

Technical Article

如何以自我偏壓轉換器簡化 AC/DC 返馳設計



Max Wang

對於體積更小、重量更輕且效率更高的 AC/DC USB 電力傳輸 (PD) 充電器的需求，始終是電源設計工程師的一大挑戰。在 100W 以下，準諧振反激式仍為主流拓撲結構，而氮化鎵 (GaN) 技術則可進一步推進功率密度與效率。

然而，要為主控制器提供偏壓電源，需在變壓器上設置輔助繞組，並搭配整流與濾波電路。更棘手的是，USB PD 充電器的輸出電壓範圍相當廣泛。例如，USB PD 標準功率範圍涵蓋 5V 至 20V 的輸出電壓，而最新的 USB PD 擴展功率範圍則可支援高達 48V 的輸出電壓。

由於輔助電壓與輸出電壓成正比，主控制器上的偏壓電壓範圍將會增加，從而需要額外電路並降低效率。在本篇電源小技巧 (Power Tip) 中，我將介紹一種自我偏壓式返馳式轉換器解決方案，以應對這些設計挑戰。

應對寬範圍偏壓電壓

圖 1、圖 2、圖 3 與 圖 4 說明了四種不同方法，以應對 USB PD 充電器應用中的寬範圍偏壓電壓。傳統方法包括使用線性穩壓器、具有抽頭的輔助繞組，或甚至額外加入 DC/DC 切換式轉換器來調節偏壓電壓。以上所有方法皆會增加元件數量、提高成本，或導致功率損耗增加。或者，自我偏壓設計可完全移除外部元件，並提升效率。

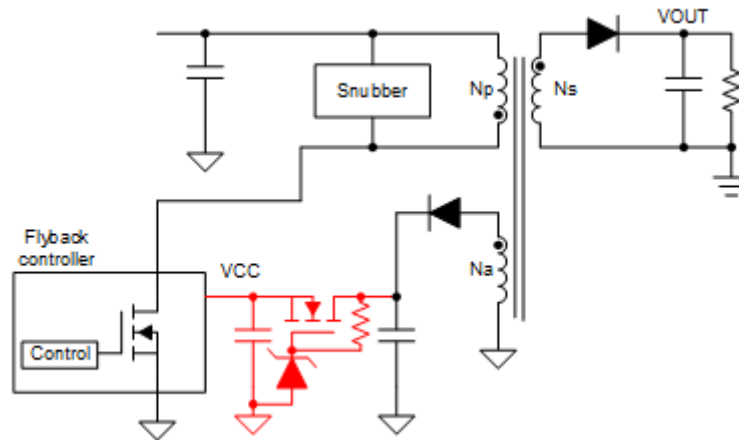


圖 1. 針對具有寬輸出電壓範圍的應用，採用離散式線性穩壓器實現偏壓電路設計。來源：[德州儀器](#)

