25 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，最高可達 10 kHz。如果 10 kHz 頻寬以上的總均方根雜訊為 $25 \times \sqrt{10\text{e}^3} = 2.5 \text{ mg rms}$ ，輸入範圍為 ±50g，可使用以下公式計算感測器的動態範圍

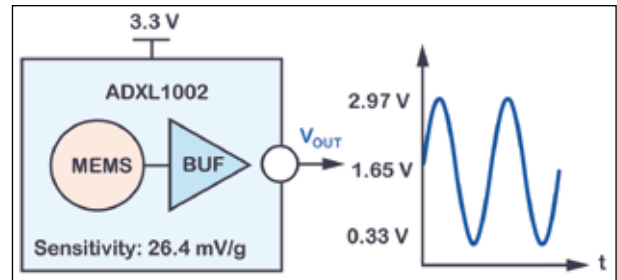
$$20 \times \left(\frac{50}{\frac{\sqrt{2}}{2.5\text{e}^{-3}}} \right) = 83 \text{ dB} \quad (1)$$

ADXL1002 的輸出是一個緩衝電壓訊號，其幅度與感測加速度和感測器的電源電壓成正比。輸出訊號在直流電壓 (等於感測器電源電壓的一半) 下偏置。採用 5 V 電源時，ADXL1002 的靈敏度為 40 mV/g。採用 3.3 V 電源時，±50 g 輸入範圍中的最大感測器輸出訊號擺幅為 $\pm 50 \times 40\text{e}^{-3}/5 \times 3.3 = \pm 1.32 \text{ V}$ ，以

$$\frac{3.3 \text{ V}}{2} = 1.65 \text{ V bias voltage} \quad (2)$$

為中心

圖 6: ADXL1002 的滿量程輸出訊號。



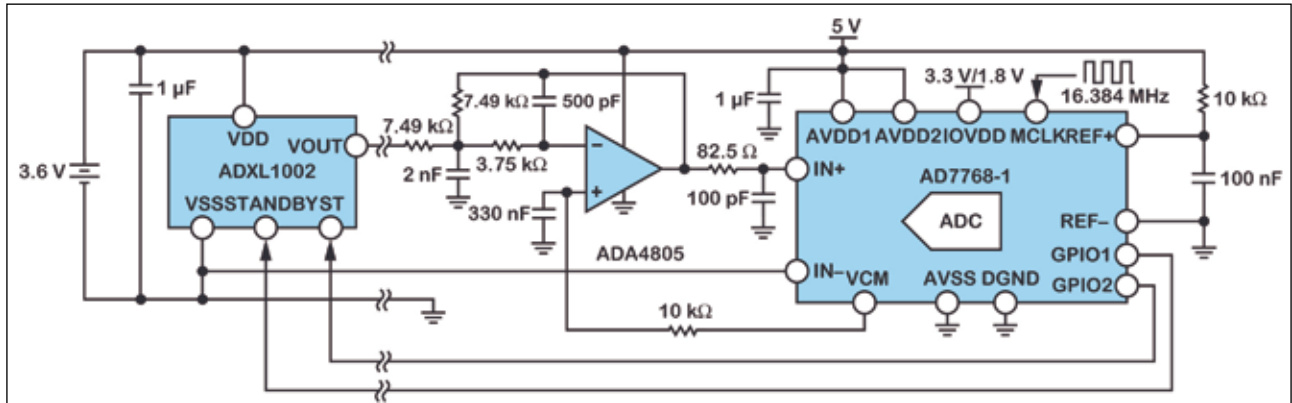
DAQ 要求

與 ADXL1002 感測器連接的 DAQ 訊號鏈需要滿足以下要求：

- 支援感測器的整個輸出電壓範圍
- 在 11 kHz 以上的頻率下具有平坦的頻率回應
- 能夠對諧振頻率進行至少 5 倍的過採樣
- 允許感測器主導整個交流和直流性能
- 對目標頻段外的訊號提供充分的混疊抑制
- 低功耗
- 小尺寸解決方案

