

Analog Engineer's Circuit

來自 +5V 供電電源且用於高電壓資料轉換器的精密、±15V 電源供應電路



Precision DAC: Factory Automation and Control

Joseph Wu

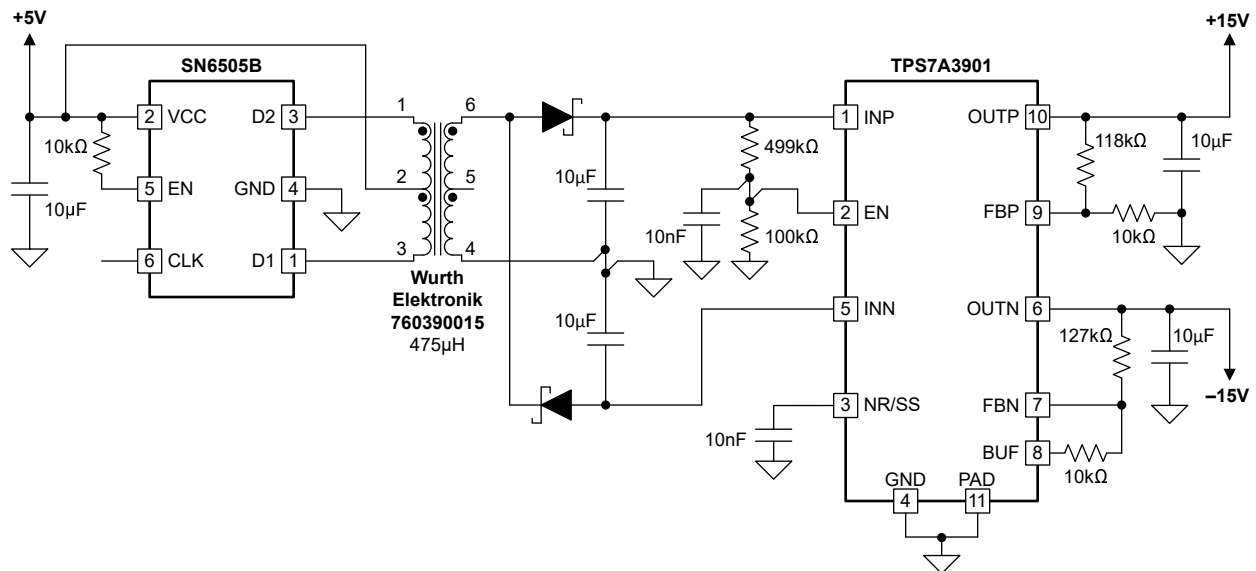
設計目標

輸入電壓	輸出電壓	推薦使用的裝置
+5V	±15V	SN6505B、TPS7A3901

目標：從 +5V 供電電源產生 ±15V 精密電源。

設計說明

部分精密類比轉數位轉換器 (ADC) 和數位轉類比轉換器 (DAC) 需要高電壓電源才能運作。此類比工程師的電路描述了可用於高電壓精密資料轉換器的精密、高電壓供應電路。在此設計中，推拉式驅動器使用現成的中心抽頭變壓器，首先將 +5V 電源輸入升壓至約 ±20V。在此輸出後，雙輸出低壓差 (LDO) 電壓穩壓器可為 ±15V 電源設定輸出。可編程邏輯控制器 (PLC)、類比輸入和類比輸出等多種應用，都需要高電壓以進行輸入量測或輸出驅動。

