

# 為精密 ADC 供電：平均電流相對於瞬態電流

Luke Allen  
Applications Engineer

Bryan Lizon  
Applications Manager

## 簡介

了解類比轉數位轉換器 (ADC) 產品規格書電源參數可協助您設計出更可靠的精密資料採集 (DAQ) 系統。具體來說，請務必了解 ADC 產品規格書中的電流消耗是在穩定狀態操作條件下指定的平均值。因此，即使 ADC 瞬態電流可能比指定的 ADC 電流大幾個數量級，這些測得的電流值並不代表瞬態電流需求。在不同 ADC 操作模式間轉換時，可能會出現瞬態電流，而且在一開始為裝置供電時最為顯著。此外，ADC 周圍的電路和元件會造成額外的瞬態電流需求。

本文中首先介紹了裝置產品規格書指定電流的方式，然後分享將不同操作條件下的瞬態電流需求予以量化的數項測試結果，以深入探討 ADC 瞬態電流需求這個主題。我們討論了可同時提供平均電流與瞬態電流的多種電源供應配置，最後比較了各種斷電方式的影響。

## 電源供應規格

ADC 產品規格書中的電流消耗是在穩定狀態操作條件下指定的平均值。具有多種不同操作條件的 ADC 需要指定多個電流值。這些條件可能包括平均 ADC 電源電流 (相對於資料傳輸速率成比例)，或者在啟用可編程增益放大器 (PGA) 或電壓參考 (VREF) 等內部功能時增加的電流需求。例如，**表 1** 顯示了 TI **ADS1261** 在不同操作條件下的產品規格書電源規格，這是一款整合了 PGA 和 VREF 的 24 位元、40kSPS、11 通道  $\Delta\Sigma$  ADC。

電源供應						
參數	測試條件	最小值	典型值	最大值	單位	
$I_{AVDD}$ 、 $I_{AVSS}$	類比電源電流	PGA 旁路		2.7	4.5	mA
		PGA 模式，增益 = 1 至 32		3.8	6	
		PGA 模式，增益 = 64 或 128		4.3	6.5	
		斷電模式		2	8	$\mu$ A
$I_{AVDD}$ 、 $I_{AVSS}$	類比供應電流 (依功能)	電壓參考		0.2	mA	
		40kSPS 模式		0.5		
		電流源		依編程		
$I_{DVDD}$	數位電源電流	20SPS		0.4	0.65	mA
		40kSPS		0.6	0.85	
		斷電模式		30	50	$\mu$ A
$P_D$	功耗	PGA 模式		20	32	mW
		斷電模式		0.1	0.2	

表 1. ADS1261 的產品規格書電源供應規格。

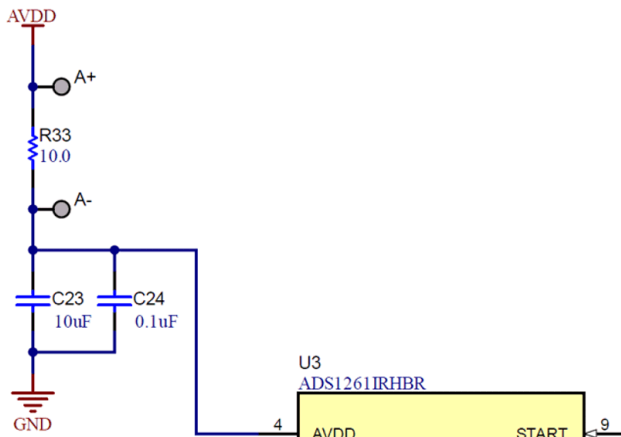
**表 1** 中突出顯示的 PGA 旁路部分顯示，在 PGA 旁路正常運作期間，**ADS1261** 消耗的平均類比電流為 2.7mA (典型值) 或 4.5mA (最大值)。突出顯示的「依功能」部分表示啓用每個功能時電流增加了多少。所有這些電源電流規格的特徵都是測量電流穩定後裝置消耗的平均電流。

