

Application Brief

如何進行電源供應器設計 - 第 4 部分



Markus Zehendner

本應用將簡單說明單端主要電感轉換器 (SEPIC) 和 Zeta 轉換器。兩種拓撲在最高 25 W 的功率範圍中，都可成為符合成本效益的降壓升壓轉換器替代方案。

SEPIC

SEPIC 拓撲可將輸入電壓升壓及降壓。當開關 Q1 未導通時，能量會從輸入轉移到輸出端。圖 1 說明非同步 SEPIC 的電路圖。

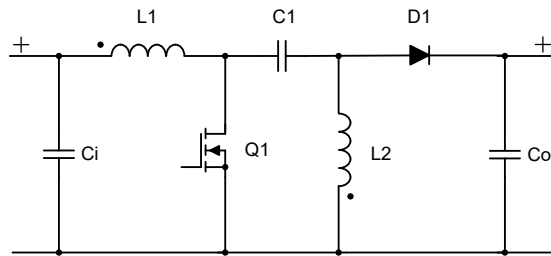


圖 1. 非同步 SEPIC 電路圖

方程式 1 將連續傳導模式 (CCM) 下的工作週期計算為：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f}{V_{OUT} + V_f + V_{IN}} \quad (1)$$

方程式 2 將最大金屬氧化半導體場效電晶體 (MOSFET) 應力計為：

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_f + \frac{V_{C1, ripple}}{2} \quad (2)$$

方程式 3 最大二極體應力為：

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1, ripple}}{2} \quad (3)$$

其中

- V_{IN} 為輸入電壓
- V_{OUT} 為輸出電壓
- V_f 為二極體正向電壓
- $V_{C1, ripple}$ 是耦合電容器間的電壓漣波

電感器電容器 (LC) 濾波器 L1 與 C_i 會指向 SEPIC 的輸入。此會因連續電流造成輸入處漣波變小。輸出處則因有脈衝輸出電流，因此漣波較大。

非同步 SEPIC 的成本低於降壓升壓拓撲，因為只需要一個閘極驅動器 (與雙開關降壓升壓轉換器需要兩個相比)，且只需要兩個半導體元件 (而非四個)。降壓升壓拓撲中 SEPIC 的另一個優點是當兩個轉換器因 SEPIC 的連續輸入電流而以降壓模式運作時，會產生較佳的電磁干擾 (EMI) 行為。

您可使用升壓控制器輕鬆建立 SEPIC，因為 MOSFET Q1 需在低側驅動。

右半平面零 (RHPZ) 是 SEPIC 可實現調節頻寬的限制因素。最大頻寬約為 RHPZ 頻率的五分之一。方程式 4 可計算 SEPIC 轉換函數的單 RHPZ 頻率估計值：

$$f_{\text{RHPZ}} = \frac{V_{\text{OUT}} \times (1-D)^2}{2 \times \pi \times D^2 \times L_2 \times I_{\text{OUT}}} \quad (4)$$

