

解決方案

先進的儀器儀錶解決方案優化研發設計並加速產品上市

精密儀器儀錶在多功能量測設備、現場服務、自動測試以及研發和校準實驗室等應用中扮演著重要的角色。ADI憑藉超過60年的專業積累和豐富經驗，以客戶挑戰為出發點，設計了一套完整的精密技術訊號鏈，提供全面性的硬體、軟體和韌體整合解決方案。

本文重點介紹了四款先進儀器儀錶解決方案，包括：精密阻抗量測模組、超低失真訊號分析儀模組、低延遲開發套件和數位控制

高壓SMU。ADI運用現成可用的平台和尖端IC設計技術，提供客戶良好、高性能的參考設計和電路板或模組層級解決方案，協助客戶降低研發成本，加速研發進程。

表1顯示了部分ADI儀器儀錶解決方案，相關產品均已發表於官網中。

表1 儀器儀錶解決方案一覽表（依照儀器儀錶細分市場羅列）

解決方案	類別	說明	狀態	細分市場應用		
				ET&M	ATE	SCI
ADMX2001	精密	精密阻抗測量模組	已發佈	LCR測量計	被動元件測試	水質
ADMX1001/2	精密	超低失真訊號產生器模組 (0-40kHz)	已發佈	音訊測試	ADC測試	
ADMX3001	精密	元件電源(DPS)解決方案板 (±100V、±1A)	已發佈	SMU/DPS	DPS	質譜分析
LLDK CN0584/5	精密	精密低延遲(250ns)開發套件	已發佈	硬體迴路(HiL)	波形產生器	PID控制迴路/鎖相放大器
ADMX7101 FR2/FR3	RF	無線測試系統RF TRX (FR2/FR3)	已發佈	射頻測試	5G/6G測試	
ADMX7001 VNA	RF	精巧型多埠20GHz VNA參考設計	已發佈	S參數測試	天線/PCB/電纜測試	材料分析
ADMX6001	RF	直流耦合、12b、10GSPS數位化儀平台	2025年下半年	數位化儀		質譜分析, ToF

阻抗量測分析儀模組ADMX2001

阻抗是許多測試中衡量品質的一個關鍵指標，透過複雜阻抗可以瞭解元件在不同頻率下的性能，對品質控制、濾波器設計、元件健康測試、表徵和評估元件是否滿足系統要求提供協助。雖然數位萬用表DMMs可以量測電阻，但只能擷取實部，無法提供包含實部和虛部的複雜阻抗資訊，通常也無法量測電容或電感。

量測複雜阻抗對於許多應用非常重要，一般涉及的阻抗測試包括：

- 電感：全頻率範圍內的電感並找到諧振頻率，量測損耗、電感與直流偏置的關係並評估寄生現象；

- 電容：頻率範圍內交流幅值下的電容的測試，確定等效串聯電阻、品質因素和耗散因數，以表示不同頻率下的損耗；
- 電阻：確定頻率範圍內寄生電容電感的影響；
- 二極體：透過掃頻與交流激發相加的直流偏壓，可以在二極體的VI曲線上的每一點進行測試；
- MOSFET：確定不同頻率下的閘極電阻Rg；
- 電化學阻抗譜，或稱EIS，透過量測複雜阻抗來分析電化學系統。

圖1所示應用是由Hioki發明，透過量測頻率掃描的電阻及電抗來確定電池的健康狀況。透過繪製Nyquist圖對照電阻和電抗，可以發現劣化電池與原始電池所表現出的電阻具有明顯不同。

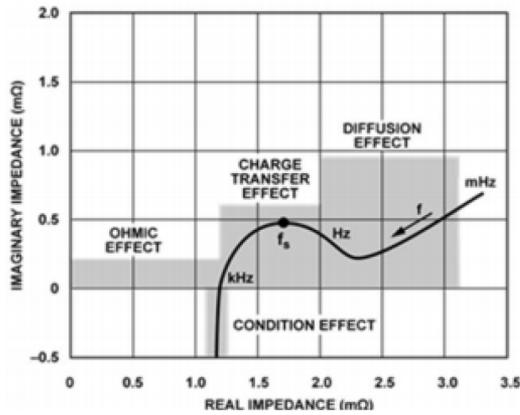


圖1 鋰離子電池的EIS

ADMX2001—高性能阻抗分析儀量測模組

ADMX2001阻抗分析儀模組解決了阻抗設計中的很多難題，其是透過產生正弦激訊號將其應用於被測裝置，量測產生的交流電壓、交流電流幅值和兩者相位差而得到負阻抗。利用這些資訊可以計算出多種形式的阻抗，最直接的是極座標阻抗、幅值相位，電阻和電抗在矩形座標中的阻抗。模組支援透過內建顯示模式計算電容、電感、耗散因素、品質因素和其它多種格式。

ADMX2001高達10MHz的激發頻率大幅增加了可量測DUT的範圍，並可以評估高頻寄生和頻率響應效應，如自諧振頻率。可編程直流偏置有助於量測電解電容及二極體MOSFET的正向偏置，交流幅度透過掃頻得到。內建校準記憶體，測試校準典型精度為0.05%，提供UART介面和人性化控制，SPI介面可以方便地整合到大型測試系統當中。模組的尺寸則為1.5"x 2.5" (38mm x 63.5mm)。

