

阻抗量測中的萬能法寶

■作者：Jan-Hein Broeders

ADI 歐洲、中東和非洲市場醫療健康業務開發經理

誰不知道歐姆定律？對於直流電壓來說，它表述為通過導體兩點之間的電流與這兩點之間的電壓成正比。換言之，導體的電阻是恒定的，與電流無關。對於交流電壓來說，情況則完全改變了，而且變得更加複雜。電阻變為阻抗，其定義為電壓與電流在頻域中的比率。幅度（或實部）代表電壓和電流之間的比率，而相位（或虛部）則是電壓與電流之間的相移值。

在醫療產業中有許多應用阻抗量測的實例。該技術可用於廣泛的應用，例如獲取某些特定人體參數、檢測疾病或分析血液或唾液等人體液體。雖然這些應用的共同之處是進行阻抗量測，但每個應用又都有各自的一系列關鍵要求。

ADI 公司已開發了一個稱為 AD594x 系列的新型阻抗量測晶片。該晶片非常精準，並具有多種功率模式，可實現按需量測或連續量測。在本文中，您將瞭解該晶片的特性及其主要應用。

簡介和重點

用晶片做阻抗量測的技術相對較新。大約 15 年前，ADI 推出了 AD5933/AD5934，這是首個阻抗分析晶片系列。第二代產品

ADuCM350 於 2015 年推出。這兩個系列目前仍在大量銷售，但對於目前更新的應用來說，它們並不總是最佳解決方案。隨著穿戴式裝置和電池供電系統成為發展趨勢，主要挑戰是在盡可能小的外形尺寸內滿足所需的性能水準，並且功耗極低。AD594x 旨在支援目前的穿戴式市場，並滿足所有關鍵要求，包括高精度、小尺寸和低功耗。

AD594x（圖 1）是一款多功能阻抗分析儀，專為醫療和工業類應用量身定制。該類比前端完全可配置，可以進行修改以支援各種不同的用途，包括膚電活動（EDA）或膚電反應（GSR）、身體阻抗分析、

水分量測和生化量測。本文之重點雖主要將介紹與醫療相關的應用，但 AD594x 也可用於工業應用，如有毒氣體分析、PH 值測量、電導率或水質測量。

EDA/GSR 的相對測量

相對阻抗（或阻抗的變化值）可以直接採用 2 線量測法來量測。一個目標應用是透過膚電活動或膚電反應監測壓力或心理健康。精神狀態或壓力監測非常重要，因為隨著時間的推移，壓力可能導致慢性疾病，如糖尿病、心臟病或癌症。在精神狀態改變期間或當人們變得緊張時，人體的交感神經系統啟動

