

Application Note

TPS7B7702-Q1 反向电流保护



Given Ding

摘要

TPS7B7702-Q1 是一款广泛使用的天线 LDO，它支持宽范围输入并集成各种检测和保护功能。其中 Vsense 可以用来做电流检测和故障上报，需要外部接电容进行补偿，否则会出现震荡。本文对反向过流保护检测机制进行了详细解释，并结合实际中出现的问题给出了分析与规避方案。

内容

1 TPS7B7702 简介.....	2
2 Vsense 波形.....	3
3 反向过流保护.....	4
4 结论.....	6
5 参考文献.....	7

插图清单

图 1-1. TPS7B7702-Q1 典型应用框图.....	2
图 2-1. 启机波形.....	3
图 2-2. 启机波形放大.....	3
图 3-1. 客户实际使用场景.....	4
图 3-2. 输入电压跌落再恢复，输出通道 2 (空载) 发生锁死.....	4
图 3-3. 数据手册中的错误故障表.....	4
图 3-4. 过流保护检测和滤波时间.....	5
图 3-5. 输出端接二极管来抑制反向电流.....	6
图 3-6. 输出接二极管增加放电路径.....	6

1 TPS7B7702 简介

TPS7B7702-Q1 是一款支持宽输入电压 (4.5-40V) 的天线 LDO，它可以直接接在输入 12V 电池上 (满足冷启动以及抛负载等带来的波动电压范围)，常常通过同轴电缆为诸如有源天线的低噪声放大器负载提供稳定的电压输出。它具有很好的诊断和保护的特性，通过 **sense** 管脚和 **Error** 管脚来表征输出短路，输出到电池短路，过热，反向保护等故障。它的 **sense** 管脚通过镜像电流源的方式还可以表征实际流过的电流，从而可以帮助客户节省外部的采样电阻，并且不影响 LDO 的 **dropout** 电压。 如下是典型的应用电路。

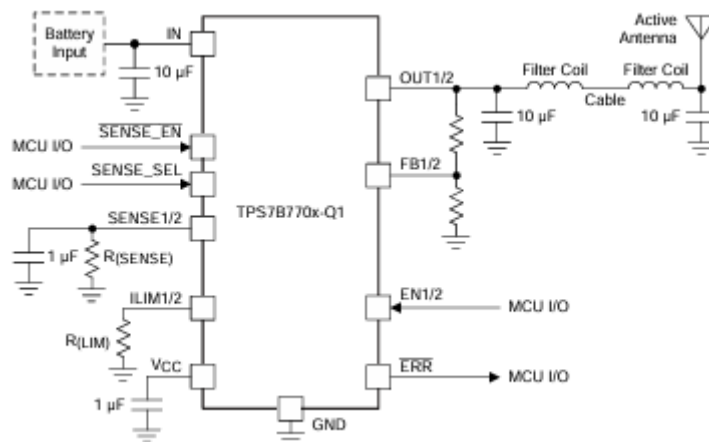


图 1-1. TPS7B7702-Q1 典型应用框图

在实际进行电路设计时候，参考手册对应章节，还有一些需要注意的点

1. 对于输入电容，手册中建议用 10uF 标称值，并没有给出最小的有效容值。输入电容是为了防止在负载跳变等情况下，输出电压发生跌落从而触发欠压保护。一般来说，输入电源阻抗大于 0.5ohm 时候，就需要加输入电容了。对于像 7702 这种双通道的 LDO 来说，当其中一个通道输出对地短路时候，输入电容能量会被瞬时抽一下，导致一个瞬态跌落，这个可能会触发另一个通道的反向过流保护，从而影响另一个通道的正常工作。考虑到这种情况，大一些的输入电容会更好一些。
2. 双路 LDO 也可以并在一起使用，从而提高电流能力。TI 有一个参考设计 TIDA050096 可以供参考。该器件也可以单路使用，对应的 **EN** 悬空即可，管脚内部内部有下拉。不用的管脚悬空或者接地都可以，比较推荐接地，可以提升芯片的散热。
3. 在该器件的 **EVM** 里面，输出有放磁珠，类似于上图。该磁珠不是必须的，它原先主要是用来模拟感性钳位特性。当然加在上面也没有问题，相当于增加了一级 LC 的滤波电路。

2 Vsense 波形

实际应用中，该器件的 Vsense 脚可以用来检测流过 LDO 的电流，如果不需要这个功能的时候，客户往往会悬空以简化设计。而出现问题的时候，因为该管脚又可以表征故障故障类型，为了定位问题，客户又会去测量该管脚的电压来判断出现了什么样的故障。

