

電能品質監測第 1 部分

符合標準的電能品質測量的重要性

本文討論電能品質 (PQ) 測量在目前電力基礎設施中的重要性，並回顧了 PQ 監測的應用領域。以及將介紹 IEC 電能品質標準及其參數。最後總結 A 類和 S 類電能品質儀錶的主要區別。後續文章將闡述關於「如何設計符合標準的電能品質儀錶」的推薦解決方案。

■作者：Jose Menda / ADI 產品應用資深工程師

現今電力基礎設施對電能品質測量的需求

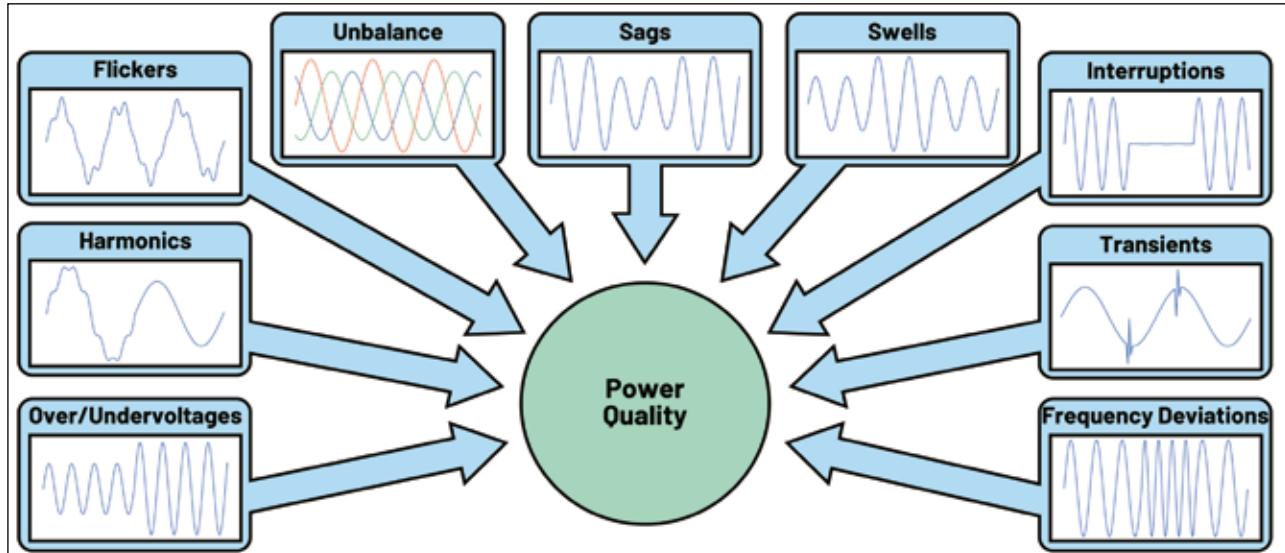
由於發電模式以及能源消費結構不斷變化，電能品質重新受到關注。不同電壓水準的可再生能源實現了前所未有的成長，導致 PQ 相關的問題增多。由於在電網的多個入口點增加了多種電壓水準的不同步負載，消費模式也發生了廣泛的變化。例如，電動車 (EV) 充電樁可能需要數百千瓦功率和大量資料中心及其相關設備，如供暖、通風和空調。在工業應用中，由變頻驅動器運作的電弧爐、開關變壓器等不僅會為電網增加許多不良諧波，而且會導致

圖 1: 電能品質問題

電壓突降、突升、暫態掉電和閃爍。

電力領域的電能品質是指輸送給消費者的電壓品質。關於幅度、相位和頻率的一系列規定決定了如此服務品質。然而，根據定義，其表示電壓和電流兩者。電壓很容易由發電方控制，但電流在很大程度上取決於消費者的使用情況。根據最終使用者的不同，PQ 問題的概念和含義相當廣泛。

過去幾年裡，人們對不良 PQ 的經濟影響進行了廣泛的研究和調查。據估計，其在全球範圍內造成的經濟影響約為數十億美元¹。所有研究的結論是，監測電能品質對許多商業部門的經濟效益具有