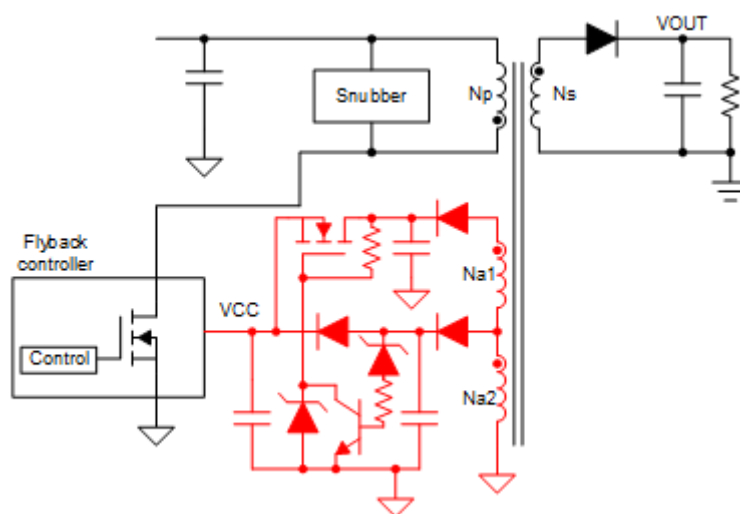


图 2. 針對具有寬輸出電壓範圍的應用，使用具分接輔助繞組的偏壓電路設計。來源：德州儀器

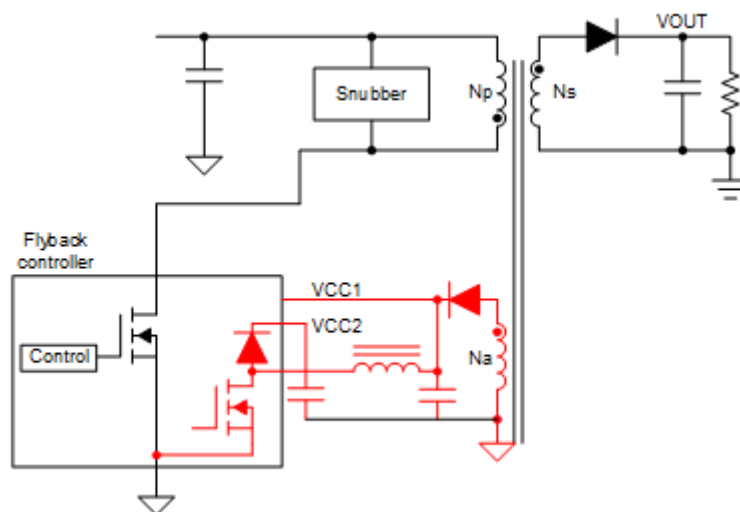


图 3. 針對具有寬輸出電壓範圍的應用，使用升壓轉換器實現偏壓電路設計。來源：德州儀器

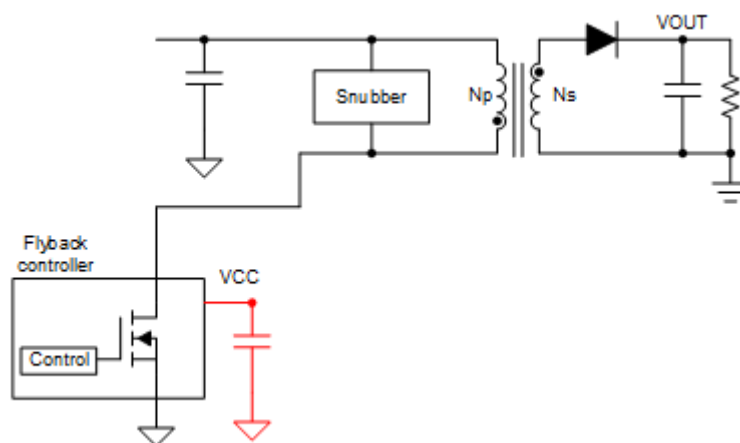


图 4. 針對具有寬輸出電壓範圍的應用，使用自偏壓 VCC 的偏壓電路設計。來源：德州儀器

VCC 自偏壓

反馳控制器通常可直接從整流後的 AC 輸入電壓獲取偏壓電源，但此方式會導致過多的功率損耗。自偏壓的關鍵在於自電源級擷取能量，而此能量可來自兩個來源。一是開關節點電容所儲存的能量，另一是變壓器初級側繞組所儲存的能量。如 圖 5 所示，一體化自偏壓電路可根據輸入與輸出條件，同時從上述兩種來源擷取能量。

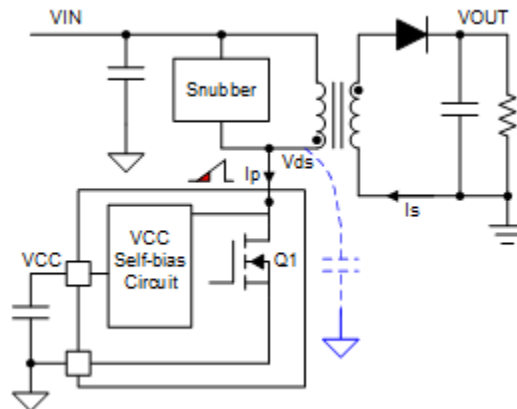


圖 5. 該自偏壓電路可自開關節點的電容或磁化電感中擷取能量。來源：德州儀器

圖 6 顯示來自開關節點電容的能量擷取機制。如此方式可提升效率，因為其在每一個切換週期中回收開關節點電容內儲存的能量。在如 AC 低線電壓輸入等情況下，當反射的輸出電壓與輸入電壓相等時，會自然發生零電壓切換，此時開關節點電容中無能量，便會啟用電感能量擷取機制，其中一小部分初級側開關電流會透過內部路徑導入 VCC 電容。