ADMX2001解決了高性能阻抗量測系統的設計難題，提供了從DC到10MHz的完整解決方案，主要特性和優勢表現為：

- 韌體經常更新，不斷提升性能並導入新特性：積極回應客戶需求，提供客製化應用方案；
- 阻抗量測高達10MHz，比整合解決方案快近兩個數量級：提高量測靈敏度和測試頻率，滿足被動元件和半導體測試的需求；
- 可設定量測範圍，支援量測100μΩ至20MΩ阻抗：涵蓋傳統台式儀器的量測範圍；
- 達到儀器級別的0.05%基本精度：提高量測品質和生產測試良率；
- 提供電容、電感、電阻、阻抗和導納量測結果，且具備校準記憶功能和相應的演算法支援：無需額外的計算或非揮發性記憶體；
- 自動進行參數掃描：頻率和直流偏置：可對半導體元件進行阻抗譜分析和C-V量測；

- 4對開爾文端子及夾具補償演算法：降低引線和夾具寄生效應；

圖2為ADMX2001框圖，3.3V單電源供電，直接與DUT連接。該模組整合了專用電流、電壓採樣ADC以及精密訊號產生器。板上生成時脈和精密正弦激發，同時阻抗計算校準和數位介面也整合於板上，這些特性使其非常便於應用。精心選擇的最佳頻寬、雜訊、隔離度以及卓越的阻抗靈敏度，更為客戶帶來性能上的優勢。

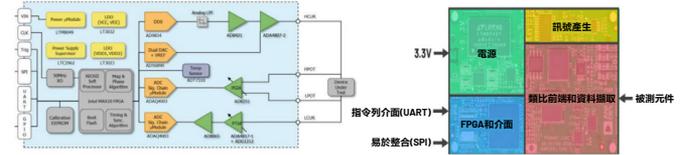


圖2 ADMX2001簡化功能框圖

經過校準的150pF電容精度測試

圖3是ADMX2001的測試結果，左邊部分是實測資料，右邊部分是根據準確值所列出的誤差，在此容值下具有0.01%以內的高精度。採用DUT 150pF 1% 0603 SMD NPO的電容進行測試，參考值是151.23pF。

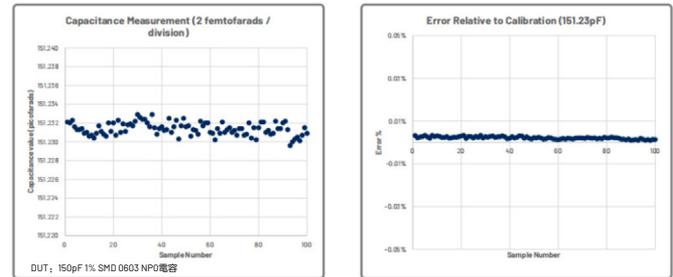


圖3 150pF電容精度測試

18650鋰離子電池EIS測試案例

圖4是典型的3.7V 18650鋰離子電池EIS測試案例，左部分繪製的是電阻和電抗，將左邊的兩個圖合併到右邊的奈奎斯特圖中則是阻抗圖，藉以瞭解電池的健康狀況。

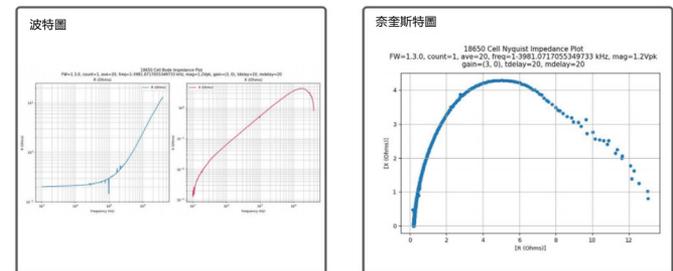


圖4 18650鋰離子電池EIS

相較於其它整合方案，ADMX2001相當具有優勢，表2進行了示例，其中綠色文字是典型優勢所在，包括頻率範圍、靈敏度、精度等。

表2 ADMX2001與其他方案的比較

產品特性	ADMX2001	方案A - 參考設計	方案B - 台式LCR
頻率範圍	DC, 0.2 Hz至10 MHz	100 Hz至100 kHz	20 Hz至2 MHz
解析度	18位元	不適用 (僅AFE)	4位元
靈敏度	0.02fF/0.01mΩ/10pH	1.76fF/1mΩ/2.6nH	未公佈 - 與ADMX2001類似
相對精度	0.05%	0.1%	0.05%
校準記憶體	是	否	是
溫度範圍	-10°C至85°C	不適用	-20°C至70°C
封裝類型	38mm x 63.5mm SoM	~ 90mm x 65mm	375mm x 390mm x 105mm台式
全套儀器	否	否	全套儀器/前面板 CE/UL認證
晶片預訂價格, 2025年2月	評估模組995.00美元 + 評估板250.00美元*	不出售	約25,000美元

評估板EVAL-ADMX2001EBZ LCR

圖5為ADMX2001評估板，透過此評估板：

- 展示ADMX2001作為台式LCR儀錶和阻抗分析儀的功能
- UART介面允許透過終端模擬器（如PuTTY和Tera Term）進行存取
- UART使用現成的電纜，即可簡化與多個平台的連接：Windows, Mac OSX, Linux, 樹莓派, Arduino



圖5 評估板ADMX2001EBZ LCR

超低失真的波形產生器 ADMX1002/ADMX1001

如希望測試音訊的總諧波失真THD、訊號雜訊比SNR、SFDR等參數，則需要超低失真訊號產生器，主要是期望測試裝置性能明顯優於待測物參數。一般來說，若要測試超低雜訊性能時，需

要測試裝置的精度需要比待測物精度高10倍以上。此類應用場景可能會是測試ABC耳機、麥克風、智慧裝置和助聽器等。若客戶對訊號的失真、尖峰和斜坡較為在意，那麼低失真訊號產生器則是最佳選擇。