直接影響。儘管不良 PQ 對商業經濟的負面影響顯而易見，但有效且高效地大規模監測 PQ 並非易事。監測設施中的 PQ 需要訓練有素的人員和昂貴的設備，而這些設備均長時間或無限期安裝在電力系統的多個節點上。

電能品質監測應用領域

電能品質監測常被一些商業部門視為成本節約策略，而對另一些商業部門來說則為關鍵活動。如圖 2 所示，電能品質問題可能出現在各種電力基礎設施中。正如我們將在文後所討論，電能品質監測在發電和配電、電動車充電、工廠、資料中心等商業領域變得越來越重要。

電力公司和輸配電

電力公司透過輸配電系統為消費者服務，輸配電系統包括變電站，變電站經由輸電線路供應電力。透過這些輸電線路提供的電壓由變電站變壓器降壓到較低位準，變壓器會向系統注入一些諧波或間諧波。配電系統中的諧波電流可能導致諧波失真、低功率因數、額外損耗以及電氣設備過熱²，進而造成設備壽命縮短和散熱成本增加。由這些變電站變壓器供電的非線性單相負載會使電流波形變形。非線性負載的不平衡會導致電力變壓器的額外損耗、額外中性負載、低功率斷路器的意外操作以及用電量的不正確測量³。圖 3 顯示了此類非線性負載的影響。

風力和光伏 (PV) 太陽能系統產生的電力注入電網後，也會導致一些電能品質問題。在風力發電

圖 2：發電和用電的動態變化可能導致各種電力基礎設施出現電能品質問題

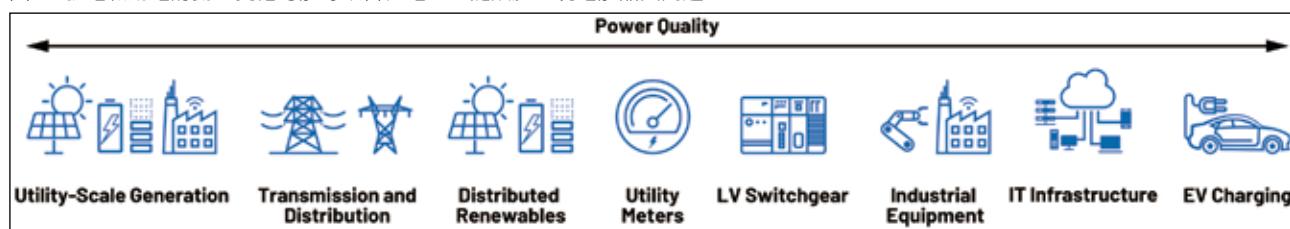
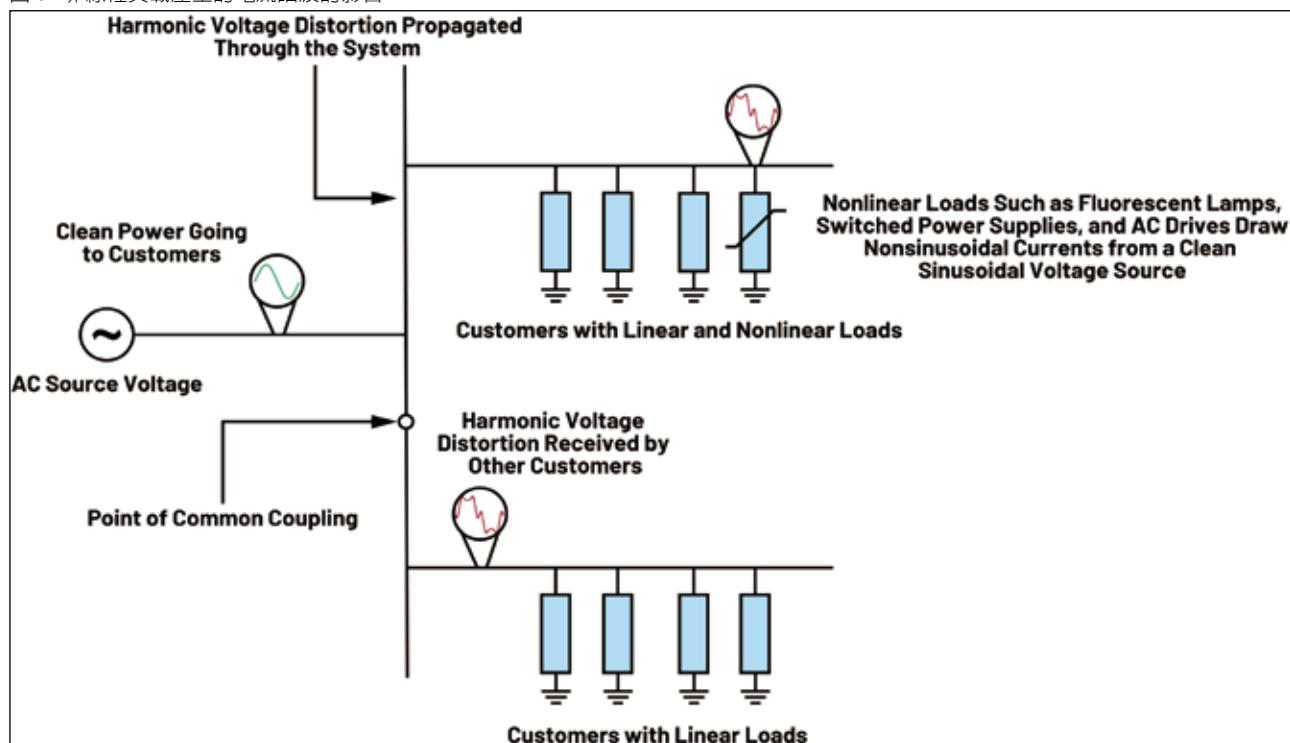