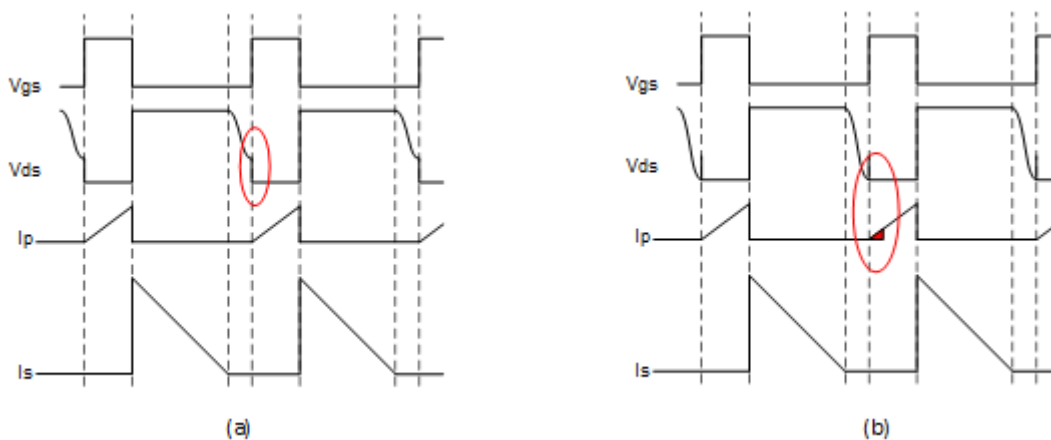


圖 6. VCC 自偏壓運作：(a) 利用開關節點電容擷取能量；以及 (b) 透過初級側電流進行電感能量擷取。來源：德州儀器

實現無輔助感測

許多返馳式控制器會使用輔助繞組來感測輸入與輸出電壓，並偵測如輸出過電壓或輸入低電壓等狀況。對於自偏壓返馳式轉換器，可利用開關節點電壓來進行輸入與輸出電壓感測。如 圖 7 所示，所感測的電壓為輸入電壓與反射輸出電壓之加總。由於初級繞組兩端的平均電壓為零，因此開關節點電壓的平均值等於輸入電壓。

為了進行輸出電壓感測，可取樣反射輸出電壓，並須透過可由電阻編程的接腳（即德州儀器 (TI) [UCG28826](#) 中的 TR 接腳）將變壓器的實際匝數比告知控制器。