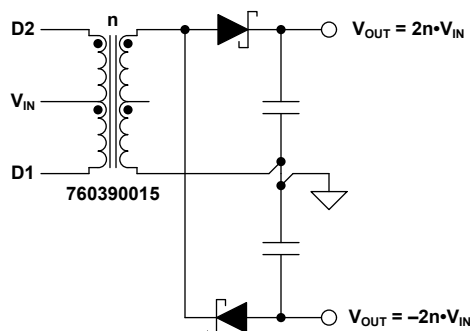


規格

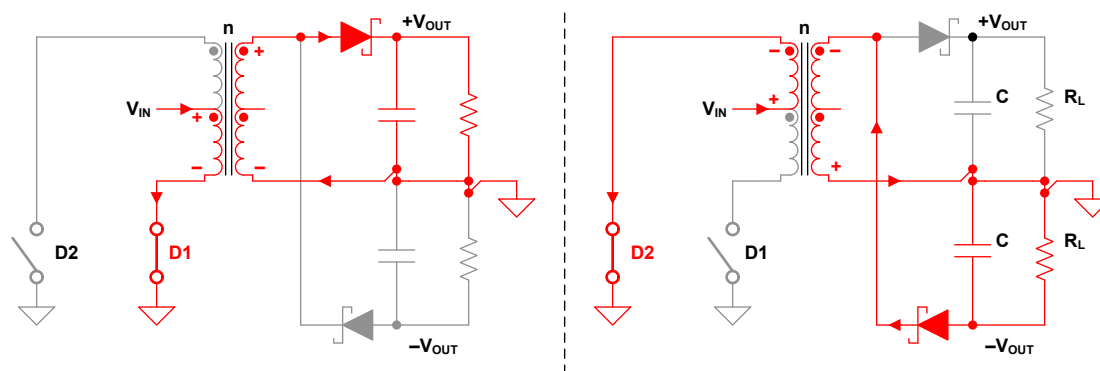
電源供應			
輸入	輸出 VCC	輸出 VSS	輸出電流負載
+5V	+15V	-15V	50mA

設計說明

- 此電路由 USB 主機連接埠的 5V 額定電源驅動。請注意確保 USB 電壓夠高，並防止超過 USB 連接埠的電流限制。
 - USB 1.0、1.1 和 2.0 的電壓輸出最低為 4.75V。若在高電流下使用 USB-C，此電壓可低至 4.5V。
 - USB 1.0、1.1 和 2.0 的電流輸出能力為 500mA。部分 USB 充電埠可提供更高的電流輸出。USB-C 連接埠的輸出電流最高可達 3A。
 - 若供電電源輸出電壓低於預期，可將降壓升壓電路加入輸入以正常運作。
- 高電壓輸出源自 5V 電源，由 SN6505B 驅動的變壓器驅動。SN6505B 低雜訊變壓器驅動器以小巧體積的隔離式電源供應器為目標，並可將小巧的中心抽頭變壓器從 2.25V 驅動至 5.5V dc 電源供應。此變壓器驅動器在推拉式轉換器中運作，將輸入電壓升高。
- 推拉式轉換器的基本結構如下電路圖所示，其中變壓器匝數約為 $n = 2$ 。如此可將 5V 輸入電壓升壓至約 $\pm 20V$ 。



SN6505B 會從切換 D1 和 D2 建立切換週期。這些週期會推動或拉電流經過中心抽頭變壓器。切換週期交替，以設定超出整流器二極體的正負電壓輸出。下圖顯示切換週期期間透過輸出的電流路徑。



- SN6505B 精密內部振盪器的額定運作頻率為 420kHz，但如果此頻率干擾電路板上的其他電路，則可以使用外部振盪器。另一個選項使用類似的 SN6505A，其具有 160kHz 內部振盪器。

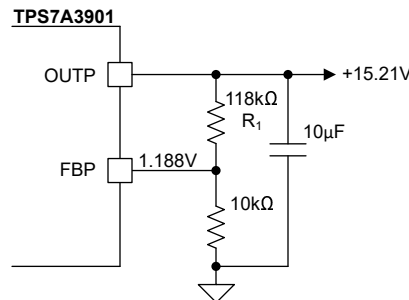
5. 設定 SN6505B 變壓器驅動器時需要考慮以下事項：

- 在變壓器驅動器輸入處使用 4.7μF 或更高的低等效串聯電阻 (ESR) 旁路電容器。
- 在 1μF 到 10μF 的整流器輸出處使用大型電容器。
- 為了防止變壓器在飽和下運作，請使用 SN6505B 操作參數檢查變壓器的 V-t 產品。變壓器最小 V-t 產品會根據裝置提供的最大電壓，以及各切換週期的最大時間來計算。最大電壓是使用 5V 額定轉換器輸入並增加 10% 來計算。向一級施加此電壓的最大時間是最低頻率週期的一半。對於 SN6505B，內部振盪器的最小頻率為 363kHz。SN6505B 的 V-t 產品計算為 7.6V-μs。

$$V_{t_{\min}} \geq V_{IN_{\max}} \times \frac{t_{\max}}{2} = \frac{V_{IN_{\max}}}{2 \times f_{\min}}$$

$$V_{t_{\min}} \geq \frac{5.5V}{2 \times 363kHz} = 7.6V-\mu s$$

- 推薦的變壓器為 Würth Elektronik® 760390015 變壓器，電感為 475μH。此變壓器的 V-t 產品為 11V-μs，高於先前計算的 7.6V-μs V-t 產品。N1 + N2:N3 + N4 的匝數比為 1:2。此變壓器列於 [SN6505x 低雜訊 1A 變壓器驅動器](#)，適用於隔離式電源供應器產品規格表中，此表位於針對裝置最佳化的推薦隔離變壓器表。
 - 使用具有高反向崩潰電壓的低正向電壓肖特基二極體。為此電路選擇 MBR0580-TP (具 80V 反向崩潰電壓)。
 - SN6505B 的最小電流箝位限制為 1.42A。此箝位會限制電流進入變壓器。不過，變壓器產品規格表輸出電流圖顯示的最大電流為 0.7A。此電路的測試僅限於 500mA。
6. 建立 ±20V 升壓電路後，使用 TPS7A3901 雙正負 LDO 以產生 ±15V 電源輸出。如需有關此 LDO 的詳細資訊，請參閱 [TPS7A39 雙路、150mA、寬 VIN 正負 LDO 電壓穩壓器](#) 產品規格表。
- LDO 最大輸出限制為 150mA (從正輸出供應電流和從負輸出灌電流)。但是，此電路會在最大輸出電流 50mA 下進行測試。
 - EN 針腳可作為啟用 LDO 的正常電源功能。最小啟用電壓為 2.2V。EN 針腳的電壓由 499kΩ 至 100kΩ 電阻分壓器產生，由變壓器的正 20V 輸出進行連接。
 - LDO 的輸出可使用電阻分壓器調整至回饋輸入針腳。正 LDO 的回饋輸入設定在 FBP 針腳。輸出是透過決定輸出電壓的電阻分壓器，將 V_{FBP} 提升為 1.188V 來設定。下圖顯示正 LDO 輸出。



從 15V 的輸出和從 FBP 到接地的 10kΩ 電阻開始，頂部電阻器可以透過以下計算得出：

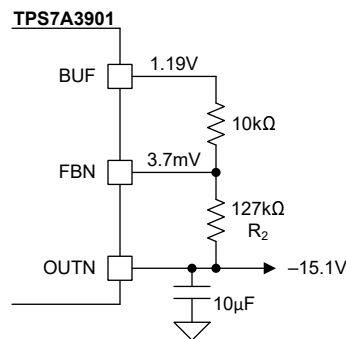
$$\left(\frac{R_1 + 10k\Omega}{10k\Omega}\right) \times 1.188V = 15V$$

$$R_1 = (12.62 \times 10k\Omega) - 10k\Omega$$

$$R_1 = 116.2k\Omega$$

使用 1% 標準電阻值，選擇 R1 為 118kΩ。因此，正 LDO 輸出值為 15.21V。

- d. 同樣地，負 LDO 輸出也源自 BUF 針腳內部電壓參考輸出緩衝器的電壓分壓器。負 LDO 的回饋輸入設定在 FBN 針腳。此 V_{FBN} 電壓通常為 3.7mV。



從 -15V 的輸出及從 BUF 至 FBN 的 10kΩ 電阻器開始，底部電阻器可以透過以下計算得出：

$$\frac{R_2}{10k\Omega}(1.19V - 3.7mV) + 3.7mV = -15V$$

$$R_2 = \frac{(15V - 3.7mV) \times 10k\Omega}{1.1863V}$$

$$R_2 = 126.4k\Omega$$

使用另一個 1% 標準電阻值，選擇 R2 為 127kΩ。計算出負 LDO 的值約為 -15V。此設定的額定值計算為 -15.07V。

- e. TPS7A3901 正壓降電壓通常為 175mV，最大值為 300mV。負壓降電壓通常為 -145mV，最小值為 -250mV。這兩種壓降電壓均指定分別供應電流 50mA 和灌電流 50mA。
- f. CNR/SS 針腳用於降低低頻雜訊。為此針腳選擇 10nF 電容器。CFFP 和 CFFN 電容可用於降低中頻雜訊。
- g. 雖然此應用顯示未非隔離電源，但可透過分離變壓器任一側的接地來將電路做為工業應用的隔離電源使用。

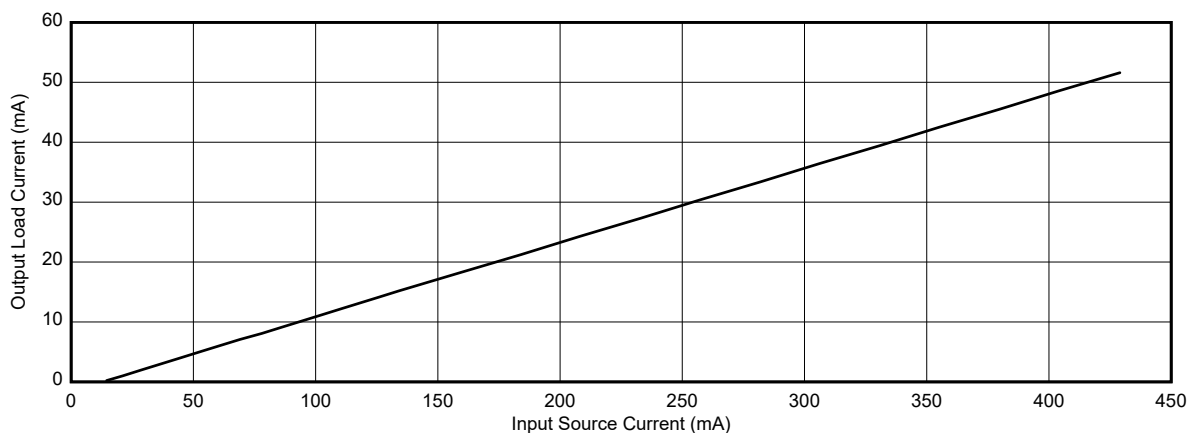
測量結果

電路透過 [ADS125H02EVM](#) 上的雙電源進行測試。雖然此評估模組針對精密 ADC，但此電源也可用於精密 DAC，例如 [DAC81404](#) 或 [DAC8760](#)。

5V 電源提供輸入。推拉式轉換器的輸出電壓是在 LDO 輸入處測量。此外也會測量 LDO 的輸出。下表列出了這些測量結果。

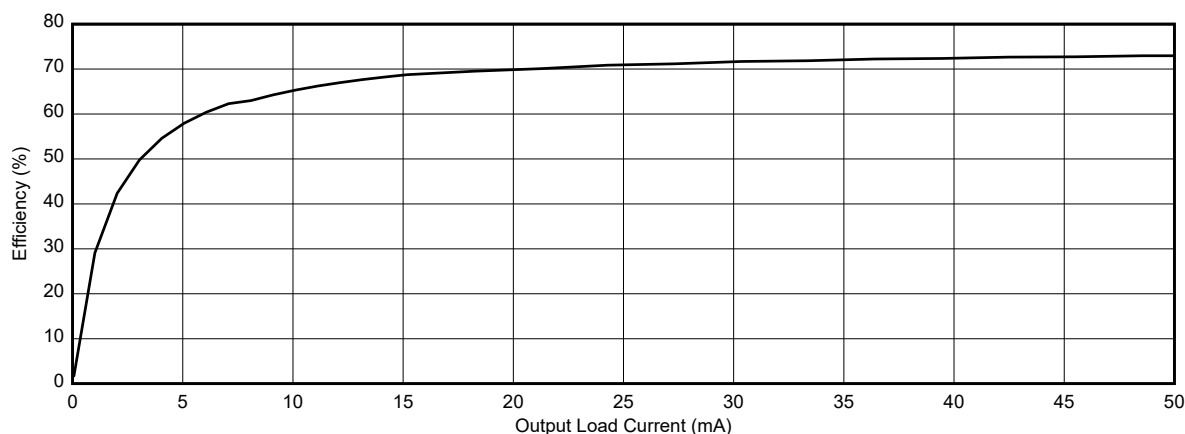
量測	正輸出 (V)	負輸出 (V)
推拉式轉換器整流器二極體後的輸出電壓	19.874	-19.929
LDO 輸出電壓	15.202	-15.124

由於輸出電壓遠遠超過輸入電壓，因此輸出負載電流仍遠小於輸入電流。TPS7A3901 雙 LDO 經過電阻負載測試，從正 LDO 輸出供應電流，並從負 LDO 輸出灌電流。下圖顯示 5V 電源的輸入電流與 $\pm 15V$ 電源輸出電流負載間的關係。



根據建構電路的測量結果，輸入電流比輸出負載電流大八倍以上。對於供應電流 500mA 的標準 USB 2.0 連接埠， $\pm 15V$ 電源的最大輸出電流約為 60mA。

此外，電路輸出效率低於測量值。輸入功率由 5V 電源計算，並記錄供應電流。接著輸出功率由 $\pm 15V$ 電源計算，且也會記錄輸出負載電流。這些值會在不同的輸出負載下繪製，以確保功率效率。此電路負載電流為 50mA 時，效率測量值為 73%。效率結果如下圖所示。



推薦用於本設計的裝置

使用 [參數搜尋工具](#) 或其它具有此 [精密 ADC](#) 的 ADC 裝置，尋找其它可能的 DAC 裝置。

產品	主要功能	連結
SN6505B	用於隔離式電源供應器的低雜訊 1A 變壓器驅動器	SN6505B
TPS7A3901	雙路 150mA、寬 VIN 正負 LDO 電壓穩壓器	TPS7A39
ADS125H02EVM	ADS125H02 評估模組使用者指南	ADS125H02EVM
ADS125H02	具有 $\pm 20V$ 輸入、PGA、IDAC、GPIO 和 VREF 的 24 位元、40 kSPS、雙通道 Delta-Sigma ADC	ADS125H02
DAC81404	具有內部參考的四通道、16 位元及 12 位元高電壓輸出 DAC	DAC81404
DAC8760	適用 4-20mA 電流迴路應用的 16 位元單通道可編程電流/電壓輸出 DAC	DAC8760

設計參考

請參閱[類比工程師的電路寶典](#)，了解 TI 全方位的電路庫。

其他資源

- 德州儀器，[ADS125H02 評估模組使用者指南](#)
- 德州儀器，[PLC I/O 模組的隔離式電源拓撲結構及其他低功耗應用產品概覽](#)
- 德州儀器，[以一個 LDO 為雙電源運算放大器電路供電](#)
- 德州儀器，[Precision Labs 系列：數位轉類比轉換器 \(DAC\)](#)
- 德州儀器，[Precision Labs 系列：類比轉數位轉換器 \(ADC\)](#)

如需 TI 工程師的直接支援，請使用 E2E 社群：

e2e.ti.com

註冊商標

Würth Elektronik® is a registered trademark of Würth Elektronik GmbH & Co. KG.
所有商標均為其各自所有者的財產。

重要聲明與免責聲明

TI 以「現狀」及所含一切錯誤提供技術與可靠數據 (包含產品規格書)、設計資源 (包含參考設計)、應用或其他設計建議、網頁工具、安全資訊和其他資源，且不承擔所有明示或默示保證，包括但不限於適銷性或用於特定用途之適用性的任何默示保證，或不侵害第三方智慧財產的任何默示保證。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您應自行負責 (1) 選擇適合您應用的 TI 產品，(2) 設計、驗證與測試您的應用，與 (3) 確保應用符合適用標準，以及任何其他安全、安保、法規或其他要求。

這些資源得進行修改且無需通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的智慧財產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#)、[TI 的通用品質指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供此等資源並不會擴大或以其他方式改變 TI 對於 TI 產品的適用保證或保證免責聲明。除非 TI 明確將某產品指定為自訂或客戶指定型號，否則 TI 產品均為標準、類比、通用裝置。

TI 反對並拒絕您可能提出的任何附加或不同條款。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

上次更新 10/2025

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025