



摘要

在一些电池供电的应用中，金属触点会暴露在外。在这种情况下，为防止因湿气侵入或发生短路事件而影响整个系统，短路保护 (SCP) 功能至关重要。大多数集成了短路保护功能的低输入电压升压转换器（输入电压限制在 5.5V 以下）都必须使用两个高侧 MOSFET 与一个背对背二极管连接，或使用新的 MOSFET 时，利用额外的屏蔽物切换体二极管方向。但这两种方式都会增加器件成本。

此应用演示了一个简单的电路，通过增加一些外部元件实现短路保护，适用于所有没有短路保护功能的低压升压转换器。本文以 TI 全新的 TPS613222A 低静态电流同步升压转换器为例进行介绍。

内容

1 器件概述.....	2
2 短路保护实现.....	3
3 外部元件注意事项.....	5
4 短路保护的多种实现方式.....	6
5 总结.....	6
6 参考文献.....	6
7 修订历史记录.....	6

插图清单

图 2-1. 典型应用.....	3
图 2-2. $R_2 = 100\Omega$	4
图 2-3. $R_2 = 1000\Omega$	4
图 2-4. $R_2 = 10000\Omega$	4
图 2-5. $R_2 = 100000\Omega$	4
图 3-1. MMBT3904 I-V 曲线 请参阅参考文献 2	5
图 4-1. 没有 R_{sense} 的 N 型实现.....	6
图 4-2. 有 R_{sense} 的 N 型实现.....	6
图 4-3. 没有 R_{sense} 的 P 型实现.....	6
图 4-4. 有 R_{sense} 的 P 型实现.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 器件概述

TPS613222A 请参阅参考文献 1 是一款非常紧凑的升压转换器，只有 3 个有效引脚。在设计 5V 固定输出电源轨时，只需要两个外部元件（一个电感器和一个输出电容器）。静态电流的典型值为 6.5uA，即使升压转换器始终处于工作状态，总功率损耗也非常小。该器件可显著减少系统成本，并简化系统设计，但不提供短路保护。

TPS613222A 是一款具有迟滞电流控制功能的升压转换器，内部有一个电流比较器，用于导通和关断功率 MOSFET。在关断相期间，高侧 MOSFET 处于导通状态，低侧 MOSFET 处于关断状态。由于输出电压高于输入电压，电感器电流会逐渐下降。当电感器电流触发误差放大器输出设置的目标值时，高侧 MOSFET 会关断，而低侧 MOSFET 会导通（集成了死区时间控制功能），然后电感器电流开始逐渐上升。当电感器电流上升到迟滞电流比较器设置的目标值时，低侧 MOSFET 会关断，而高侧 MOSFET 会再次导通。TPS613222A 会反复运行此过程。如果输出负载超出 TPS613222A 的能力，典型峰值开关电流会被限制在 1.8A，输出电压会开始下降。当输出电压降至输入电压的水平时，将无法控制电感器电流，因为即使在关断相，电感器电流也会逐渐上升而不是下降，升压转换器可能会受损。

2 短路保护实现

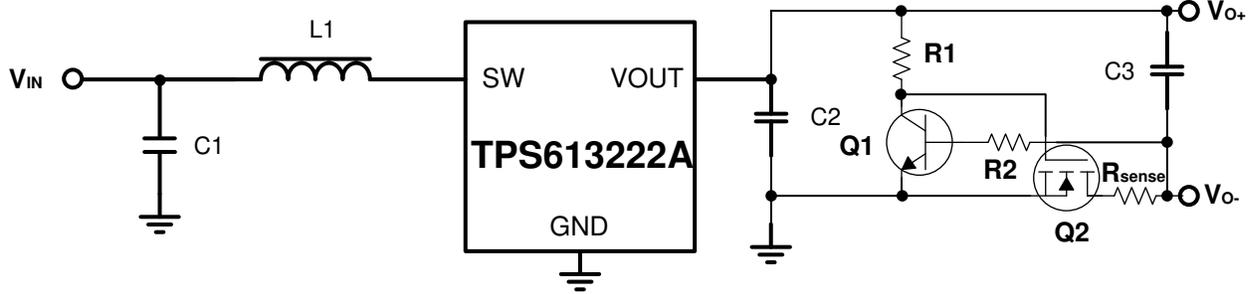


图 2-1. 典型应用

本应用手册采用短路保护技术时，会增加两个通用有源开关和一些无源器件，如图 2-1 所示。电阻 R_{sense} 与 Q2 的 $R_{ds,on}$ 能够监控子系统的输出电流， V_{O-} 电压馈入 NPN 信号开关 Q1 的基极，Q1 是通用双极开关，例如 MMBT3904。当 V_{O-} 增加到 Q1 的 V_{be} 阈值，即典型值 0.6V，Q1 的集电极电流会显著增加，并将 Q2 的 V_{gs} 电压拉至低于栅极阈值电压 V_{th} 。这样会立即切断电流路径，电源系统和子系统都会得到保护。

短路电流阈值 I_{LIMIT} 是根据方程式 1 设置的：

$$I_{LIMIT} = \frac{V_{be}}{R_{sense} + R_{ds,on}} \quad (1)$$

其中

- R_{sense} 为检测电阻器的电阻
- $R_{ds,on}$ 为 Q2 的导通电阻
- V_{be} 为双极开关 Q1 的导通阈值

消除短路情况后， V_{O-} 电压会由 Q1 的基极至发射极电流 I_{be} 缓慢拉至 GND。恢复时间与输出电容器 C3 相关，泄漏电流根据方程式 2 设置：

$$I_{LEAK} = \frac{5 - V_{be}}{R_2} T_{recovery} = \frac{C_3 * V_{O-}}{I_{leak}} \quad (2)$$

其中

- $T_{recovery}$ 为消除短路事件后的恢复时间，输出电压会恢复到 5V。（ V_{O-} 逐渐下降到 0V）。
- I_{leak} 为漏入 Q1 开关基极的电流，也就是 I_{be} 。
- C_3 为输出电容。
- V_{O-} 为子系统负输入侧的电压。

例如， R_2 为 1000 Ω ，输出电容器为 4.7 μ F。 I_{leak} 最大为 4.4mA。计算时可简单地使用 2.2mA 的平均泄漏电流。则恢复时间长于 10ms。

若要缩短 SCP 发生时的响应时间（或从 SCP 到正常模式的恢复时间），可使用阻值较小的 R2 电阻。根据以下公式，泄漏电流与 R2 电阻成反比。此电阻的建议值在 100 Ω 到 100K Ω 之间。这是在恢复时间/响应时间与泄漏电流之间做出折衷的建议。

下图展示了发生快速短路事件后的响应时间。 R_{sense} 设为 0.5 Ω ，可获得 1.1A 的目标短路电流阈值。当 R_2 为 100 Ω 时，实际触发点为 1.1A，当 R_2 高于 10k Ω 时，触发点变为高于 2A。

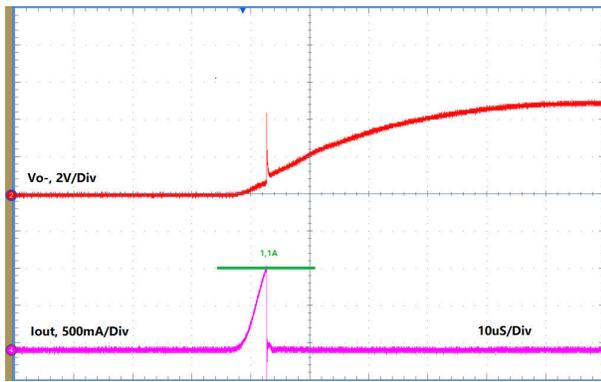


图 2-2. $R_2 = 100\Omega$

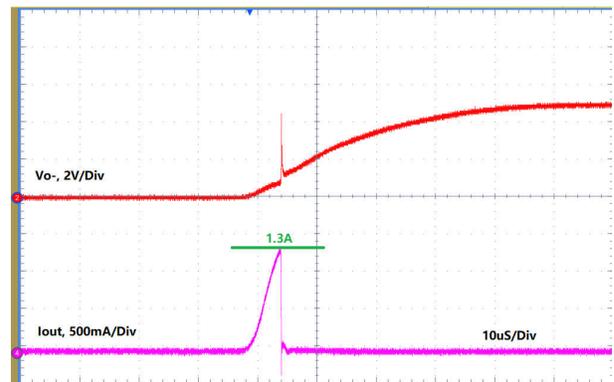


图 2-3. $R_2 = 1000\Omega$

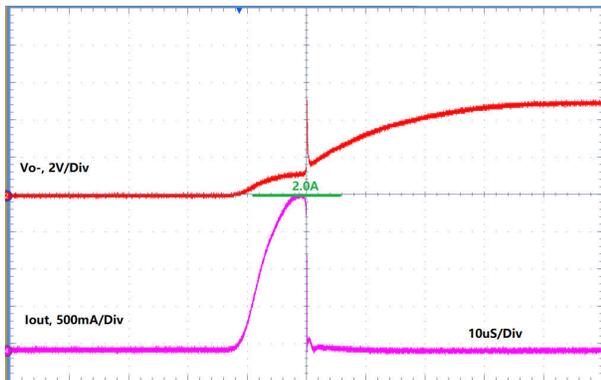


图 2-4. $R_2 = 10000\Omega$

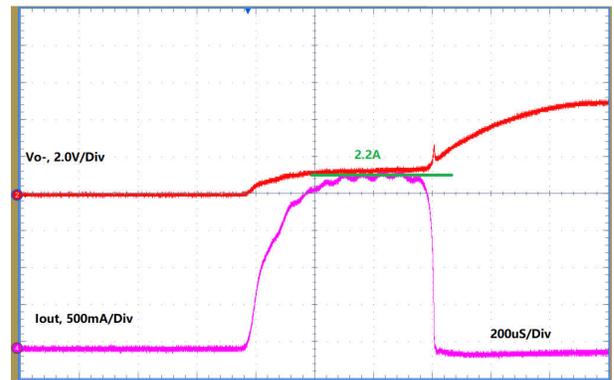


图 2-5. $R_2 = 100000\Omega$

3 外部元件注意事项

以下内容介绍了另一个重要主题，即如何在此类应用中选择外部元件，特别是两个外部有源开关。

3.1 电源开关 Q2

请注意以下要求：

- 开关的最大 V_{ds} 电压必须高于 TPS613222A 的输出电压。
- 如果没有 R_{sense} ， $R_{ds,on}$ 也应与解决方案的总效率相平衡，在最大负载下整个系统功耗为 3% 是理想的折衷方案。
- 在最坏的情况下， V_{gs} 最大规格应大于 TPS613222A 的最大输出电压。
- 寄生电容也是 Q2 的一个问题。发生短路事件后，高压摆率 di/dt 会在 Q2 的漏源极产生高尖峰。最大尖峰不应超出最大电压限值。

3.2 信号开关 Q1

开关 Q1 是通用 NPN 双极晶体管，可节省成本。 V_{be} 对于温度变化很敏感。TI 建议将 Q1 放在距离 TPS613222A 和 Q2 较远的位置，因为在提供短路保护时 TPS613222A 和 Q2 会产生一些热量。此开关可用一个小信号 NMOS FET 代替。

Q1 开关也可以是 NMOS FET。如果 Q1 是 NMOS，则泄漏电流可忽略不计，因为栅源之间具有高阻抗。而且，由于泄漏电流很小，响应时间将非常短，但恢复时间将非常长。

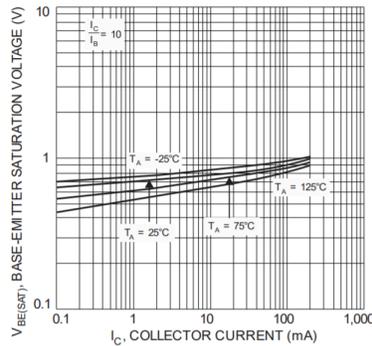


图 3-1. MMBT3904 I-V 曲线 请参阅参考文献 2

4 短路保护的多种实现方式

短路保护有多种实现方式，也适用于 PMOS 和 PNP 晶体管配置。与 P 型开关 (PMOS、PNP) 相比，N 型有源开关 (NMOS、NPN) 更加常见，通常成本也更低。

PMOS 的优势是，接地路径不会被切断，这对传感器、ADC 或 DAC 等对接地敏感的子系统而言非常重要。

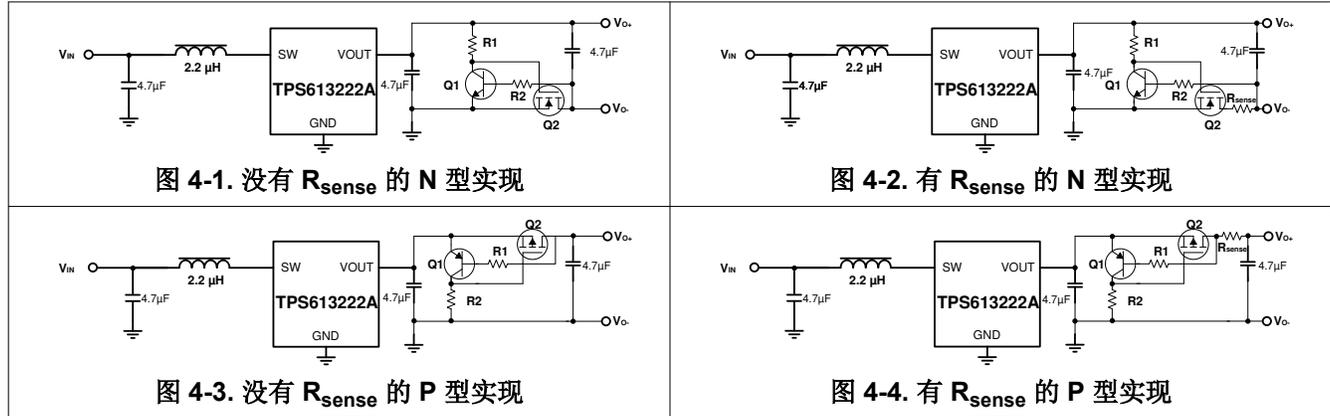


图 4-1. 没有 R_{sense} 的 N 型实现

图 4-2. 有 R_{sense} 的 N 型实现

图 4-3. 没有 R_{sense} 的 P 型实现

图 4-4. 有 R_{sense} 的 P 型实现

5 总结

此设计适合便携式应用，例如真无线立体声 (TWS)。它有助于降低系统成本，还能为整个系统提供短路保护。

6 参考文献

- 有关低功耗升压转换器 TPS613222A 的更多信息，请参阅 TI 网站中的产品文件夹 - <https://www.ti.com.cn/product/cn/TPS61322>。
- 有关 MMBT3904 数据表，请参阅 <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds30036.pdf>

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (November 2018) to Revision A (July 2021)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	2

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司