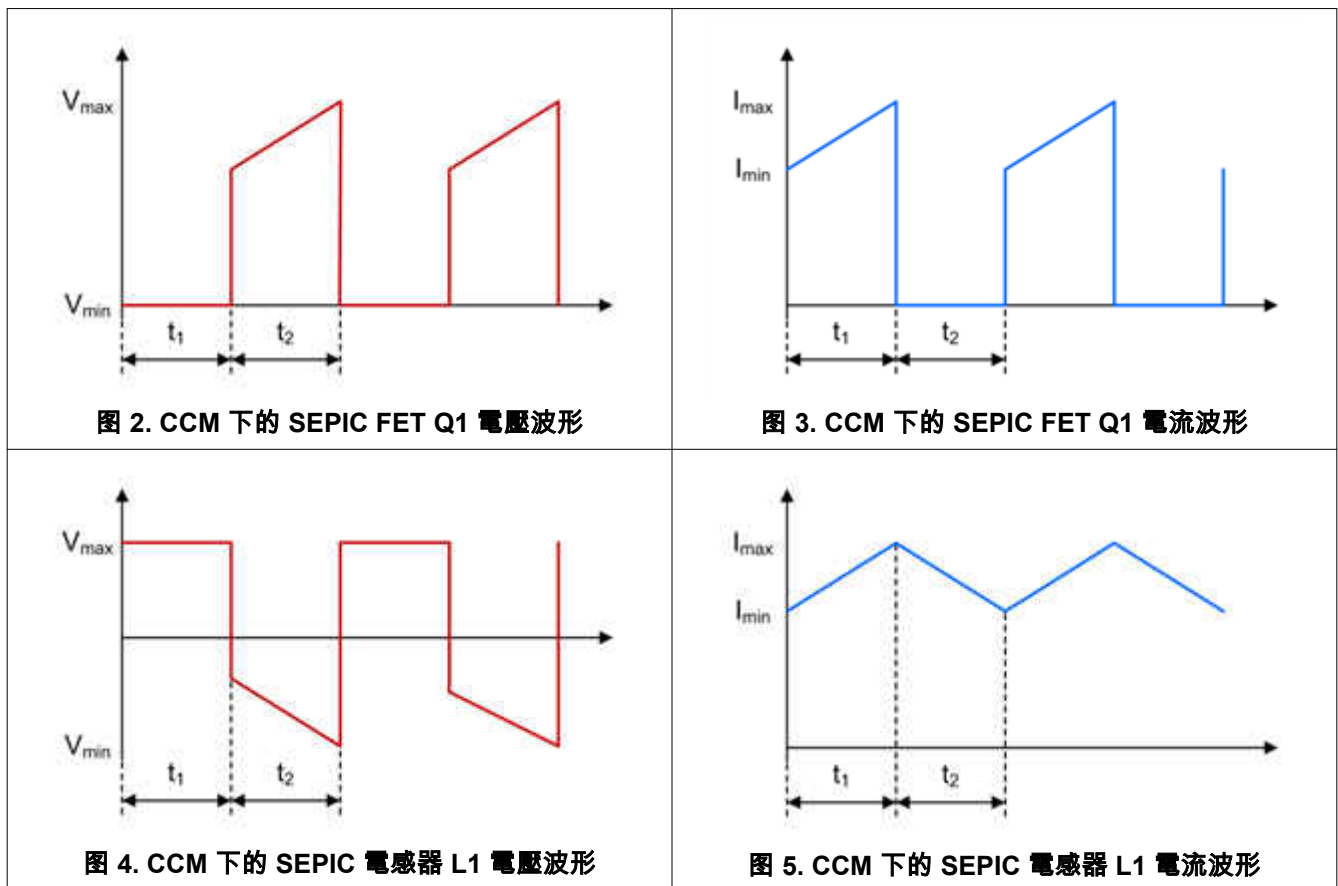
求解 方程式 5 中的 s 可再得到一個或兩個以上 RHPZ：

$$1 - s \times \frac{C_1 \times (L_1 + L_2) \times \frac{V_{\text{OUT}}}{I_{\text{OUT}}}}{L_1} \times \frac{(1-D)^2}{D^2} + s^2 \times \frac{L_2 \times C_1}{D} = 0 \quad (5)$$

其中

- V_{OUT} 為輸出電壓
- D 是工作週期
- I_{OUT} 為輸出電流
- L_1 為電感器 L1 的電感
- L_2 是電感器 L2 的電感
- C_1 為耦合電容器 C1 的電容， s 則為複數頻率變數