ADMX100x是一款小型低失真訊號產生器，應用於實驗室工作台或輕鬆整合到需要低失真訊號產生器的大型測試系統當中。台式儀錶具有一些先進的數位功能，如藍牙、HDMI介面等。若測試系統不需要這些冗餘功能，只希望能得到比較乾淨的訊號源，那麼低失真訊號產生器ADMX100x便會是一個很好的替代品，如圖6所示，可以顯著縮減尺寸或整合時間。



圖6 台式儀錶 vs ADMX1001

圖7展示了ADMX1002/ADMX1001框圖，主要包含記憶體，電源管理，精密基準的電源，精密DAC，ADC和訊號處理。處理器的軟體部分包含DPD演算法，數位預失真演算法。內建16個波形的模式儲存可以較為方便的由SPI控制。20位元 DAC透過訊號處理進行訊號產生，透過回採進行DPD的預失真處理。

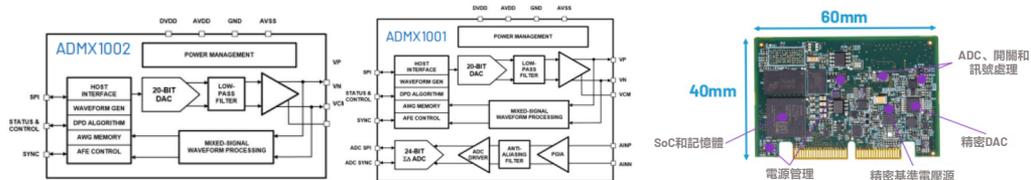


圖7 ADMX1002/ADMX1001概述

ADMX1002和ADMX1001的特色和優勢

ADMX1002/1解決了超低失真和低雜訊任意波形產生器和訊號分析儀的設計挑戰，產品的一些特色和優勢如下：

- 總諧波失真(THD)高達-130dBc，比DDS和CODEC低兩個數量級以上，比高性能音訊DAC至少高出2倍：支援測試下一代ADC和高傳真音訊系統
- 真正的20位元任意波形產生器，能夠產生直流訊號和使用者自訂的波形：一台產生器便能滿足所有訊號需求，包括測試、交流、直流、斜坡和隨機訊號（如語音或聲音）
- 在非揮發性記憶體中儲存最多16個模式：預載入所有波形，快速執行測試
- 全差分3.6VRMS輸出，具有可調輸出共模：直接與現代ADC輸入對接

- 原生正弦波、雙音和直流模式：不需要使用者連接就能生成常見模式
- 具有可編程量測範圍的單端和差分輸入通道（僅限ADMX1001）：實現完整的頻譜和失真分析系統
- 採用精簡指令集的SPI控制：易於使用，甚至支援低功耗微控制器控制
- 60mm x 40mm系統化模組：專為大批量生產而設計，可嵌入精巧尺寸高密度測試系統

表3是ADMX100x與台式儀錶的性能對比，比較突出的特色在於THD可以做到-130db，直流穩定性只有5PPM，支援16種波形儲存，可達到20位元的採樣通道，精小的尺寸也有利於測試系統的整合。

表3 ADMX100x與其他產品的比較（關鍵性能規格）

解決方案特性/規格	ADMX100x	台式
輸出THD	-130dBc	-120 dBc
直流穩定性	5ppm/°C	+/- (0.3%+3mV)
頻寬	DC-40kHz	DC-80kHz
AWG模式記憶體	16種波形	手動載入.WAV文件
採集通道解析度	24位元（僅限ADMX1001）	16位元（96dB SNR，全頻寬）
溫度範圍	-40°C至+85°C	0°C至+45°C
封裝類型	62mm x 41mm SOM	台式儀器 432mm x 129mm x 475mm
全套儀器	否	全套儀器/前面板 CE/UL認證
千片預訂價格（美元） 2025年2月	ADI BOM：約265美元， 另加許可費(ADMX1002) 評估模組價格約為2,000美元*	28,000美元

*ADMX1002的價格為小批量組裝評估模組的價格。
致電瞭解授權合約定價。

□ 綠色=處於優勢
□ 紅色=處於劣勢

EVAL-ADMX100X-FMCZ評估板

圖8展示ADMX100x訊號產生器評估板，可以進行：

- 展示ADMX1002作為台式任意波形產生器的功能
- 提供差分輸入以支援ADMX1001訊號採集功能
- 板載迴開關用於自檢（僅限ADMX1001）
- 透過直覺的GUI介面，可存取大多數功能
- 利用腳本工具，可輕鬆控制和自動執行訊號產生任務



圖8 EVAL-ADMX100X-FMCZ訊號產生器

低延遲開發套件(LLDK) CN0584/5

評估複雜系統時需要較多儀器的相互配合，包括即時軟體，函數產生器，混合域示波器，DAQ資料擷取及整體控制系統。一般來說，搭建如此的複雜系統需要很多裝置，這是一個非常大的挑戰。因應這些挑戰需要一種能夠無縫整合和管理多種儀器和流程的解決方案，ADI LLDK低時延開發套件CN0584/5採樣系統則發揮如此的作用。

ADI LLDK是一款經驗證的硬體數位模組與軟體網站相結合之開發平台，整合了完整的資料擷取與訊號產生功能。該低延遲開發(LLDK)板配備了板載電源軌、電壓監測、邏輯位準轉換、通用輸入輸出(I/O)、I2C、SPI及專用介面連接器。透過FMC低針腳數(LPC)連接器，LLDK能夠與FPGA實現高效互聯，為評估和開發提供全套系統支援。