当该管脚悬空时，在上电时候会看到 Vsense 电压发生了震荡。这个现象是正常的，手册中提到该管脚需要对地接 1uF 来实现频率补偿，也就是说，该电流检测电路需要外接电容才能够保证它的输出稳定，并且工作在带宽范围内。这边看到的震荡是正弦波的震荡，是环路不够稳定导致的。即使 SENSE_EN 和 SENSE_SEL 都被拉低了，电流检测功能被禁用，Vsense 管脚不外接电容的话，它还是可能会出现震荡，所以这个时候不能用它来判断此时出现的故障。但该震荡不会影响器件的可靠性，只要管脚电压都在推荐的电压范围内。



图 2-1. 启机波形

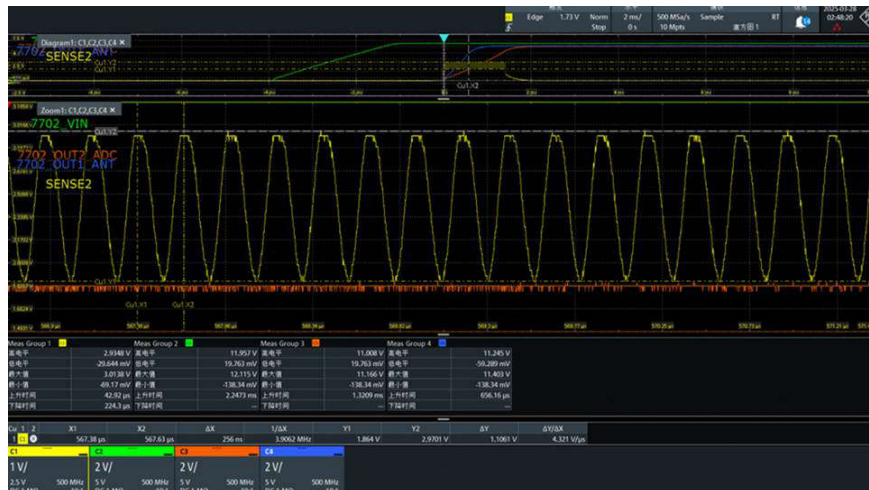


图 2-2. 启机波形放大

3 反向过流保护

该器件集成了全面的震荡和保护的功能。如下是客户的实际应用框图，其中输入电容和两路的输出电容的值都比较接近。其中 Vout1 带负载，Vout2 不带负载。该器件输入直接接在 12V 电池上。其中输出电压设置为 12V。

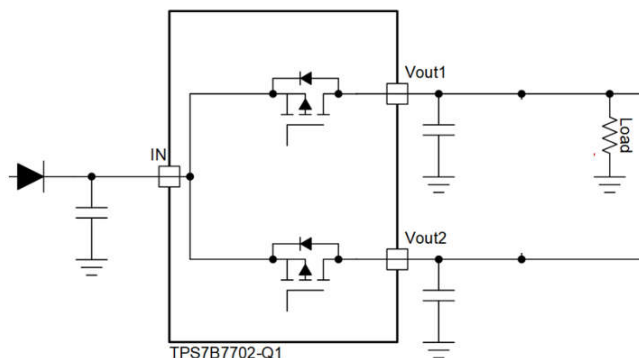


图 3-1. 客户实际使用场景

在做输入跌落实验时候，也就是模拟汽车的启动之类的场景下，发现当输入跌落至 5V 稳定~100ms 后再恢复到 9V，通道 2 输出会出现锁死的现象，如图。而如果给通道 2 带一些载，那么就不会出现这样的问题。



图 3-2. 输入电压跌落再恢复，输出通道 2 (空载) 发生锁死

针对该问题，发现输出锁死，需要先结合数据手册里面的错误故障表进行排查。所以首先排查 Vsense 和 ERR 管脚的电压来看当前触发了什么故障，经确认，管脚电压符合故障表里面关于锁死保护的描述，所以肯定是触发了 short to battery (输出短路到电池输入) 和 reverse current (反向电流) 两个保护之一。

FAILURE MODE	V _(SENSE)	ERR	LDO SWITCH OUTPUT	LATCHED
Open load	$I_O \times R_{(SENSE)}$ 198	HIGH	Enabled	No
Normal		HIGH	Enabled	No
Overcurrent		HIGH	Enabled	No
Short-circuit or current limit	2.4 to 2.65 V	LOW	Enabled	No
Thermal shutdown	2.7 to 3 V	LOW	Disabled	No
Output short-to-battery	3.05 to 3.3 V	LOW	Disabled	Yes
Reverse current	3.05 to 3.3 V	LOW	Disabled	Yes

图 3-3. 数据手册中的错误故障表

对于这两个故障，数据手册 7.3.3 有对应的描述，但是检测机制并没有写的非常清楚。这边再做一些说明

1. 输出短路到电池的保护只会在启动时候进行检测。即使在后续稳态运行后，实际还有该故障发生，器件也不会进行报错和检测。
2. 输出短路到电池在正常工作的时候可能会导致有反向电流，这个时候就会触发反向电流保护。反向电流保护会从一些相关事件发生后 16ms 开始进行检测，如果反向电流超过门限持续 5us 就会触发保护。如下图会更加清楚。
3. 在#b 中提到相关事件后会有 16ms 的等待时间 ($t(\text{blk_rc})$)，这边相关事件包括，上电，EN 的上升沿，从过流保护中恢复。主要目的是因为这些场景中，可能会存在由于寄生参数带来的谐振或者过流点限制突然释放导致输出电压瞬时高于输入电压的场景，在这个情况下，不希望触发反向过流从而导致器件锁死。

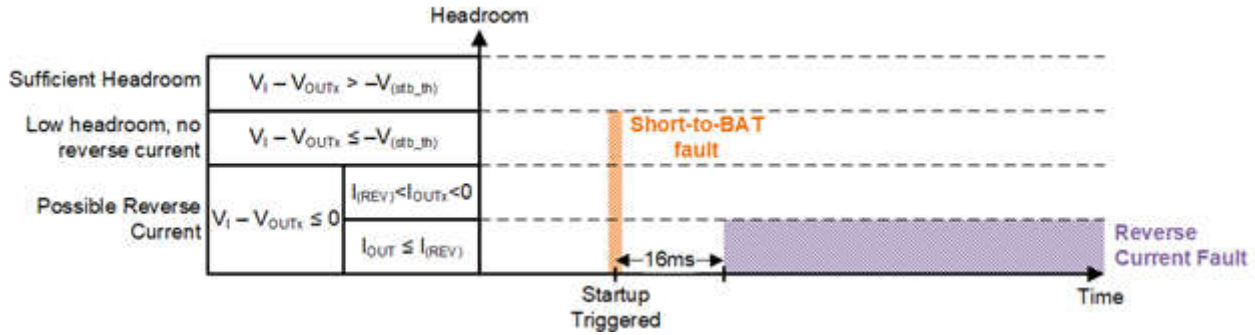


图 3-4. 过流保护检测和滤波时间

对于客户的应用场景来说，当输入低于输出时候，器件工作在开环状态，相当于是一个开关。当输入跌落时候，带载的那一路由于有负载消耗，会把它的输入电压拉到和输出电压一致。而空载的那一路，由于输出电容会存储一定的能量，所以此时输入跌落，输出电容上的电压可能会比输入要高，从而导致产生负向电流，触发锁死。是否有负向电流以及负向电流的大小和输入变化的斜率以及负载的轻重都会有关系。当两路都有一些负载的时候，输出电容的能量会被消耗掉，基本就不会出现输出电压比输入高的情况。

对于实际应用来说，可能会出现一路空载一路重载的情况，从上面分析来看，也就是输出电容回给输入电容放电，那需要想办法把空载支路的电容的电也给放掉，这样就可以避免这样的问题。

1. 阻塞输出电容对输入电容进行放电。在输出电容和输出管脚之间串一个二极管来阻塞放电路径。当时对于该器件来说，手册中推荐输出 ESR 需要小于 5ohm 来满足稳定性的要求，对于直接加二极管，在空载时候，小信号模型里面就等效于加了一个阻抗在输出端，但二极管小信号阻抗太大了，所以基本很难稳定。可以考虑在加在输出和二极管之间加一个小电容（电容放电时，反向电流不超过阈值）来满足稳定性，但这个要基于实际测试来看。

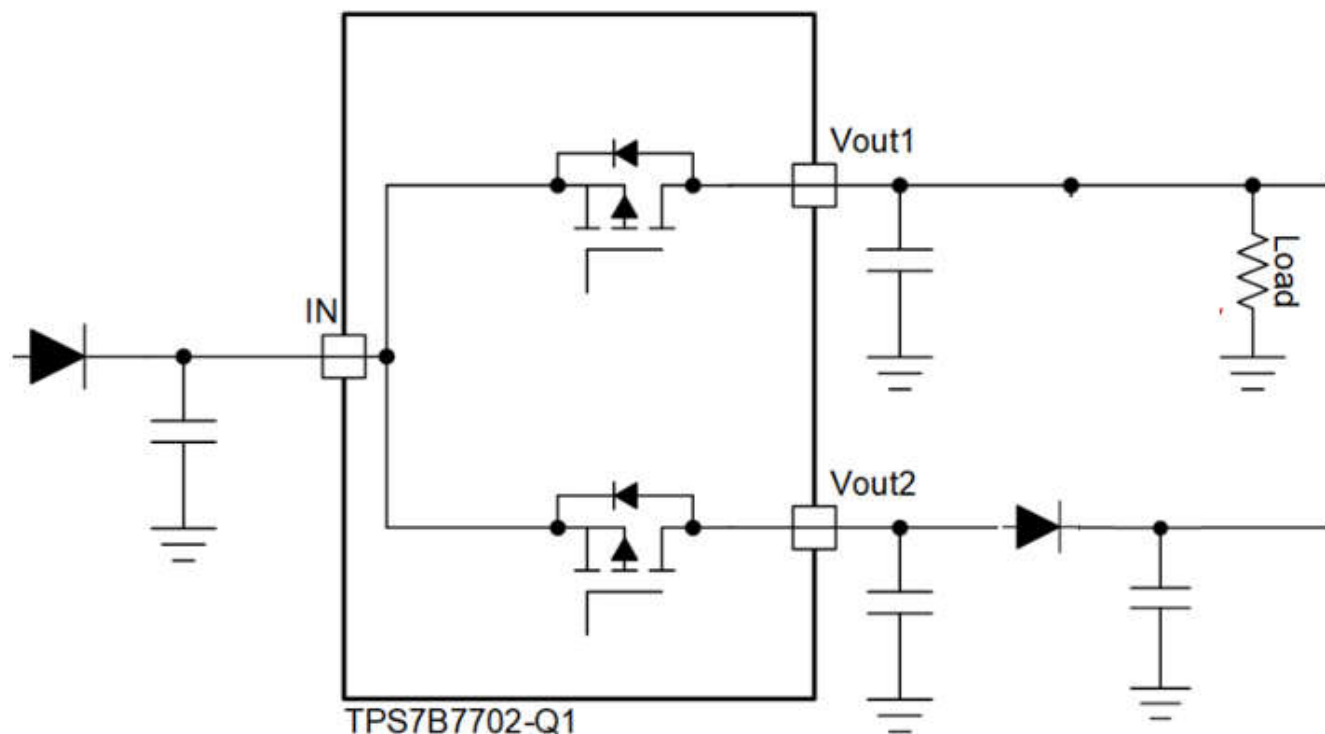


图 3-5. 输出端接二极管来抑制反向电流

- 因为这个应用中输出电压是一致的，可以在两个输出端并一个低压降的二极管。它的压降要比要（往 V_{in} 灌的路径上压降+ V_{out1} 的 dropout 电压）要低，这样才能保证 V_{out2} 在 V_{in} 跌落时从 V_{out1} 的负载去放电，相当于给 V_{out2} 带一个负载来放电。而正常工作时，该二极管处于关断状态，所以不影响输出电压稳定性。

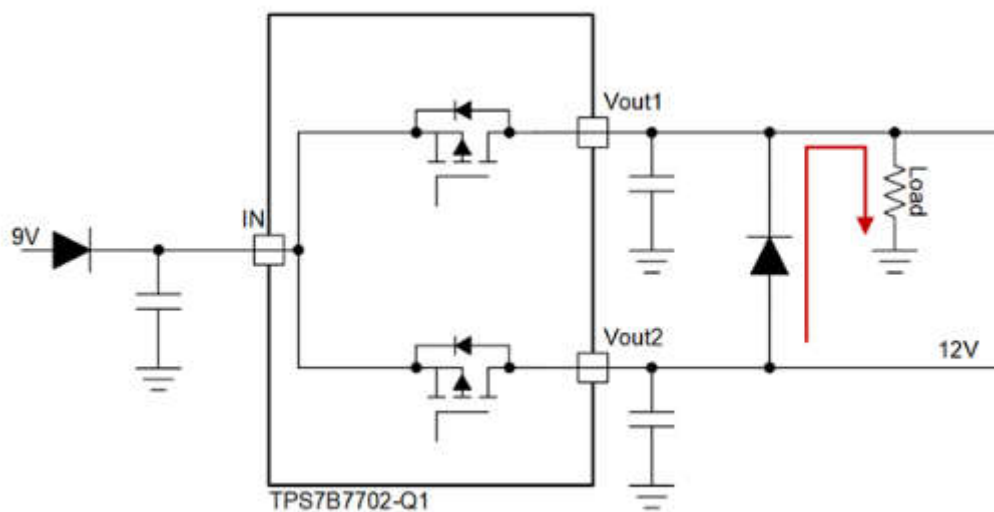


图 3-6. 输出接二极管增加放电路径

4 结论

本文针对 TPS7B7702-Q1 的应用给出了一些设计需要考量的点，并对实际测试过程中碰到的 V_{sense} 震荡的波形给出了解释。同时，本文针对实际碰到的应用场景对芯片的锁死保护机制进行了详细的说明，并根据实际碰到的问题给出了分析并提供了可行的解决方案。对于该芯片的应用有一定的指导意义。

5 参考文献

1. [Datasheet "TPS7B770x-Q1, Automotive, Single- and Dual-Channel Antenna LDO With Current Sense datasheet \(Rev. C\)"](#)

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月