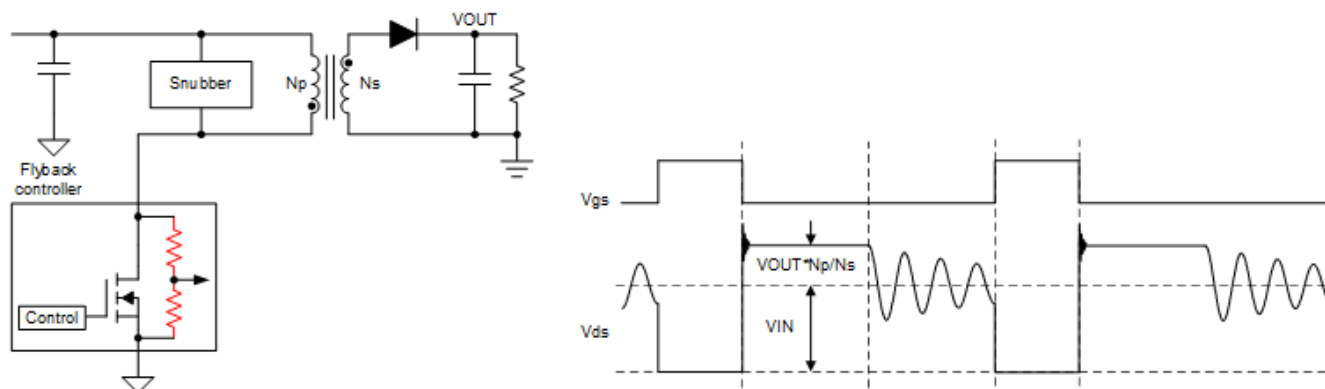


图 7. 無輔助線圈電壓感測：所感測的電壓為輸入電壓與反射輸出電壓的加總。來源：德州儀器

一旦正確設定，自偏壓裝置（如 UCG28826）便能精確地提供多項保護功能，例如過功率與過電壓保護。图 8 顯示了 UCG28826 在 USB PD 應用中的使用情形。

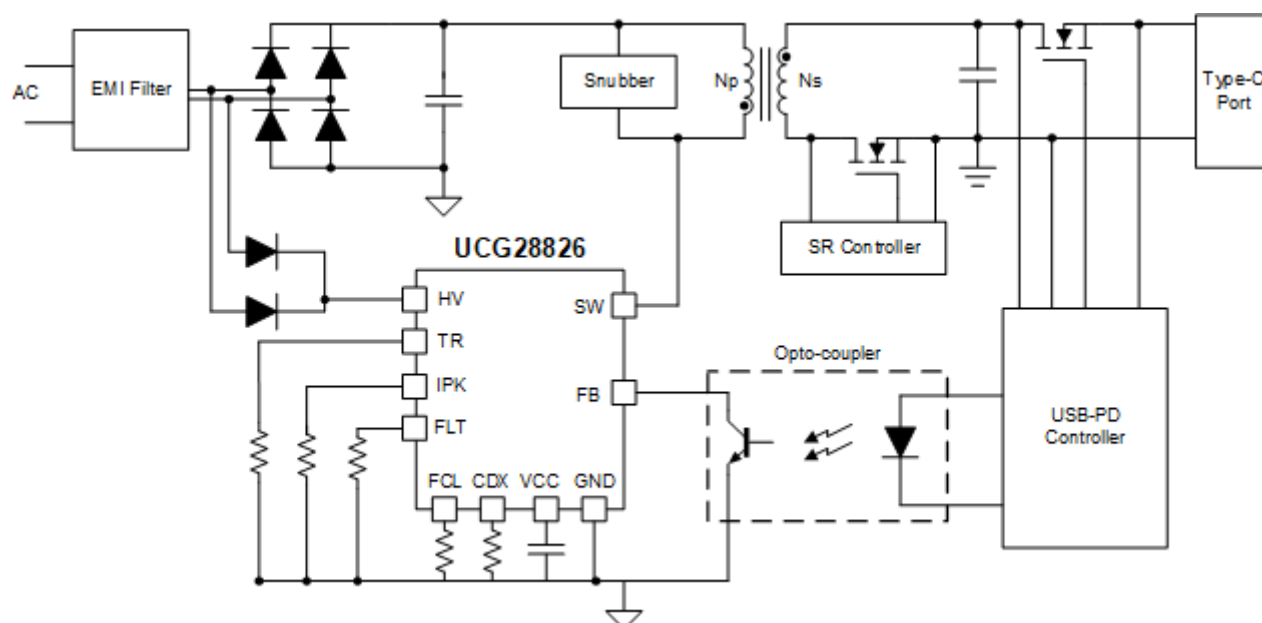


图 8. 一種使用 UCG28826 的自偏壓 USB PD 設計，能夠精確提供多項保護功能，例如過功率與過電壓保護。來源：德州儀器

图 9 顯示在刻意斷開回授接腳 (feedback pin) 後的過電壓保護波形，該情形屬於單一故障條件。當輸出電壓為額定 20V，卻升高至約 24.4V 時，控制器會偵測輸出電壓並對應啟動過電壓保護。

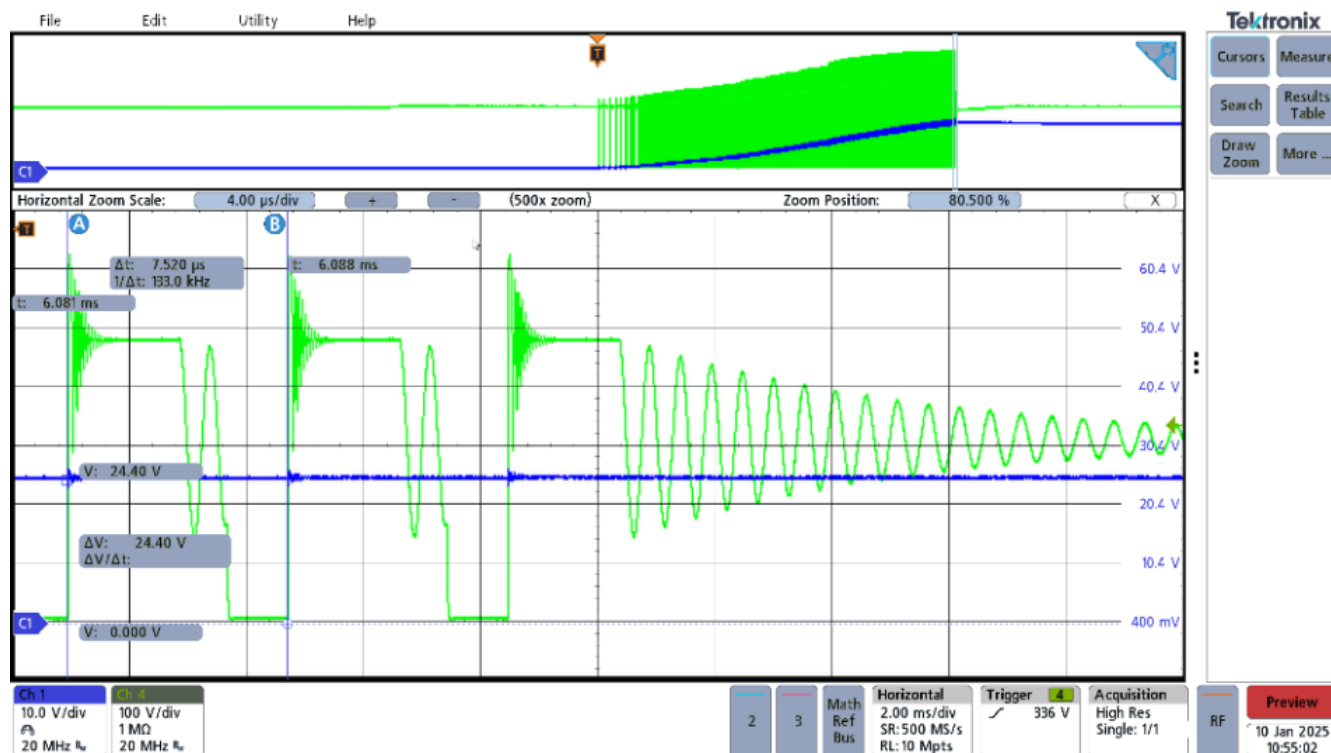


图 9. 無輔助線感測的過電壓保護範例。通道 1 (CH1) 為 Vout，通道 2 (CH2) 為 Vsw。來源：德州儀器

原型和測試結果

图 10 顯示 TI 通用 AC 輸入 65W 雙 USB Type-C 連接埠 USB PD 充電器的參考設計，該設計包含一體化 GaN 功率開關。由於 UCG28826 具備簡化的自偏壓功能與整合 GaN 開關，該參考設計實現了 2.3 W/cm³ 的功率密度與 93.2% 的 AC/DC 級效率。無輔助線設計亦簡化變壓器製造並降低成本。表 1 彙總 65W 設計的設計參數供參考。

