



Mulin Yuan

摘要

在传统的非同步升压转换器中，负载在关断期间通过电感器和整流器二极管连接到输入电压。在一些常开系统中，当禁用升压时，负载需要由输入电压供电，建议使用直通和旁路等策略来减少二极管中的压降和功率损耗。

在某些情况下，负载不需要由升压转换器供电，并且系统对关断期间的功率损耗很敏感。为了满足这种需求，我们提出了真正的断开功能。

本应用手册介绍了不同的控制策略和拓扑，可实现关断期间的直通、旁路和真正负载断开功能的特性。

内容

| | |
|--|----|
| 1 概述..... | 2 |
| 2 连接到输入电压的负载..... | 3 |
| 2.1 体二极管导通 (TPS61288)..... | 3 |
| 2.2 强制直通 (TPS61253)..... | 3 |
| 2.3 旁路 (TPS61291)..... | 5 |
| 2.4 总结..... | 6 |
| 3 负载与输入电压断开连接..... | 7 |
| 3.1 具有可切换体二极管的同步 HSD FET (TPS61299)..... | 7 |
| 3.2 可切断泄漏路径的额外 ISO FET..... | 8 |
| 4 总结..... | 9 |
| 5 参考文献..... | 10 |

插图清单

| | |
|--|---|
| 图 1-1. 传统的非同步升压转换器..... | 2 |
| 图 2-1. 关断期间的体二极管导通..... | 3 |
| 图 2-2. TPS61288 关断波形..... | 3 |
| 图 2-3. 关断期间的强制直通..... | 4 |
| 图 2-4. TPS61253 关断波形..... | 4 |
| 图 2-5. 关断期间的旁路..... | 5 |
| 图 2-6. TPS61291 关断波形..... | 5 |
| 图 3-1. 关断期间真正断开连接..... | 7 |
| 图 3-2. TPS61299 关断波形..... | 7 |
| 图 3-3. TPS61378-Q1 : 输出路径上的 ISO-FET..... | 8 |
| 图 3-4. TPS61376 : 输入路径上的 ISO-FET..... | 8 |

表格清单

| | |
|---------------------------------|---|
| 表 2-1. 体二极管导通、强制直通和旁路之间的比较..... | 6 |
|---------------------------------|---|

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 概述

在传统的非同步升压转换器中，当器件关断 ($EN = \text{低电平}$) 时，负载 (V_{out}) 通过整流器二极管连接到输入电压。

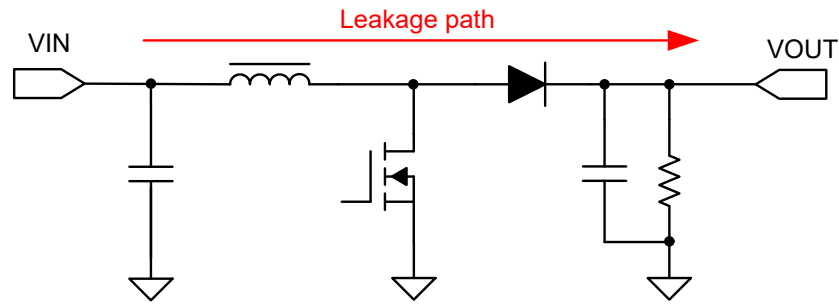


图 1-1. 传统的非同步升压转换器

在某些常开系统中，升压转换器被禁用时，输出负载必须连接至输入电压。在图 1-1 中，负载通过电感和整流二极管连接到输入电压，从而导致较大的压降和功率损耗。在同步升压转换器中，HS-FET 用于替代整流器二极管。为了提高器件性能，针对此类需求提出了直通和旁路等负载连接策略。

如果关断期间负载未由器件供电，并且系统对关断功率损耗很敏感，那么器件需要实现真正关断。在这种情况下，负载断开功能就很重要。该功能还可实现输出短路保护，并更大限度地降低启动时的浪涌电流。

本应用手册介绍了在关断期间负载连接到输入电压或与输入电压断开连接的典型升压行为。

2 连接到输入电压的负载

2.1 体二极管导通 (TPS61288)

当高侧 FET 为 N-MOS 时，MOSFET 的体二极管阳极连接到电感器，如图 2-1 所示。当器件关断时，输入电压通过电感器和体二极管连接输出负载，这与关断期间的非同步升压类似。