圖 3：非線性負載產生的電流諧波的影響



方面，風的間歇性會產生諧波和短期電壓變化⁴。光伏太陽能系統中的逆變器會產生雜訊，這些雜訊可能引起電壓瞬變、失真諧波和射頻雜訊，因為逆變器通常使用高速開關來提高能量手機的效率。

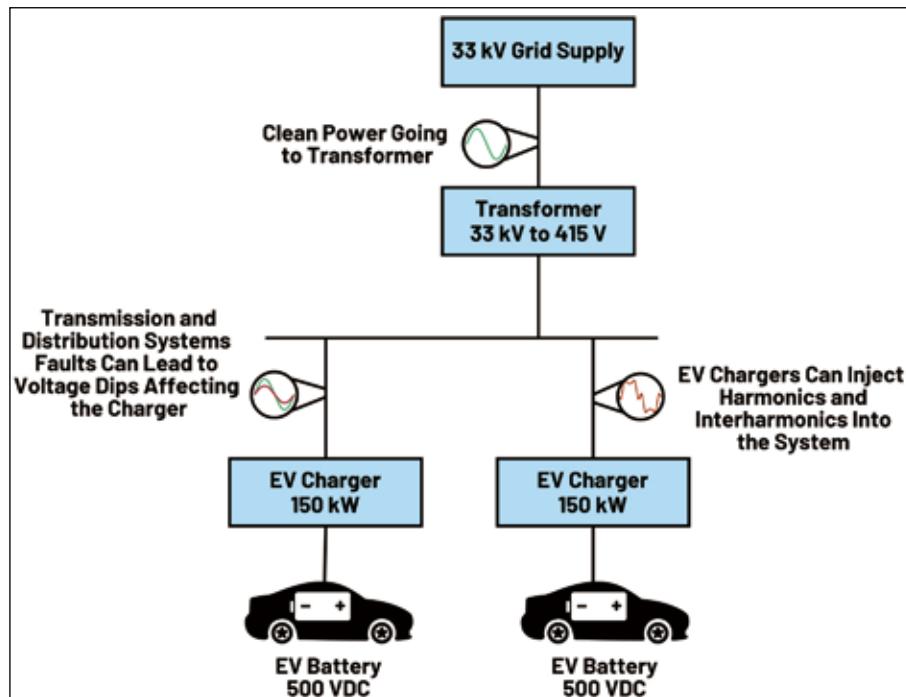
電動車充電樁

電動車充電樁可能面臨多種電能品質挑戰，既有送至電網的電力方面，又有來自電網的電力方面（見圖 4）。從配電公司的角度來看，電動車充電樁中使用的基於電子的轉換器會注入諧波和間諧波。電源轉換器設計不當的充電樁可能會注入直流電(DC)。此外，快速電動車充電樁會將快速電壓變化和電壓閃爍引入電網。從電動車充電樁方面來看，輸電或配電系統中的故障會導致電壓突降或充電樁電源電壓中斷。電動車充電樁的電壓容限降低會導致欠壓保護啟動和與電網斷開（這會造成非常糟糕的用戶體驗）⁵。

工廠

根據美國電力研究所 (EPRI) 的報告，美國工業設施每年因為電源變化和電壓擾動引起的電能品

圖 4：電動車充電樁面臨的電能品質問題



質問題而蒙受的損失約為 1190 億美元⁶。此外，根據歐洲銅業研究所的資料，25 個歐盟國家每年因為不同的 PQ 問題而遭受相當於 1600 億美元的財務損失⁷。這些數字與後續的停工和生產損失以及知識生產力的折算損失直接相關⁸。

電能品質的下降通常是由電弧爐和工業電機的間歇性負載和負載變化引起的。此類干擾會引起湧浪、突降、諧波失真、中斷、閃爍和訊號電壓⁹。為了在工廠設施內部檢測和記錄這些干擾，在整個電氣設施中的多個節點使用電能品質監測設備有其必要，甚或在負載級使用電能品質監測設備會更好。隨著新工業 4.0 技術的到來，負載處的電能品質監測可透過工業面板儀錶或子儀錶來解決，以全面瞭解輸送到每個負載的電能品質。

資料中心

目前，大多數商業活動都以某種方式依賴資料中心來提供電子郵件、資料儲存、雲端服務等。資料中心需要高水準、潔淨、可靠、不間斷的電力供應。出色的 PQ 監測有助於管理人員預防代價高昂的停電，並協助管理因電源單元 (PSU) 問題而需要

進行的設備維護或更換。不斷電供應系統 (UPS) 系統整合到機架配電單元 (PDU) 中，是需要向資料中心內的 IT 機架添加 PQ 監測的另一個原因。此種整合可以提供電源插座級別的電源問題可見性。

根據 Emerson Network Power 的一份報告，UPS 系統故障（包括 UPS 和電池）是資料中心意外停電的主要原因¹⁰。在所有報告的停電事件中，約有三分之一為公司造成了接近 25 萬美元的損失¹¹。每個資料中心都會使用 UPS 系統，以確保潔淨和不間斷的電力供

應。這些系統隔離並減輕了電力公司方面的大部分電力問題，但其不能防範 IT 設備本身的 PSU 產生的問題。IT 設備 PSU 是非線性負載，此類負載可能引入諧波失真和其它由設備造成的問題，有些問題可能導致需要使用具有變頻調速風扇的高密度散熱系統。除了這些問題，PSU 還面臨多種形式的干擾，如電壓瞬變和湧浪、電壓突升、下降和尖峰、不平衡或波動、頻率變化及設備接地不良等。

