

MEMS 加速度計的性能 已經成熟

■ Ed Spence/ADI 高性能加速度計行銷經理

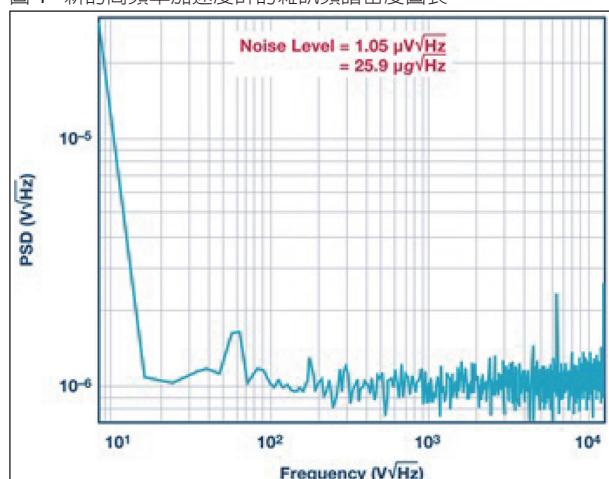
在 2016 年六 / 七月間發表的文章”狀態監測與 MEMS 加速度計：你必需要知道的事”當中，提到了能夠讓使用於狀態監測應用的技術受到注目的多項微機電系統 (MEMS) 加速度計的屬性。本文將會回顧展現 MEMS 技術開發與性能位準狀態的資料，並將其與商業用的壓電狀態監測加速度計進行比較。

在 MEMS 製程技術方面的投資以及設計方面的創新，已經大幅的改善了 MEMS 的性能，使其足以成為更廣範圍之狀態監測應用裝置的可行選項。具有高達 50 kHz 諧振頻率以及低至 $25 \mu\text{g}\sqrt{\text{Hz}}$ 之雜訊密度的加速度計，目前藉由特殊的 MEMS 結構與製程技術已經能夠加以實現。在信號調節電子上的精心設計將可以完全的利用到這些新加速度計的低布朗動作雜訊。

性能與比較資料

為了要評估最新的加速度計是否適合使用在狀

圖 1: 新的高頻率加速度計的雜訊頻譜密度圖表。



態監測應用裝置中，必須以商業用的 PZT 類型狀態監測加速度計同時進行量測。為了確保兩個感測器具有相似的質量，而且會受到相同的刺激，MEMS 感測器會被附著在 PZT 感測器的外殼上。MEMS 加速度計的單一供電類比輸出會直接輸入至與 PZT 感測器相同之資料記錄器的類比輸入通道中。本實驗中使用了一部資料蒐集儀器 (DAQ) 做為搜集系統。

馬達失準模擬

有一種 表 1: 馬達失準模擬設定點

音頻 (#)	頻率 (Hz)	位準 (s) g pk
1	50.00	0.400
2	85.00	0.400
3	100.00	0.250
4	170.00	0.250

振動測試器上建構的，這是為了要與使用已知刺激的裝置進行比較。此範例概述了以 5100 rpm(85 Hz) 運作之燃氣渦輪機以及以 3000 rpm(50 Hz) 運作失準的同步發電機的振動位準。此架構描述了振動系統使用隨機振動測試模式經過編程後所生成的頻率與振幅。表 1 中列舉了針對兩組元件在所需頻率下的振幅量測結果。

圖 2 中所示為利用 21 kHz 諧振頻率針對 MEMS 加速度計，以及使用 25 kHz 對 PZT 感測器進行量測所得的頻譜。在 1 Hz 至 1 kHz 波段內的 MEMS 加速度計的均方根 (rms) 輸出會高於 PZT 加速度計大約 30 mg，或是 1.7%。

不同於 PZT 元件，MEMS 元件具有在 0.1 Hz

圖 2:PZT 加速度計 (頂端) 與 MEMS 加速度計 (底部) 雜訊密度頻譜；其結果幾乎相當於 10 kHz，MEMS 加速度計在低頻率響應中具有關鍵性的差異。

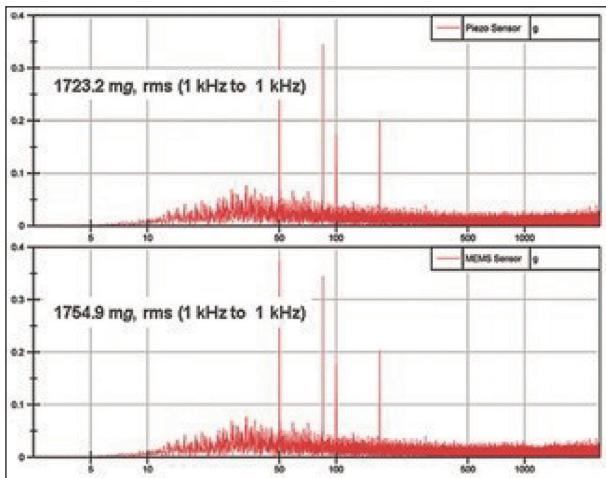
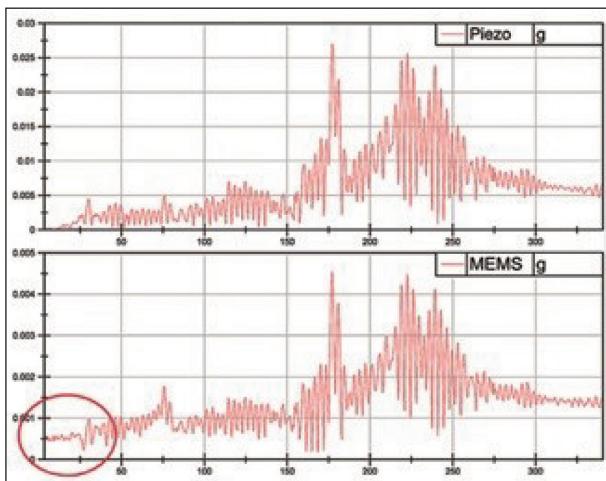


圖 3: 兩種加速度計在受到敲擊狀態下響應的比較。



下 $1/f$ 的低頻率響應，而這正是極低頻率機械例如風力發電機所需要的（同時也可以從飽和狀態更快速的恢復）。由於振動刺激系統的頻率響應在非常低頻率時會下降，因此對於這兩種元件之響應的測試會藉由”竊聽”測試夾具來進行，然後擷取其所產生的響應。接著所記錄下來的時域量測會被轉換至頻率域。其結果如圖 3 中所示。注意到 MEMS 加速度計所記錄的響應可以低至 dc。

結論

以類比輸出驅動 DAQ 的 MEMS 性能在相較於 PZT 感測器下可以直接達成良好的結果。此意味著 MEMS 加速度計對於新的狀態監測產品輸出通道的

重新設計而言是個很好的選項，特別在如無線智慧型感測器這類以採用單一 +5 V 供電的半導體元件為基礎上實現了全新的概念。

從表面上來看，第一代的加速度計對於這種應用裝置來說似乎較有吸引力，因為其具有高頻率響應 (22 kHz) 與 $\pm 70\text{ g}$ 、 $\pm 250\text{ g}$ 、和 $\pm 500\text{ g}$ 的高全刻度範圍 (FSR)。不幸的是其雜訊位準是 $4\text{ mg} \sqrt{\text{Hz}}$ ，對於大多數狀態監測應用裝置而言是高到無法接受的。對於所使用的第二代元件來加以比較時，其雜訊比第一代降低了兩個數量級，而功率也下降至 40%。表 2 中將兩種 MEMS 加速度計性能比較做了總結，進而突顯出在性能方面的改善。

表 2：使用於狀態監測之第 1 代與第 2 代 MEMS 加速度計關鍵性規格的比較。

	第一代加速度計	第二代加速度計
FSR	$\pm 70\text{ g}$ 至 $\pm 500\text{ g}$	$\pm 50\text{ g}$ 至 $\pm 100\text{ g}$
F0	22 kHz	21 kHz
供電電流	2.5 mA	1.0 mA
自我測試	有	有
溫度範圍	-40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$	-40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$
封裝方式	$5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ， 8 隻接腳 LCC	$5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ， 32 隻接腳 LFCSP
雜訊密度	$4\text{ mg} \sqrt{\text{Hz}}$	$< 30\mu\text{g} \sqrt{\text{Hz}}$

電子信號調節專業技術與高解析度 MEMS 加速度計開發的融合，已經實現了能夠因應狀態監測應用裝置的性能。具有低位準物理雜訊的高頻率 MEMS 加速度計，再加上高性能、低雜訊、以及高穩定度的信號處理設計技巧，將可以因應以往使 MEMS 無法提供足以與現代採用 PZT 為基礎狀態監測感測器相匹敵的基本限制。

參考資料 : Randall, Robert B. *Vibration-Based Condition Monitoring*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

關於作者 :Ed Spence 在 ADI 高性能慣性技術事業群中擔任高性能加速度計行銷經理。ADI 設計與生產高性能慣性感測器（例如：加速度計、陀螺儀）以及高整合度的解決方案，像是慣性量測單元 (IMUs)。

CTA