建議使用的解決方案如圖 7 所示。其是由單通道精密 Σ - Δ ADC AD7768-1 和 ADC 驅動放大器

圖 7: 支援使用 ADXL1002 加速度計進行單軸振動感測、由電池供電的邊緣節點感測器解決方案的 DAQ 訊號鏈示例。



ADA4805-1 組成。

ADC 選型

AD7768-1 是一款多功能精密 ADC，具有多種工作模式，可以在功率、頻寬和雜訊之間進行權衡和取捨。可編程數位濾波器是進行混疊抑制的關鍵，可以使用不同類型的濾波器來支援頻域和時域分析。

在本設計中，我們選擇採用以下配置來操作：

- 在 REF+ 輸入端啟用整合基準電壓緩衝器
- 低功耗模式
- 具有 32 kSPS ODR 的低漣波寬頻濾波器 (濾波器選項 A)
- 具有 128 kSPS ODR 的 Sinc5 濾波器 (濾波器選項 B)

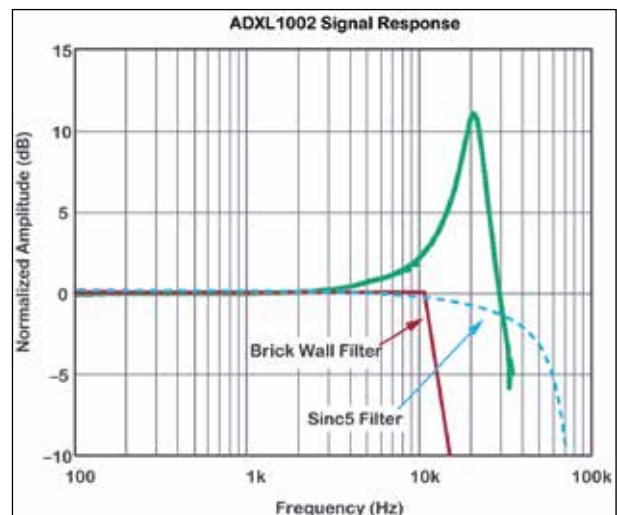
使用整合基準電壓緩衝器之後，可以實現非常緊湊的設計，且無需再使用額外的緩衝器放大器。本設計在感測器和 ADC 之間共用 3.3 V 電池電源，並使用與 ADC 的基準電壓相同的電壓，以利用 ADXL1002 的輸出與其電源電壓之間的比率關係，以及 AD7768-1 的基準電壓緩衝器對軌到軌操作的支援。如此，不僅不再需要為 DAQ 訊號鏈產生專用的基準電壓，還消除了由於電源電壓變化 (例如電池隨時間放電) 而產生的測量訊號幅度變化。

低功耗模式操作大幅降低了 ADC 的功耗，從而可盡量延長電池的壽命。在低功耗模式下，AD7768-1 可以支援磚牆式低漣波寬頻濾波器，在

32 kSPS ODR 時使用 13 kHz 平坦 (-0.1 dB) 頻寬 (濾波器選項 A)，可以完全涵蓋 ADXL1002 的 11 kHz 平坦頻寬，以執行頻率分析。磚牆式濾波器具有比較理想的濾波器特徵，非常適合用於頻率分析，但高階濾波器使其不太適合執行時域分析。因此，可以使用具有較大階躍回應的 sinc5 濾波器來滿足時域分析需求。AD7768-1 在低功耗模式下使用 sinc5 濾波器來支援高達 128 kSPS 的輸出資料速率和 26 kHz 時的 -3 dB 頻率 (濾波器選項 B)，足以對感測器的 21 kHz 諧振頻率進行超過 5 倍的過採樣。數位濾波器類型和輸出資料速率均可透過 SPI 介面進行暫存器編程，以便基於應用需求動態調整訊號頻寬。

