

## Application Note

## 使用 TPS56837HA 实现 USB Type-C 电力输送



Lishuang Zhao; Miranda Gu; Andrew Xiong

## 摘要

USB Type-C® 电力输送 (PD) 是一种基于 USB Type-C 标准的快速充电技术，电力输送能力大大增强，可为笔记本电脑和其他设备充电，因此正得到广泛采用。当 USB Type-C 端口充当电源角色时，开关稳压器需要通过电源导体 ( $V_{BUS}$ ) 供电。TI 降压器件 TPS56837HA 可在 100W 功率以内支持 USB Type-C PD，具有 4.5V 至 28V 输入电压范围，4V 至 22V 输出电压范围和 8A 电流能力。

本文介绍了 USB Type-C 电力输送和 TPS56837HA 的基本概念和参数；提出了一个使用 TPS56837HA 实现 USB Type-C 电力输送的方框图；演示了两种使用 GPIO 控制和 FB 控制来配置 TPS56837HA 动态输出变化的设计。

## 内容

1 引言.....	2
1.1 USB Type-C 电力输送简介.....	2
1.2 TPS56837HA 简介.....	2
1.3 USB Type-C 电力输送应用中的 TPS56837HA 方框图.....	3
2 用于配置 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 GPIO.....	4
2.1 典型应用.....	4
2.2 测试结果.....	5
3 用于控制 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器专用 FB 引脚.....	7
3.1 FB 电流注入 PD 控制器.....	7
3.2 Rfb 集成 PD 控制器.....	7
4 总结.....	8
5 参考资料.....	8

## 插图清单

图 1-1. USB 连接器.....	2
图 1-2. USB 电力输送标准.....	2
图 1-3. USB Type-C 电力输送应用中的 TPS56837HA 方框图.....	3
图 2-1. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 GPIO 控制参考原理图.....	4
图 2-2. 24Vin-5Vout 至 20Vout (5A) ( Vout 压摆率 : 13.3V/ms ) .....	5
图 2-3. 24Vin-20Vout 至 5Vout (5A) ( Vout 压摆率 : 2.9V/ms ) .....	5
图 2-4. TPS56837HA 效率曲线.....	5
图 2-5. 24Vin-5Vout (5A) ( 热性能 : 51°C ) .....	6
图 2-6. 24Vin-20Vout (5A) ( 热性能 : 61°C ) .....	6
图 3-1. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 FB 电流注入参考原理图.....	7
图 3-2. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 Rfb 集成 PD 控制器参考原理图.....	7

## 商标

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

USB Type-C® 电力输送 (PD) 是一种基于 USB Type-C 标准的快速充电技术，电力输送能力大大增强，可为笔记本电脑和其他设备充电，因此正得到广泛采用。当 USB Type-C 端口充当电源角色时，开关稳压器需要通过电源导体 ( $V_{BUS}$ ) 供电。TI 降压器件 TPS56837HA 可在 100W 功率以内支持 USB Type-C PD，具有 4.5V 至 28V 输入电压范围，4V 至 22V 输出电压范围和 8A 电流能力。

### 1.1 USB Type-C 电力输送简介

USB Type-C 是新推出的一种功能强大的 USB 互连标准。与新的电力输送 (PD) 规范配合使用时，Type-C 可对现有的 USB 3.1 互连进行增强，从而降低成本并简化通过 USB 进行电力输送的实现过程。

USB Type-C 连接器将多个 USB 连接器 (Micro-B、Type-A 和 Type-B) 组合在一个高度仅为 2.4mm 的可反转连接器中，如图 1-1 所示。

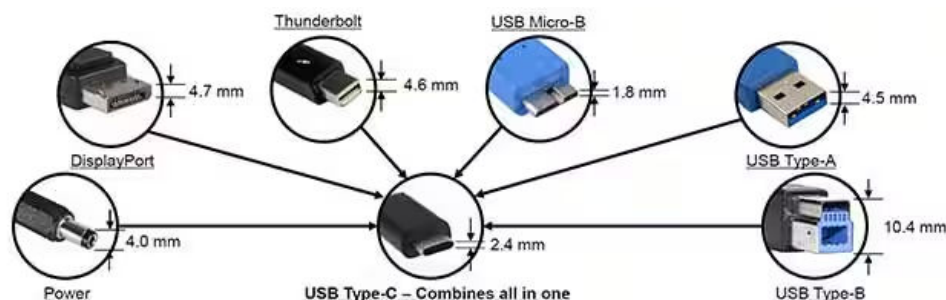


图 1-1. USB 连接器

根据 PD 规范，USB Type-C 连接器可提供高达 240W 的功率。因此有更多应用可以使用 USB 运行，如图 1-2 所示。

USB protocol	Nominal voltage	Maximum current	Power
USB Type-C	5 V	3 A	15 W
USB PD 3.0	Configurable up to 20 V	5 A	Up to 100 W
USB PD 3.1	Configurable up to 48 V	5 A	Up to 240 W

Mobile Devices  
USB Accessories

Wall Outlets  
Notebook PC  
Monitors

Power & Garden Tools  
Gaming PC  
E-bikes & E-scooters

图 1-2. USB 电力输送标准

### 1.2 TPS56837HA 简介

TPS56837HA 是一款易于使用的高效同步降压转换器，具有 4.5V 至 28V 的宽输入电压范围。该器件在 4V 和 22V 之间的输出电压下支持高达 8A 的持续输出电流并支持 5V、9V、15V、20V 动态输出变化，可用电流为 3A 和 5A，适用于 USB Type-C PD 应用。

TPS56837HA 以 Eco-mode 运行，可在轻负载条件下通过 500kHz 固定开关频率实现高效率：

通过 MODE 引脚配置，TPS56837HA 有三个可选电流限值，如表 1-1 所示。TPS56837HA 可在 3A 和 5A 可用电流条件下实现峰值电流 200% 的过载能力。有关详细信息，请查看 PD 规范中的固定电源峰值电流能力表。

表 1-1. TPS56837HA 电流限值

电流限值						
$I_{LS\_OCL}$	低侧 MOSFET 谷值电流限值	ILIM-1 选项	6	7.2	8.5	A
		ILIM 选项	8	9.6	11.1	
		ILIM+1 选项	10	12	13.8	

TPS56837HA 可通过 SS 引脚电容器配置调节软启动时间。TPS56837HA 提供完整的非锁存 OV ( 过压 ) 、 UV ( 欠压 ) 、 OC ( 过流 ) 、 OT ( 过热 ) 以及 UVLO ( 欠压锁定 ) 保护，以及电源正常状态指示器。

TPS56837HA 可采用 10 引脚 3.0mm × 3.0mm HotRod QFN 封装，额定结温范围为 - 40°C 至 150°C。

### 1.3 USB Type-C 电力输送应用中的 TPS56837HA 方框图

图 1-3 展示了使用 TPS56837HA 和 PD 控制器实现 USB Type-C 电源设计的方框图。

- **交流/直流输出或 Vin**：交流/直流输出或 Vin 可以是固定电压，也可以由 PD 控制器控制以输出所需电压。
- **旁路**：PD 控制器可以控制旁路的开启或关闭，将输入直接旁路到输出，从而提高整个系统的效率。

为避免旁路应用期间输出放电导致功率损耗，TPS56837HA 不支持输出放电功能。这是 TPS56837HA 和 TPS56837H ( 支持输出放电 ) 之间的唯一区别。

- **TPS56837HA 和 PD 控制器**：
  - **GPIO 控制输出动态变化**：使用 PD 控制器 GPIO 信号切换直流/直流反馈电阻器配置，以动态更改输出电压。节 2 介绍了原理图和基准测试结果。
  - **FB 控制输出动态变化**：此设计要求 PD 控制器具有控制 DC/DC FB 功能的能力，例如，PD 控制器具有专用 FB 引脚，可连接到 DC/DC FB 引脚，从而通过 PD 固件动态更改输出电压。
  - 以下章节介绍了详细信息。

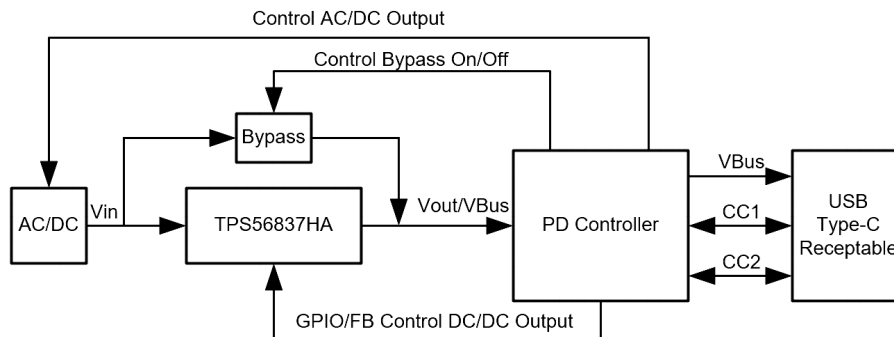


图 1-3. USB Type-C 电力输送应用中的 TPS56837HA 方框图

## 2 用于配置 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 GPIO

## 2.1 典型应用

图 2-1 中的典型应用原理图展示了使用 GPIO 开关 TPS56837HA 反馈底部电阻器以动态更改输出电压。

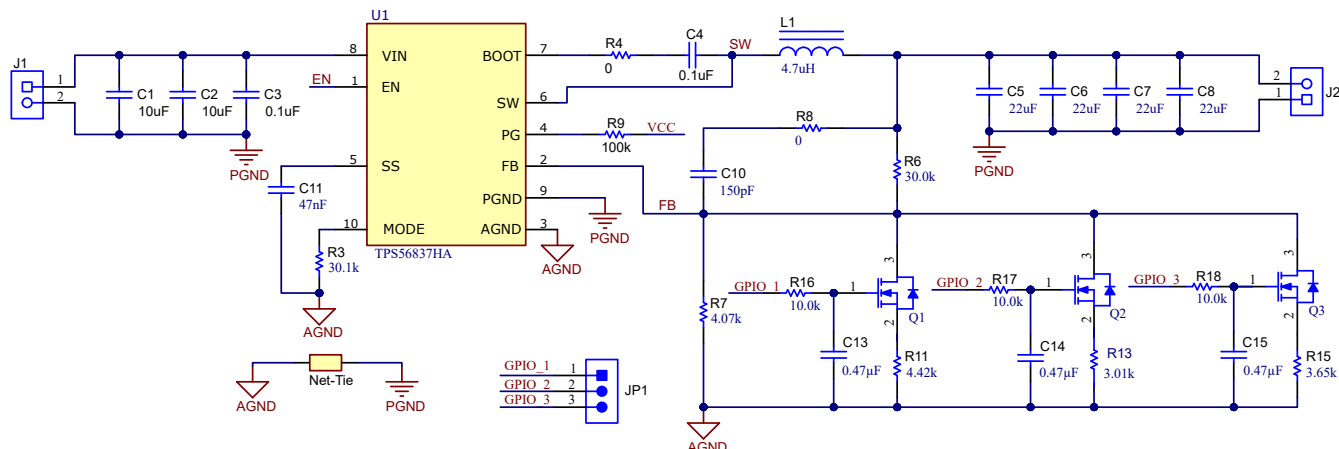


图 2-1. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 GPIO 控制参考原理图

表 2-1 展示了不同输出电压的 GPIO 配置逻辑。

- 当所有 GPIO 信号均为低电平时，所有开关均未断开，输出由 R6 和 R7 配置为默认的 5V。
- 当 GPIO1 从低电平变为高电平时，Q1 开关导通，输出由 R6 和 R7 并联的 R11 配置，从 5V 变为 9V。其他情况也是同样的机制。

### 表 2-1. GPIO 配置逻辑

GPIO_1	GPIO_2	GPIO_3	Vout_set/V	Rfb_top/ $\Omega$	Rfb_bot/ $\Omega$	Vout/V
0	0	0	5	30k	4.07k	5.02
1	0	0	9	30k	2.119k	9.10
1	1	0	15	30k	1.244k	15.08
1	1	1	20	30k	0.928k	20.01

开关 Q1、Q2 和 Q3 栅极 RC 滤波器用于调节 GPIO 边沿压摆率，以便输出电压变化压摆率能够符合电压转换 vSrcSlew 的 PD3.1 规范。

应用 BOM 选型指南可参考 [TPS56837Hx 4.5V 至 28V 输入、8A 同步降压转换器](#) 数据表中的详细设计过程。

## 2.2 测试结果

本节提供了基于节 2.1 应用电路的典型性能波形。所有结果均在 70mm x 70mm 2-1-1-2oz 评估板上测试，并提供附录 BOM。实际性能数据会受到测量技术和环境变量的影响，因此这些曲线仅供参考，可能与获得的实际结果不同。

### 2.2.1 动态变化波形

图 2-2 和图 2-3 分别展示了 24Vin 5A 条件下从 5Vout 到 20Vout 以及从 20Vout 到 5Vout 的输出电压变化。结果表明输出转换平滑，转换压摆率在 30mV/μs 以内。

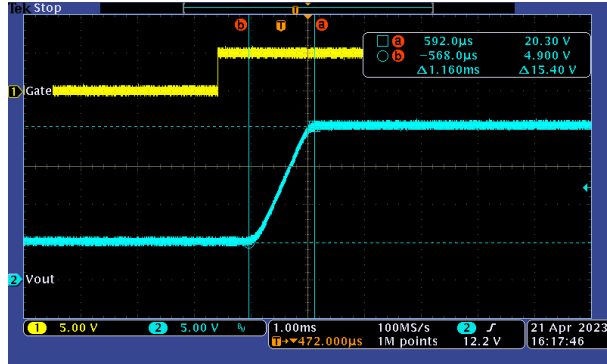


图 2-2. 24Vin-5Vout 至 20Vout (5A) ( Vout 压摆率：13.3V/ms )

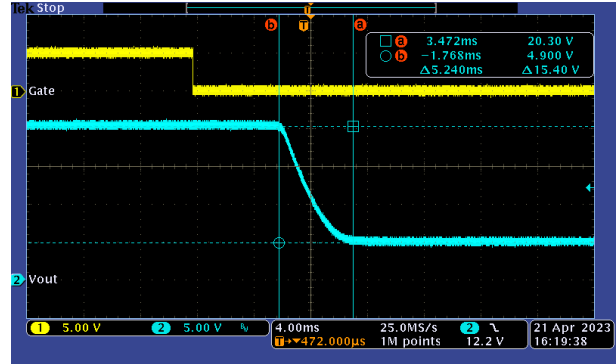


图 2-3. 24Vin-20Vout 至 5Vout (5A) ( Vout 压摆率：2.9V/ms )

### 2.2.2 效率曲线

图 2-4 展示了 24Vin 下的效率曲线。在 24Vin-20Vo-3A 应用条件下，最高效率高达 98.7%。

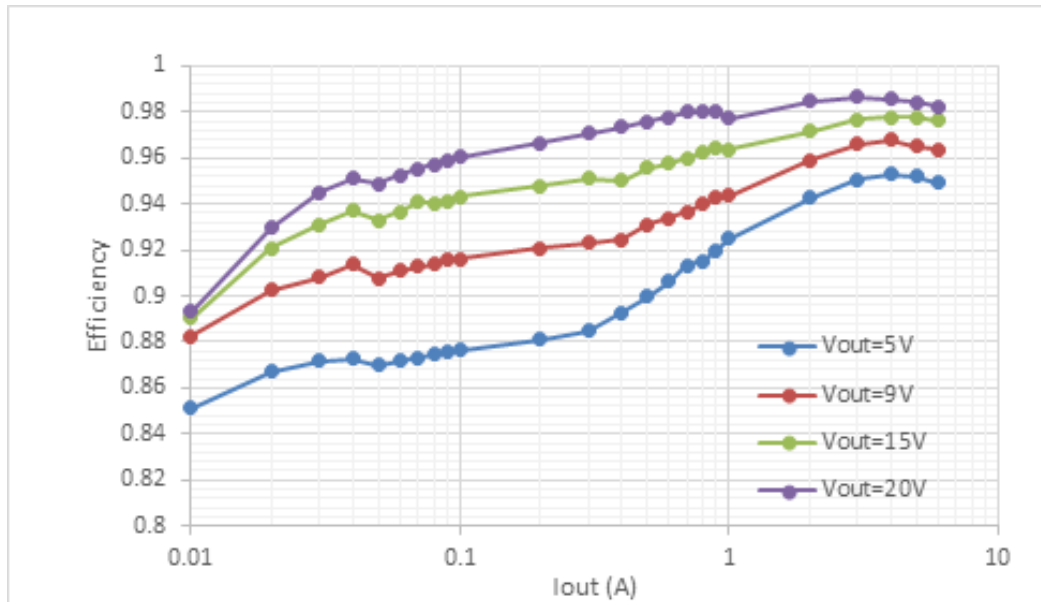


图 2-4. TPS56837HA 效率曲线

### 2.2.3 热像图

图 2-5 和图 2-6 展示了 24V 5A 条件下的 5Vout/20Vout 热像图。

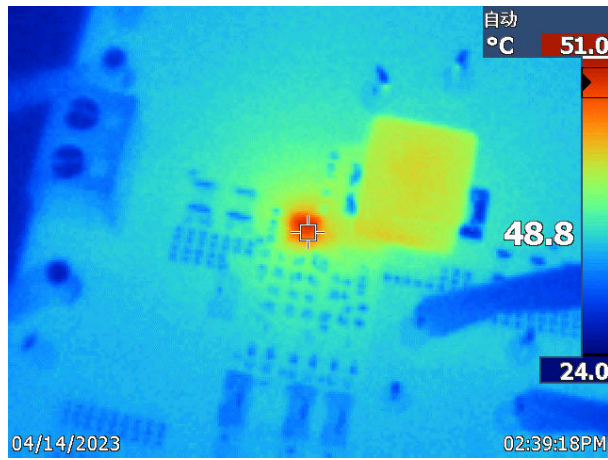


图 2-5. 24Vin-5Vout (5A) (热性能 : 51°C)

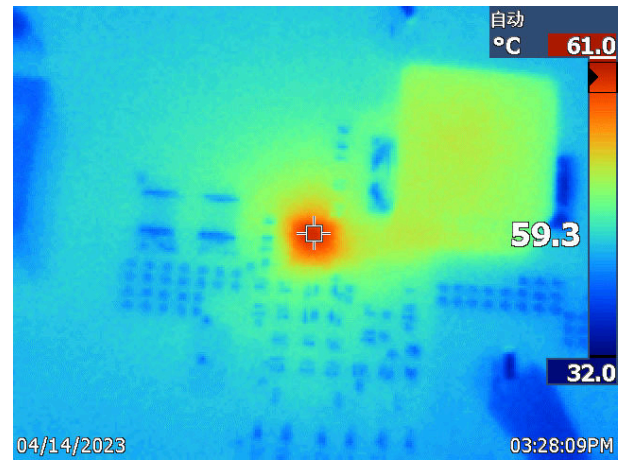


图 2-6. 24Vin-20Vout (5A) (热性能 : 61°C)



### 3 用于控制 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器专用 FB 引脚

通常，一些 PD 控制器使用 FB 电流注入法来更改直流/直流输出电压。也有一些 PD 控制器集成了直流/直流的 Rfb 以便更改直流/直流输出电压。下面一节介绍了典型应用。

#### 3.1 FB 电流注入 PD 控制器

图 3-1 展示了 PD 控制器向 FB 引脚注入电流以配置 TPS56837HA 输出电压。PD\_OUT 和 PD\_FB 端口直接连接到 PD 控制器引脚。根据基尔霍夫电流定律 (KCL)，可根据方程式 1 推导出输出电压 Vout，其中 Vfb 为 0.6V。