ADI LLDK特點

LLDK是先進的高精度、低延遲解決方案，提供數位訊號處理功能，適用於複雜系統原型設計，具有如下特點：

- 經過驗證的硬體、數位模組和軟體堆疊，可創建精密低延遲系統
- 包含4個ADC和4個DAC，每個都具有16位元解析度
- 同步4路輸入和4路輸出，可進行複雜系統的建模
- 透過ADC+DAC實現低至200ns的類比延遲，其中ADC模組在 < 70ns 內對精密類比輸入資料進行完整採集和轉換，並從寫入DAC的初始資料中開發穩定的滿量程類比輸出
- 支援差分類比輸入和單端類比輸出，所有I/O通道上都有寬廣電壓範圍保護

- 向客戶提供開源Python、Linux+設備樹

圖9是CN0585評估板，其中包含使用ADI最新精密技術的核心ADC和DAC晶片。透過更改板載0歐姆電阻器，將輸入/輸出範圍從默認 +/-10V調整到其他選項。可以在LLDK上實現和測試的一系列訊號擴展的處理功能，其中包括DDS濾波、FFT，包括明器開關等等功能。

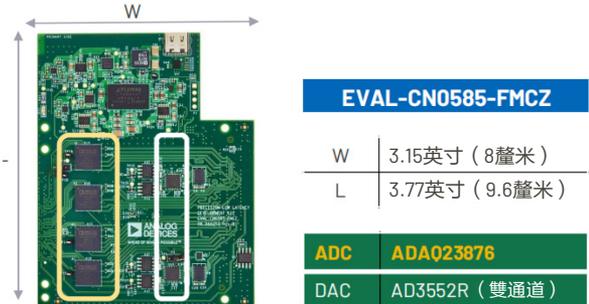


圖9 EVAL-CN0585-FMCZ

LLDK提供軟體支援和開原始程式碼

LLDK系統包含了即用型軟體站，讓使用者開箱即用。有關軟體互動的詳細指導，可參考CN0584介面的專門介紹。

1. 系統新手若希望輕鬆實現視覺化，可以在電腦上安裝IIO示波器，該工具允許在時域和頻域讀取ABC採集的資料，透過DAC輸出預生成的波形供軟體檢查。
2. 如果需要更高客製化，例如產生不同頻率和振幅的正弦波，也可以使用Python腳本。同時也可以使用電路板上真實的資料進行演算法驗證，並透過測試的訊號處理，包括FFT濾波，數位預失真的這些演算法。
3. 如果想在板載FPGA上創建自己的設計或DSP，也可以使用與平台無縫整合的HDL編碼器和SIM令。

ADI IIO示波器	Python	MATLAB / Simulink
<ul style="list-style-type: none"> • 讀取ADC資料並繪製相應的時域和頻域圖 • 在單一模式和流模式下生成DAC波形 	<ul style="list-style-type: none"> • 輕鬆生成自訂腳本來控制數位模組 • 使用電路板產生的真實資料來驗證演算法 • 訊號處理功能包括FFT、數位濾波、數位預失真等。 	使用HDL-coder (硬體描述語言) 佈署演算法並即時執行

LLDK低延遲和快速建立時間示例

圖10是具有低延遲和快速建立時間的解決方案示例，使用任意波形產生器輸出正弦波訊號，該輸出分為兩部分：一部分進入LLDK輸入，另一部分連接到示波器作為參考。這種設定允許我們比較LLDK系統數位化的訊號，透過FPGA處理，然後從數位轉

換回類比。輸出連接到示波器上的另一個埠，透過放大比例可以在螢幕上清楚地看到兩個幾乎相同的波形，其中一個稍微落後於另一個。示波器測量的總延遲約為250ns，包括類比數位採集、FPGA處理和數位類比轉換。

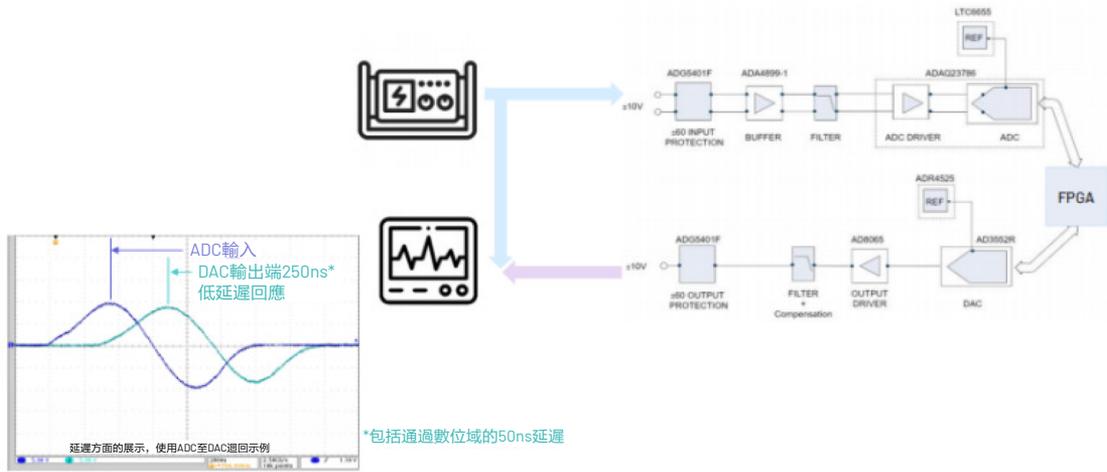


圖10 具有低延遲和快速建立時間的解決方案

LLDK類比輸入和輸出的精密性能

右上角是將LLDK輸出的訊號與參考進行了比較。黃色頻譜軌跡表示來自LLDK的振幅為 $\pm 10V_{pp}$ 的100Hz正弦訊號的類比輸出。將其與來自台式波形產生器相同設定的訊號進行比較，可以看到LLDK的波形生成在訊號純度，諧波遠低於-100dB線。