因此，產品規格書電源供應規格對裝置或支援電路在正常操作期間所需的任何瞬態電流需求取平均值。這點相當重要，因為啟動和開關期間的瞬態電流可能會比產品規格書中指定的數值大得多。可靠的系統設計必須能夠同時考慮平均電流需求和瞬態電流需求。

## 瞬態電流

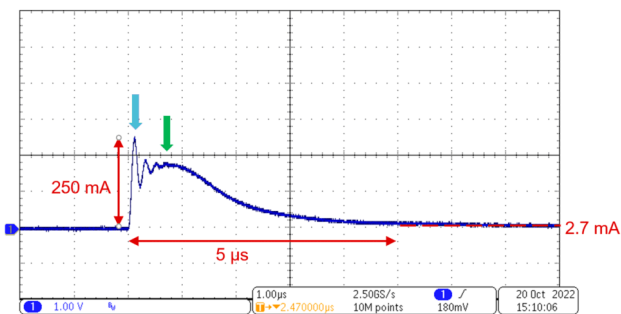
瞬態電流面臨的一個挑戰是，由於 ADC 操作條件和周遭電路的影響，瞬態電流的大小和持續時間可能會有很大差異。因此，ADC 產品規格書很少指定瞬態電流。然而，可以透過使用示波器探測與電源走線串聯的小阻值電阻來測量給定系統配置的瞬態電流。然後，您可以使用歐姆定律來確定產生的電流。

**ADS1261** 提供了一個評估模組 (EVM)，該模組在電源輸出和 ADC AVDD 針腳之間整合了這樣一個電阻。**圖 1** 顯示了 EVM 原理圖的相關部分，其中包括一個  $10\Omega$  測量電阻 (R33)。測量此電阻上的平均壓降或瞬態壓降，然後除以  $10\Omega$ ，分別計算出 **ADS1261** 消耗的平均電流或瞬態電流。我在各種條件下進行了多次測試，以便更深入了解該 ADC 的瞬態電流行為。



**圖 1.** 使用 **ADS1261 EVM** 的瞬態電流測試電路。

第一個瞬態電流測試是啟動測試，在 AVDD 和接地之間安裝了建議的  $10\mu\text{F}$  (C23) 和  $0.1\mu\text{F}$  (C24) 去耦電容器。**圖 2** 顯示了 **ADS1261** 在這些條件下的瞬態電流。

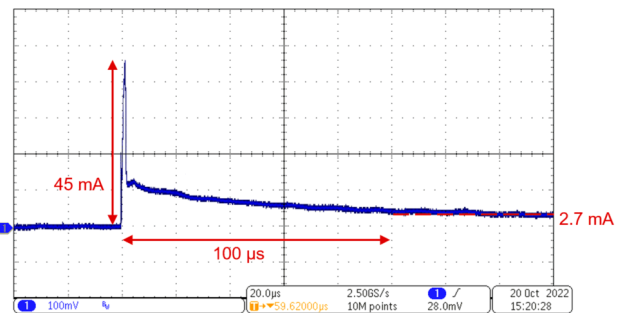


**圖 2.** 在安裝去耦電容器的情況下，測得的啟動時瞬態電流。

回想一下在**表 1** 中 **ADS1261** 的電源供應規格，停用 PGA 時的平均電流為  $2.7\text{mA}$  (典型值) 或  $4.5\text{mA}$  (最大值)。但是，**圖 2** 中的藍色箭頭指出了 **ADS1261** 一開始通電時出現的  $250\text{mA}$  瞬態突波。這種瞬態電流是典型電流的 90 倍以上，也是產品規格書中指定的最大電流的 55 倍以上。當 ADC 發生任何狀態變化時，也可能出現類似的電流突波。

**圖 2** 中的綠色箭頭表示為去耦電容器充電所需的第二個瞬態電流。在正常操作條件下，去耦電容器會儲存補充電荷，以在發生瞬態時提供額外電流。這種額外的電荷有助於維持穩定的電源電壓，使 ADC 運作不受影響。但是，當系統通電時，電容器必須從未充電狀態充電至電源電壓。未通電的電容器在系統通電時表現得像短路，導致較大的突波電流。去耦電容器的容值增加時，突波電流的幅度會隨之增加。