相較於將未經濾波的過採樣資料發送到外部數位主機進行後處理，AD7768-1 上的整合數位濾

圖 8: 如何根據不同的測量要求使用不同的數位濾波器回應。



波器大幅提升了數位處理的能效比。在低功耗模式下，在 AVDD1、AVDD2 和 IOVDD 上使用 3.3 V 電源，且使能 REF+ 接腳上的基準電壓緩衝器時，AD7768-1 上具有 128 kSPS ODR 的 sinc5 濾波器的功耗約為 10.2 mW，具有 32 kSPS ODR 的寬頻低連波濾波器的功耗約為 12.6 mW。

在這種配置下，AD7768-1 的雜訊為 11.5 $\mu\text{V rms}$ (濾波器選項 A) 和 49.5 $\mu\text{V rms}$ (濾波器選項 B)。本設計中 ADC 的輸入訊號為 $\pm 1.32 \text{ V}$ 的偽差模訊號。在此輸入範圍內，ADC 的有效動態範圍為 $20 \times \log(1.32 / \sqrt{(2)/11.5e^{-6}}) = 98 \text{ dB}$ (濾波器選項 A) 和 85.5 dB (濾波器選項 B)。在這兩種情況下，感測器都足以主導整個雜訊性能。

AFE 設計

雖然 ADXL1002 提供緩衝輸出，但在 ADC 的採樣頻率 (2.048 MHz) 下，其輸出阻抗不夠低，不足以在採樣期間使 ADC 的輸入完全穩定下來。建議採用寬頻寬驅動放大器將感測器與 ADC 連接起來。根據 ADA4805-1 的寬頻寬、低輸出阻抗、低雜訊、小尺寸和低功耗特性，我們選擇使用它來執行此項任務。

由於 ADC 和驅動放大器組合的雜訊性能低於感測器的雜訊性能，所以無需增大感測器的輸出訊號。ADA4805-1 具有軌到軌輸出，但沒有軌到軌輸入。因此，將驅動器配置成增益為 1 的反相緩衝器。已經證實驅動器的輸出餘量足以支援滿量程訊號擺幅。

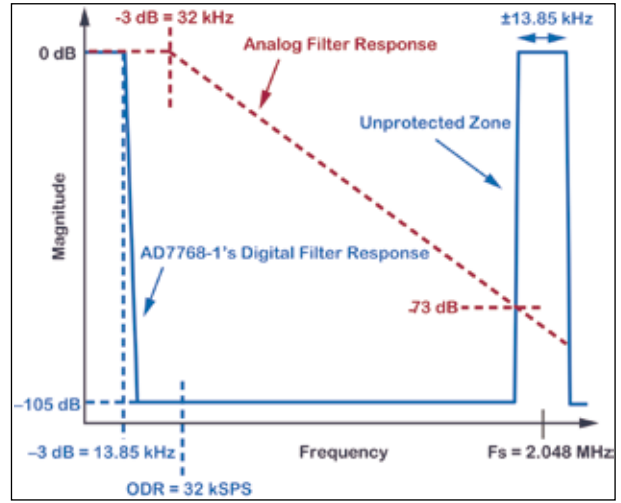
AD7768-1 的數位濾波器在 ADC 採樣頻率周圍的頻段下不提供抑制。主動抗混疊濾波器採用

表 1: 示例 1 感測器和 DAQ 特性

感測器特性	DAQ Characteristics		
整個測量範圍	$\pm 50 \text{ g}$ (0.33 V 至 2.97 V)	最大輸入範圍	0.02 V 至 3.28 V
最大平坦頻寬 (3 dB)	11 kHz	最大平坦頻寬 (-3 dB)	13.8 kHz
諧振頻率	21 kHz	Sinc5 濾波器 ODR 最大值	128 kSPS (-3 dB BW = 26 kHz)
在 13.8 kHz 頻寬下的動態範圍	80 dB*	在 13.8 kHz 頻寬下的動態範圍	98 dB
線性度	0.1% (全溫度範圍)	線性度	在整個範圍內，優於 0.001%
使用 3.3 V 電源時的功耗	3.3 mW	功耗	14 mW
封裝尺寸	25 mm ²	IC 封裝的總尺寸	28 mm ²