圖 2 到 圖 11 說明非同步 SEPIC 中 FET Q1、電感器 L1、耦合電容器 C1、二極體 D1 和電感器 L2 在 CCM 下的電壓和電流波形。



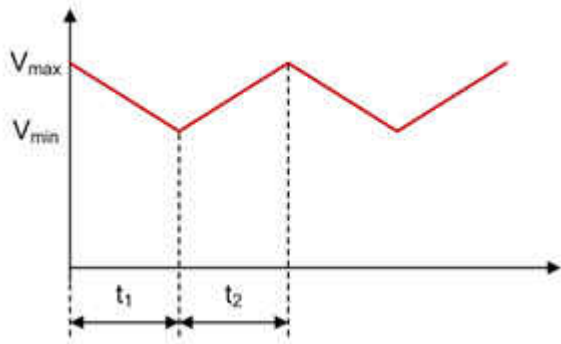


图 6. CCM 下的 SEPIC 耦合電容器 C1 電壓波形

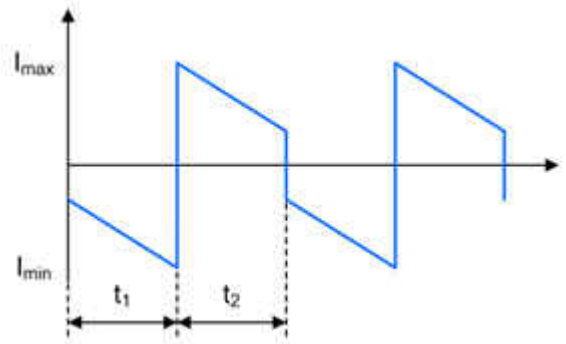


图 7. CCM 下的 SEPIC 耦合電容器 C1 電流波形

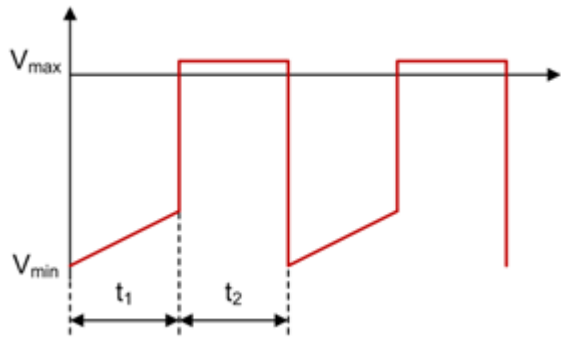


图 8. CCM 下的 SEPIC 二極體 D1 電壓波形

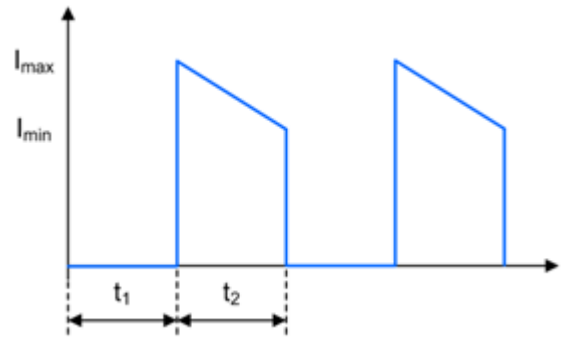


图 9. CCM 下的 SEPIC 二極體 D1 電流波形

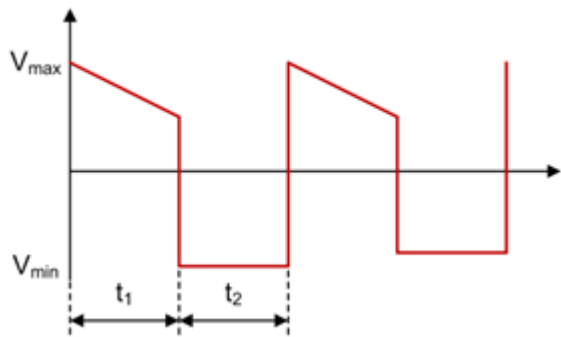


图 10. CCM 下的 SEPIC 電感器 L2 電壓波形

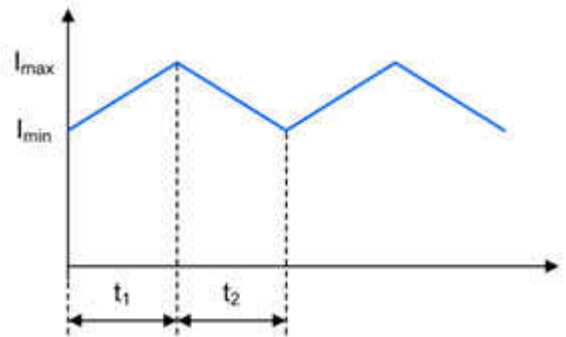


图 11. CCM 下的 SEPIC 電感器 L2 電流波形

Zeta 轉換器

Zeta 拓撲可將輸入電壓升壓及降壓。當開關 Q1 導通時，能量會從輸入轉移到輸出端。图 12 說明非同步 Zeta 轉換器的電路圖。

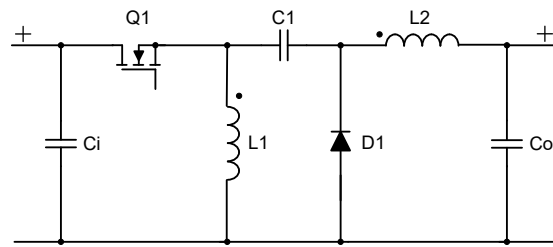


图 12. 非同步 Zeta 轉換器電路圖

方程式 6 將 CCM 下的工作週期計算為：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f}{V_{OUT} + V_f + V_{IN}} \quad (6)$$

方程式 7 將最大 MOSFET 應力計算為：

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_f + \frac{V_{C1,ripple}}{2} \quad (7)$$

方程式 8 最大二極體應力為：

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1,ripple}}{2} \quad (8)$$

其中

- V_{IN} 為輸入電壓
- V_{OUT} 為輸出電壓
- V_f 為二極體正向電壓
- $V_{C1, ripple}$ 是耦合電容器間的電壓漣波

Zeta 轉換器中的 LC 濾波器 L2 與 Co 會指向輸出。因此，輸入漣波會比輸出漣波小、因為輸出電流為連續且輸入電流為脈衝。我們建議可將 Zeta 拓撲運用在 SEPIC 或降壓升壓轉換器因輸出漣波過高而無法適用的敏感負載上。Zeta 拓撲在降壓升壓轉換器成本和元件數量上的優點與 SEPIC 相同。

使用降壓控制器或轉換器即可打造 Zeta 轉換器，其中需要 P 通道 MOSFET 或高側 MOSFET 驅動器。

Zeta 轉換器沒有 RHPZ，因為控制器可以立即對輸出的變化作出反應。因此在使用較少輸出電容的情況下，使用 Zeta 轉換器的頻寬可比使用 SEPIC 或降壓升壓轉換器來得高。

图 13 到 图 22 說明非同步 Zeta 轉換器中 FET Q1、電感器 L1、耦合電容器 C1、二極體 D1 和電感器 L2 在 CCM 下的電壓和電流波形。