圖 1: AD594x 的高級功能框圖

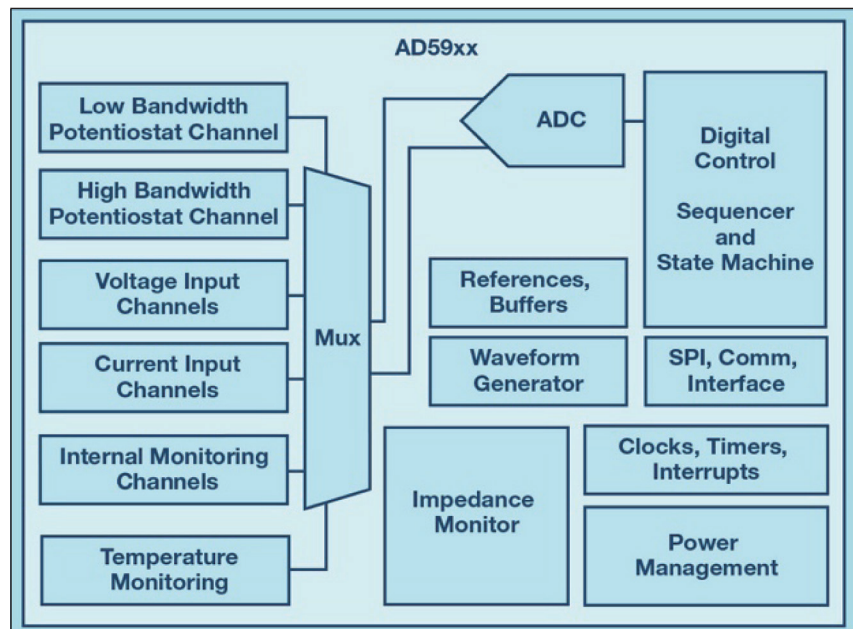
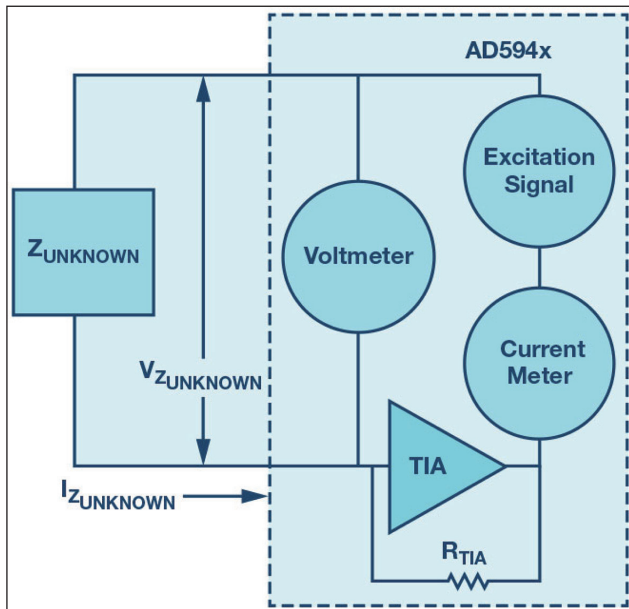


圖 2: EDA 或 GSR 的量測原理



皮膚中的汗腺。這種效應會增加皮膚導電性，從而使阻抗下降。

皮膚阻抗監測採用伏安法量測。在未知阻抗（本例中為皮膚）上施加激勵訊號，並量測阻抗兩端的電壓。然後量測通過未知阻抗的電流。對 ADC 結果執行 DFT 計算以得到阻抗的變化值。圖 2 顯示了 EDA 或 GSR 的整體量測原理。該量測的激勵訊號頻率接近直流。建議使用低頻激勵（而非直流電壓）進行量測，以防止電極極化並消除對人體組織的傷害。通常，最大激勵訊號頻率可達 200Hz，因為較高的頻率可穿透進入人體，而不會僅量測皮膚表面。將電極在人體上的某些位置，電導率會隨著人的情緒或精神狀態變化而變化。

阻抗變化與精神壓力之間的關係並沒有直接公式，因此該量測通常與心率和 / 或心率變異性等其他量測並行進行。需要開發一種演算法來將各種量測結果轉

化為心理壓力水準。將 EDA/GSR 技術用於壓力監測需要連續的全天候量測，AD594x 就是為此而專門設計的。輸出資料速率為 4 Hz 時，功耗 <80μA。EDA/GSR 量測也可以用於睡眠分析等應用。

用於人體阻

抗分析的 4 線量測法

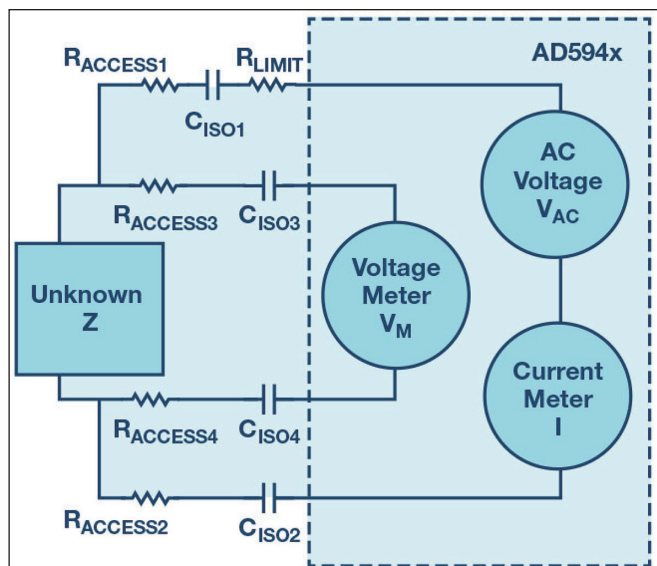
在醫療應用中，經常將阻抗量測用於生物阻抗分析 (BIA)。BIA 是一種 4 線阻抗量測，可用於需要絕對精度的應用。AD594x 接收頻寬高達 50 kHz 且訊號雜訊比 (SNR) 為 100 dB。最常見的 4 線 BIA 應用之一是人體成分量測，以量測去脂體重。此外，這種設定也可用於監測人體內的含水量或透過生物阻抗譜量測心臟行為。其量測原理都是一樣的，但是我們可以透過改變交流激勵頻率和電極在人體的位置來實