圖 5: IEC 電能品質標準

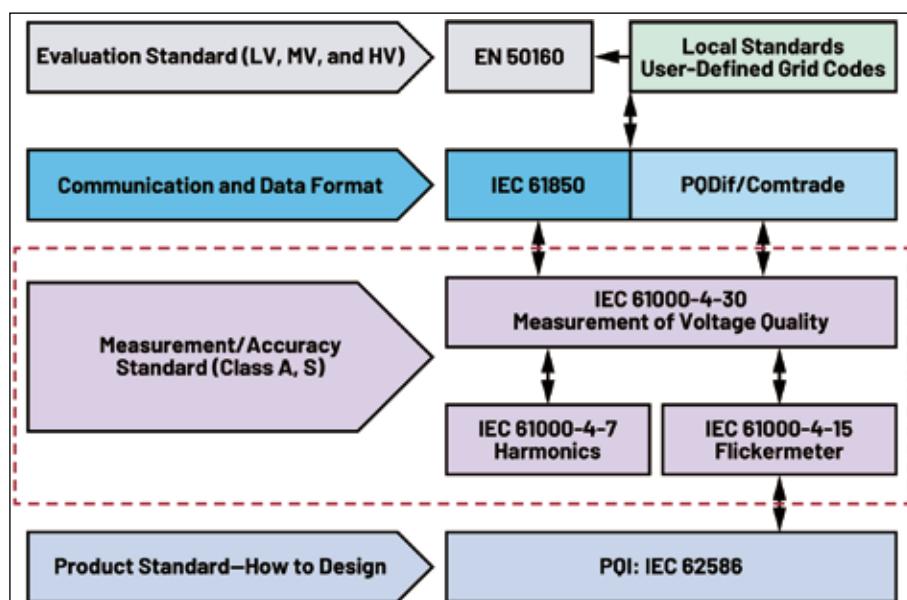
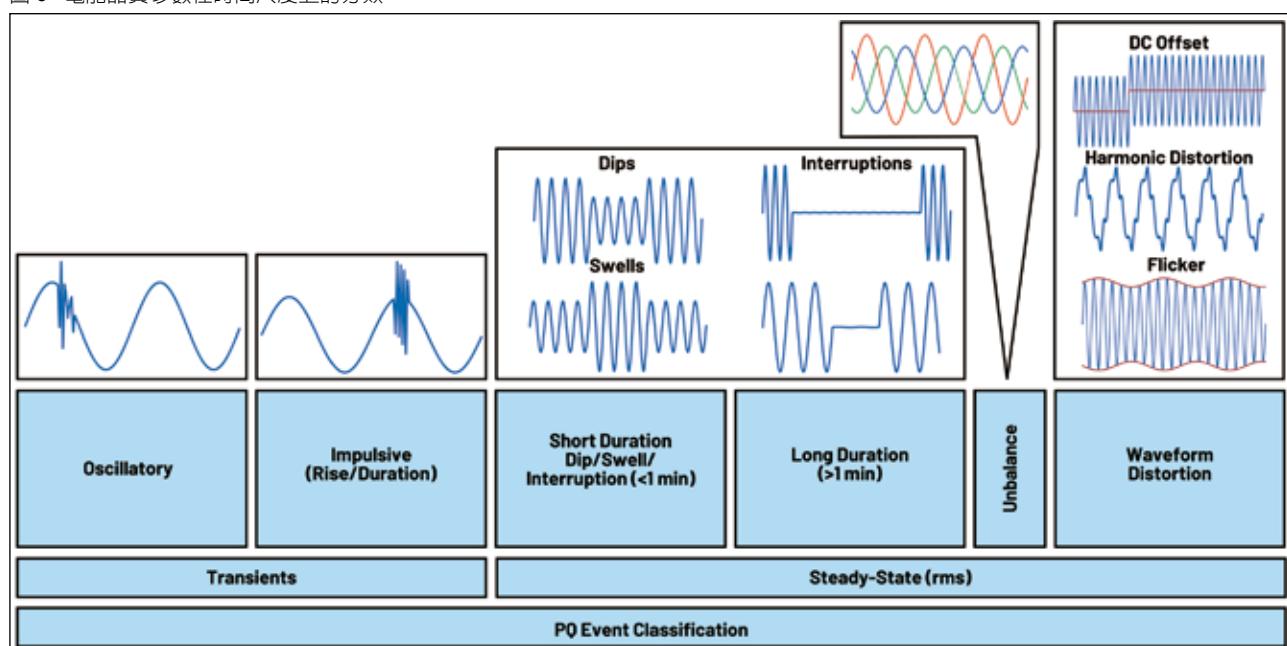


圖 6: 電能品質參數在時間尺度上的分類



電能品質標準說明

電能品質標準規定了電力幅度的可測量限值，即其可以偏離標稱額定值多遠。不同的標準適用於電力系統的不同組成部分。具體來說，國際電子電機委員會 (IEC) 在 IEC 61000-4-30 標準中定義了交流 (AC) 電力系統 PQ 參數的測量方法和結果解釋。PQ 參數是針對 50 Hz 和 60 Hz 的基頻聲明的。此標準還規定了兩類測量設備：A 類和 S 類。

- A 類定義了 PQ 參數測量的最高準確度和精確度，用於合同事務和爭議解決中需要非常精密測量的儀器。其也適用於需要驗證標準合規性的設備。
- S 類用於電能品質評估、統計分析應用和低不確定度的電能品質問題診斷。此類儀器可以報告標準定義的參數的一個有限子集。使用 S 類儀器進行的測量可以在網路上的多個網站、在全部位置、甚至在單台設備上進行。

需要注意的是，該標準定義了測量方法，說明了解釋結果的指南，並規定了電能品質儀錶的性能。其沒有提供儀器本身的設計指南。

IEC 61000-4-30 標準為 A 類和 S 類測量設備定義了如下 PQ 參數¹²。

- 工頻
- 電源電壓和電流的幅度
- 閃爍
- 電源電壓突降和突升
- 電壓中斷
- 電源電壓不平衡
- 電壓和電流諧波和間諧波
- 快速電壓變化
- 欠偏差和過偏差
- 電源電壓上的交流電源訊號電壓

IEC 61000-4-30 標準定義的 A 類和 S 類的主要區別

儘管 A 類定義了比 S 類更高的準確度和精準度，但差異不僅僅是精度水準。儀器必須符合時間同步、探頭品質、校準週期、溫度範圍等要求。表 1 列出了儀器要獲得某類認證所應該滿足的要求。

結語

電能品質問題存在於整個電力基礎設施中。擁有監測這些 PQ 問題的設備有助於改善性能、服務品質和設備壽命，同時減少經濟損失。在後續文章「如何設計符合標準的電能品質儀錶」中，我們將

表 1:IEC 61000-4-30 A 類和 S 類的主要區別

	A 類	S 類
電壓測量精度	± 0.1%	± 0.5%
電流測量精度	± 1%	± 2%
電壓和電流有效值計算	半週期步進	單週期步進
頻率測量精度	± 10 mHz	± 50 mHz
150/180 週期聚合	不允許間隙，每 10 分鐘與 UTC 同步	聚合之間允許存在間隙
諧波測量最高次數	50th	40th
每 24 小時時鐘不確定度	± 1 秒	± 5 秒
時間同步	GPS 接收機、無線電定時信號或網路定時信號	不需要
工作溫度範圍	0°C 至 45°C	由製造商指定

介紹一種整合解決方案和一個即用型平台，其能夠明顯加快開發速度並降低 PQ 監測產品的開發成本。

參考電路

¹ Panuwat Teansri, Worapong Pairindra, Narongkorn Uthathip Pornrapeepat Bhasaputra, and Woraratana Pattaraprakorn. "The Costs of Power Quality Disturbances for Industries Related Fabricated Metal, Machines and Equipment in Thailand."?GMSARN International Journal, Vol. 6, 2012.

² Sai Kiran Kumar Sivakoti, Y. Naveen Kumar, and D. Archana. "Power Quality Improvement In Distribution System Using D-Statcom in Transmission Lines."?International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 1, Issue 3.

³ Gabriel N. Popa, Angela Lagar, and Corina M. Dini?. "Some Power Quality Issues in Power Substation from Residential and Educational Buildings."?10th?International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, 2017.