* 基於輸出雜訊曲線估算

圖 9: 示例 1 訊號鏈的總濾波器回應。



ADA4805-1 構成，以協助數位濾波器在整個頻率範圍內實現準確的總帶外訊號抑制。該設計為一個二階低通濾波器，採用多回饋架構，提供近巴特沃茲回應，在 32 Hz 時具有 -3 dB 角度，在 2 MHz 時提供 -73 dB 抑制。

驅動電路中使用的電阻值經過精心選擇，以平衡功耗、電路雜訊、電容大小和 ADA4805-1 輸入偏置電流造成的直流偏置誤差。

組合訊號鏈的整體性能如表 1 所示。

示例 2

系統要求

- 在 DAQ 集中式架構中採用 DAQ 模組，提供通道與通道間的隔離
- 偽差分輸入， $\pm 12 \text{ V}$ 最大輸入範圍
- 支援 IEPE 介面

- 交流和直流偏置輸入選項
- 輸入過壓保護，高達 $\pm 60\text{ V}$
- $1\text{ M}\Omega$ 輸入阻抗
- 支援高達 100 kHz (平坦) 頻寬的頻率分析
- 在 100 kHz 頻寬下，動態範圍 $>105\text{ dB}$
- 無混疊 (可以對目標頻帶外的所有訊號提供 -105 dB 抑制)
- 支援時域分析，包括衝擊脈衝法
- 總諧波失真 $\leq -115\text{ dB}$ ， 1 kHz 滿量程輸入
- 高直流精度
- 支援可編程的濾波器頻寬和輸出資料速率

建議使用的解決方案如圖 10 所示。它使用與示例 1 相同的 24 位元精密 Σ - Δ ADC (AD7768-1)。類比前端包括 ADG5421F 輸入保護開關、LT3092 恆定電流源 (用於提供 IEPE 感測器電源電流)、ADA4610-1 精密 JFET 緩衝放大器、ADA4945-1 全差分放大器 (用於 ADC 驅動)，以及抗混疊濾波器結構。ADR444 精密基準電壓源用於配合 ADA4528-1 精密運算放大器 (作為基準電壓緩衝器) 為 ADC 提供基準電壓源。

感測器電源

IEPE 介面是雙線介面，感測器輸出訊號 (電壓) 和感測器電源 (電流) 共用同一根電纜。LT3092 用於在 30 V 電源中結構低雜訊 2.5 mA 電流源，為感測器供電。電流值可以透過電阻值設定，以支援更長的電纜 / 更大的電纜電容。

圖 10: 支援直接 IEPE 感測器介面和通道間隔離的 DAQ 集中式解決方案的 DAQ 訊號鏈示例。

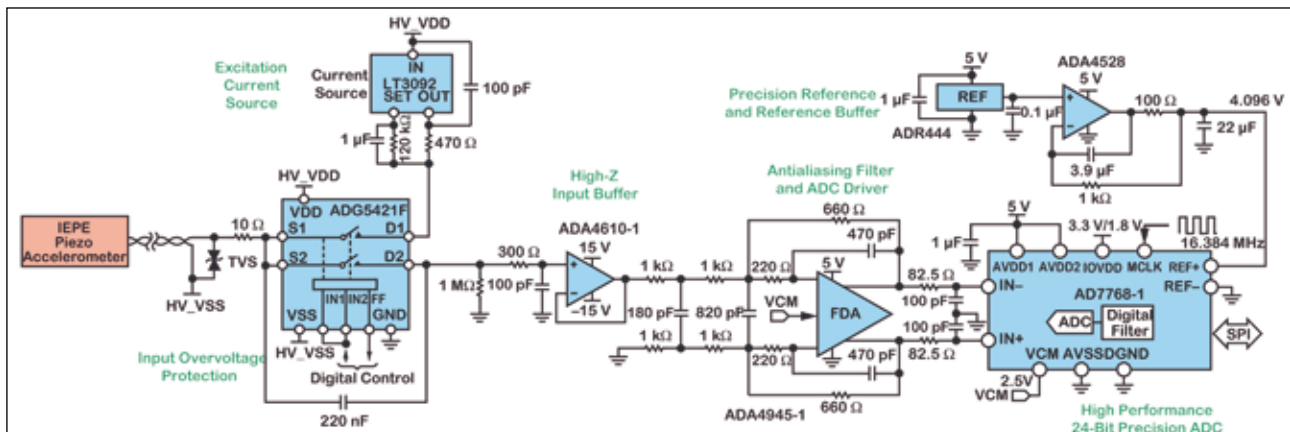
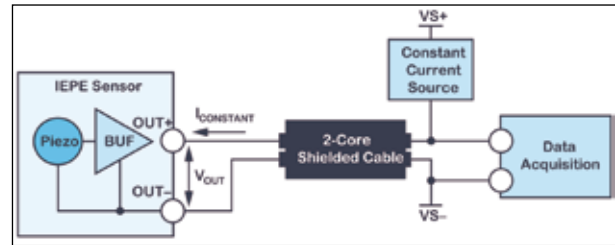