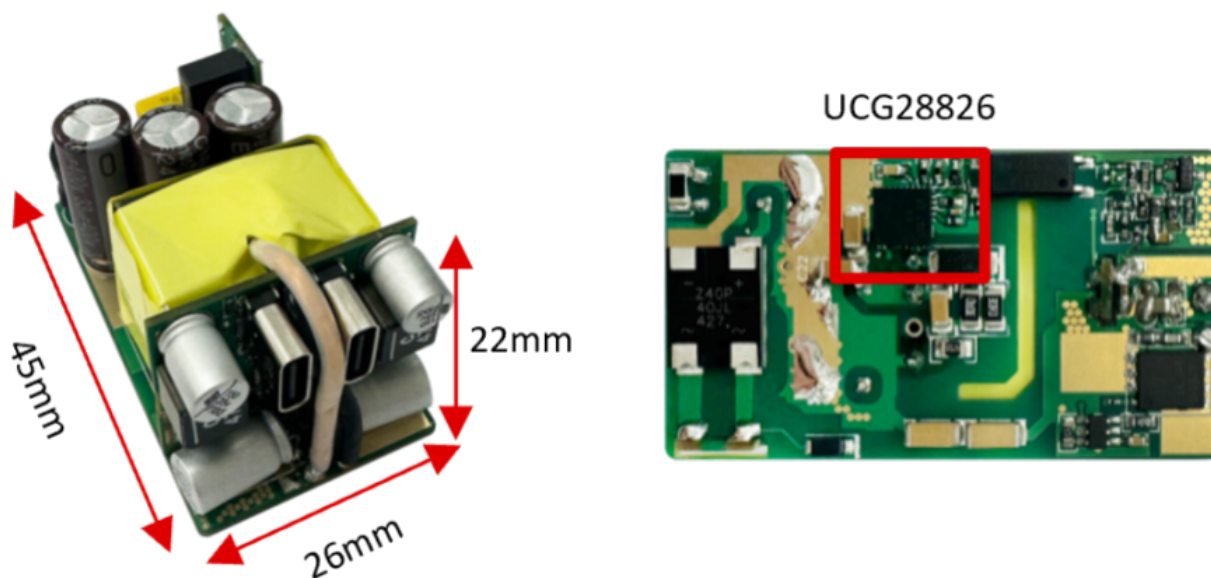


图 10. 一款通用 AC 輸入 65W 參考設計板。來源：德州儀器

表 1. 通用 AC 輸入 65W 參考設計參數。

參數	值
AC 輸入電壓	90-264V _{AC}
輸出電壓及電流	5-20V，最大 3.25A
變壓器	ATQ23-14
匝比	7:1
變壓器電感	200μH
切換頻率 (全負載)	90-140 kHz
效率	在 90V _{AC} (僅 AC/DC 階段) 條件下效率為 93.2%
功率密度	2.3W/cm ³

簡化型 USB PD 充電器

高整合度的控制器與 GaN 開關可簡化 USB PD 充電器設計，但控制器的偏壓電路與變壓器上的輔助繞組仍然存在，將降低效率並影響體積與成本。

整合式自偏壓電路可消除該部分電路，並提升具寬範圍輸出的電源供應器之功率密度。此外，即使變壓器上無輔助繞組，仍可實現正確的輸入與輸出電壓感測。

相關內容

- [拆解 GaN 充電器](#)
- [USB Type-C PD 3.0 規範、充電與設計](#)
- [用電訣竅 #138：三種關閉圖騰柱免橋式功率因數校正 \(PFC\) 控制迴路的方法](#)
- [用電訣竅 #127：運用先進控制方法提升 GaN 基礎 PFC 的功率密度](#)
- [用電訣竅 #115：GaN 開關整合如何在 PFC 中實現低 THD 與高效率](#)
- [用電訣竅 #131：用於 1kW 高功率密度 LLC 電源模組的平面式變壓器尺寸與效率最佳化演算法](#)

先前發佈在 EDN.com。

註冊商標

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。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 或任何第三方的知識產權授權許可。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](#) 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 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated