

Application Note

使用 TI 高边开关控制器实现电池反向保护



Dilip Jain, Naveen Bevara

摘要

随着汽车配电系统中区域架构的不断演变，人们对高边开关控制器的需求不断增长，该控制器可通过外部 MOSFET 驱动大多数初级和次级高电流负载。这些系统设计包括配电箱以及 PTC 加热器、车身电机等负载。

汽车 OEM 对 12V 汽车系统的关键系统要求之一是保护 DUT 免受电池反向连接的影响。在汽车电池维护期间或车辆跨接启动过程中，电池在重新安装过程中可能会发生反极性连接，这可能导致连接的子系统、电路和组件遭到损坏。需要设计适当的保护电路，以确保 DUT 受到保护并能够应对电池反向情况。根据负载类型，可通过背对背电源开关或正向负载开关拓扑实现电池反向保护。

本应用手册重点介绍了如何使用 TI 的高侧开关控制器（如 TPS1211-Q1、TPS1214-Q1）为具有各种电路配置的各种高电流负载实现电池反向保护。

内容

1 TPS1211-Q1 高侧开关控制器概述.....	2
2 具有电池反向保护的系统设计示例.....	3
2.1 设计 1：配电箱.....	3
2.2 设计 2：车身电机负载驱动.....	5
2.3 设计 3：加热器负载驱动.....	6
3 总结.....	9
4 参考资料.....	9
5 修订历史记录.....	9

插图清单

图 1-1. TPS1211-Q1 功能方框图.....	2
图 2-1. 采用 LM74500-Q1 控制器且具有分组电池反向保护功能的配电箱.....	3
图 2-2. 采用 TPS12141-Q1 smartFuse 控制器的带反向电池保护功能的配电箱.....	4
图 2-3. 展示了使用 TPS12141-Q1 smartFuse 控制器，MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图.....	5
图 2-4. 用于驱动电机负载的 TPS1211-Q1 应用原理图.....	5
图 2-5. TPS1211-Q1 具有基于 MOSFET 的接地侧断开开关的应用原理图.....	6
图 2-6. 在电池反向情况下，在 MOSFET 关闭的情况下驱动 PTC 加热器负载的 TPS1211-Q1 应用原理图.....	7
图 2-7. TPS1211-Q1 在电池反向条件下、MOSFET 导通时驱动 PTC 加热器负载的应用原理图.....	7
图 2-8. 展示了 MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 TPS1211-Q1 高侧开关控制器概述

TPS1211-Q1 系列是一款具有保护和诊断功能的 45V 智能高侧驱动器。该器件具有 3.5V 至 40V 的宽工作电压范围，非常适合 12V 系统设计。该器件具有强大的 3.7A 峰值拉电流 (PU) 和 4A 峰值灌电流 (PD) 栅极驱动器，可在高电流系统设计中使用时并联 FET 进行电源开关。将 INP 用作栅极驱动器控制输入。通过放置外部 R-C 元件，可实现 MOSFET 压摆率控制 (导通和关断)。

该器件具有精确的电流检测 (在 30mV 下精度为 $\pm 2\%$) 输出 (IMON)，可用于能源管理的系统设计。该器件集成了具有 FLT_I 输出的两级过流保护，具有完全可调的阈值和响应时间。可以配置自动重试和锁存故障行为。该器件具有带 FLT_T 输出的远程过热保护功能，可实现强大的系统保护。TPS1211-Q1 具有精确的过压保护 ($< \pm 2\%$)，可提供强大的负载保护。TPS1211-Q1 将预充电驱动器 (G) 与控制输入 (INP_G) 集成，

此功能支持必须通过先预充电然后再打开主功率 FET 来驱动大容量负载的系统设计。TPS1211-Q1 使用 EN/UVLO 引脚提供精确的欠压保护 ($< \pm 2\%$)。将 EN/UVLO 拉至低电平 ($< 0.3V$) 以关闭器件并进入关断模式。在关断模式下，控制器在 12V 电源输入下的总关断电流为 0.9 μA (典型值)。图 1-1 显示了 TPS1211-Q1 功能方框图。

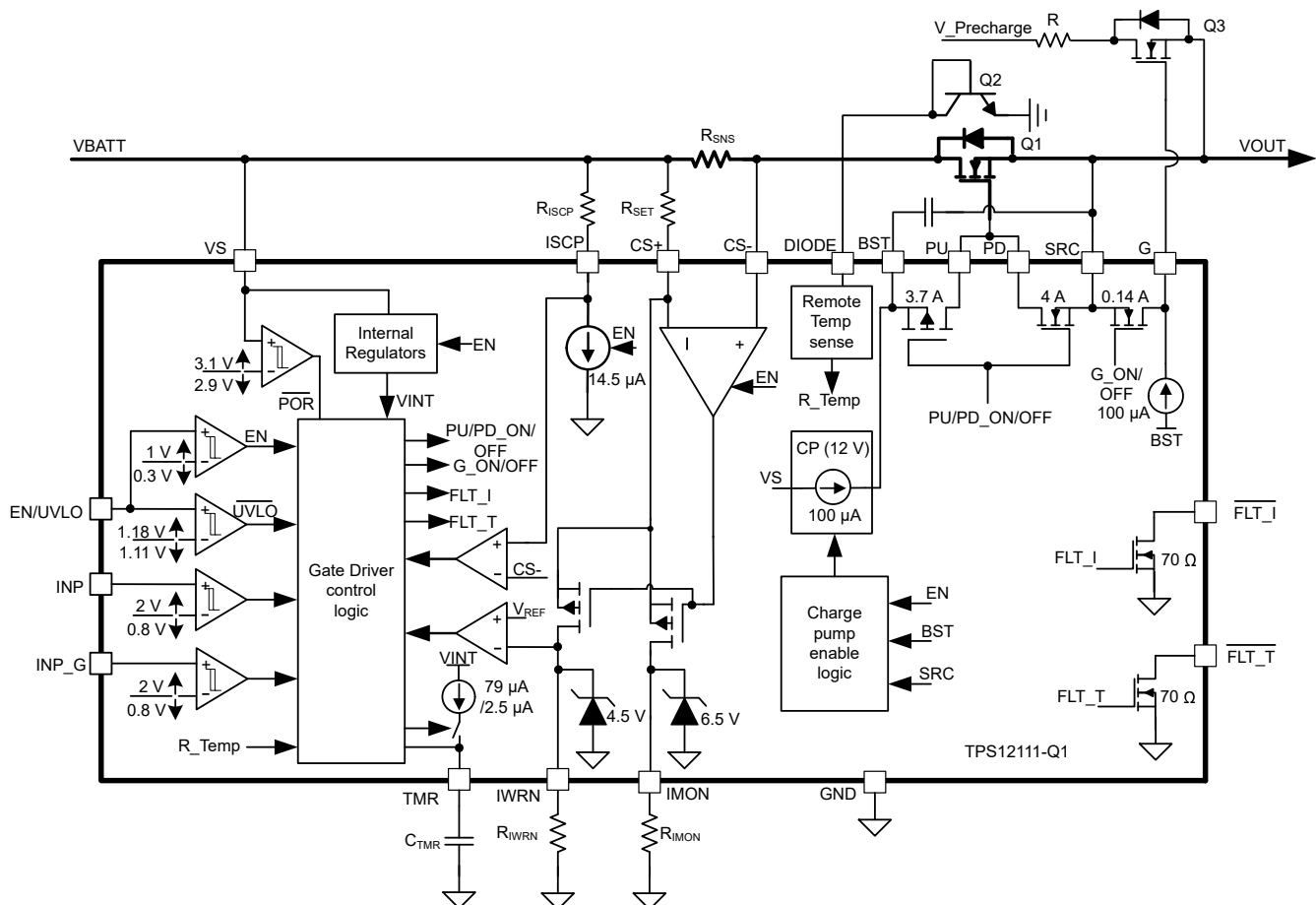


图 1-1. TPS1211-Q1 功能方框图

2 具有电池反向保护的系统设计示例

2.1 设计 1：配电箱

图 2-1 显示了具有双通道输出 VOUT1 和 VOUT2 的配电箱示例。输入电源可以来自电池或直流/直流。使用 LM74500-Q1 反极性保护控制器和外部 MOSFET Q1 实现分组输入电池反向保护方案。

LM74500-Q1 电池反向保护级的输出连接到 TPS12110-Q1 高边开关控制器。LM74500-Q1 电路可使 TPS12110-Q1 IC 和连接到输出端的负载在输入电池反向状态下受到保护。在输入电池反向条件下，LM74500-Q1 控制器将 GATE 拉至源，MOSFET Q1 关断，断开与下游 TPS12110-Q1 IC 和负载的输入电池连接。

TPS12110-Q1 不会接触到反向电压，因此在系统设计的这一部分中不需要任何特殊的反向保护技术。

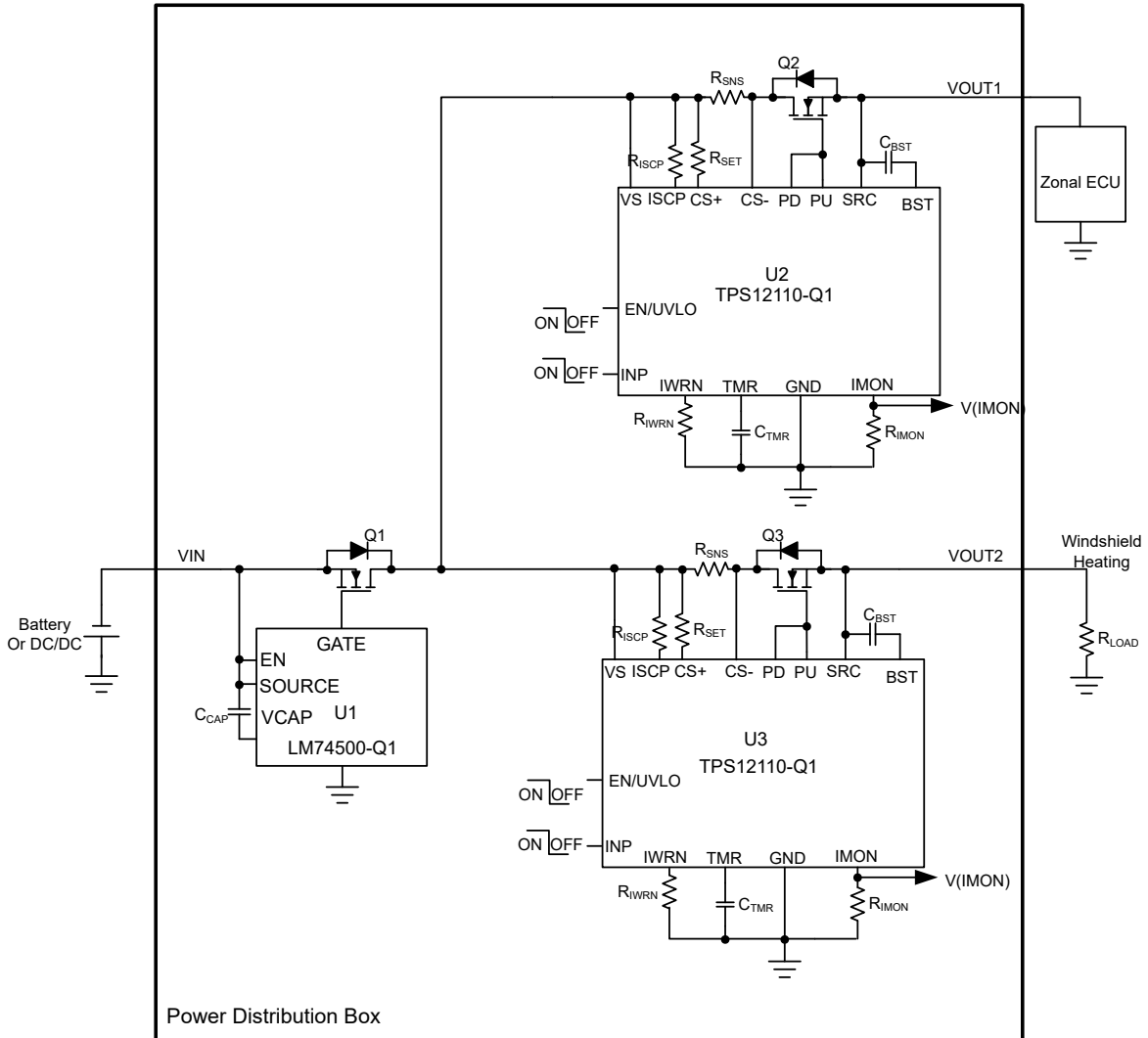


图 2-1. 采用 LM74500-Q1 控制器且具有分组电池反向保护功能的配电箱

图 2-2 展示了不带输入电池反向保护开关的基于 SmartFuse 的配电箱系统设计示例。VOUT1 是一个常开通道，用于驱动电源始终可用 (PAAT) 负载，如门锁、电动车窗、无线钥匙系统 ECU 等。VOUT2 是一个可切换通道，允许在车辆停放状态下关断。此通道可用于驱动执行器或加热器负载。

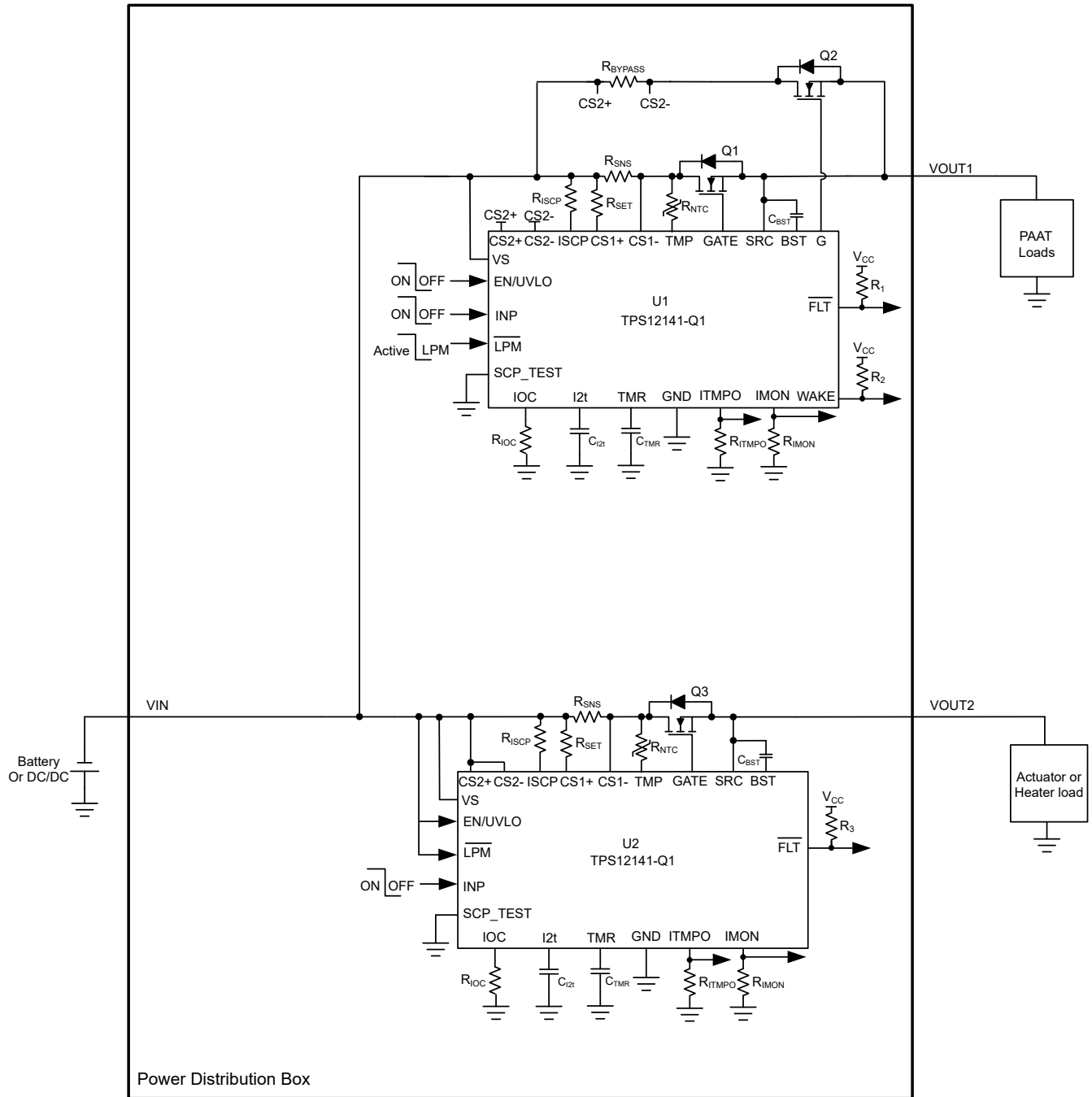


图 2-2. 采用 TPS12141-Q1 smartFuse 控制器的带反向电池保护功能的配电盒

在基于负载类型的系统架构中，电池反向保护是在负载侧本地实现的。但是，加热器等负载没有任何电池反向保护，并且会在电池反向故障期间产生反向电流。在这种情况下，应导通 MOSFET，以防止由于体二极管导通而导致功率耗散过大而造成损坏。TPS1214-Q1 smartFuse 控制器系列中的 TPS12141-Q1 具有集成的电池保护反向和 MOSFET 导通功能。TPS1214-Q1 的其他特性（例如具有自动负载唤醒功能的低 IQ LPM 模式以及可调节的 I2T 过流保护）使其非常适合 smartFuse 系统设计。

图 2-3 展示了 TPS12141-Q1 在 -14V 输入条件下的电池反向保护性能。如图所示，MOSFET 在栅极驱动电平为 12V 时导通。

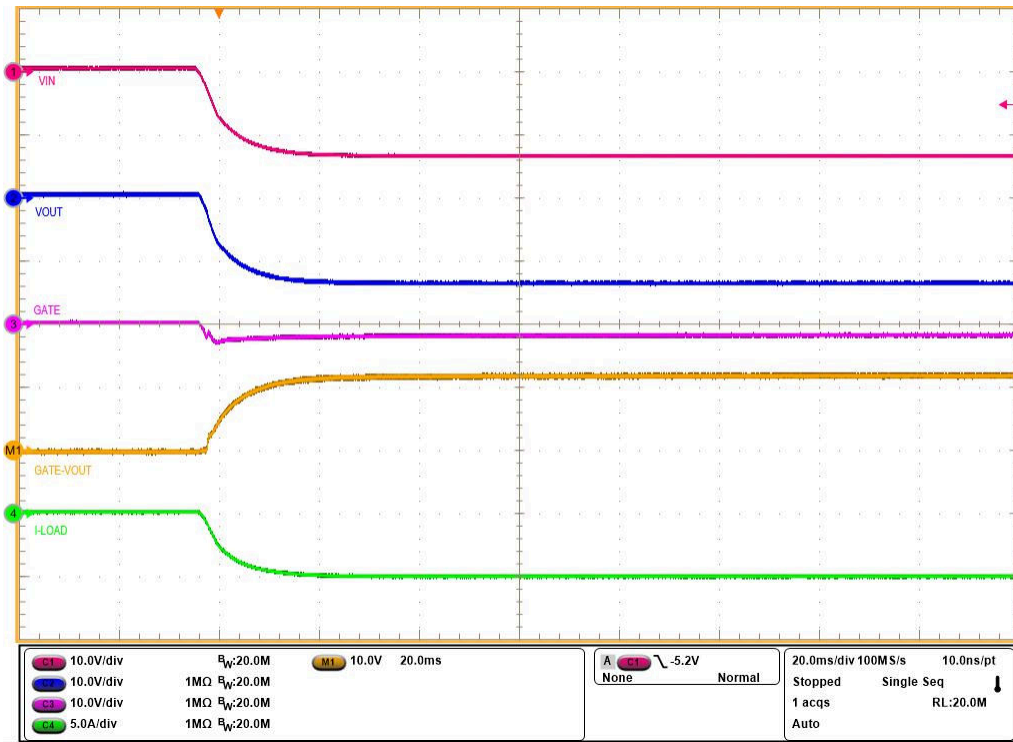


图 2-3. 展示了使用 TPS12141-Q1 smartFuse 控制器，MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图

2.2 设计 2：车身电机负载驱动

在汽车系统中，车身电机等负载可能会将能量传递回输入电源，并且需要反向过流保护。图 2-4 显示了基于背对背 MOSFET (Q1 和 Q2) 的 TPS12111-Q1 典型应用电路，用于设计适用于车身电机负载的安全断开开关。

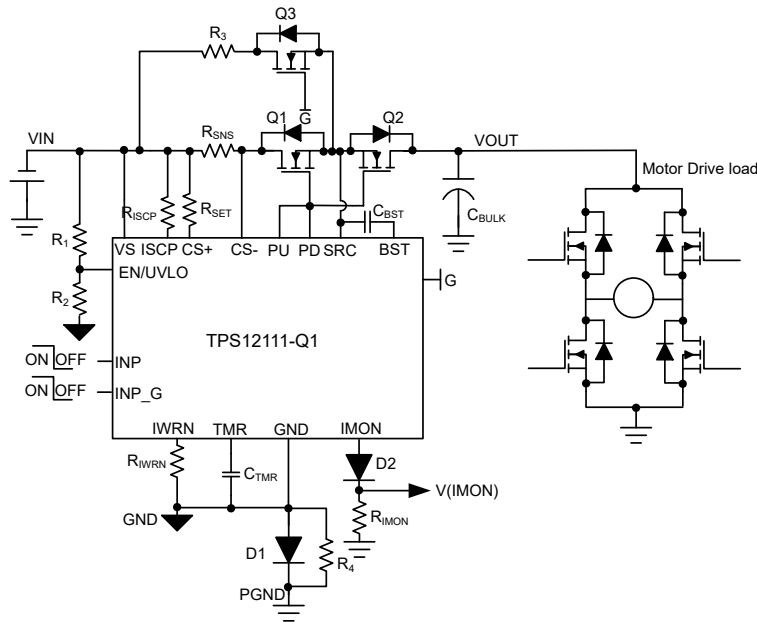


图 2-4. 用于驱动电机负载的 TPS12111-Q1 应用原理图

预充电电阻 R_3 和 MOSFET Q3 构成了输出电容 $C_{(BULK)}$ 的充电路径。在高电流设计中，预充电路径通常用于将主 FET Q1 和 Q2 并联的系统设计。Q1 MOSFET 用于在过流、短路和欠压等系统故障期间断开负载。

若没有 MOSFET Q2，在输入电池反向条件下，由于 PGND、电机桥 MOSFET 和 MOSFET Q1 形成的闭路，将产生非常高的反向电流。这种高电流受电路寄生效应的限制，可能会损坏电机桥、MOSFET Q1 和 PCB 引线。在这种情况下，使用 MOSFET Q2 来阻断反向电流，因为 TPS12111-Q1 将 PD 拉至 SRC，以使 Q2 保持关断状态。

需要使用二极管 D1 和电阻器 R₄ 来保护 TPS12111-Q1 在电池反向情况下不受反向电流注入的影响。二极管 D1 会向控制输入信号以及阈值设置添加失调电压，以检测欠压故障情况。

如图 2-5 所示，用断开开关 Q4 替换 D1 和 R₄ 电路可以消除该失调电压。D1 是一个栅极钳位齐纳二极管，其 V_z 低于 Q4 的 V_{GS} 绝对最大额定值。

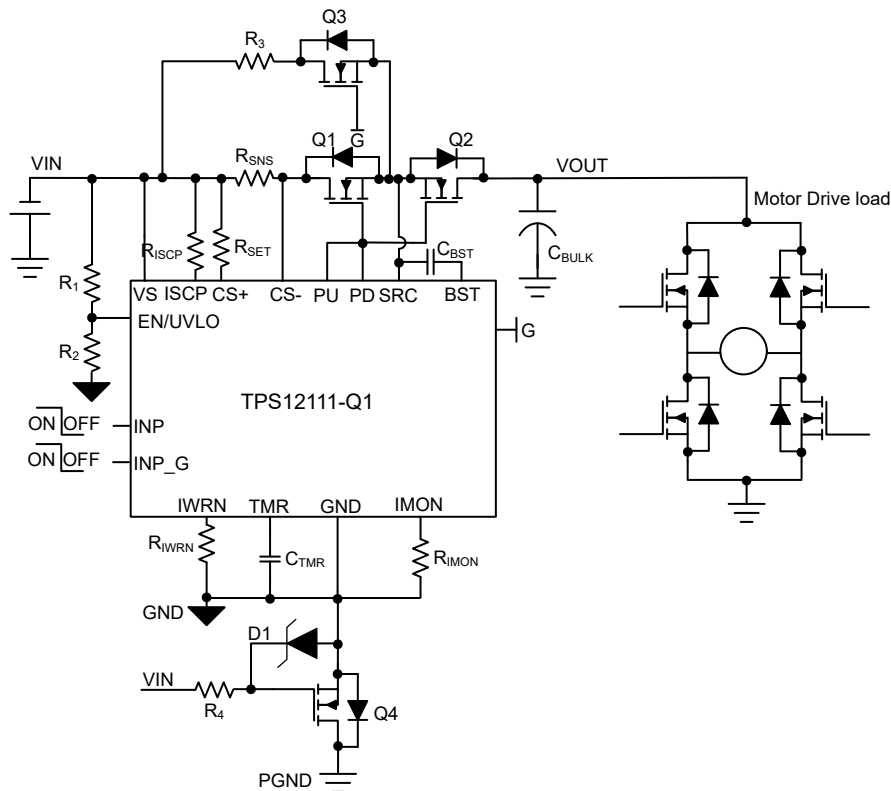


图 2-5. TPS12111-Q1 具有基于 MOSFET 的接地侧断开开关的应用原理图

2.3 设计 3：加热器负载驱动

与车身电机不同，用于座椅加热和挡风玻璃加热的 PTC 加热器等阻性负载不会产生反向电流，因此在技术上无需在电源开关路径中使用背对背 MOSFET。

下一节介绍了此类负载情况下的电池反向保护技术。

2.3.1 在关闭 MOSFET 的情况下实现电池反向保护

图 2-6 显示了用于驱动加热器负载的 TPS12110-Q1 应用电路。可以向 INP 引脚施加 PWM 信号，以控制负载的导通或关断持续时间。

由于电源路径中没有反向阻断 MOSFET，因此在电池反向情况下，有反向电流从 PGND、负载、MOSFET Q1 体二极管流向电池，如图 2-6 所示。

在这种情况下，MOSFET Q1 会出现高功率耗散，并会因体二极管上的过热和电流应力而损坏。添加反向阻断 MOSFET 可作为一种技术设计，用以避免这种应力并保护 MOSFET Q1。但是，诸如 R_{DS(on)}、额定电流等阻断 MOSFET 特性必须与 MOSFET Q1 相同。此设计使功率级的成本增加了一倍，并增加了设计尺寸，这在高电流系统设计中是不可接受的。

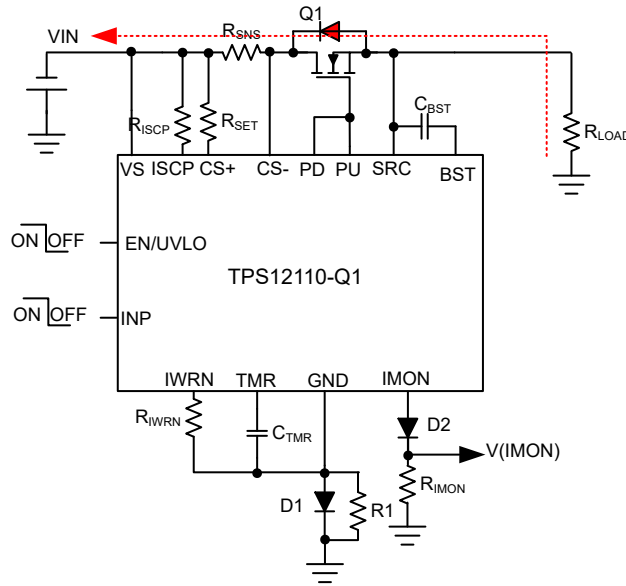


图 2-6. 在电池反向情况下，在 MOSFET 关闭的情况下驱动 PTC 加热器负载的 TPS12110-Q1 应用原理图

2.3.2 在打开 MOSFET 的情况下实现电池反向保护

在输入期间打开 MOSFET Q1 时，电池反向情况可解决节 2.3.1 中提到的难题。图 2-7 显示了用以在电池反向情况下打开 MOSFET Q1 的 TPS12110-Q1 应用电路。

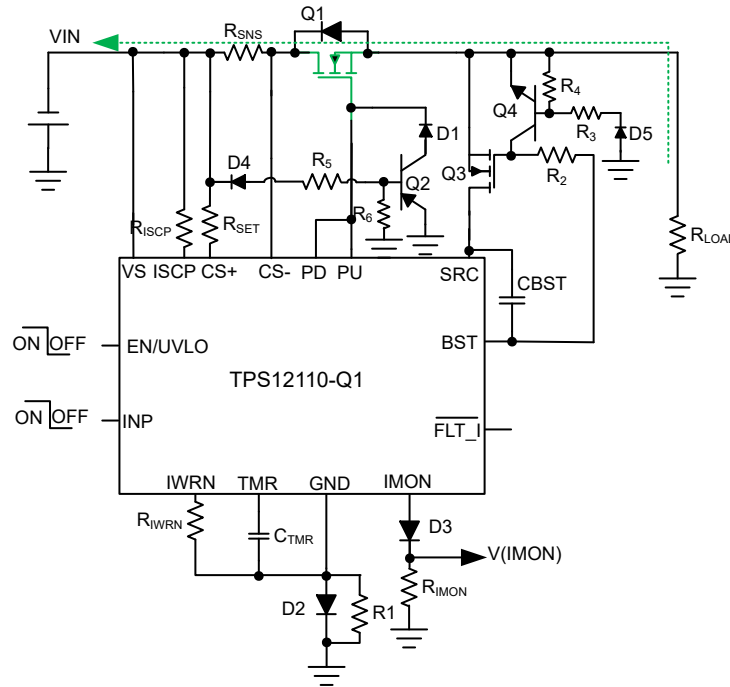


图 2-7. TPS12110-Q1 在电池反向条件下、MOSFET 导通时驱动 PTC 加热器负载的应用原理图

根据图 2-7 中所示的应用电路，可以在输入电池反向条件下打开 MOSFET Q1。在输入电池反向条件下，MOSFET Q1 的源极跟随输入反向电压。在此情况下，D5、R3、R4 路径会导通并打开 Q4，然后关闭 Q3。Q3 是一个信号 N-FET，用于在输入电池反向情况下将 Q1 的源极与器件 SRC 引脚断开。R6、R5、D4 路径会导通并打开 Q2。D1 的阳极通过 Q2 连接到 GND。Q1 的栅极电压被拉至 D1 (-1V) 的 VF，源极端子被拉至负 VIN 减去 Q1 的体二极管压降 (-14V+1V = -13V)。这导致 -1V-(-13V) = 12V 的 VGS 驱动打开 MOSFET Q1，负载电流通过 MOSFET Q1 的 RDSON。

在 D2 的帮助下，通过断开 GND 来使 TPS1211-Q1 受到保护。D3 置于 IMON 电阻器的顶部。通过这种布置，IMON 信号不会包括 D3 压降。

在正 VIN 电平下的正常运行期间，Q2 和 Q4 关断。Q3 由 TPS1211-Q1 的 BST 驱动器打开，将 MOSFET Q1 的源极连接到 TPS1211-Q1 的 SRC 端子。二极管 D1 与 GND 断开连接。

图 2-8 显示了 -14V 汽车电池反向测试期间上述应用电路的波形。如图所示，在该测试期间，MOSFET Q1 导通，因为栅极到源极处于大约 12V 电平。使用了以下物料清单元件。

- D1、D2、D3、D4、D5 = BAS40H,115
- Q2 = MMBT3906WT1G
- Q3 = PMV60ENEAR
- Q4 = MMBT3904WT1G
- R1、R4、R6 = 10kΩ
- R2 = 100kΩ
- R3、R5 = 1kΩ

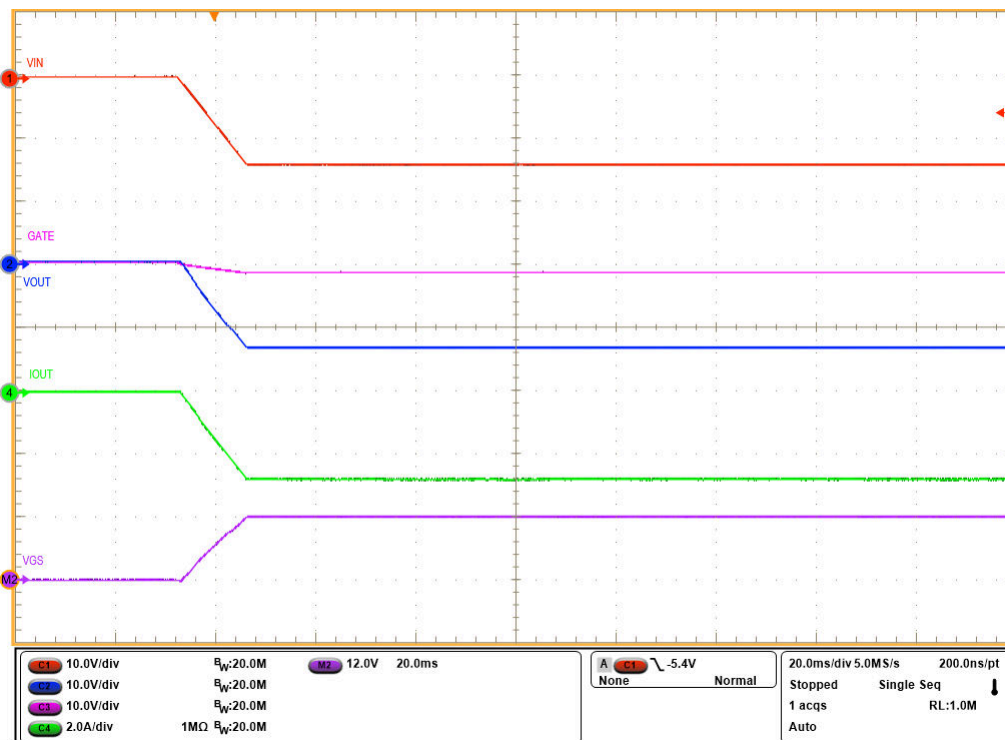


图 2-8. 展示了 MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图

3 总结

根据负载类型，可通过背对背电源开关或正向负载开关拓扑实现电池反向保护。如本应用手册所述，各种电池反向保护系统设计示例均基于 TPS1211-Q1 和 TPS1214-Q1 高侧开关控制器，可根据负载类型加以采用。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TPS1211-Q1 具有保护和诊断功能的 45V 汽车级智能高侧驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS1214-Q1 具有低 I_q、低功耗、负载唤醒、I_{pt} 和诊断功能的汽车级高侧开关控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [LM74500-Q1 反极性保护控制器](#) 数据表。

5 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 * (April 2023) to Revision A (November 2024)	Page
• 添加了基于 TPS1214-Q1 的额外配电盒系统设计架构.....	3

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