圖 11: 只需要使用一根雙線電纜來連接 IEPE 感測器。



有些 IEPE 感測器不是透過外殼隔離，這表示它們的輸出端子可能局部接地。如果感測器介面 DAQ 也沒有隔離，那麼 DAQ 也需要接地。在此設計中，DAQ 通道已被隔離。這有助於消除接地和電源位準限制，允許 DAQ 採用雙極性電源設計，以支援更對稱的雙極輸入訊號。

輸入保護

採用 ADG5421F 保護開關為電路提供輸入過壓保護。當輸入電壓超過供電範圍時，內部開關打開，以保護 DAQ 訊號鏈的其餘部分。ADG5421F 可以承受高達 $\pm 60\text{ V}$ 輸入電壓，並提供低且穩定的 RON，這是將訊號失真縮減到最低的關鍵。

在此設計中，此開關還用於為訊號鏈輸入配置提供可編程選項。根據開關配置，可以將訊號鏈輸入配置為交流或直流耦合，電流源可以獨立切換輸入和輸出。

額外增加一個具有小型 ($10\ \Omega$) 串聯電阻的 TVS，以協助改善輸入節點的 ESD 保護。

ADC 選型

在通道隔離要求的推動下，需要使用單通道 DAQ 解決方案。

這兩個示例展示了 AD7768-1 的多功能性。在全功率模式下使用時，此 ADC 可以使用磚牆式數位濾波器 (ODR = 256 kSPS) 實現 110 kHz 平坦頻寬，同時仍然實現 108 dB 動態範圍 (採用 4.096 V 基準電壓)。它還支援使用 sinc5 濾波器來捕捉時域波形，提供最大 1.024 MSPS 的輸出資料速率。

AD7768-1 並提供業界領先的動態線性度和直流性能。包括提供 -120 dB 典型 THD、1 kHz 近滿量程正弦輸入訊號、300 nV/°C 偏置誤差漂移和 0.25 ppm 增益誤差漂移。

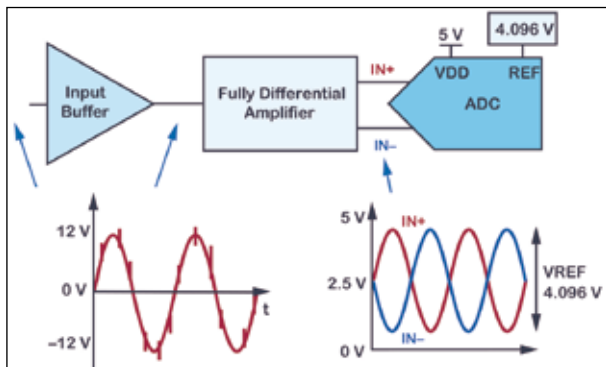
對於不需要通道隔離的多通道 DAQ 系統而言，則可使用同一個 ADC 的四通道 (AD7768-4) 或八通道 (AD7768) 版本。

AFE 設計

輸入訊號需要進行緩衝，以實現所需的阻抗。緩衝放大器需要具備低輸入偏置電流、低雜訊、良好的動態線性度、高直流精度和足夠的頻寬。基於這些要求，我們選擇使用 ADA4610-1 JFET 運算放大器。將該放大器配置為單位增益緩衝器，需要採用 ±15 V 電源。

之後，需要對訊號進行衰減和位準轉換，以適應 ADC 的輸入範圍。需要將偽差分訊號轉化為全差分訊號。這種轉換使測量動態範圍提高了 6 dB，大幅減少了二次諧波失真。然後需要對訊號進行濾波

圖 12: 類比前端中的訊號處理。

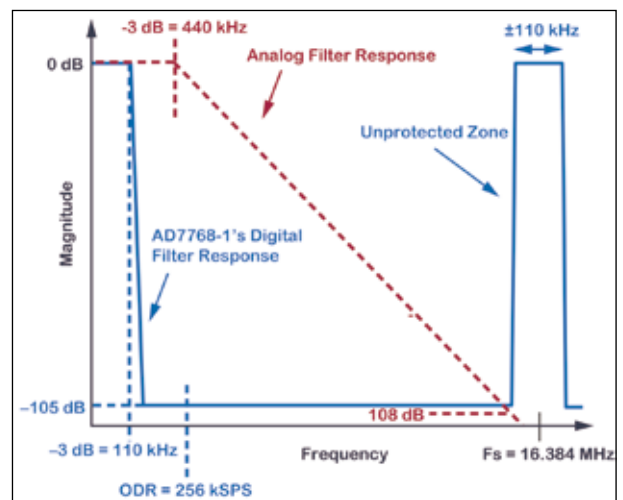


以抑制混疊，並使用高頻寬和低輸出阻抗 ADC 驅動放大器進行緩衝，以確保穩定 ADC 輸入。幸運的是，使用一個 ADA4945-1 全差分 ADC 驅動放大器的電路設計可以實現所有這些功能，提供低失真，會增加雜訊，但可以保持卓越的直流精度。

在此電路中，訊號衰減 0.33，可以在使用 4.096 V ADC 基準電壓源時實現 $\pm 4.096/0.33 = \pm 12.41$ V 滿量程輸入擺幅。該訊號可以轉換為 ± 4.096 V 幅度的全差分訊號，並位準轉換為 2.5 V (中間電源) 共模電壓，以支援 FDA 輸出和 ADC 輸入。

如示例 1 所示，AD7768-1 的數位濾波器在 ADC 採樣頻率周圍的頻段下不提供抑制。在全功率模式下，ADC 的有效採樣頻率為 16.384 MHz。主動抗混疊濾波器採用 ADA4945-1 構成，以協助數位濾波器在整個頻率範圍內實現準確的總帶外訊號抑制。此設計是一個三階低通濾波器，採用多回饋架構，提供近巴特沃茲回應。通過 ADA4610-1 緩衝放大器之前的 RC 電路增加另一個低通極，以幫助進一步增加 FS 的混疊抑制。訊號鏈的總體頻率回應在 440 kHz 時具有 -3 dB 轉折頻率，從而盡可能降低頻內回應的幅度和相位失真。AAF 在 100 kHz 時引起的幅度下降小於 10 mdB。16.3 MHz 時的幅度回應約為 -108 dB。這些特性配合使用磚牆式數位濾波器 AD7768-1，可以產生無混疊訊號鏈，對所有帶外訊號提供至少 105 dB 抑制。

圖 13: 示例 2 訊號鏈的總濾波器回應。



隔離和電源管理

關於數位、電源隔離和電源管理解決方案，本文不加以贅述。ADP1031 等解決方案可以提供 SPI 介面，以及跨隔離的 $\pm 15\text{ V}$ 和 5 V 電源電壓。ADuM140D 高速數位隔離器可用於跨隔離提供 MCLK 和 SYNC_IN 訊號，實現跨通道採樣同步。