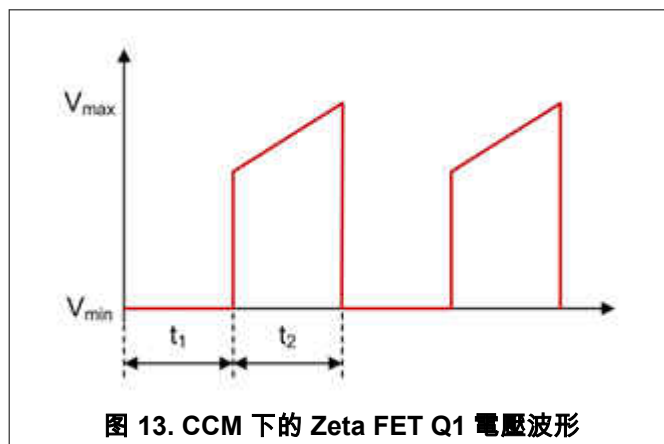


图 13. CCM 下的 Zeta FET Q1 電壓波形

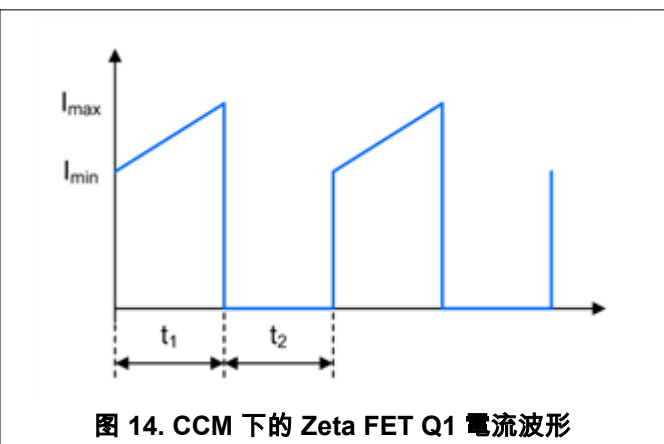


图 14. CCM 下的 Zeta FET Q1 電流波形

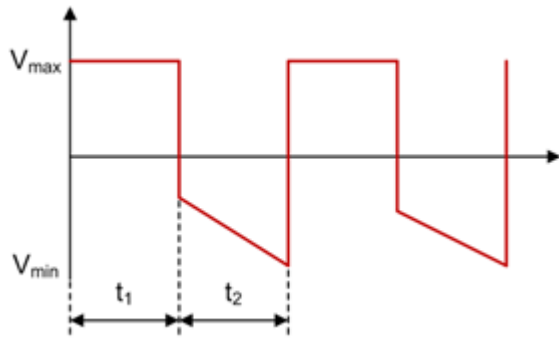


图 15. CCM 下的 Zeta 電感器 L1 電壓波形

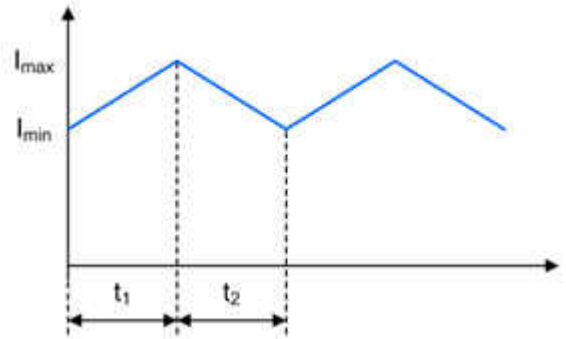


图 16. CCM 下的 Zeta 電感器 L1 電流波形

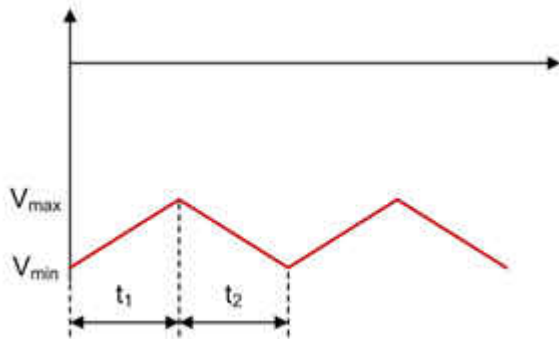


图 17. CCM 下的 Zeta 耦合電容器 C1 電壓波形

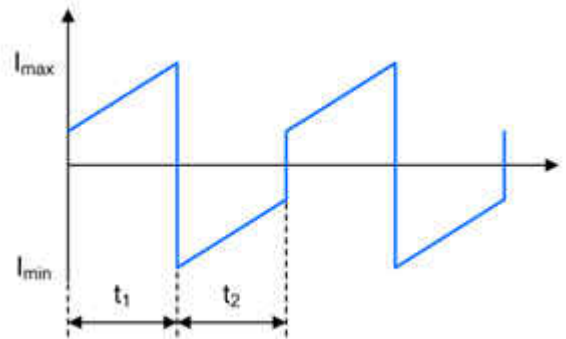


图 18. CCM 下的 Zeta 耦合電容器 C1 電流波形

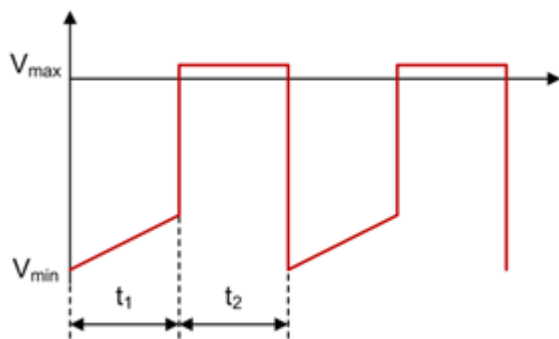


图 19. CCM 下的 Zeta 二極體 D1 電壓波形

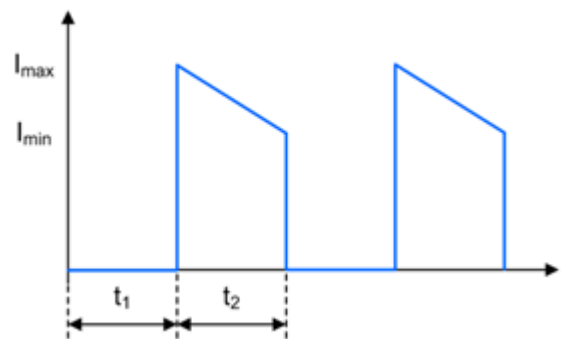


图 20. CCM 下的 Zeta 二極體 D1 電流波形

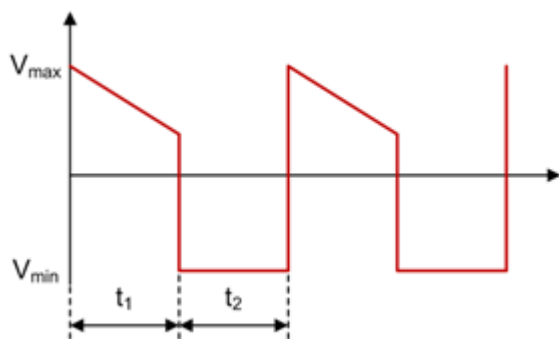


图 21. CCM 下的 Zeta 電感器 L2 電壓波形

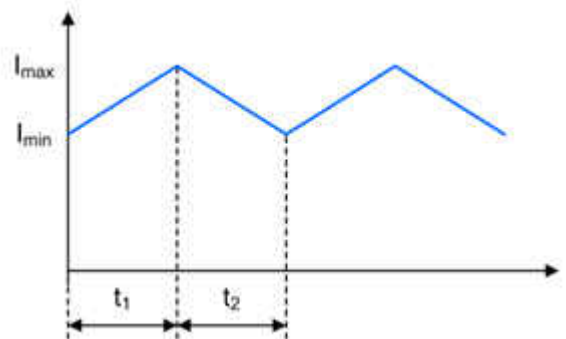