現不同的應用。圖 3 顯示了 4 線量測法的原理。此設置中的未知量 Z 代表人體。對人體施加交流激勵電壓，在此之上疊加一合適的共模電壓並用電壓表量測，利用高速跨阻放大器量測回應電流。最終阻抗可透過下列公式計算： $Z = V_M / I$ 。

在圖 3 的功能框圖中，可以看到阻抗透過電阻和電容與量測前端隔離。電阻限制了可流過人體的最大電流。CISO 確保在電極與地或其他電極之間不會產生直流訊號。這是滿足醫療安全標準（如 IEC 60601）的要求之一。

如前所述，人體上的電極位置和激勵頻率將代表所執行的量測。低至幾百赫茲的低頻電流只停留在皮膚表面，而較高頻率的電流則會深入人體內部。對於一個健康的人來說，水約佔其總體重的 60%。人體水分的三分之一是細胞外液 (ECF)，而其餘部分位於細胞結構內（細胞間液）。鑒於細胞結構的電模型，高達 50 kHz 的交

圖 3: 用於人體阻抗分析的 4 線量測。



AD594x 的其他應用包括基於

AD594x 的另一個應用是生化分析。該技術將電流 / 恒電位儀類型的量測應用於感測器上，此感測器可作為一個典型電化學電池的模型。感測器通常是帶有試劑的測試條，在感測器上放置待測材料的樣本。任何可被氧化或被還原的分析物都可能拿來做電流量測。在醫療應用中，可以對各種人體液體樣品 (如血液、尿液或唾液) 進行分析。該系統需要一個 (可編程) 電流源和恒電位儀放大器。電流量測最簡

恒電位儀在 WE 和 RE 之間
提供所需的電池電位 V_{CELL} ，並

The diagram illustrates the internal architecture of the ADuCM3029, which is divided into two main functional blocks: the **AD59xx** and the **ADuCM3029**.

AD59xx Block:

- Test-Strip Interface:** Three input lines (CE, RE, WE) connect to the external Test-Strip.
- CE (Common Electrode):** Connected to the non-inverting input of the **PA** (Programmable Amplifier).
- RE (Reference Electrode):** Connected to the inverting input of the **PA** and the non-inverting input of the **TIA** (Transimpedance Amplifier).
- WE (Working Electrode):** Connected to the inverting input of the **TIA**.
- PA (Programmable Amplifier):** Its output is connected to the **DAC** (Digital-to-Analog Converter).
- DAC (Digital-to-Analog Converter):** Receives data from the **Waveform Generator**.
- Waveform Generator:** Provides the reference voltage for the **DAC**.
- TIA (Transimpedance Amplifier):** Its output is connected to the **Mux** (Multiplexer).
- R_{TIA} (Transimpedance Amplifier Resistor):** Connected between the output of the **TIA** and the **RE** input.
- Mux (Multiplexer):** Selects between the **TIA** output and the **DAC** output for the **ADC**.
- ADC (Analog-to-Digital Converter):** Converts the selected analog signal into a digital value.