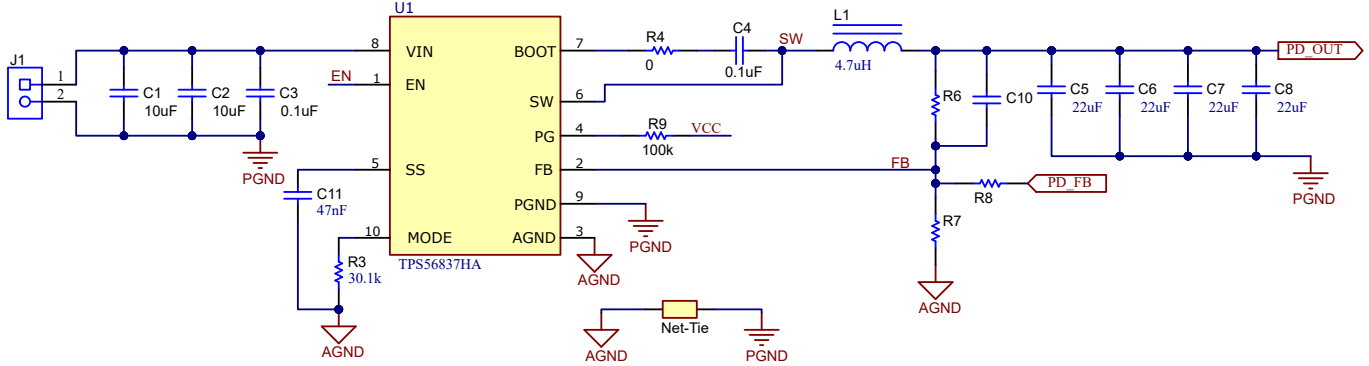


图 3-1. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 PD 控制器 FB 电流注入参考原理图

$$\frac{V_{out} - V_{fb}}{R_6} + \frac{V_{PF\_FB} - V_{fb}}{R_8} = \frac{V_{fb}}{R_7} \quad (1)$$

#### 3.2 Rfb 集成 PD 控制器

某些 PD 控制器集成了直流/直流 Rfb 电阻器。图 3-2 展示了基准电路。

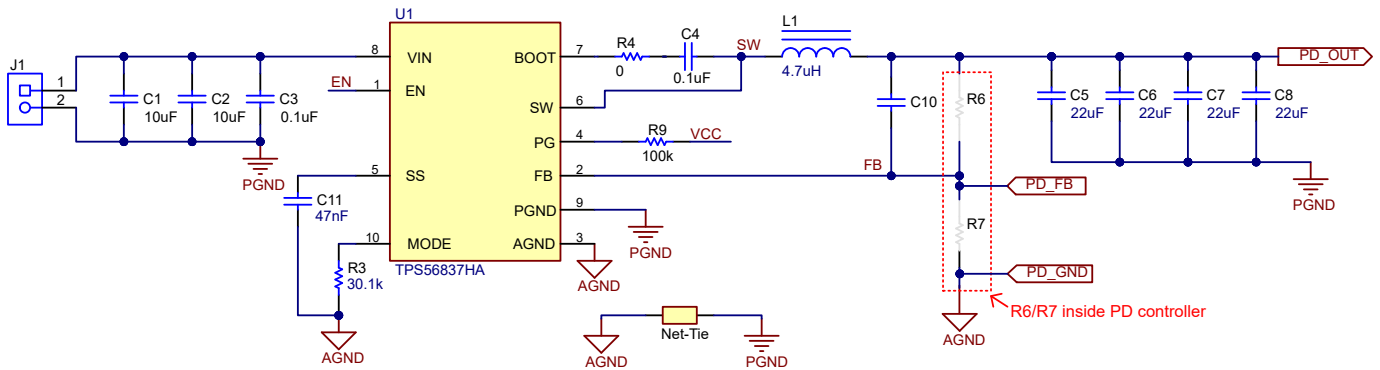


图 3-2. 用于 TPS56837HA 动态输出变化的 Rfb 集成 PD 控制器参考原理图

## 4 总结

本应用手册涵盖了 TypeC PD 标准简介、TPS56837HA 器件描述、TypeC PD 应用中 TPS56837HA 输出电压动态变化的 GPIO 控制和 FB 引脚控制方法。

## 5 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [TPS56837Hx 4.5V 至 28V 输入、8A 同步降压转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI) , [TI Live : USB Type-C PD3.1 扩展功率范围和 Type-C + BQ 解决方案的优势](#)。



## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司