图 22. CCM 下的 Zeta 電感器 L2 電流波形

在兩種拓撲中，以耦合電感器取代兩個獨立電感器有兩個優點。第一個優點是因為耦合繞組的漣波消除，所以類似電流漣波（相較於雙電感器設計）只需要一半電感。第二個優點是轉換函數中由兩個電感器和耦合電容器所引起的共振可被移除。如有需要，可透過電阻器電容器 (RC) 網路並聯耦合電容器 C1 來抑制此共振。

使用耦合电感器的其中一個缺點，是兩個電感器必須使用相同電感值。另一個限制通常是其額定電流。有時高輸出電流應用需要單一電感器。

您可將兩種拓撲配置成具同步整流的轉換器。但如果使用此方法，則必須將高側開極驅動器訊號 AC 耦合，因為許多控制器都需要將連接至切換節點。兩種拓撲各有兩個切換節點，因此請注意避免在切換接腳發生違反負電壓額定值的情況。[12V@5A 同步 SEPIC 轉換器參考設計](#)與 [具兩雙電感器的 40W 同步 Zeta 轉換器參考設計](#)是具備同步 SEPIC 和同步 Zeta 轉換器的兩個範例。

其他資源

- 觀看這些 TI 訓練影片：
 - [拓撲教學課程：什麼是 SEPIC？](#)
 - [拓撲教學課程：什麼是 Zeta 轉換器？](#)
- 閱讀這些類比應用學刊文章：
 - [耦合電感器 SEPIC 轉換器的優點](#)
 - [以 Zeta 拓撲為基礎設計的 DC/DC 轉換器](#)
- 使用 [Power Stage Designer](#) 設計您的功率級。
- 下載 [電源拓撲手冊](#)和[電源拓撲快速參考指南](#)。

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