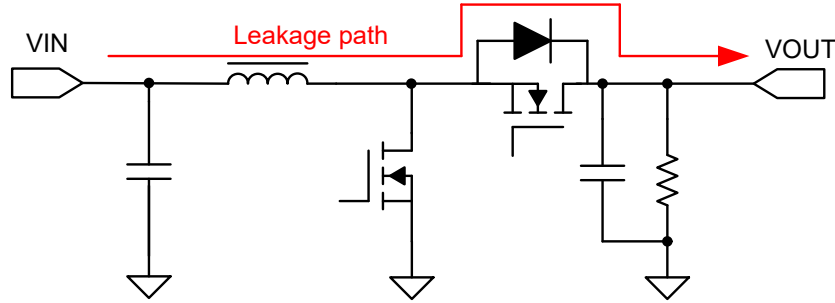


图 2-1. 关断期间的体二极管导通

输出电压等于输入电压减去电感器 DCR 两端的压降和体二极管正向导通电压。输出电压跟随输入电压。

$$V_{OUT} = V_{IN} - I_{OUT} \times DCR - V_D \quad (1)$$

在这种情况下，即使升压关断，输出电压也不为零。此外，电感器和体二极管中还会出现功率损耗和压降。

$$P_{loss} = I_{OUT}^2 \times DCR + I_{OUT} \times V_D \quad (2)$$

同时，由于输出电压不为零，反馈电阻器具有漏电流，这会影晌静态电流。以 TPS61288 为例。图 2-2 展示了 TPS61288 的关断波形。该图显示输出电压和输入电压之间存在明显的压降。使用 50 Ω 电阻负载时，关断期间仍然存在电感器电流。

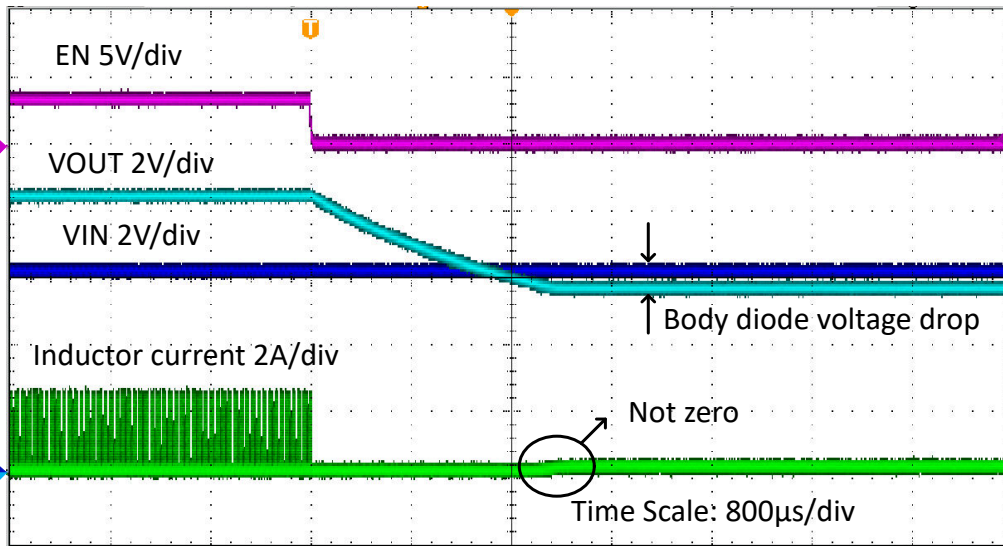


图 2-2. TPS61288 关断波形

2.2 强制直通 (TPS61253)