表 2: 示例 2 DAQ 特性

DAQ 特性	
最大輸入範圍	$\pm 12.4\text{ V}$ 偽差分
最大平坦頻寬 (-3 dB)	110 kHz
Sinc5 濾波器 ODR 最大值	1024 kSPS (-3 dB BW = 209 kHz)
在 110 kHz 頻寬下的動態範圍	優於 105 dB
1 kHz 近滿量程輸入時的 THD	優於 -105 dB
增益誤差漂移 *	10 ppm/°C
失調誤差漂移 *	5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
sinc5 濾波器的功耗	110 mW
磚牆式濾波器的功耗	130 mW

* 不包括電阻匹配誤差

示例 3

關於一種可替代 IEPE 感測器介面 DAQ 訊號鏈設計的方法，請參見 CN0540。

CN0540 設計支援 0 V 至 24 V 單極輸入範圍，適用於與 IEPE 感測器介面、不提供外殼隔離的非通道隔離 DAQ 系統，在這種情況下，IEPE 感測器和 DAQ 訊號鏈共用同一個接地。此設計支援直流耦合到 IEPE 感測器。儘管壓電感測器不支援直流回應，但直流耦合為該訊號鏈提供了優勢，使其可以不受低頻寬交流耦合電路的起動延遲干擾，直接提取低頻振動資訊。

相較之下，示例 2 中所示的訊號鏈設計支援雙極輸入訊號。它需要在交流耦合模式下工作，以便連接 IEPE 感測器，但這個 $\pm 12.4\text{ V}$ 輸入範圍和高輸入阻抗使其更適合多用途 DAQ 系統。

總結

本文詳細介紹了系統架構、感測器類型和分析方法的選擇將對狀態監測系統中的 DAQ 訊號鏈設計產生哪些影響。希望本文中討論的設計考慮和提供的參考設計示例能協助系統設計人員在設計狀態監測系統時做出最好的設計選擇。

如需瞭解 ADI 的狀態監測系統解決方案的更多資訊，請瀏覽：analog.com/CbM。CTA

默克宣布將在台投資 170 億台幣，拓展電子科技事業體新產線並強化研發量能

默克 (Merck) 宣布在未來 5-7 年將在台灣投資約 170 億台幣，用於電子科技事業體新產線與研發量能的大幅擴張，著重於半導體事業的發展。本次投資案為默克在台營運歷年來最大規模的投資，也預計創造約 400 個全新的工作機會，將會讓默克在台半導體科技事業的員工人數成長將突破一倍。

默克集團執行董事暨電子科技事業體執行長凱·貝克曼表示：「隨著全球數位化的腳步加快，現今社會對創新半導體與顯示器科技的需求的高漲是前所未見的。特別是台灣在全球晶圓代工市場擁有超過 60% 的市佔率，在這波成長中扮演不可或缺的角色。透過更多本土化的創新與製造量能，默克將盡我們所能的支持台灣與全球的客戶迎上這波成長的浪潮，成為客戶最本土化的國際合作夥伴。」

本次在台投資計畫的目標是加強本土的製造與研發能力，以支持電子科技產業的需求。默克在半導體生態系中佔有獨特的地位，除了完整涉略在前段晶圓製程與後段封裝中的 7 大關鍵步驟，包括摻雜、圖形化、沉積、平坦化、蝕刻、清洗、以及封裝等技術，也為晶圓廠提供特殊氣體與化學供應設備解決方案。

本次的投資計畫將分為幾個階段：2022 年默克將在南部科學園區的高雄園區新建一個超過 15 公頃的生產中心，並依照產品的不同期程依序開始生產。作為默克全球首座半導體材料大型生產與應用研發中心 (Mega Site)，此新建設施將囊括默克全系列的半導體解決方案產品，包含：薄膜材料、特殊氣體、圖形化與平坦化材料等，為半導體先進製程提供關鍵的製造材料。此廠房將於 2021 年 12 月開始興建，並在 2022 年底開始供應台灣與亞洲客戶所需的產品。