為了只測量 ADC 所需的瞬態電流，第二次瞬態電流測試在**圖 1** 中移除了從 AVDD 到接地的建議  $10\mu\text{F}$  和  $0.1\mu\text{F}$  去耦電容器。**圖 3** 顯示了 **ADS1261** 在這些條件下的瞬態電流。



**圖 3.** 在移除去耦電容器的情況下，測得的啟動時瞬態電流。

**圖 1** 中的  $45\text{mA}$  瞬態突波僅代表 ADC 因切換而需要的啟動電流。如同預期一般，與安裝去耦電容器時出現的  $250\text{mA}$  突波相比，只有 ADC 時的瞬態要小得多。然而，這種降低的瞬態幅度，其代價是 ADC 達到穩態電流所需的時間大幅延長，因為電容器不再提供任何補充電荷。此外，這個  $45\text{mA}$  瞬態仍然是**表 1** 中列出的最大 ADC 電流規格  $4.5\text{mA}$  的 10 倍。

我進行了第三組測試，以驗證不同的功能也會導致瞬態電流突波。啟用 **ADS1261** VREF 正是會產生突波的功能之一。**圖 4** 顯示了觀察到的瞬態電流的行為。

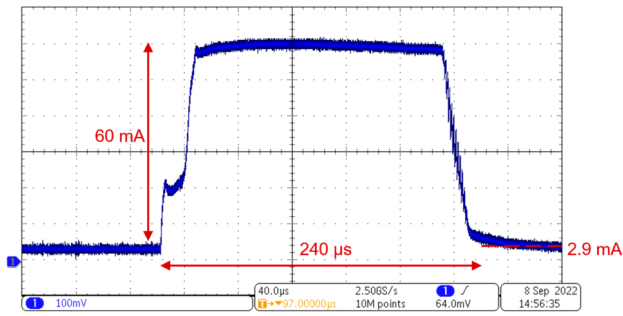


圖 4. 在啟用 ADS1261 VREF 的情況下測得的瞬態電流。

回想一下表 1，典型的 ADS1261 VREF 電流為 0.2mA。在停用 PGA (2.7mA) 和啟用內部 VREF 的情況下操作 ADC 時，總電流應為 2.9mA。但是，圖 4 中測得的 60mA 瞬態電流是預期值的 20 倍以上。此瞬態主要由放置在 VREF 輸出針腳和接地之間的濾波電容器充電所需的突波電流所造成的。

圖 4 有一個有趣特性是，電流需求基本上在整個瞬態脈衝期間保持恆定在 60mA。這種行為源於 ADS1261 內部 VREF 中設計的固有電流限制，有助於在 REFOUT 針腳對接地短路時保護 ADC。

我執行了一些額外的功能測試，儘管我沒有測試所有操作條件，但沒有顯示任何可測量的瞬態電流。此外，我應該指出，這種行為並不限於 ADS1261；很可能所有精密 ADC 都能觀察到本文中所記錄的瞬態電流。

## 電源供應電路選項

瞬態電流可能會造成壓降等問題，進而導致 ADC 運作不穩定。因此，電源的設計必須同時滿足平均電流和瞬態電流需求。檢視三種不同電源選項的優勢和挑戰：

- 低壓降穩壓器 (LDO)。TI 建議使用 LDO 為精密 ADC 供電。LDO 具備眾多優勢，例如出色的雜訊性能、低電壓漣波以及小而簡單的實作形式。LDO 最重要的優勢，在於能夠在瞬態期間可靠地維持輸出電壓，同時還提供低靜態電流。如需如何為任何應用選擇最佳 LDO 的詳細資訊，請參閱下方的「[相關網站](#)」章節。
- 線性穩壓器。若選擇 LDO 會導致成本高昂，則具備標準壓降電壓的線性穩壓器也是一個不錯的選擇。線性穩壓器可在瞬態期間可靠地維持輸出電壓，同時提供類似 LDO 的低靜態電流。使用線性穩壓器的挑戰是壓降電壓明顯要大得多，因此可能需要特定的電壓軌才能為這