右下角是1kHz正弦訊號的類比輸入頻譜，發現一個與基頻偏移幾kHz的強雜散峰值。該結果顯示，1kHz音調的無雜散動態範圍(SFDR)為-110dB。

在工作台上重現上述結果非常簡單。LLDK附帶了用於訊號採集和輸出產生的開源Python腳本。如果想檢查訊號生成部分的精度和純度，可對輸出訊號頻率和幅度進行調整。

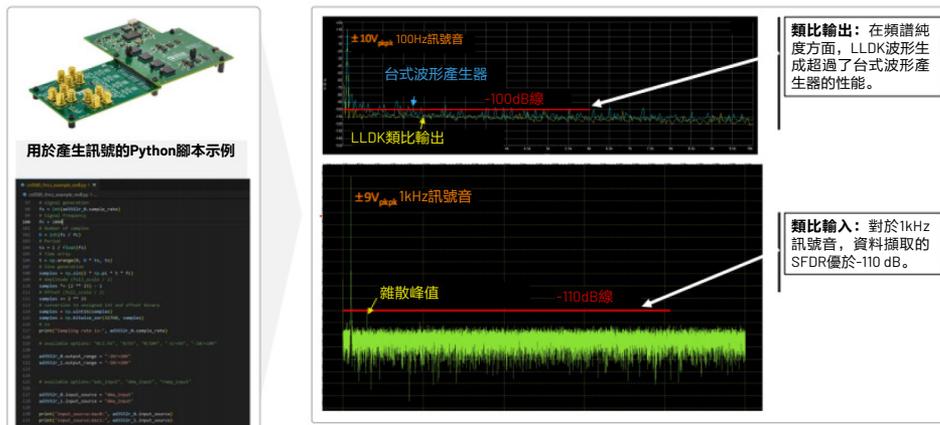


圖11 類比輸出和輸入的精密性能

LLDK數位模組和IP示例

LLDK提供的數位模組和IP元件可以顯著加速客戶的評估和開發速度，這些功能塊已被證明在各種應用場景中是有效的，無論是單獨使用還是在LLDK上。圖12和圖13示例了五種零組件應用。

第一個元件是直接數位合成器或DDS。透過合成波形，可以在單一DAC通道或所有四個同步通道上生成即用型正弦波形以及任意波形。DDS採用使用者指定的幅度、頻率和相位輸入，然後在

4個DAC通道中的2個通道上輸出正弦波形，反轉並在其他2個DAC通道上輸出。

第二個元件採用數位預失真演算法，目的在透過回饋系統實現超低諧波失真。透過板載ADC，其從DAC獲取DDS輸出，分析其諧波音調並應用抵消音調對DDS中的合成訊號進行預失真。相較於初始訊號，諧波則已被有效地消除。

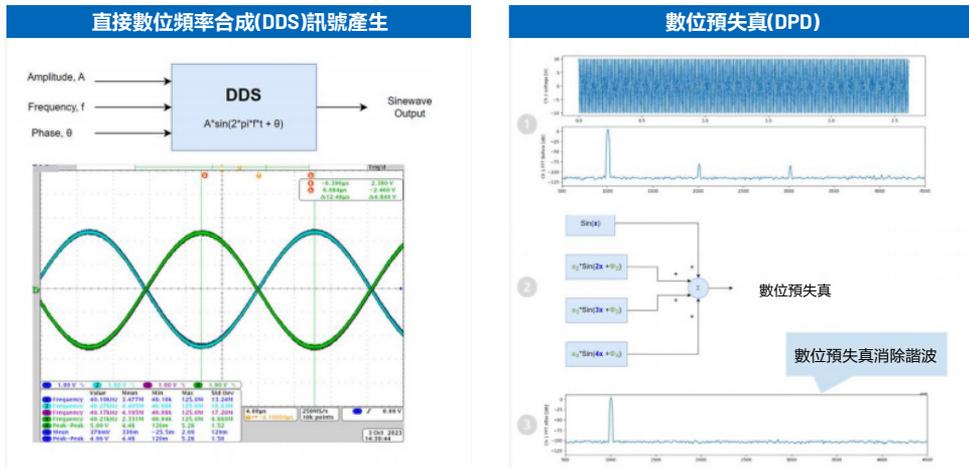


圖12 數位模組和IP示例(1)

第三個元件是PID控制器，是由比例、積分和導數子模組組成的回饋系統。控制器為每個部分擷取使用者指定的參數，執行縮放、積分和推導，然後將組合結果饋送到工廠或過程。閉迴路PID控制器透過工廠的輸出被回饋到回饋路徑，主要得益於工作PID對最終輸出的超調而得到了很好的抑制。

第四個元件是DDS和訊號混頻器的組合調變，透過建置混頻器，接受ADC輸入和LLDK的DDS來創建混合輸出。在此示例中，DDS生成的20kHz正弦訊號（此處未顯示）與ADC擷取的10kHz訊號（藍色顯示）混合。混合輸出（以青色顯示）攜帶2個頻率分量，10kHz

和30kHz。在混頻器中兩個訊號實際上是乘法。在頻率方面，其載波音調在最終產品中則是被相加和相減。

第五個元件是FIR低通濾波器和高通濾波器等數位濾波器，其可以方便地插入數位前端鏈中用於基本的訊號處理。

以上五種示例只是ADI團隊經過進行驗證的一部分。當然，LLDK不僅限於這些功能，客戶可以利用Simulink和HDL Coder根據需求對客製化訊號塊和系統進行原型製作。