⁴ Sulaiman A. Almohaimeed and Mamdouh Abdel-Akher. "Power Quality Issues and Mitigation for Electric Grids with Wind Power Penetration."?Applied Sciences, December 2020.

⁵ George G. Karady, Shahin H. Berisha, Tracy

Blake, and Ray Hobbs. "Power Quality Problems at Electric Vehicle's Charging Station." SAE Transactions, 1994.

⁶ David Lineweber and Shawn McNulty. "The Cost of Power Disturbances to Industrial and Digital Economy Companies." Electric Power Research Institute, Inc., June 2001.

⁷ Roman Targosz and Jonathan Manson. "Pan-European Power Quality Survey." 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, IEEE, 2007.

⁸ Subrat Sahoo. "Recent Trends and Advances in Power Quality." Power Quality in Modern Power Systems, 2020.

⁹ A. El Mofty and K. Youssef. "Industrial Power Quality Problems." 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. 第一部分：Contributions. CIRED (IEE Conf. Publ No. 482), IEEE, June 2001.

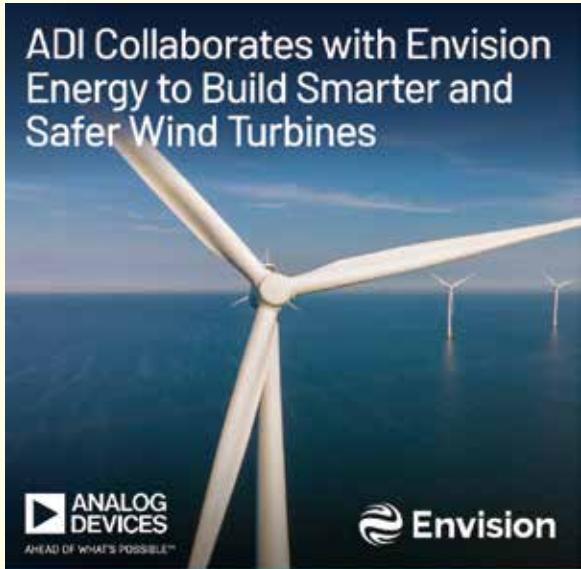
¹⁰ "Cost of Data Center Outages." Ponemon Institute, January 2016.

¹¹ "Data Center Outages Are Common, Costly, and Preventable." Uptime Institute.

¹² "IEC 61000-4-30:2015: Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 4-30: Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods." International Electrotechnical Commission, February 2015.

CTA

ADI MEMS 感測器技術協助遠景能源建構更智慧、更安全的風力發電機



ADI 宣布先進綠色科技企業遠景科技集團 (Envision Group) 旗下的遠景能源 (Envision Energy) 於其新一代智慧風力發電機中導入 ADI MEMS 感測器技術，透過加強對振動、傾斜和其他資訊之即時監測，實現更安全的風力發電機運作與設計，將風力發電機之安全等級提升至全新層次。ADI 先進 MEMS 感測器所提供的新功能可為邊緣端增加智慧化，透過即時監測進一步推動綠色能源變革。

風電作為目前應用最為成熟的可再生能源之一，近年來快速發展。根據資料統計，截至 2022 年底，中國風力發電機累計裝機容量已達約 3.7 億千瓦，成為全球第一大風電市場。隨著風電規模逐步擴大，風力發電機零組件正快速反覆運算，塔筒越建越高、葉片越做越長、機艙重量也越來越重，因而為風電系統的安全可靠營運帶來挑戰。

其中，塔筒作為關鍵風力發電機零組件之一，需透過監測以確保風電設備安全可靠運作。塔筒從地面向上延伸到機艙和葉片，為提升安全性、杜絕倒塔等極端安全事故，遠景能源與 ADI 攜手合作，將預測性維護技術引入智能風力發電機的核心控制。透過將 ADI 精密慣性導航量測單元 (IMU) 和低雜訊、低漂移加速度計部署在不同位置，可實現對塔筒關鍵狀態量的即時監測，而能運用所收集的塔筒資訊採取相應措施，避免事故發生。