些裝置供電。線性穩壓器也傾向於採用更大的封裝，因為它們效率較低，而且必須散發更多熱量。額外的熱量會提高封閉系統的溫度，這可能導致精密系統中的漂移誤差。

- 分流穩壓器。最符合成本效益的電源選項之一是分流穩壓器。節省成本的代價是設計可靠電源供應電路時，複雜度也會隨之增加。舉例來說，需要雙極供電運作的精密 ADC 可能會使用 TLV431 低電壓可調式分流穩壓器來產生  $\pm 2.5V$  電壓軌。您可以將 TLV431 用於此目的，因為它具有低 VREF。然而，此穩壓器會面臨一個挑戰，就是它只能供應有限的電流。TLV431 產品規格書還要求陰極電流必須  $\geq 1mA$ 。這兩項限制因素限制了圖 5 和圖 6 中所示標準設定的輸出電流能力。

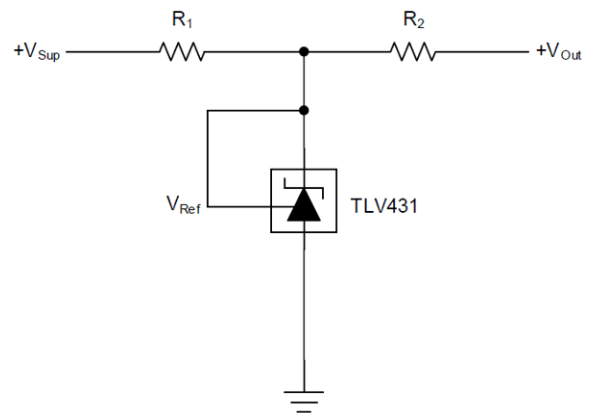


圖 5. 具有正輸出的限流分流穩壓器電路。

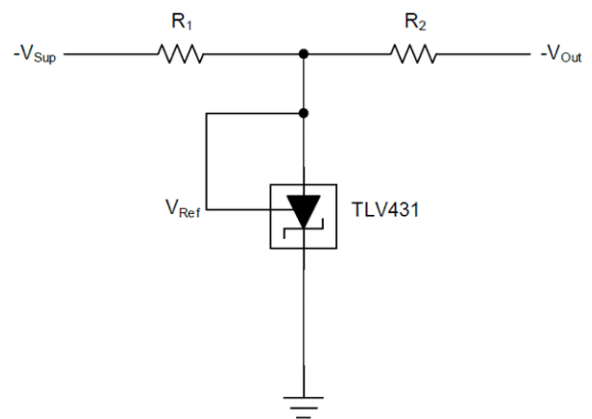


圖 6. 具有負輸出的限流分流穩壓器電路。

圖 5 和圖 6 顯示了陰極電流和提供給 ADC 的電流都必須流經電阻器 R1。此配置會將電源電流限制為  $(V_{SUP} - V_{REF})/R1$ ，這會帶來兩個設計挑戰。首先，持續流經 R1 的電流即使在無負載下也會消耗功率。嘗試降低 R1 以增

加可用電源電流也會成比例地增加靜態功耗。其次，R1 設定的最大電流通常無法支援 ADC 所需的數百毫安培瞬態電流。無法提供必要電流會造成電源電壓下降，並可能導致 ADC 運作不穩定。

在圖 5 和圖 6 中的電路中增加兩個元件可以緩解這些問題。圖 7 和圖 8 顯示了改進的分流穩壓器電路，其中包括電晶體和偏壓電阻器 R<sub>b</sub>。