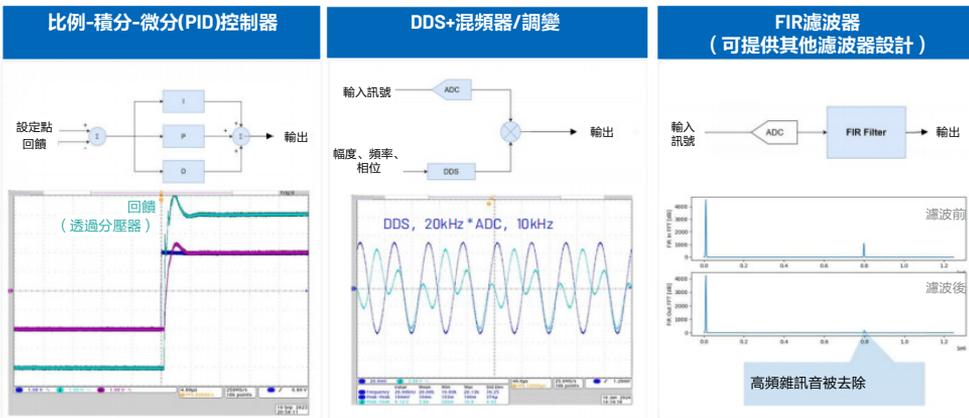


圖12 數位模組和IP示例(2)

總之，低延遲開發套件是一個功能強大的平台，可提供高精度和低延遲，16位元的ADC和DAC可以方便的進行數位模組的拓展處理，同時提供完整的FBA介面，包括HDL的代碼韌體和Python的介面。

低延遲，高精度的特色使其可廣泛應用於許多場景，包括鐳射控制，音訊的測試、ECU電機、電子轉向系統、電子懸架及DMS市場等。

SMU解決方案ADMX3001

ADMX3001是一款4通道、±100V、±1 A的SMU的系統解決方案。在電子測試領域，源量測單元(SMU)和電源都具有非常重要的作用。相較於SMU與標準的電源，因電源主要是為了簡單的電壓電流而設計，無法滿足高階量測環境所需要的高精度和準確性，缺乏對電壓電流的精密控制。

隨著測試需求變得更加精準和複雜，傳統電源難以因應某些挑戰，這些挑戰通常涉及精度、準確度和處理更廣泛操作條件的能力，因此SMU方案脫穎而出，以解決更加精準和複雜的測試。SMU具備完整的四象限操作功能，具有快速的穩定時間，可實現更快更準確的量測，提高生產效率。

在將SMU與標準電源進行比較時，必須考慮其獨特功能。雖然電源主要設計用於簡單的電壓或電流源，但SMU以高精度整合了源和量測功能，此種整合使其能克服電源的特定限制，特別是在精密測試應用中。

應用挑戰：

- 精密度和準確度
- 四象限運行
- 快速建立時間

應用目標：

- 半導體測試
- 台式測試
- 元件特性

ADMX3001主要指標

ADMX3001包括四通道的VI源，4個功能通道均可以達到 $\pm 100V$ ，三個等級電壓範圍為 $\pm 1V$ ， $\pm 10V$ ， $\pm 100V$ ；7個電流範圍為 $1\mu A$ 至 $1A$ ，整體板子尺寸是 $5.5'' \times 10''$ 。精巧的設計還配備了數位PID控制器，以確保在各種負載下安全和理想的操作。該元件提供全四象限操作，如圖13所示，直流輸出為 $100V$ 和 $10mA$ ，脈衝輸出為 $100V$ 和 $1A$ ，客戶可以根據自身實際需求進行設計上的調整，改變需要輸出的電流電壓範圍。ADMX3001可以組合所有4個通道，電流高達 $4A$ 。為了在惡劣條件下保持設計的完整性，產品設計了若干內建安全機制，如電壓/電流箝位以及關機。

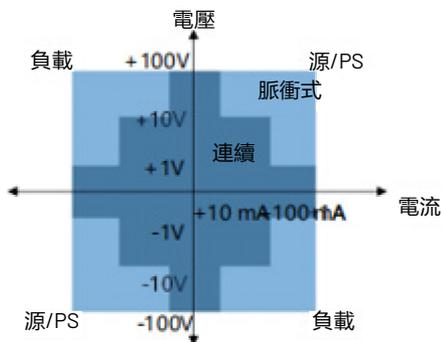


圖13 四象限工作示例

如圖14所示，ADMX3001與FPGA（特別是Xilinx KCU105）配合使用，韌體燒錄在FPGA，板間透過FMC連接。電路板的佈局是由較大的電感器和電容器組成高壓電源軌，高壓放大器則位於這些較大的散熱片和風扇下方以防止過熱，所有的輸出都具有箝位二極體。

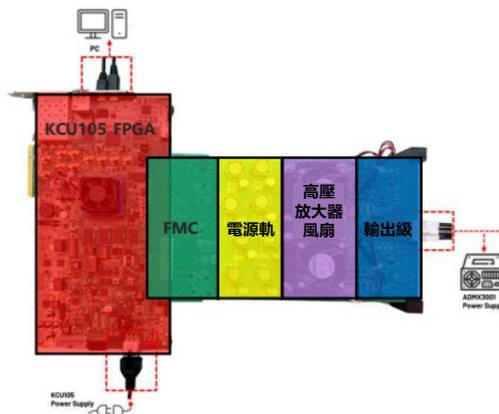


圖14 ADMX3001連接

系統整體框圖如圖15所示，其中最重要的三個零組件是ADC-AD4630-24、DAC-AD3552R和高壓放大器ADHV4711。AD4630-24是一款24位元2Mbps SAR ADC，主要進行電壓和電流感測訊號的高精度採集，以保證系統的精度；AD3552R是一款雙16位元高精度快速DAC，用以保證快速回應；ADHV4711則是一款高速高壓大電流(1A 220V)運算放大器，可以1A標稱輸出電流驅動，具備數位可編程故障檢測（OC、OV、OT）。