为了减少二极管中的压降和功率损耗，建议使用强制直通功能（待机模式）。如图 2-3 所示，在关断期间，高侧 P-MOS 仍然可以通过将栅极拉至接地来导通。

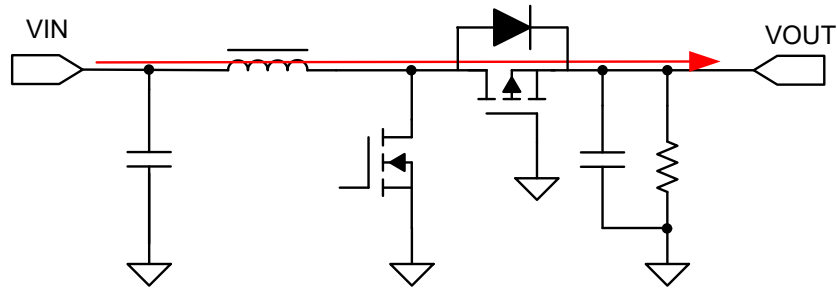


图 2-3. 关断期间的强制直通

输出电压等于输入电压减去电感器 DCR 和 P-MOS $R_{ds(on)}$ 两端的压降。输出电压跟随输入电压。

$$V_{OUT} = V_{IN} - I_{OUT} \times (DCR + R_{ds(on)}) \quad (3)$$

$$P_{loss} = I_{OUT}^2 \times (DCR + R_{ds(on)}) \quad (4)$$

TPS61253 集成了强制直通模式。图 2-4 展示了 TPS61253 的关断波形。与体二极管导通操作相比，P-MOS 中的压降和功率损耗要小于体二极管。但是，电感器位于连接路径中，因此电感器功率损耗仍然存在。使用 $50\ \Omega$ 电阻负载时，关断期间存在电感器电流。

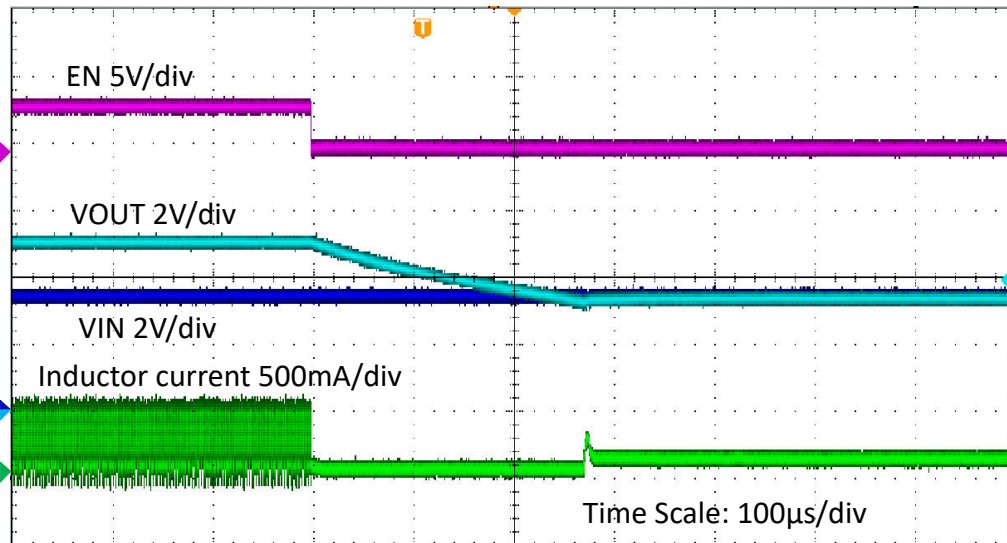


图 2-4. TPS61253 关断波形

2.3 旁路 (TPS61291)

在旁路模式下，VIN 和 VOUT 引脚之间集成了一个单独的 P-MOS (旁路开关)，如图 2-5 所示。当器件被禁用 (EN=LOW) 时，会激活旁路模式，以便在输入电压和输出之间提供直接的低阻抗连接。

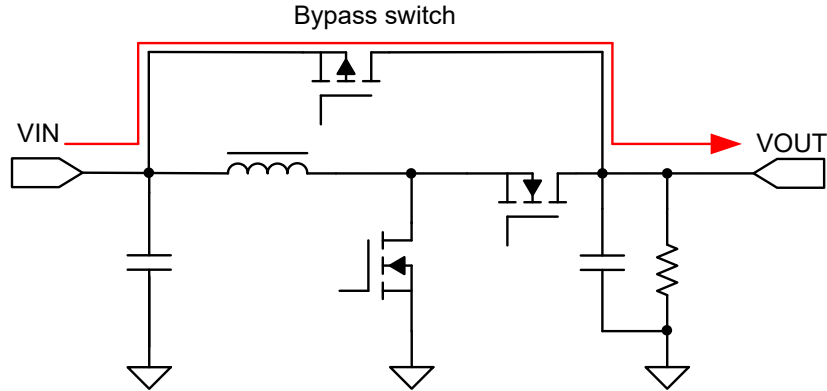


图 2-5. 关断期间的旁路

与二极管导通操作和强制直通操作相比，压降和功率损耗更小，因为电感器不在连接路径中。当器件关断时，可获得更高的效率；因此，旁路模式适用于对大电流和功率损耗敏感的应用。

$$V_{OUT} = V_{IN} - I_{OUT} \times R_{ds(on)} \quad (5)$$

$$P_{loss} = I_{OUT}^2 \times R_{ds(on)} \quad (6)$$

TPS61291 集成了旁路模式。图 2-6 是 TPS61291 的关断波形 (EN 为低电平)。输出电压放电至 VIN 电平，几乎没有压降。在关断期间，电感器和高侧 MOSFET 上没有电感器电流。

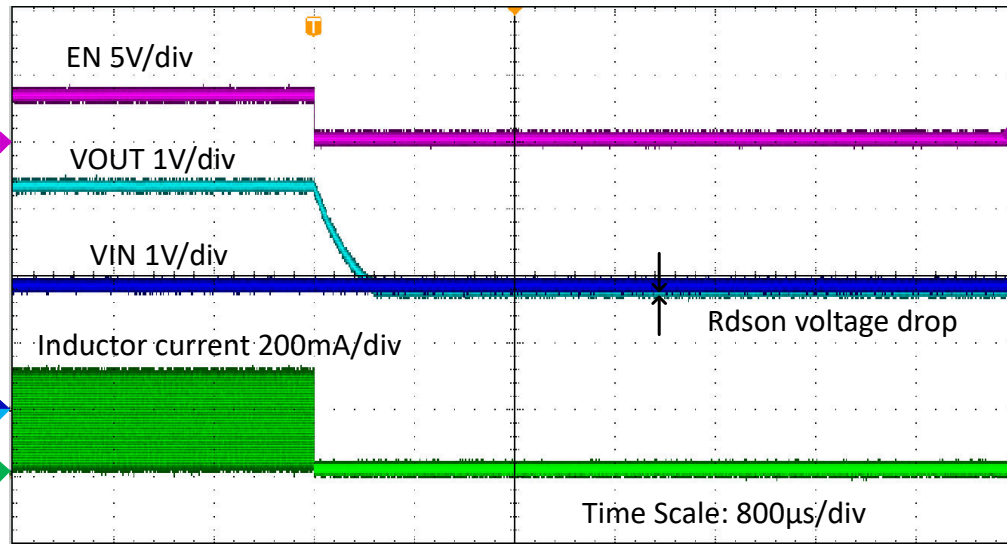


图 2-6. TPS61291 关断波形

2.4 总结

表 2-1 总结了关断时输入端的三种输出电压行为模式之间的主要差异。

表 2-1. 体二极管导通、强制直通和旁路之间的比较

| | 压降 | 功率损耗 |
|--------|-------------------------------------|---|
| 体二极管导通 | $I_{OUT} \times DCR + V_D$ | $I_{OUT}^2 \times DCR + I_{OUT} \times V_D$ |
| 强制直通 | $I_{OUT} \times (DCR + R_{ds(on)})$ | $I_{OUT}^2 \times (DCR + R_{ds(on)})$ |
| 旁路 | $I_{OUT} \times R_{ds(on)}$ | $I_{OUT}^2 \times R_{ds(on)}$ |

当升压转换器关闭时，如果负载器件由升压输入电压供电，则考虑强制直通模式和旁路模式。具有强制直通模式的器件无需集成额外的 MOSFET 即可实现连接，并且在同等规格下具有比旁路模式更低的成本。旁路模式可实现更高效率的连接设计，是大负载电流情况下的更好选择。

3 负载与输入电压断开连接

如果在关断期间负载不是由通过升压转换器的输入电压供电，并且系统对关断功率损耗很敏感，负载断开功能很重要。负载断开功能还支持输出短路保护，并能更大幅度地降低启动时的浪涌电流。

当从输入到负载路径中的 MOSFET (包括体二极管) 完全关断时，该器件可实现真正断开或真正关断。

3.1 具有可切换体二极管的同步 HSD FET (TPS61299)

当高侧 FET 是 P-MOS 时，器件会停止开关，高侧 MOSFET 会通过切换体二极管方向完全关断，以便实现真正的关断操作。如图 3-1 所示，可切换体二极管提供输入和输出之间的完整断开连接。

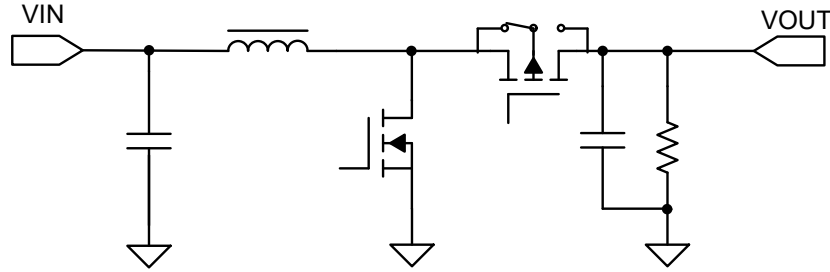


图 3-1. 关断期间真正断开连接

同时，该器件会监控 V_{MAX} (输入电压和输出电压之间的较高电压)。当输出电压超过输入电压时，体二极管方向会切换，以防止输出反馈回输入电压。TPS61299 集成了真正断开功能。图 3-2 展示了 TPS61299 的关断波形。

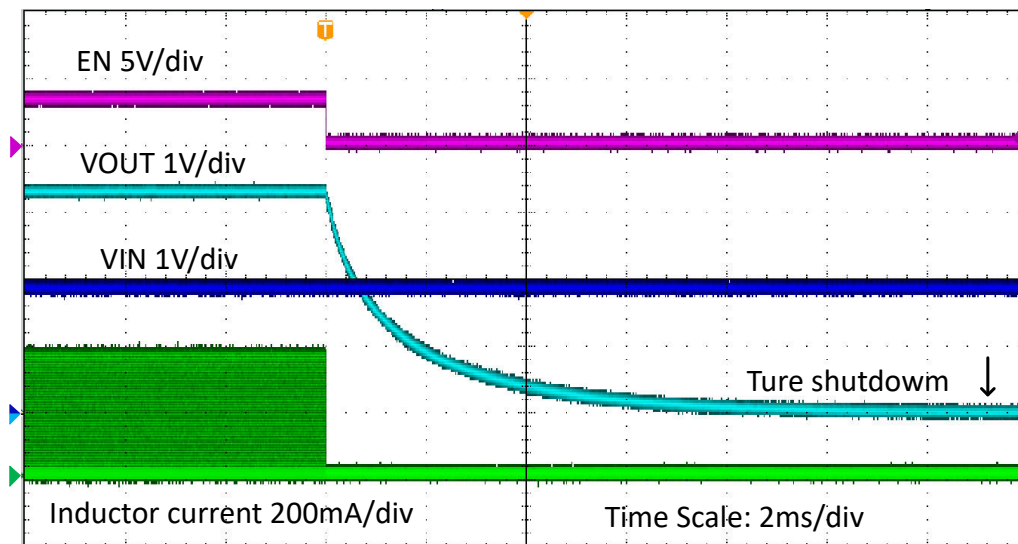


图 3-2. TPS61299 关断波形

3.2 可切断泄漏路径的额外 ISO FET

如果高侧 MOSFET 无法切换体二极管方向，则需要一个单独的隔离 MOSFET。ISO-FET 的体二极管阴极连接至输入侧。当 EN 为低电平时，ISO FET 关断，在关断期间完全切断输入侧和输出侧之间的路径，并实现真正断开。

ISO FET 可以放置在输出或输入路径上。TPS61378-Q1 在输出路径上与一个分离的 N-MOS 隔离 FET 集成，如图 3-3 所示。TPS61376 会将分离的 N-MOS 隔离 FET 移至输入路径，如图 3-4 所示。在这种情况下，ISO FET 可重复用作电感器电流检测 FET。因此，TPS61376 可以对输入平均电流限制阈值进行编程。TPS61378 和 TPS61376 的关断波形与图 3-2 类似。

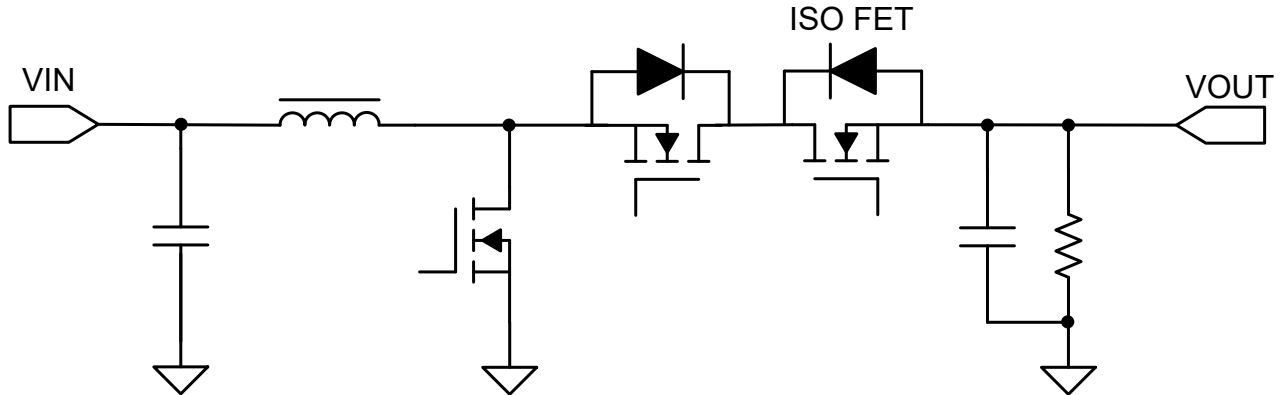


图 3-3. TPS61378-Q1 : 输出路径上的 ISO-FET

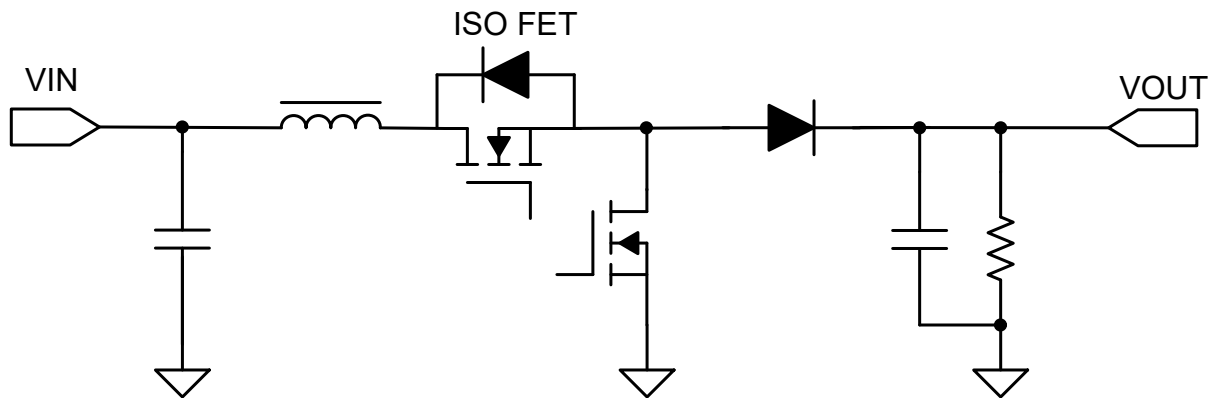


图 3-4. TPS61376 : 输入路径上的 ISO-FET

4 总结

本应用手册讨论了升压转换器在关断期间的不同行为。在常开系统中，应考虑使用具有强制直通和旁路功能的器件来保持高效率。当负载不是由器件供电，并且系统对关闭期间的功率损耗很敏感时，可以考虑具有负载断开功能的器件。如果需要短路保护功能，请使用具备真正断开功能的器件。

5 参考文献

1. 德州仪器 (TI), [TPS61288 18V、15A 全集成同步升压转换器数据表](#)。
2. 德州仪器 (TI), [TPS6125x 采用 Chip Scale Packaging 的 3.5MHz 高效升压转换器数据表](#)。
3. 德州仪器 (TI), [TPS61291 支持旁路模式的低 Iq 升压转换器数据表](#)。
4. 德州仪器 (TI), [TPS61299 具有输入电流限制和快速瞬态性能的 95nA 静态电流、5.5V 升压转换器数据表](#)。
5. 德州仪器 (TI), [TPS61378-Q1 带负载断开功能的 25 \$\mu\$ A 静态电流同步升压转换器数据表](#)。
6. 德州仪器 (TI), [TPS61376 具有 \$\pm 2.5\%\$ 精度输入平均电流限制和真正负载断开功能的 23VIN、25VOUT、4.5A 升压转换器数据表](#)。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司