ADuCM3029 Block:

- Analog Front End:** Receives digital data from the **ADC** and provides an analog output.
- CPU (Central Processing Unit):** The main processing core.
- Memory:** Stores program code and data.
- I²C, SPI, UART Sport:** Serial communication interfaces.
- Clock, Timers, Interrupts:** Timing and event management logic.
- Power Management:** Manages the device's power consumption.

External Modules:

- Switch-Mode Battery Charger and Ultra Low Power Fuel Gauge:** ADP5350
- 100 mA LDO (Ultra Low I_Q):** ADP5350
- 100 mA LDO (Bypass Mode):** ADP5350
- 100 mA LDO (Bypass Mode):** ADP5350
- Inductive Boost Regulator with White LED Backlight Driver:** ADP5350

量測 WE 和 CE 之間的反應電流。血糖檢測有一種趨勢是從按需檢測轉向使用連續血糖監測 (CGM)。量測儀持續量測血糖濃度並將資料發送到胰島素泵。然後泵將所需劑量的胰島素注射到體內。這種人工胰腺技術改善了糖尿病患者的生活。不再需要專人整日觀察血糖水準，該系統可以完全獨立運行，無需任何人為干預。AD594x 非常適合此應用，因為它具有非常高的精度和超低功耗，並且可以執行所有必需的安全檢查。圖 4 中的系統具有三個主要功能：生化 AFE、微控制器和專用電源管理晶片。

除糖尿病外，該技術還可用來測試許多其他疾病以及藥物和激素。在工業應用中，該技術主要用於氣體檢測和流體分析。

AD594x 的特性和主要規格

AD594x 是一款高精度模擬前端 (AFE)，專為基於電化學的量測技術而設計，如電流、伏安和阻抗量測。該前端具有超低功耗模式，支援可攜式和電池供電系統。與此同時，該晶片還能夠支援高性能和

基於診斷的應用，這些應用主要用於臨床和實驗室環境中。

AD594x 圍繞三個主要模組而設計：輸入接收訊號鏈、波形產生器和發送通道，以及用於量測複阻抗的帶有離散傅立葉變換 (DFT) 引擎的時序控制器。根據不同應用，激勵迴路及其接收通道可以進行不同配置。對於要求感測器激勵訊號頻率從直流變化到 200 Hz 的應用，可以使用低功耗 DAC 和低雜訊恒電位儀放大器。對於需要更高激勵頻率 (高達 200 kHz) 的應用，則可使用整合式的高速 DAC。DAC 可以生成正弦曲線和梯形激勵波形。所有模式 (低功耗或高速) 均已整合了專用的跨阻放大器。每種模式均具有一個可編程跨阻放大器，支援連接到 AFE 的各種感測器。TIA 的輸出可多工到輸入接收通道的第二級。此時，還可以量測次要通道，例如外部電壓和電流或內部診斷訊號 (如電源電壓、晶片溫度或基準電壓源)。該多工器可用作通道選擇器，其輸出通過緩衝器、可編程增益放大器和抗混疊濾波器連接到一個 16 位元、800 kSPS 逐次漸近暫存器 (SAR)

ADC。

結論

穿戴式電子產品、基於雲端的即時監測以及物聯網是我們幾乎每天都會見到的術語。感測是這些系統非常重要的功能之一，阻抗量測則是更為重要的感測類型之一。

AD594x 的開發旨在滿足當前的需求目標。它是一款高性能且靈活的類比前端，專為阻抗分析、生物化學和電化學應用而設計。高精度、超低功耗和小尺寸的組合開闢了各種新市場和應用，而這些應用和市場在過去則難以實現。特別是對於可攜式和電池供電的系統而言，該微型元件系列帶來了龐大的優勢。

AD594x 系列可與單導聯 ECG 前端 AD8233 無縫配合使用。兩個晶片都可以在主 / 從配置下工作，該配置可以共用連接到人體的電極來進行阻抗和 ECG 量測。至於處理器，建議將超低功耗 ADuCM3029 Cortex-M3 與 ADP5350 電源管理和鋰離子充電器元件搭配使用。現更已經開發了針對不同用例的評估板，可用於縮短設計週期和產品上市時間。CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩内容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>