SMU的工作則是透過負反饋迴路高壓輸出，經過ADC量測採樣將其轉換為數位訊號，PID控制器處理數位量測以計算控制量，DAC將控制訊號轉化為類比訊號發送到高壓放大器的輸入端，最後高壓放大器再進行對訊號的放大處理。

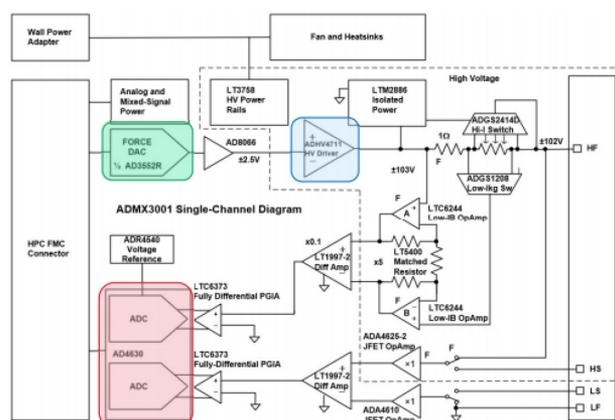


圖15 ADMX3001框圖

表4是ADMX3001與其他方案的對比，在精度、解析度上都有相當的優勢。

表4 ADMX3001與替代方案的性能比較

規格	ADMX3001(Theremin)初始版	替代方案A	替代方案B
通道	4	1	1
電壓範圍(源/測量)	±100 V、±10 V、±1 V	±60 V、±6 V、±600 mV	±200 V、±20 V、±2 V、±200 mV、±20 mV
源解析度	<1.5 μV (±10 V)	<10 μV (±6 V)	<50 μV (±2 V)、<500 μV (±20 V)
源精度	<275 μV (±10 V)	<1800 μV (±6 V)	<700 μV (±2 V)、<4000 μV (±20 V)
測量解析度	1.5 μV (±10 V)	<10 μV (±6 V)	<1μV (±2 V)、<10 μV (±20 V)
測量精度	<275 μV (±10 V)	<1800 μV (±6 V)	<540 μV (±2 V)、<4000 μV (±20 V)
階位解析度	<50 μV (±10 V)	—	—
電流範圍(源/測量)	±1 A、±100 mA、±10 mA、±1 mA、±100 μA、±10 μA、±1 μA	±3 A、±1 A、±100 mA、±10 mA、±1 mA、±100μA、±10μA、±1μA	±1 A、±100 mA、±10 mA、±1 mA、±100μA、±10μA、±1μA、±0.1μA、±10 nA
源解析度	<0.2 pA (±1 μA)	<1pA (±1 μA)	<50 pA (±1 μA)
源精度	<600 pA (±1 μA)	<500 pA (±1 μA)	<650 pA (±1 μA)
測量解析度	<0.2 pA (±1 μA)	<1pA (±1 μA)	<1pA (±1 μA)
測量精度	<600 pA (±1 μA)	<500 pA (±1 μA)	<550 pA (±1 μA)
階位解析度	<100 pA (±1 μA)	—	—
特性			
控制器	PID (用於確保設定點和階位元精度)	類比	類比
脈衝發生	是	是	否
組合模式(最多4通道)	是	是	否
每通道尺寸	70 cm ² /通道	280 cm ² /通道 (1PC插槽)	台式
4通道價格	8,750美元 (每通道2,188美元)	28,932美元 (每通道7,233美元)	24,624美元 (每通道6,156美元)
其他	FPGA套件KCU105 (3,900美元)	PXI機架+控制器	無

階躍回應：滿量程擺幅

圖16是ADMX3001全電壓擺動的三個階躍回應：第一個是200V階躍，34.4μs上升時間內電壓由-100V升至100V；第二個是20V的階躍，27.5μs時的上升時間內電壓由-10V上升至10V；第三是2V的階躍，在14.4μs時電壓由-1V上升至1V。

不同的階躍回應可以透過PID來控制上升時間。由附圖可以看出整個曲線沒有過沖、乾淨且快速。



圖16 階躍回應：滿量程擺幅

透過數位控制進行動態調整

穩定性和回應時間在精密電子產品中非常重要，調整PID係數可以控制上升時間、最小化超調、減少振鈴，避免不穩定。圖17左圖10μF電容器的圖像顯示了反沖、振鈴和阻尼影響，PID調諧則協助系統實現了穩定。

電源軌的自動調整是透過動態調整電源電壓將功耗降至最低，進而提高了能源使用效率。自動軌道調整則增強了系統彈性，允許在無人工干預的情況下在不同電壓水準間無縫轉換，依此不僅可提高整體效率，同時還降低了設計的複雜性。

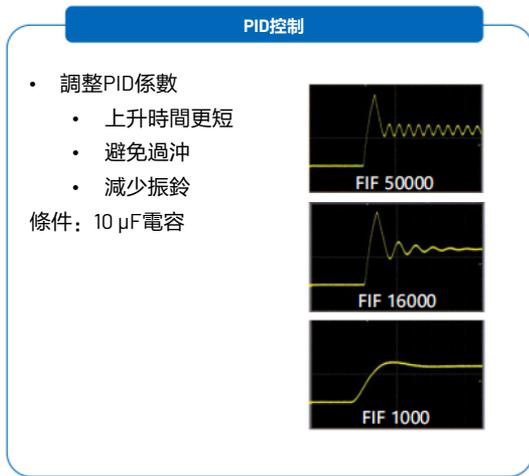


圖17 透過數位控制進行動態調整

多種輸出模式

- 脈衝模式：提供具有精準定時控制的高功率脈衝，使ADMX3001能夠在直流區域外（SOA中）運行。此模式支援的脈衝寬度範圍是100ms至100 μ s。允許高速或瞬態測試，如在1A、100 V輸出和1%的工作週期下，SMU可以有效地提供短時間的高功率脈衝。同樣，1A下的10 V輸出和10%的工作週期顯示了SMU根據不同的功率水準和脈衝持續時間進行調整以滿足各種測試需求。

- Gang模式：允許1至4個通道並聯來增加電流和電壓能力。透過通道的並聯來得到最大4A的電流和最大100V的電壓。這種模式對於需要更高功率的應用或同時測試大電流和電壓的元件特別有益。

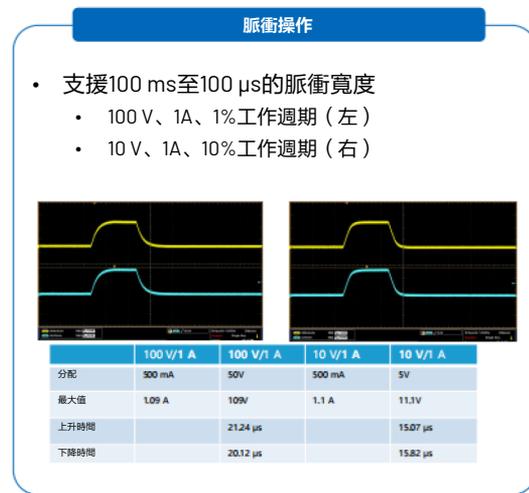
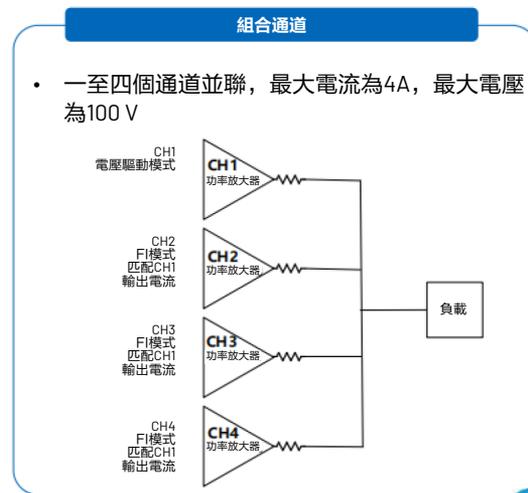


圖18 兩種輸出模式

安全/保護特性

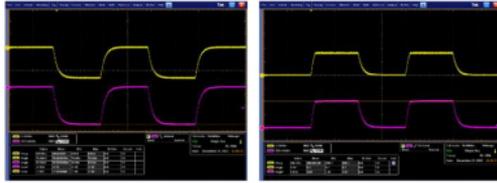
箝位和關閉等安全功能對於保護ADMX3001和被測裝置非常重要。箝位功能允許使用者設定電壓和電流的特定限制，確保ADMX3001在操作過程中不會超過這些閾值。此功能有助於防止可能損壞敏感元件或SMU本身的意外過電壓或過電流情況。



關機功能則透過使ADHV4711在達到設定的最大限值時自動切換到高阻抗（高Z）狀態，進一步增加了額外的保護層。透過建置這些安全機制，用戶可以自信地進行測試，同時將損壞風險降至最低，並確保裝置和測試裝置的完整性。

箝位

- 對不需要的範圍進行箝位操作，防止過沖
 - 在PID控制器中實現
 - 箝位解析度： $<50\ \mu\text{V}$ （1V範圍）
 - 鉗位解析度： $<20\ \text{pA}$ （1 μA 範圍）



條件：脈衝F模式，2個通道組合在一起，1.5 A至5.0 負載
左：未箝位
右：5V箝位

ADHV4711關斷

- ADHV4711具備過流關斷、過壓關斷和溫度關斷特性
- ADMX3001會自動設定電壓/電流量測範圍，但用戶可以調整

	1 V/1 A	10 V/100 mA	100 V/10 mA
OC_SRC	1.06 A	109.4 mA	109.4 mA
OC_SNK	-1.06 A	-109.4 mA	-109.4 mA
OV_POS	11.72V	11.72V	105.5V
OV_NEG	-11.72V	-11.72V	-105.5V
OT	104.43°C	104.43°C	104.43°C

圖19 安全/保護特性

ADI重視解決方案的推廣，提供了多樣彈性的支援方式，包括包括BOM、原理圖、佈局在內的參考設計，以PCB/模組形式出售的完整硬體和軟體；並且與客戶攜手聯合開發客製化方案。

小結

以上內容主要探討了ADI阻抗分析模組、超低失真波形產生器、低延遲開發套件和SMU儀器儀錶解決方案，所有均可根據具體應用需求打造合適的解決方案，為每個解決方案提供專業技術支援，協助客戶在開發過程中實現更快、更具有成本效益的設計成果。ADI的精密儀器儀錶解決方案可因應各種關鍵挑戰，以解決客戶痛點為前提，攜手克服挑戰，協助設計者開發具競爭力的產品。

向ADI技術專家提出棘手問題、瀏覽常見問題解答、或參與EngineerZone線上支援社群討論。

ez.analog.com

 ADI EngineerZone™

 ANALOG
DEVICES

analog.com

如需聯繫區域總部、業務和代理商，或客戶服務和技術支援，請瀏覽analog.com/contact。

©2025 Analog Devices, Inc.保留所有權利。商標和註冊商標為各自持有者所擁有。