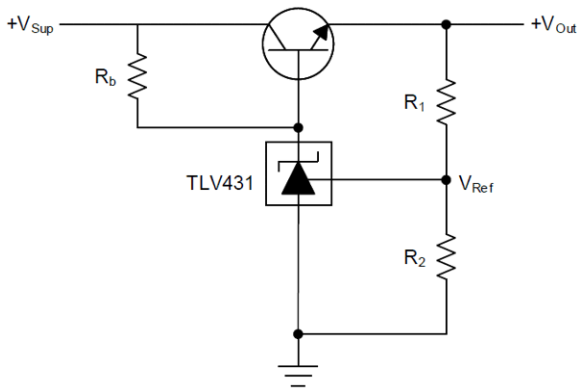


圖 7. 具有正輸出的改良型分流穩壓器電路。

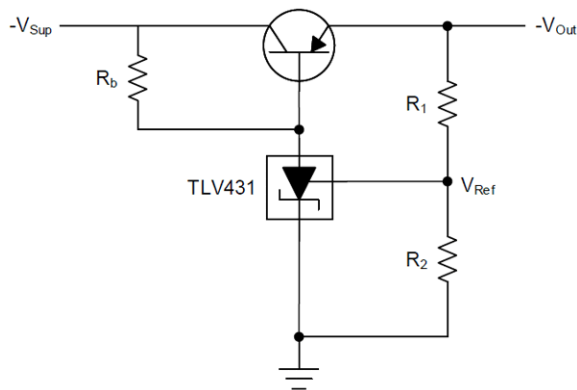


圖 8. 具有負輸出的改良型分流穩壓器電路。

與圖 5 和圖 6 中的系統相比，圖 7 和圖 8 中的電源供應電路可以提供更多電流，因為電晶體消除了電源輸入 (V<sub>SUP</sub>) 和輸出 (V<sub>OUT</sub>) 之間的任何電阻。此新電路也可以透過安裝 R<sub>b</sub> 而不是依賴 R<sub>1</sub> 來維持 ≥1mA 的陰極電流。因此，僅需要電阻 R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 來根據方程式 1 設定輸出電壓。

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_{ref} \quad (1)$$

如需如何將電壓參考做為分流穩壓器使用的詳細資訊，請參閱下方的「[相關網站](#)」章節。

## 低功耗系統：斷電或關機？

低功耗 DAQ 系統通常採用各種斷電方式來節省電力。部分 ADC 具備斷電模式，可在裝置未使用時將其設為低功耗狀態，以協助降低系統功耗。ADC 產品規格書中指定了此模式下的電流消耗。另一種常用的省電技術是在不使用 ADC 時直接關閉電源，並在需要時重新開啟電源。此方法在系統關閉時不會產生功耗。

然而，後一種方法受本文討論的瞬態電流的影響，因為任何電容器在每次關機再開時都必須重新充電。您可以使用電荷 (Q) 和電流 (I) 的標準方程式來估計關機時系統消耗的電流量，然後將該值與斷電模式下的 ADC 產品規格書中的值進行比較。

例如，ADS1261 產品規格書建議將 10μF 和 0.1μF 去耦電容從 AVDD 並聯到 AVSS。產品規格書也指定 AVDD 必須為 5V。方程式 2 和方程式 3 計算出，如果電源每秒循環一次，則平均電流為 50.5μA：

$$Q = C \times V = 10.1 \mu\text{F} \times 5\text{V} = 50.5 \mu\text{C} \quad (2)$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{50.5 \mu\text{C}}{1\text{s}} = 50.5 \mu\text{A} \quad (3)$$

其中，C = 10.1μF (10μF + 0.1μF)，V = 5V，而 t = 1 秒。

請回想一下表 1 中綠色突出顯示的部分，斷電模式下的 ADS1261 斷電電流只有 8μA (最大值)。比較這兩個選項可以發現，使用 ADC 斷電模式相對於關機可節省 6 倍以上的電力。因此，請務必考慮瞬態電流對整體功耗的影響。選擇將 ADC 置於斷電狀態通常是更節能的解決方案。

## 相關網站

- 下載這些電子書：
  - 德州儀器：[LDO 基礎](#)
  - 德州儀器：[設計電壓參考的秘訣與技巧](#)
- 查看以下 TI E2E™ 設計支援論壇技術文章：
  - [如何選擇 LDO 或切換穩壓器](#)
  - [如何使用電壓參考做為電壓穩壓器](#)
- 德州儀器：[了解 TL431、TL432 產品規格書中的穩定性邊界條件圖](#)
- 利用 [LDO 參數搜尋](#)，為您的下一個精密 ADC 設計尋找 LDO

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated